

ダクタイル鉄管の 歴史



Chapter 1

1-1

鉄の歴史

1-1-1 古代の金属

我々の先祖が、いつごろから金属の存在を知り、どのようにしてこれを利用するかを知ったかは定かではないが、最初は自然界に存在した銅を使い始めた。紀元前3600年ごろに、シュメール人が銅(融点:1083℃)に錫(融点:232℃)を混ぜることにより、融点が低い青銅(融点:錫が30%で700℃)ができることを発見した。青銅は流動性が良く^{いもの}鑄物(金属を溶かして型に入れて造ったもの)にしやすく、さらに銅よりも強度があるため斧、剣、壺などが造られた。

鉄は、年間約2000個程度が落下してくると推定されている鉄隕石(鉄ニッケル合金からなる隕石で、約90%が鉄の成分のものある)を繰り返し加熱して叩くなどの加工をして、首飾りなどにしていた。その後、木炭で加熱して、砂鉄や鉄鉱石から鉄を取り出したが、最高温度が1200℃程度と低いため、不純物が多く、これも繰り返し叩いて不純物などを取り除いて利用した。当時の鉄で鑄造(鑄物で造ること)しても、もろかったために鉄の鑄物は普及しなかった。

近年、トルコのカマン・カレホユック遺跡で、鉄滓(鉄を製錬したときの残りかす、スラグ)と鉄の小刀が発見され、紀元前20世紀ごろに鉄の製錬技術があったことが明らかになった。紀元前15世紀ごろに鉄器文化を築いた強国ヒッタイト帝国が紀元前1190年ごろに滅亡した後に、周辺諸国に製錬技術が広まり、本格的に鉄が使われ始めた。

●図表1-1-1-1 主な金属の歴史区分^{注1}

年代	区分
紀元前5000～紀元前3000年ごろ	銅器時代
紀元前3500～紀元前1500年ごろ	青銅器時代
紀元前1500年ごろ～	鉄器時代

注1 金属の歴史区分は、地域により異なるので概略である。

中国では、殷(紀元前17世紀ごろ～紀元前1046年)時代の鉄器が発見されているが、鉄器が多く使われるようになったのは春秋時代(紀元前770～紀元前403年)である。

日本では、弥生時代(紀元前3世紀中ごろ～紀元後3世紀中ごろ)に青銅器と鉄器がほぼ同時に大陸から入ってきた。古代のたたら製鉄は、古墳時代後期(6世紀ごろ)からといわれているが、1～2世紀ごろにはすでに山陰地方などで行われていた説もある。

●図表1-1-1-2 アブシル神殿の銅製給水管



紀元前2750年ごろ。

ベルリン博物館所蔵、日本銅センター写真提供

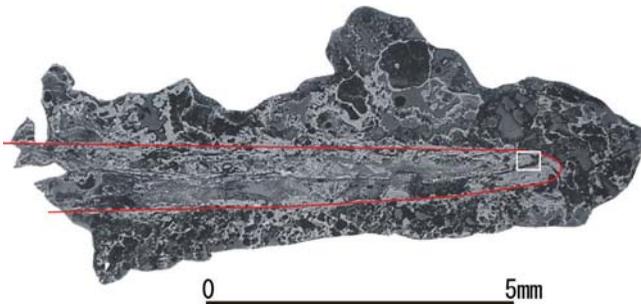
●図表1-1-1-3 アラジャホユック遺跡出土世界最古の黄金装鉄短剣



紀元前2300年ごろ、刀身部(約18cm)はニッケルが7%含まれることから鉄隕石を打ち延ばして作られた可能性が高い。

アナトリア文明博物館(トルコ・アンカラ)所蔵、中井泉教授(東京理科大学)撮影・写真提供

●図表1-1-1-4 カマン・カレホユック遺跡の鉄製小刀



紀元前2100～紀元前1950年ごろ。

中近東文化センター附属アナトリア考古学研究所、赤沼英男氏(岩手県立博物館)写真提供

1-1-2 製鉄方法の変遷

1 古代から近代にかけての製鉄方法

●図表1-1-2-1 古代から近代にかけての製鉄方法

時代	製鉄方法
紀元前2000年以前	鉄の製錬 ^{注1} 技術がなく、鉄隕石（鉄とニッケルの合金で鉄を90%含むものもあった）を加熱、加工して鉄器を造った。
紀元前2100～ 紀元前1950年ごろ	カマン・カレホユック遺跡から鉄滓、鉄製小刀などが発見され、鉄の製錬が、ヒッタイトよりも400年程度さかのぼって行われていたことが分かってきた。アナトリアのキュルテベから出土した粘土板によると鉄は金の5倍、銀の40倍の価値があった。
ヒッタイト時代 紀元前1680～ 紀元前1190年ごろ	たたら炉で、鉄鉱石や砂鉄を鞆 <small>みいご</small> を使い比較的低い温度（700～800℃）に加熱して溶かさずに酸素分を除去（還元）し、炭素量が少ない「鍊鉄」を造る直接製鉄法であった。ヒッタイトの滅亡後に鉄の技術が広まったとされている。
日本の古墳時代 400年ごろ～	砂鉄と木炭を鞆 <small>みいご</small> を使い比較的低温で加熱し、三日三晩かけてケラ（素鋼塊）を造る。ケラの中の良質な部分は、炭素量1～1.5%で、その他の不純物元素の含有量が極めて低い純粋な鉄鋼材料である玉鋼になる。玉鋼は日本刀を造るには欠かせない材料である。
西洋の反射炉時代 1690年～ 18世紀末ごろ	最初は、青銅の溶解や鉛、銅の精錬に使用され、17世紀末に銑鉄の熔融に用いられたが、キュボラ（コークスの燃焼熱を利用して鉄を溶かすためのシャフト型溶解炉）の導入により時代遅れになり衰退していった。
日本の反射炉時代 1850年代～	日本では幕末に薩摩藩、佐賀藩、伊豆韭山、水戸藩などで造られ、開国の技術革新の象徴となった。反射炉で精練された鉄を用いて、佐賀藩では多くの大砲が造られた。
ベッセマー法 1855年に特許を 取得	溶けた銑鉄から良質な鋼を大量に生産できる世界初の安価な精錬 ^{注2} 法で、鋼の大量生産を可能にした。溶銑に空気を吹き込んで酸化還元反応を起こし、鉄から炭素、不純物を取り除いた。
高炉時代の幕開け 1857（安政4）年～	おしまたかどう 大島高任が指導し、現在の岩手県釜石市大橋に、翌年には同橋野に仮高炉が建設された。その後、橋野に1番、2番、3番高炉を建設し、栗林を含めて13基の高炉が建設された。この功績から大島は「近代製鉄の父」と呼ばれた。当時は鉄鉱の高炉と木炭を原材料とし、水車を用いた送風機で加熱して鉄鉱石を熔融した。
高炉による連続出銑 1886年（明治19）年	よこやまきゅうたろう 横山久太郎らによる苦心惨憺の末に49回目連続出銑に成功し、翌年釜石山田中製鉄所を設立した。日本の製鉄事業の幕開けでもあり、新日鉄住金釜石製鉄所の創立記念にもなっている。
コークス銑の時代 1894（明治27）年～	国内初のコークス銑の生産に成功し、良質な銑鉄ができるようになった。その後、釜石山田中製鉄所において国内での鑄鉄管の製造が盛んになっていく。現在では、高炉の規模が大きくなり、水車の送風が熱風炉を用いるなど技術の進歩はあるが、現在でも基本構造は変わっていない。

注1 「製錬」は、鉄を鉄鉱石などから取り出すこと。

注2 「精錬」は、不純物の多い鉄から純度の高い鉄を取り出すこと。「製錬」とは区別している。

2 日本の古代製鉄方法

古墳時代(3世紀半ば～7世紀末ごろ)のたたら炉は、^{ふいご}鞴が造られていなかったために、自然風によって木炭の燃焼が行われていた。その後、日本列島においては、鞴を用いた「たたら製鉄方法」で砂鉄、岩鉄、餅鉄(「べいてつ」とも呼ばれる)を原料に和鋼や和ズクが製造された。和鋼や和ズクは^{おおかじ}大鍛冶と呼ばれる^{たんれん}鍛錬(鉄を打ってきたえること)によって^{だつたん}脱炭(炭素量を減らすこと)され、和鉄に加工され、刀や農具の原材料となった。古代から中世においては、露天型の「野だたら」から始まり、その後は、屋根を備えた全天候型の「永代たたら」になり同じ場所での製造が可能になった。

たたら製鉄の中で日本独自の和式製鋼法に「たたら吹き(タタラ)」があり、現在は出雲安来地方の島根県仁多郡横田町(現:奥出雲町)にある「^{にっとうほ}日刀保たたら」が、日本刀や刃金の素材である^{たまはがね}「玉鋼」を唯一製造している。通常、日本刀に使用される玉鋼は「ケラ押し法(直接製鉄法)」により製鋼される。

日刀保たたらでは、^{とうしやう}刀匠(刀を造る人)が使う玉鋼を造るために、年数回程度たたら吹きの操業が行われている。

●図表1-1-2-2 たたら製鉄の種類

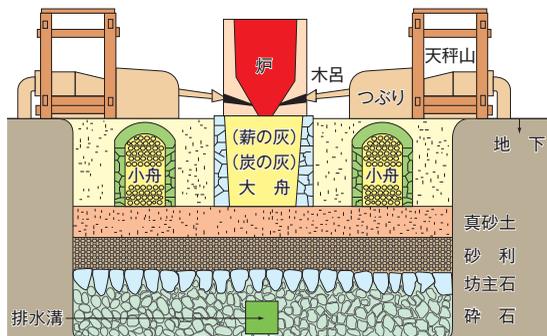
たたら製鉄の種類	主な原料	製品
ケラ押し法(直接製鉄法) ^{注1}	真砂(まさ)砂鉄	日本刀、刃物、工具など
ズク押し法(銑鉄を造る)	赤目(あこめ)砂鉄	鋳物、包丁鉄など

注1 ケラ押し法は、1回の作業が三昼夜、約70時間かかるので三日押しともいわれ、1回の作業を一代という。一代に投入する砂鉄13トン、木炭約13トンに対し、できるケラ(素鋼塊)は2.8トン、ズクは0.8トンしかない。このケラの中でも良質部分は玉鋼として、日本刀などの材料になった。2.8トンのケラから採れる玉鋼は1トン以下であった。

たたら吹きは江戸時代中ごろに完成したもので、「近世たたら製鉄法」といわれている。炉に風を送る鞴は、17世紀の終わりに発明された^{てんびんふいご}天秤鞴が用いられ、これにより製鉄炉の大型化が進んだ。

近世たたら製鉄法(図表1-1-2-3)は、長方形の炉の炭火の中に「^{かなながし}鉄穴流し」で集めた細かい砂鉄を入れ、天秤鞴で大量の空気を送り込み、現在の製鉄に比べると低温で還元させることでリン(P)、硫黄(S)やケイ素(Si)など不純物が少ない銑鉄を造ることができるケラ押し法による製鉄法である。銑鉄は炉を壊して取り出した。炉の地下に排水溝を設け真砂土層で水分を遮断しさらに薪や炭の灰を詰めた大舟、子舟を設けるなど地下部分を乾燥させる工夫が凝らしてある。

●図表1-1-2-3 近世たたら製鉄法



日立金属ホームページより

3 近代の製鉄方法

日本では、1857(安政4)年に日本初の洋式高炉である大橋高炉(岩手県釜石市)が誕生し、連続出銑に成功した。ここに始まる近代製鉄法はその後どのように進歩するのであろうか。

明治初期から鉄の生産は高炉で行われていたが、当時は鉄鉱石と木炭を入れ水車を使った箱型竈による製鉄を行っていた。1890(明治23)年ごろ釜石鉱山田中製鉄所では、イタリアのグレゴリーニ製銑鉄よりも安価で優れた銑鉄が製造できるようになった。また、同社は1894(明治27)年に国内初のコークスを用いた銑鉄の生産に成功している。その製鉄技術は、1901(明治34)年の官営八幡製鉄所の創業に大きく貢献することになった。

鉄鉱石から鉄ができる仕組みは、まず、高炉の上から鉄鉱石とコークスを入れ、高炉の中に鉄鉱石とコークスの層を造り、下の方から熱い空気とコークスの燃焼を補うための微粉炭なども一緒に送風する。この熱風でコークスを燃やすことにより高炉内は約2000℃に達し、一酸化炭素や水素が発生して鉄鉱石を還元していく。熱風は高炉の中を上昇し鉄鉱石を加熱すると共に還元し、スラグ(不純物)は軽いため高炉の上部に浮かぶ。溶けた鉄はコークスの間を通過して下降していき、さらに還元して炭素(C)5%弱の溶銑となり炉の下に溜まり銑鉄は高炉の底の出銑口から取り出される。

そうした製鉄方法の基本的な構造は現代も明治時代も同じであるが、高炉の規模、精錬技術、熱風の再利用やスラグの活用などは大きく進化している。

鉄の起源は、137億年前に起きた「ビッグバン」と呼ばれる大爆発で生まれた宇宙の誕生までさかのぼる。宇宙の温度が約3000°Cに下がると、水素やヘリウムができ、それらが徐々に集まりガス状の雲となり「恒星」をつくった。

太陽の約8倍から30倍の大きさの恒星の場合、引力で核融合が起こり、その反応は鉄で終わる。さらに温度、圧力が高まると、陽子は電子と衝突して中性子に変化し、このとき「ニュートリノ」を放出し、恒星の中心部が崩壊する。これが「超新星爆発」だ。その巨大な超新星爆発により、鉄をはじめとする核融合の産物は、星屑の塵となって宇宙に飛び散り、漂うことになる。原子番号の順番で鉄以降の元素、すなわちニッケルからウランまでは、この超新星爆発で誕生した。

宇宙を漂っている水素やヘリウム、その他の元素が集積して新たに太陽ができる。太陽に吸収されなかった塵は、太陽の赤道面に円盤状に集ま

り、それが集積して多くの惑星が誕生した。約46億年前に誕生した地球は、太陽に近いために比較的重い元素が集まって形成されたので、鉄がその構成の主体となっている。重力によって「中心核」「マントル」「地殻」の3つの層から成る構造ができ上がった。

地球は、鉄、ケイ素、マグネシウムの酸化物から成り立ち、最も量が多いのが鉄で、総重量の約34.6%を占める。このように地球は鉄の塊だ。地球の誕生当時大気には酸素はなく、酸性雨により地表の鉄分が溶けて海に入り、約27億年前になると「シアノバクテリア」が生まれ、光合成により海中に酸素を出し、その酸素と鉄が結び付いて固体の酸化鉄となって沈澱して堆積し「鉄鉱床」を形成した。そして約15億年前に、その鉄鋼床が海底の隆起によって地上に現れ、いわゆる鉄鉱石の鉱山ができあがった。

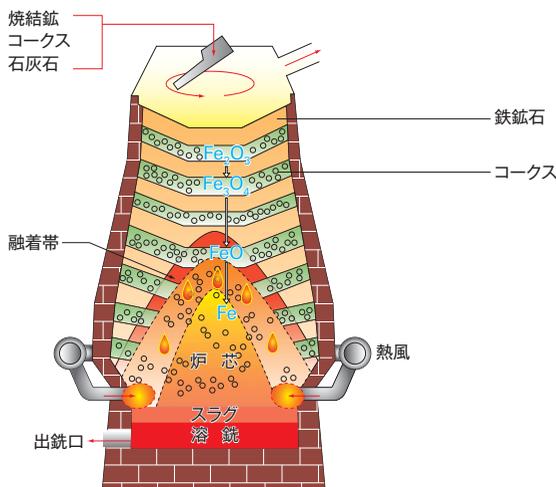
鉄鉱石の可採埋蔵量は2320億トンで、他の金属に比べると桁違いに多い。

●地球上の可採埋蔵量

種類	可採埋蔵量(億トン)
鉄鉱石	2320
ボーキサイト	280
銅	6.1
亜鉛	3.3
鉛	1.2
ニッケル	1.1

山崎一正「モノづくりの原点——科学の世界VOL.15 鉄の起源」
[NIPPON STEEL MONTHLY]2014年10月号(新日鐵住金)より(要約)

●図表1-1-2-4 高炉のしくみ



高炉の中では、炉頂から炉底に鉄鉱石が下りる過程で、個体、気体、液体が共存するダイナミックな反応プロセスが進行している。

- [還元反応1] (200-800°C)
 $3\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} \rightarrow 2\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO}_2$
- [還元反応2] (300-800°C)
 $\text{Fe}_3\text{O}_4 + \text{CO} \rightarrow 3\text{FeO} + \text{CO}_2$
- [還元反応3] (400-1000°C)
 $\text{FeO} + \text{CO} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}_2$
- [還元反応4] (950°C以上)
 $\text{FeO} + \text{C} \rightarrow \text{Fe} + \text{CO}$

奥野嘉雄「モノづくりの原点——科学の世界VOL.8 鉄鉱石から鉄を生み出す(上)」【NIPPON STEEL MONTHLY】2004年1・2月号(新日鐵住金)より

1-1-3 普通鉄から高級鉄へ

1 鉄の歴史

鉄は数千年前から造られて多くの鉄製品を生み出したが、なぜ鉄の铸件はあまり造られなかったのであろうか。ヒッタイト時代の製鉄法も日本のたたら製鉄も温度が低く、炭素量が少ない「錬鉄」を造る直接製鉄法であり、鉄(純鉄の溶融温度は1536°C)を溶融させるまで温度を上げることも難しかった。また鉄を構造物や鉄管など大量に造ることも産業革命までは難しかった。鉄は炭素量が約2%以上、溶解温度が約1150°Cと低く、湯流れ(溶けた鉄の流動性)も良いことから铸造には向いていた。鉄は、炭素、ケイ素などを含む合金であり、主な成分の役割を図表1-1-3-1、鉄の種類と成分を図表1-1-3-2に示す。

古代中国では、戦国時代(紀元前476~221年)に鉄の铸造は始まっていたが、現在の鉄と比較するとチル化した黒鉛の晶出(液体から結晶が出てくること)がない硬くてもろい組織であったために、鉄の铸造技術がヨーロッパに14世紀まで伝わらなかった原因の一つとも考えられる。

●図表1-1-3-1 鑄鉄の主要5成分

成分	鑄鉄に与える影響
炭素 (C)	ケイ素が約1%以上で炭素が増すと、強さと硬さが減少し湯流れが良くなる。
ケイ素 (Si)	強さ、硬さが減少し湯流れが良くなる。
マンガン (Mn)	強さをいくらか増し、硫黄の悪影響を減らす。
リン (P)	硬さを増し湯流れを良くする。
イオウ (S)	材質を脆くし健全性を害する。

●図表1-1-3-2 鑄鉄の種類と主要5成分

(単位:%)

成分	普通鑄鉄 ^{注1}	高級鑄鉄	ダクタイル鑄鉄
炭素 (C)	2.5~4.5	3.2~3.8	2.8~3.7
ケイ素 (Si)	<3.0	1.4~2.2	1.7~2.5
マンガン (Mn)	0.3~1.0	0.4~0.6	0.2~0.4
リン (P)	0.5以下	0.5以下	0.1以下
イオウ (S)	0.02~0.13	0.1以下	0.015以下

注1 普通鑄鉄の成分は定かではないが一例を紹介する。リンは高級鑄鉄と同じとした。

英国産業革命の推進役の一つに製鉄業がある。大量の鉄需要に必要な木炭が不足し、石炭が利用されるようになったが、石炭に含まれる硫黄分が鉄をもろくしたため、1709年にエイブラハム・ダービー1世が石炭を蒸し焼きにしたコークスを用いたコークス製鉄法を開発し、1750年ごろから英国全土に普及した。1760年代にジョン・スミートンが高炉用の送風機を改良し、これにワット式蒸気機関を用いることで送風がより効率化され、1784年になるとヘンリー・コートが攪拌製錬法を發明し、より良質な錬鉄が生産できるようになった。英国では、鉄の生産が需要に追いつかないため、スウェーデンから炭素をほとんど含有しない錬鉄を輸入し、炭素を加えるという方法で鋼の生産を行っていた。

鉄の本格的な大量生産は、溶けた銑鉄から鋼を大量生産できる安価な製法をヘンリー・ベッセマーが1855年ごろに發明してからである。ベッセマー転炉は、溶鉄に空気を吹き込んで酸化還元反応を起こし、鉄から不純物を取り除く方法で、炭素の燃焼によって鉄の温度も上がり、溶けた状態を保持しやすいメリットもあった。

ケイ素の含有量の高いチル組織がない鑄鉄ができるのは、1779年に英国でアイアンブリッジが造られたところからである。産業革命の18世紀まで、鑄鉄は硬くてもろいものとされ、粘^{ねば}りがあり、焼き入れて硬くできる鍛造品の鉄が重宝された。鑄鉄

の性質を大きく変えたのは、ケイ素含有量の増加であり、チル化しない鑄鉄により、鑄鉄は産業を支える重要な素材へと変化していき、橋や大砲など多くの鑄物製品が造られた。

2 鑄鉄と鋼の違い

鉄にもいろいろな種類があり、特に鑄物を造るための鑄鉄(Cast iron)と構造材としてよく用いられる鋼(Steel)について簡単に紹介する。

ひと口に鉄といっても各種の不純物を含んでいる。例えば炭素、ケイ素、マンガン(Mn)、リン、硫黄、銅(Cu)などである。炭素は最も重要な役割を持っており、鉄材の分類の基本となっている。

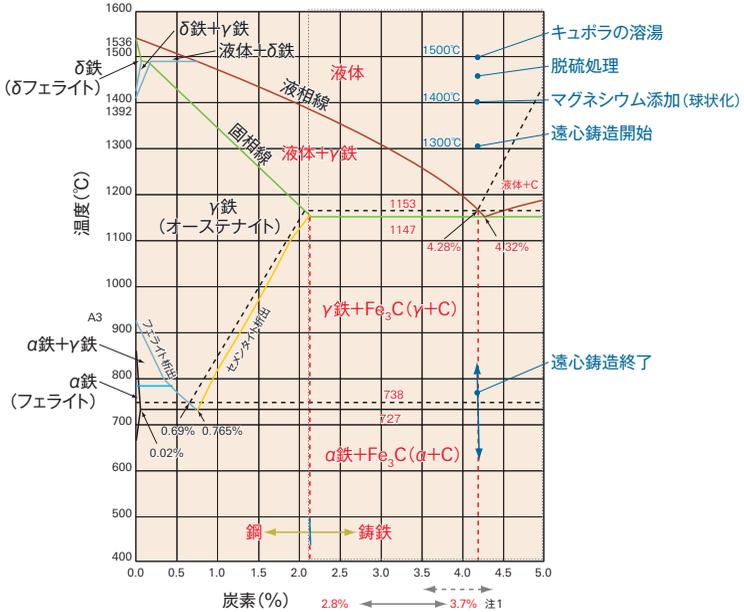
鑄鉄とは鉄(Fe)を主成分とし、炭素を2%以上含有する鑄物の製造に用いる鉄-炭素(Fe-C)系合金である。厳密には、炭素をオーステナイト(γ 鉄)の最高固溶炭素量(C2.0%)まで含むものを鋼と呼び、炭素量が2.0%を超えるものは鑄鉄と定義される。鑄鉄ではこのように比較的多くの炭素が含まれているので一般的は基地(鉄部)に黒鉛として晶出する。もっとも炭素2.0%を境にして、性質が急激に一変するのではなく、また、他の元素の存在によっても多少影響される。鑄鉄は、融点が比較的低いことや、溶湯(鉄の溶けたもの)の流動性が高いために鑄物を造るのに適している。

鑄鉄には、ねずみ鑄鉄(片状黒鉛鑄鉄)である普通鑄鉄(黒鉛の形状がみみず状)と高級鑄鉄(黒鉛の形状が菊の花びら状)などがあり、基地組織中の黒鉛が球状化しているものはダクタイル鑄鉄と呼ばれ、黒鉛部にかかる応力集中が小さいため機械的性質が優れている。なお、「JIS G 5526-2014 ダクタイル鑄鉄管」に規定されている機械的性質は、引張強さ420N/mm²以上、伸び10%以上となっている。

●図表1-1-3-3 鑄鉄、ダクタイル鑄鉄、鋼の違い

種 類	炭素量	融 点	溶湯の流動性
鑄鉄	2%以上	約1150℃～1200℃	高い
ダクタイル鑄鉄	2%以上	約1150℃～1200℃	中間
鋼	2%未満	約1400℃以上	低い

● 図表1-1-3-4 鉄の状態図 小管(金型管)の事例

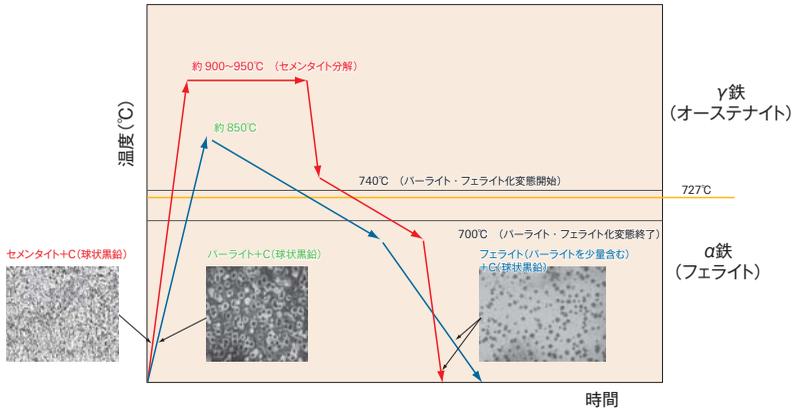


備考 ←→ は、ダクタイル鑄鉄の炭素量を示す。(C=2.8%~3.7%)
 ←---→ は、炭素当量(CE)=炭素量(C)+シリコン(Si)×1/3を示す。
 Si=2%とすると、CE=3.5%~4.4%となる。

鉄の状態図は、炭素量と鉄の温度との関係を示したものである。グラフは、Si=0%の場合を示し、鑄鉄は点線で示してある。

青色で示す溶湯から遠心鑄造の温度帯などは、呼び径などにより異なるので目安である。
 また遠心鑄造時に急冷するので、鉄の基底はセメンタイトもしくはパーライトになる。

● 図表1-1-3-5 焼鈍のイメージ図



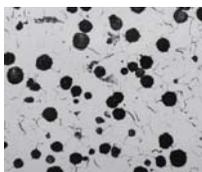
備考 赤線は比較的小さな呼び径で鑄造後に鉄の基底がセメンタイト化した場合を示す。
 青色は比較的大きな呼び径で鑄造後に鉄の基底がパーライト化した場合を示す。
 加温開始温度や焼鈍時間は製造工程や呼び径などにより異なる。
 焼鈍炉では、γ鉄とα鉄の境界である727°C前後でゆっくりと冷やすことで、フェライト・パーライト化を行う。

●図表1-1-3-6 鋳鉄、ダクタイル鋳鉄、鋼(SS400)の組織

高級鋳鉄

ダクタイル鋳鉄

鋼(SS400)



1-1-4 ダクタイル鉄管の誕生

日本において普通鋳鉄管が製造されるようになったのは、明治初期のことである。その後、昭和に入って高級鋳鉄管が製造されている。そして、より強靱なダクタイル鉄管が登場するのは戦後のことである。その開発の軌跡を宮岡正「鋳鉄管からダクタイル鉄管へ」(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より要約して紹介する。

●図表1-1-4-1 日本における鋳鉄管の材質の変遷

鋳鉄管の材質	年度	抗張力または引張強さ ^{注1}	規格名
普通鋳鉄管 (抗張力20kg/mm ² 未満) 1890(明治中期)年代～ 1940(昭和15)年代ごろ	1914(大正3)年	18000 lb/in ²	上水協議会規格
	1925(大正14)年	12.5kg/mm ²	上水協議会規格
高級鋳鉄管 (抗張力20kg/mm ² 以上) 1930(昭和5)年代～ 1970(昭和45)年代中ごろ	1933(昭和8)年	25kg/mm ²	水道協会規格
	1954(昭和29)年	20～25kg/mm ²	JIS G 5521
ダクタイル鋳鉄管 (球状黒鉛鋳鉄) 1954(昭和29)年～	1959(昭和34)年	36kg/mm ²	鋳鉄管協会仕様書
	1961(昭和36)年	38kg/mm ²	JWSA G 105
	1973(昭和48)年	40kg/mm ²	JWWA G 110
	1982(昭和57)年	42kg/mm ²	JIS G 5526
	1989(平成元)年	420N/mm ²	JIS G 5526

注1 規格書の単位を使用した。lb/in²はポンド/スクエアインチを示す。

1 高級鋳鉄管の開発

第一次世界大戦1914～1918(大正3～大正7)年末期、ドイツでは鋼製の砲弾が間に合わなくなってきた。これを急ぎ補充するために、大量生産できる鋳鉄に目をつ

け、鑄鉄の強度向上の研究に総力を挙げた末、「高強度鑄鉄」を開発して砲弾の製造に利用した。

このことがきっかけとなり、戦乱が収まった後も世界列強は兵器の高度化、大型化を競うようになった。特に鑄鉄はあらゆる兵器や産業機械の基礎素材でもあったため、世界の冶金学界で鑄鉄の性能向上の研究熱が高まった。特にドイツ、英国、日本では著名な学者が成果を上げ始めた。

近代の鑄鉄においては、大きな発明の一つとして、1920(大正9)年代にG.F.ミーハンとO.スモリーが発明した高強度片状黒鉛鑄鉄の製造方法がある。この技術により、高強度鑄鉄が安定的に造られるようになった。

普通鑄鉄管は、キュポラ(鉄を溶かすためのシャフト型溶解炉)で鉄のみを溶解していた。図表1-1-4-2のように普通鑄鉄の白く見える基地(黒鉛以外の鉄部)をフェライト組織という。その中にみみず状に黒く見えるのが黒鉛である。普通鑄鉄は、強度のない黒鉛が長く大きいため、みみず状黒鉛が鉄部を分断するようになり、全体的に強度が弱くなる。

普通鑄鉄管は衝撃などに弱いという短所があり、これをなんとか改善したいというのが、水道界挙げての悲願であった。そこで関係者の間では、世界の趨勢に遅れないために鑄鉄の強度向上を大いに研究していた。その結果ようやく昭和の初めごろから成功を収めつつあった。そして1930(昭和5)年には高級鑄鉄管の製造に成功し、1933(昭和8)年には日本水道協会の「水道用高級鑄鉄管規格」となり、従来の管のもろさが改善され、内圧、外圧に対する安全性が向上した。

高級鑄鉄の場合は、黒鉛の量が少なく、ちょうど菊の花びらを一枚一枚ばらまいたように見え、かつ黒鉛の形も小さい。灰色に見える基地はパーライト組織といい、パーライトはフェライトよりも強度がある上に、鉄部の連続性も高い。

このように基地組織の違いと黒鉛の量およびその形状と分散の仕方の違いが普通鑄鉄管と高級鑄鉄管の強度の違い(2倍)となっている。

●図表1-1-4-2 普通鑄鉄管と高級鑄鉄管の組織

普通鑄鉄管



高級鑄鉄管



具体的には、従来の上水協議会規格では鑄鉄管の抗張力は $12.5\text{kg}/\text{mm}^2$ と決められていたものを一挙に $25\text{kg}/\text{mm}^2$ へと上げることができた。

このような高級鑄鉄管を造ることができたのも、キューポラで溶解する際の配合に不純物の少ない厳選した鋼片(炭素量が少ない)を加え、その量の加減、それを溶解するための温度を高める技術、型への鑄込温度を上げて湯流れを良くする手段、炉や鑄物砂の耐火度の改善など一連の緻密な研究を地道に積み重ねた成果である。

2 ダクタイル鉄管の幕明け

もう一つの大きな発明としては、1947(昭和22)年に英国においてH.モンロー、W.J.ウィリアムらが発見したカルシウム-ケイ素(Ca-Si)などを用いた球状黒鉛鑄鉄の生成である。翌年には、H.モンロー、グラントらがセリウム(Ce)添加による球状黒鉛鑄鉄の生成を報告した。これとほぼ同時期にA.P.ガニュバン、K.D.ミルスとN.B.ピリングらが、安価なマグネシウム(Mg)添加による球状黒鉛鑄鉄の生成を報告した。この発見により、粘りがありかつ強靱な強度(高級鑄鉄の1.6倍)を有するダクタイル鑄鉄の製造ができるようになった。

茶話 02

『キューポラのある街』

ご年輩の方は、1962(昭和37)年に『キューポラのある街』という映画が封切られたことを覚えておられるかも知れない。世の「サクリスト」ならずとも忘れ難い映画であった。黒煙とともに赤い焔ほのおをメラメラと吹き上げるキューポラ(cupolafurnace)は、日本の戦後復興の、それに続く高度成長の象徴のひとつでもあった。当時の若い現場の鑄造技術者にとっては、キューポラのあの赤い焔しゅつとうこう、出湯口からほとぼしり出る赤熱の溶鉄、飛び散る汗玉かんだま(こぼれ散る溶鉄の小滴)を見れば、血湧き肉踊るのを覚えたものであった。「やけど」などはちょっとした勲章みたい

なもの。現代では時間当たり100トンの溶湯を造り出す巨大なキューポラも活躍しており、黒煙も粉塵も出ず、大気を汚すガスも出さないクリーンシステムに変革されているが、鉄を溶かす基本原理は今も昔も変わらない。

キューポラが普及する以前の溶鉄炉が甑こしきと呼ばれていたが、これは米を蒸す甑と形が似ていたことに由来する。キューポラの語源も溶解炉ではなく、円塔を意味するラテン語cupulaからきている。水を飲むコップも形が似ており、同じ語源からきたといわれている。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より(抜粋)

① GHQ(ゼネラル・ヘッド・クォーター)の図書館

GHQとは、あのマッカーサー元帥の最高司令部のことである。1945(昭和20)年8月30日、黒いサングラスにパイプをくわえて丸腰で厚木飛行場に降り立った彼の姿写真は、脳裏に焼きついたままで、消そうにも消しようがない年配の方も多と思う。以後、皇居前の第一生命ビルに本拠を構え、占領下の日本の政治、経済、教育その他一切を支配したのが、このGHQであった。

一方の日本はといえば、多くの人々が喰うに食なく、住むに家なく、働くに職なく、希望もなく、りゅうげんひご流言蜚語こそあったが諸外国の情報はまったくなく、ただただ右往左往してさまよっていた。

そんな中で、GHQの管理下にCIE図書館というのがあった。CIEとは、Civil Information & Education Section(民間情報教育局)のことで、その図書館は情報飢餓の中にあって、米国社会を伺い知る唯一の窓口であった。

② 一冊の技術誌が呼んだ春の嵐

1949(昭和24)年の春、CIE図書館の書棚に1冊の技術雑誌が現われた。『IRON AGE』の1949年2月号である。世界最大のニッケル生産会社インターナショナル・ニッケル社のミルスらが発表した論文が載っていた。これぞダクタイル鋳鉄発明の衝撃的な発表であった。

実はその前年の1948(昭和23)年5月のAFS(米国鋳物協会)の大会において公表されたものであるが、9カ月後にペーパーに載って日本にやってきたのであった。

この論文を見た日本国中の鋳鉄に関係する学者、研究者、企業の間には一大セッションが巻き起こったのであった。その論文は簡潔なものであった。要約すると、論文の前半は「ねずみ鋳鉄の溶湯にマグネシウムまたはその合金を適量加えて、鋳鉄中に残留するマグネシウムの含有量を0.04%以上とすれば、鋳鉄中の黒鉛が球状化した」というのである。

③ 「菊の花びら」から「ボール」へ

そもそも鋳鉄中の黒鉛とはどこからきて、どんな役目を持っているのだろうか。ひと口に鋳鉄といっても、鉄100%でなく、種々の不純物、例えば炭素、ケイ素、マンガン(Mn)、リン、硫黄、その他を含有することは先に述べた通りで、特に炭素は鋼と鋳鉄の区別をつける主人公である。

同じ鑄鉄においても、炭素は、その量が多くなればなるほど、鑄鉄の溶融温度が低くなり、つまり湯流れが良くなり鑄造しやすくなるという大切な役目を果たしている。そしてこの炭素は、最終的には鉄との化合物としてではなくて、大部分が黒鉛結晶として晶出してくる。

では、ミルスらの発明、つまり黒鉛がボール状になったということが、なぜ嵐のようなセンセーションを巻き起こすのか、その意義はどういうことなのか。

すでに述べたように、黒鉛の形がみみず状よりは菊の花びら状の方が鑄鉄の強度は強くなった。それをさらに追究するなら、球状つまりボールのようにするのが窮極である。なぜならば、同じ黒鉛量でも板状や片状よりは球状の方が表面積が最小になるからである。言い換えると、黒鉛の球状化ということは学者・技術者の長年の夢であり、理想であった。それが突如としてミルスらによって現実のものとなったので大騒ぎになったわけである。

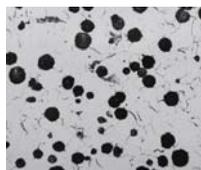
図表1-1-4-3にダクタイル鑄鉄(球状黒鉛鑄鉄)の顕微鏡写真の一例を示した。高級鑄鉄のそれと比べると違いがよく分かる。

『IRON AGE』誌の論文の後半は次のように続く。「このようにしてできた球状黒鉛を有する鑄鉄は、鑄放しで40kg/mm²以上の抗張力と3%以上の伸びを有している。よってこれを“ダクタイル鑄鉄Ductile Cast Iron”(略してDCI)と命名した」と。ダクタイル(Ductile)とは、延性のある、強靱なという意味の形容詞である。

●図表1-1-4-3 ダクタイル鑄鉄と高級鑄鉄の組織

ダクタイル鑄鉄

高級鑄鉄



4 ダクタイル鑄鉄発明の動機

では次なる興味は、当然ダクタイル鑄鉄発明の動機はなんであったのかということになる。1968(昭和43)年秋10月、DCIライセンス国際会議が京都洛北宝ヶ池の国際会議場で開催された。発明者のミルスも初来日し、世界各国から集まった学者、研究者、経営者らから尊敬と感銘をもって迎えられた。会議は盛大で、かつ極めて友好裡に大成功を収めた。

さて、会議終了後の一日、久保田鉄工(現クボタ)はミルスを武庫川工場(現阪神工場)に招き懇談する機会があった。その折、若い技術者達を前にしてミルスの語った話の概要は次のようであった。

米国でも第二次大戦中に重要基礎資源であるクロム (Cr) が不足した。当時インターナショナル・ニッケル社はニハードと称する4.5%Ni-1.5%Cr合金鑄鉄を生産していたが、そのクロムも潤沢に使えないことになりかねないために、その代替品を考えることになった。そこで、大学を出て3年目の若い冶金技術者であるミルスに特命された。ミルスはニハードのクロムに代えて、ジルコン ($ZrSiO_4$)、セリウム、ビスマス (Bi)、銅、テルル (Te)、マグネシウムなどを試みる実験計画を上司に提出したが、「マグネシウムは危険だから駄目」とはねつけられたが屈せず、ついに彼の熱意に負けて「お前に任せる」ということになった。実験は進み、ある日マグネシウムを使ったところ、爆発的な反応を起こした。飛び散った鉄の一部を拾い上げ、顕微鏡で組織を調査しているうちに黒鉛が球状化しているのを発見した、という訳であった。

研究の過程においては、ちょっとした事象をついそのまま見逃してしまったり、あるいは気が付いたにしても特異現象、例外的事象として顧みない例が多いものである。それを徹底的に追究したところに思いがけない大発見の機会がひそんでいた訳であり、ミルスの偉大さのゆえんもこの点にあった。

茶話

03

ダクタイル鑄鉄との出会い

私が学生の頃、1949 (昭和24) 年前後、京都大学の大学院で金属の流動性、つまり熔融状態になったときの湯流れ (鑄造性) の研究を行っていた。毎日、鉄やアルミニウムを溶解し、その成分や溶解温度を変えて、別に考案した測定器に鑄込んで、その流動性を定量的に測定することを行っていた。例の『IRON AGE』誌を見たのはその頃であった。さっそく試してみようということになった。マグネシウム (Mg) の比重は1.74で鉄 (Fe) の7.2に比べると遥かに軽く混合させにくい。さらにマグネシウムの熔融温度は約650°C、沸騰温度は1100°Cで、いずれも鉄の熔融温度よりも遥かに低い。その上、非常に発火しやすい。これはご存知のよ

うに、ひと昔前までは写真を撮るときにポツとマグネシウムの粉を発火させていた通り。つまり爆発する。その危険は十分解っているのに、それなりの対策を考え、溶鉄の上にマグネシウム片を添加する瞬間に、るつぼの上から蓋をするようにして実施したが、想像以上の爆発反応が起こり、溶鉄はすべて飛び散り、サンプルをとることすらできないで、手足のやけどだけが残った次第であった。

その後、少しずつ工夫しながら試行錯誤しているうちに、ようやく丸くなった黒鉛にお目にかかることができるようになった。懐かしい思い出である。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ) より (抜粋)

5 ダクタイル鉄の工業化

インターナショナル・ニッケル社は20Ni-50Mgを使ったようであるが、当時ニッケルはトン当たり数百万円もする金属で、とてもやすやすと使えるものではない。Fe-Si-Mg合金も考案されたが、やはり危険も伴うが純マグネシウムがもっとも経済的という結論になった。

原料鉄については純粋度ということが問題になり、できるだけ不純物の少ない鉄銑を使わないとなかなか黒鉛が球状化しないので当初はスウェーデン木炭銑を使って実験をしていた。しかし工業生産となると価格、量共に不適合である。結局、有害な不純物の限界を規定した特別な「ダクタイル銑」なるものを高炉メーカーに造ってもらって、もっぱらこれを使用した。もちろん普通銑よりは高価である。

黒鉛の球状化を阻害する元素、それは何と何かを特定することが、また大変な根気のいる研究作業であった。一番の阻害要因は硫黄である。普通の鉄銑中には0.08～0.1%含有されている。これを脱硫工程といって、一般には窒素ガスでカーバイド(CaC₂)粉を溶湯中に吹き込み硫化窒素の形で分離除去して、少なくとも0.005%以下にはしておかねばならない。

そのほかに悪戯いたずらをする元素は、アルミニウム(Al)、チタン(Ti)、鉛(Pb)、砒素(As)、アンチモン(Sb)、ビスマス、ジルコン、テルル、錫(Sn)等々数多いが、いずれも0.00数%以下に抑えた原料を使わねばならないことが次第に分かってきた。

さて合金を使えば反応が穏やかで、确实、安全であることは分かっているが、なにしろ危険な金属なので安易に扱うわけにはいかない。マグネシウムの融点は650℃、気化温度は1100℃、比重は1.74である。しかも、昔からおなじみの写真のフラッシュに使われていたことから分かるように、極めて発火しやすい金属である。一方の溶湯の温度は、低くても1450℃はある。従ってマグネシウムを溶湯の上に不用意に投げ込んだりすると爆発的な反応を起こし危険極まりない。そこでいくつかの方法が試みられた。

取鍋とりべ(溶湯を入れる容器)の底にポケットを設けてマグネシウム塊を敷き、上から溶湯を注ぐ方法、黒鉛製または鉄板製の孔あき籠かごにマグネシウムを詰め込み、棒の先に取り付け、取鍋蓋の真中に設けた孔あなにさし込んでおき、取鍋に溶湯が溜められた時点でふたをして棒を湯の底まで押し込む方法など各種の工夫が試みられた。

それぞれ一長一短あるが、鉄管のように大量連続生産するのに適した方法として

圧力添加法というのが考案されて実用されている。高压下では物質の蒸発気化温度が上昇するという一般物理現象を利用したもので、取鍋を高压容器にしておき、溶湯が溜められた時点で窒素ガスを封入、マグネシウムの気化温度を溶湯の温度近くになるように雰囲気の高圧を調節してやるのである。その上でピストンの先に取り

茶話

04

ダクタイル鑄鉄の特許

Column

インターナショナル・ニッケル社はいち早く全世界の主要国に特許を申請していた。日本で特許が成立したのは1951(昭和26)年である。

これを許諾するについては厳しい条件を加え、たとえばある一定以上の試験設備を現有していること、また、ある一定数以上の専任研究者が在籍していることなどをいちいちインターナショナル・ニッケル社の代理人が現場調査の上、厳選するほどの慎重さであった。

こうして1952(昭和27)年の末頃から1953(昭和28)年にかけて7社が供与された。それはクボタ、東芝、トヨタ自動車、日立製作所、新三菱重工、豊田自動織機および三菱造船であった。その後、時間をかけて逐次追加されている。

先般ある親しい人から率直な指摘をいただいた。「ダクタイル鉄管はアメリカから特許を買ってきたのだから、なにも苦労なんかなかったのじゃないの?」と。それを聞いて私は「ハッ」と気付いた。これは我々が迂闊だった。乗り越えねばならなかった難関の数々の説明が足りなかった。ピーアールが足りなかったなと反省させられたのだった。

確かに製品特許であればすでに出来上がった製品があり、その作り方、扱い方のノウハウがついており、その通りやっておれば間違いない、勝手なことすれば却って特許に反するというのが一般通念であろう。

ところがインターナショナル・ニッケル社のダクタイル鑄鉄特許は、あくまで基本特許であり、極端な言い方をすれば、黒鉛が球状化した鑄鉄の顕微鏡組織そのものが特許であり、特定の製品、つまり管であろうと、機械鑄物であろうと、自動車部品であろうとなんでもよい、どんな作り方でもよい、とにかくマグネシウムまたはその合金を使ってダクタイル鑄鉄「黒鉛が球状化した鑄鉄」を作れば特許にかかりますよ、ということである。

裏返せば、特定の製品を作るノウハウは一切ついていない特許である。したがって作る側で一つ一つ暗中模索、試行錯誤、理論究明をしかかからねばならなかった。すべてがまさに未知との遭遇にほかならなかった。さればこそ幾多の危険もおかし、言い知れぬ苦難をも乗り越えねばならなかったわけである。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より(抜粋)

付けておいたマグネシウムの塊を湯の中に押し込んでやれば、密閉容器内で反応は静かに進むという仕掛けである。

以上の他にもまだまだ解決しなければならなかった問題は多くあったが、それら要素技術とその組み合わせを一つ一つ綿密に、ちょうどもつれた麻をときほぐすようにして解決していったのである。その間には危険も伴い、失敗もあり、事故も起こし、神経をすり減らすような長い苦しい道のりであった。

日本が1945(昭和20)年の終戦を迎えるころには、鑄鉄の技術は大きく進歩しており、戦後、諸外国の技術をさらに取り入れ、改良し、世界でトップレベルの鑄造技術を確立していった。

1-2

鑄物の歴史

1-2-1 古代の鑄物

1 鑄物の始まり

鑄物は紀元前約3600年ごろにメソポタミアで始まったといわれる。青銅を溶かし型に入れて造った。紀元前19～18世紀の鑄物、鑄型がトルコ・アナトリア博物館に保存されており、紀元前23世紀ごろには、ロストワックス法(蝟^{ろうもひ}模型を使った鑄造法)で繊細な鑄物が造られている。また、紀元前14世紀ごろのエジプト・ルクソール西岸レクミラ墓の壁画に鑄物工房の様子が残されている。

- 図表1-2-1-1 石製鑄型
紀元前19～18世紀
トルコ・キュルテベ出土



トルコ・アナトリア文明博物館所蔵、
『KÜKTEPE KANİŞ/NEŞA』
(The Middle Eastern Culture Center in Japan, 2003) より

- 図表1-2-1-2 ロストワックス法による
鹿の鑄物 紀元前23世紀ごろ
トルコ・アラジャホユック出土



トルコ・アナトリア文明博物館所蔵、
『トルコ文明展』図録(中近東文化センター、1985年) より

- 図表1-2-1-3 エジプト・ルクソール
西岸レクミラ墓の壁画にある
鑄物工房の様子 紀元前14世紀ごろ



©AKHT

溶けた鉄を鋳型に流し込んで鋳造する技術は、中国では春秋時代(紀元前770～紀元前403年)ごろに開発された。しかし、鉄製の鋳物は強度が低く大砲などの製造に向かないため、ヨーロッパでは鉄を叩いて造る鍛造が中心で、鉄製の鋳物は広くは普及しなかった。

2 日本の鋳物

日本の鋳物は、最初は製品として中国大陸から渡来していた。弥生時代中期の紀元前200年ごろ鋳物の製造技術を持った人たちが移住すると、銅鏡、銅剣、銅矛、銅鐸どうたたくなどが国内で造られるようになった。福岡県の平原遺跡ひらばるから出土した大型内行花文鏡ないこうは弥生時代の終わりに造られたと推定されており、日本で製作された銅鏡では最大級のものである。

●図表1-2-1-4 平原遺跡から出土した内行花文鏡



国宝(文化庁保管)「内行花文鏡」
糸島市立伊都国歴史博物館所蔵・
写真提供

●図表1-2-1-5 荒神谷遺跡から出土した銅剣、銅矛、銅鐸



左から「荒神谷銅剣」
「荒神谷9・10号銅矛」
「荒神谷1号銅鐸」
文化庁所蔵、
島根県立古代出雲歴史博物館写真提供

岡山県にある金蔵山古墳では、古墳時代中期の400年ごろの鉄器が多く出土しており、その中の鉄斧てつぶは、京都大学の調査では鉄製鋳物と考えられている。奈良時代の8世紀前半には、東大寺の「奈良の大仏」をはじめとする仏像や梵鐘ぼんしょうなどが造られるようになった。また、栃木県宇都宮市の清巖寺には1312(正和元)年に造られた日本最古の鑄鉄製塔婆たばが残されている。

●図表1-2-1-6 金蔵山古墳の鉄器
400年ごろ



倉敷考古館所蔵

●図表1-2-1-7 日本最古の鑄鉄製塔婆
1312(正和元)年



清蔵寺所蔵

1-2-2 鉄製鑄物の発展

1 産業革命と鉄製鑄物の普及

英国のエイブラハム・ダービー1世が1709年にコークスを用いた製鉄技術を開発したことにより、チル組織のない強度の高い鑄鉄が大量生産できるようになった。1779年には、世界で初めての鑄鉄製の橋であるアイアンブリッジが建造されている。当時はワットの蒸気機関の発明によって産業革命が始まったころである。強度の高い鑄鉄を大量に必要とする橋をはじめ大砲や水道管などの鑄鉄製品が造られ、産業や生活を支える重要な材料として広く普及した。

日本初の鑄鉄製の橋となる兵庫県朝来市の神子畑鑄鉄橋が造られたのは約100年後の1885(明治18)年のことである。神子畑鑄鉄橋は2007年、近代化産業遺産として登録され、現在も使われている。

●図表1-2-2-1 アイアンブリッジ
1779年



アイアンブリッジ 渓谷博物館写真提供

●図表1-2-2-2 神子畑鑄鉄橋
1885(明治18)年



朝来市役所写真提供

2 大砲と鉄製鑄物の発展

大砲はそれまでは主に青銅で造られていたが、コストが高く、強度が低かったので、鑄鉄製の大型砲の開発が行われるようになり、1543年には英国のサセックスにおいて、鑄鉄砲の製作に成功している。当時の戦史に次の一文がある。「いかなる城壁も鉄の弾丸には敵わなかった。例えば4メートルの厚さをもった城壁や、岩壁上の近づき難い位置などのために、中世には不落と思われた城砦も、ひとたび鉄製の砲弾が城壁をかすめて通ったならば、幾日ならずして廢墟と化して……」とある。今日、ヨーロッパ各地の諸城を巡ってみても、大抵の城には眼下の敵を見おろせる位置に大型砲が据えられている。多くは後世のものが多いが、中には見事な装飾や城主の名を鑄出した古い鑄鉄製のものも見る事ができる。

中国の鑄鉄製大型砲の誕生は、ヨーロッパよりも早く、一番古い銘が入っているのは明の1377(洪武10)年製の口径21cm、長さ1mのものといわれている。ちなみに火薬は、唐時代に中国で発明され、硝石、硫黄、木炭からなる黒色火薬とされる。

日本で初めて使われた大型砲は、1576(天正4)年にポルトガル人から大友宗麟に贈られた佛狼機砲で、「国崩し」と命名され、現在は靖国神社境内に展示されている。現存する最古の日本製の大型砲も靖国神社に収蔵されており、「慶長十六年堺鉄砲鍛冶芝辻理右衛門」との銘がある。これは徳川家康の命で1611(慶長16)年に造られ、大阪夏の陣でも使われたといわれている。

江戸時代になると大型砲は顧みられなくなり、幕末に鹿児島、佐賀、長州、水戸などで大型砲の鑄造が行われたが、たたら製鉄法の銑鉄ではうまくいかなかった。たたら銑は低温精錬のためケイ素(Si)やリン(P)が非常に低く、炭素(C)も低めになりがちで、白銑(炭素がセメントイトとして多く出ている鑄鉄)になりやすかったためだと考えられる。多くの大型砲を造ったのは佐賀藩のみであり、江戸港や長崎港の防衛に使用されたが、銑鉄は輸入銑を使用したといわれている。

●図表1-2-2-3 エジンバラ城の
18ポンド砲 1810年ごろ



山田洋二氏写真提供

●図表1-2-2-4 佛狼機砲
1576(天正4)年ごろ



靖国神社遊就館所蔵・写真提供

その後、各地に反射炉ができたが、原料としてたたら製鉄法のズク(不純物を含む銑鉄)を用いており、大砲はうまく造れなかった。

おおしまたかとう
大島高任は、1857(安政4)年にU.ヒューゲニン著の『ロイク王立鉄製大砲製造所における鑄造法』を基に、製鉄に適した鉄鉱石を産出する岩手県釜石市の大橋に西洋式高炉を建設し、日本で初めて鉄鉱石を用いた連続出銑しゅっせんに成功した。さらに、1858(安政5)年に大島の指導により橋野に高炉が建設される。生産された銑鉄は水戸藩那珂湊反射炉へと送られ、大砲が製造された。

1880(明治13)年には25トン高炉2基を有する官営製鉄所が設立されたが、2年半で失敗に終わった。この官営製鉄所の払下げを受けた田中長兵衛は、横山久太郎とともに49回の試行錯誤の末、1886(明治19)年に連続出銑に成功する。田中らは翌1887(明治20)年に釜石鉱山田中製鐵所(現新日鐵住金釜石製鐵所)を設立して銑鉄の供給を開始した。これが日本の製鉄事業の幕開けである。

茶話

05

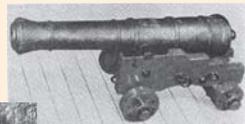
キャプテンクックの大砲

鑄鉄の耐食性を示すトピックスを紹介する。1770年6月11日、オーストラリアの発見者であるキャプテン・クックが指揮するエンデバー号がオーストラリアの北東岸で暗礁に乗り上げた。離礁するため、やむなく彼は船荷を海中に投入し、船を軽くして危うく危機を脱出、オーストラリア大陸のクックタウンに上陸することができた。その際、海中に投入された船荷の中には6門の鑄鉄製の砲が含まれていた。この投棄された砲を引き上げる計画が多くの人々によってなされたが全ては徒労に終わった。

しかし1969年1月、米国のV.カウフマン率いるフィラデルフィア自然科学アカデミーの探険隊が199年ぶりにこれらの砲を発見し、引き上げることに成功した。これらの砲は

オーストラリアの造船運輸省により詳細に調査復元された。それによると鑄鉄製の砲は、約200年もの間海水にさらされながらも、鑄出しマークと刻印が良好な状態で残っており、腐食の影響はあまり受けていなかった。

オーストラリア国立海洋博物館によって砲は保存され展示されたが、錨と砲の一部はクックタウンのジェームス・クック歴史博物館にも展示されている。



キャプテンクック
の砲



約200年間海水に
さらされた鑄出し
マーク

『ダクタイル管ハンドブック』(クボタ)より

1-3

水道管の歴史

1-3-1 水道と鑄鉄管

1 古代の水道管

最初の水道管は粘土であったとされている。古代メソポタミアの遺跡から多数の分岐管や曲管が発掘されている。その他、初期には木管、鉛管、レンガ水路、石の水路、トンネルなどが使われていた。

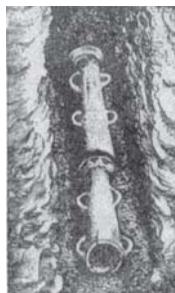
エジプト古代王朝にも早くからパイプの製造技術があり、古代メソポタミアと同様に粘土と藁を混ぜた日干しから素焼きへと進歩していった。メンフィスの遺跡からは紀元前2500年ごろの神殿に引かれた400mの銅製水道管が発掘されている。

インダス文明期の代表的な都市モヘンジョダロは、紀元前2300年ごろに都市を形成したといわれているが、市街地は区画整理され、700もの井戸から家々に水を供給する配水システムや下水が完備されていたことが分かっている。それぞれの家には浴室があり、水は2階にも供給されていたという。このような都市設計は、現代文明のそれに匹敵する見事なものである。

その300年後の紀元前2000年ごろ、古代ギリシャ、エーゲ海のクレタ島に築造されたミノア文明期のクノッソス宮殿には、上水道、下水道、雨水排水の3つがすでに整備されたという。水は自然流下方式で陶製のパイプを通して噴水や水栓へと送られ風呂や水洗トイレにも使われた。陶製の管の端はロープで止水するためにテーパが付けてあった。

また、ローマ水道は、歴史を代表する土木建築物であり、紀元前312年に建設が始まり、約300年かけて造られたものである。水道の水路は11本あり、延長にして約350kmにもなる。地上部が有名であるが実

●図表1-3-1-1 クノッソスの陶管



チャールズ・シンガー、
E. J. ホームヤード、
A. R. ホール編
『増補 技術の歴史(第2巻)』
(筑摩書房)より

際には約47kmのみで、ほとんどは埋設されている。水路の構造は自然流下方式が基本であり、そのために非常に精密な1:3000の勾配でできている。ローマに送られた水は1日に100万 m^3 にも達し、1人当たりになると現在よりも多い約 $1m^3$ に及んでいた。

イタリアのナポリ近郊にあった古代都市ポンペイは、79年にヴェスヴィオ火山が噴火した際、火砕流と噴火物で街全体が埋もれてしまった。1748年にポンペイ遺跡が発掘されると、当時の人々の生活や都市構造、インフラなどが明らかになった。

ポンペイに四通八達に広がる石畳の道路の下には、鉛管の上水道が整備され、浴場や共同水栓に水が供給されていた。水飲み場などでは蛇口から水を使用していたようである。また、当時の上下水道の基本的な仕組みは現在とほとんど変わらず、各戸の屋根からは地下の水瓶に雨水を導く土管などもあり、その水道施設は2000年近く前のものとは思えない素晴らしいものである。

●図表1-3-1-2 ポンペイ遺跡の水飲み場の蛇口 1世紀ごろ



斎藤吉彦氏「海外研修報告2 古代の金属技術について」
『大阪市立科学館研究報告』第14号(2004年)より

●図表1-3-1-3 ポンペイ遺跡の水道用の鉛管 1世紀ごろ



斎藤吉彦氏「海外研修報告2 古代の金属技術について」
『大阪市立科学館研究報告』第14号(2004年)より

茶話 **06** 古代から水を管路で運んだ理由

Column

経済性: 古代ローマや江戸時代の日本でも水路や管路が使われていたのは、大量の水を長距離運べて経済的だったからである。

衛生性: 水の汚染を防止するために多くの管路は埋設されていた。古代ローマ水道も地下が多く、地上に露出する部分(水道橋など)も石蓋などで覆われていた。日本の江戸時代も木樋や竹樋などで埋設した。

安全性: 盗難防止および敵の攻撃から水を守ることができた。

2 鋳鉄管の登場

鋳鉄管がいつ、どこで最初に造られたかははっきりしていないが、記録に残っているものを以下に紹介する。

主として鉄斧などの小道具類の製造に使われた鉄鑄物は、その後次第に大型化し、1311年にはドイツで、1345年には英国で本格的な大砲と砲弾が鋳鉄で製造された。続いてほぼ同時期に鋳鉄管が鋳造されたが、大砲も鋳鉄管も大きな中空円筒であり、同じ鋳造技術で造られたであろうことは容易に想像できる。むしろ鋳鉄管の方が薄肉で細長いだけに高度の技術を要したであろうと考えられる。一方は戦争利用であり、一方は平和利用と目的は異なるものの歴史的には兄弟のようなものである。

なお、初めて水道に使用された鋳鉄管は、1412年にできたドイツのアウグスブルグの水道といわれている。

① ディレンベルグ城の鋳鉄管

現存する鋳鉄管として最も古いものは、ドイツのディレンベルグ城とディル川の間で1455年に布設された水道管である。この水道管は、1760年にディレンベルグ城が壊されるまで約300年間使用された。

●図表1-3-1-4 世界最古の鋳鉄管



「History」(European Association for Ductile Iron Pipe Systems)

② バートランゲンザルツァの鋳鉄管

ドイツのバートランゲンザルツァ市に聖ヤコブ教会や市役所の噴水に水を送るために鋳鉄管が1562年に布設され、1949年当時の新聞では、386年経過してもまだ機能していると記されている。

③ ブラウンフェルス城の鑄鉄管

ドイツのブラウンフェルス城に水を引くために1661年に鑄鉄管が布設され、1875年まで約200年間使われた。これはその後、1932年に大口径管と取り換える必要が生じた際に、古い鑄鉄管を掘り出したが、管はまだ使用できる状態であったと伝えられている。

④ ベルサイユ宮殿の鑄鉄管

フランスのルイ14世の時代にベルサイユの街や宮殿の噴水に水を引くために、セヌ川のマルリーポンプ場から総延長約24kmの鑄鉄管(最大内径20インチ:約508mm)が数条布設された。これに使用された鑄鉄管は1664～1668年の間に製造されたもので、長さ約1mのフランジ継手管(ボルトと鉛のパッキンで接合)である。長期間使用する中で、継手の一部修理や大修復(2008年)がされているものの、当時のパイプの約80%は今日なおその機能を果たしている。

●図表1-3-1-5 ベルサイユ宮殿の鑄鉄管



1664年ごろ製造され、約300年間使用されたフランジ継手管。管体にある鑄出しマークのローマ数字「LXXXIII」は「8012」を意味し、製造者を区別する番号と考えられる。

Musee-Promenade所蔵



ベルサイユ宮殿へ水を送る管路の一部



アポロンの泉水。宮殿内には多くの泉水が設けられており、その水は鑄鉄管によって送られている。

藤野恭裕氏写真提供

ベルサイユ宮殿の噴水への導水管が350年以上の長期にわたってその機能を果たし続けていることは、鑄鉄管の耐食性が優れていることを示している。フランスのナンシーにある鉄鋼博物館やアルクールにあるプロムナード博物館では、ベルサイユ宮殿の導水管の一部を展示しているが、鑄造技術の関係で表面の鑄肌の凹凸がかなり認められるものの良好な状態を保持しており、300年以上も埋設されてきたとは思われぬほどである。

5 世界遺産の鑄鉄管

ドイツのヴィルヘルムスヘーエ公園で階段状の噴水(1701年築造)があり、そこに流れる水は300年間鑄鉄管により供給され続けている。この鑄鉄管は砂型で鑄造されたソケット形であり、管長は2mであった。

●図表1-3-1-6 ヴィルヘルムスヘーエ公園の鑄鉄管



八角形の噴水塔から階段状に水が流れる。



噴水塔で使用されている鑄鉄管。

「History」(European Association for Ductile Iron Pipe Systems)

6 ツヴィンガー宮殿の鑄鉄管

ドイツ・ドレスデンのツヴィンガー宮殿に水を送るために1720年に埋設された鑄鉄管である。

●図表1-3-1-7 ツヴィンガー宮殿の鑄鉄管



「History」(European Association for Ductile Iron Pipe Systems)
Source : Foto Kästner, Dresden

7 ヨーロッパの鑄鉄管使用例

市街地で比較的大きな規模で水道管として使用したヨーロッパの使用事例を示す。

●図表1-3-1-8 市街地での鑄鉄管使用例

年	使用例
1746年	チェルシー(英国)他/内径12インチ×1500ヤード、フランジタイプ
1790年	エジンバラ(英国)/内径7-9インチ×6マイル
1800年ごろ	ロンドン(英国)/ウィーン(オーストリア)
1850~1865年	ベルリン(ドイツ)
1858年ごろ	ダルムシュタット(ドイツ)/ハンブルグ(ドイツ)

茶話 07

ガス用鑄鉄管第1号

1872(明治5)年に、新橋-横浜間に鉄道が開通した。同年、横浜の街頭にガス灯がともされ、沿道の夜がにぎわった。これが日本におけるガス事業の始まりである。フランス人技術者アンリ・プレグランの指導のもとに設置を行った実業家高島嘉右衛門の偉業であり、さすがハイカラな港町のことである。ガス灯にガスを導いたのは、道の下に埋設された公称内径8インチ(203.2mm)以下の鑄鉄管であった。

東京にガス灯が設置されたのは、その2年後の1874(明治7)年のことである。1872(明治5)年の銀座大火^{ぎんざたいか}によって丸の内、銀座、築地一帯が炎に包まれたことから、時の明治政府は火災が広がりにくい都市の建設を目指し、銀座の街をれんがで再建を図った。この再建をきっかけに、銀座の街に鑄鉄管を使用したガス管が敷かれ、

85基のガス灯が点灯したのである。

横浜と銀座では輸入した鑄鉄管が用いられたが、1876(明治9)年に東京府瓦斯局が開設されたところ国産鑄鉄管の使用が検討されたようである。アンリ・プレグランが群馬県下仁田市にある中小坂鉄山を視察し、ガス管(鑄鉄管)を発注した記録があるが、製造や使用された記録は残っていない。

日本最古のガス用鑄鉄管



横浜都市
発展記念館所蔵

ガス用鑄鉄管 内径8インチ
1871年ごろ R.レイドロウ社製

1872(明治5)年の
横浜のガス灯(復元)



1-3-2 日本の水道と鑄鉄管

1 江戸時代の水道

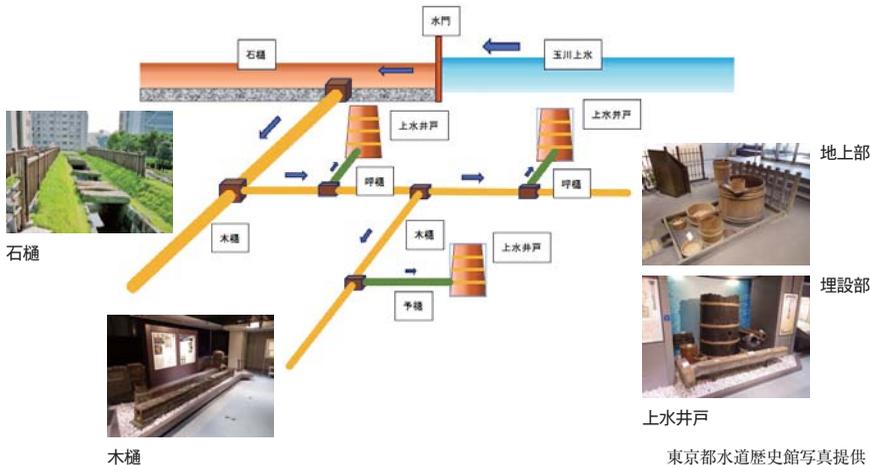
① 日本初の水道

小田原早川上水は、小田原城に水を引き入れるために築造されたもので日本初の水道とされている。1545(天文14)年に、小田原に立ち寄った連歌師の谷宗牧たにそうぼくの紀行文「東国紀行」の中に記されていることから北条氏康が支配していたころに造られたと考えられている。

日本で本格的な上水道が整備されたのは江戸時代に入ってからのことである。

徳川家康が1590(天正18)年に江戸へ入国した当時、低地では塩分が多く飲用には不適切で、生活水の確保から大久保藤五郎に小石川上水を造らせた。その後、井の頭を水源とする神田上水を造り、神田、日本橋へ給水した。1652(承応元)年に玉川上水の計画を建て、町人の庄右衛門、清右衛門(玉川兄弟)の提出した設計書に決定し、延長約43km、標高差約92mの玉川上水を1653(承応2)年4月4日に着工し、同年11月15日に完成した。1654(承応3)年からは、石樋、木樋の布設を行い、四谷、麴町、赤坂の台地、京橋方面など市の西、西南部に給水した。神田上水と玉川上水が明治の初めまでは100万都市の江戸の人々の暮らしの基盤となり続けた。

●図表1-3-2-1 江戸の上水のしくみ

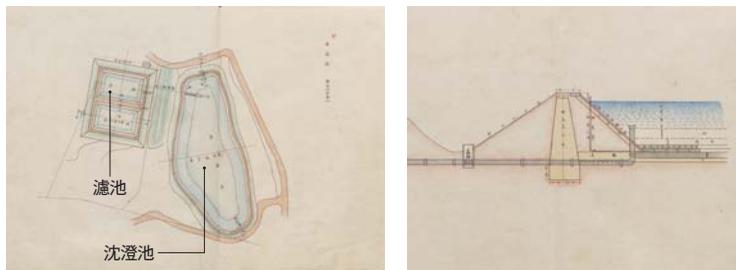


東京都水道歴史館写真提供

② 明治宮殿の水道

皇居の中にあった明治宮殿は1882(明治15)年に造営が開始され、1888(明治21)年に旧江戸城西の丸の場所に建設された。玉川上水、堀井戸も使用していたが、沈澄池ちんしょうちからの水を濾池(ろ過池)でろ過して鑄鉄管(公称内径2~22インチ)で各建物に給水する給水管(鑄鉄管)も整備された。

●図表1-3-2-2 明治宮殿の沈澄池と濾池の平面図



沈澄池から濾池へ水を送る
鑄鉄管(公称内径14インチ)の断面図。

宮内庁宮内公文書館所蔵

2 近代水道と鑄鉄管

近代水道以前の水道は、水源がきれいであっても開水路であったため、途中で汚染されることがあり、さらに木樋の水道管路は修繕費が高く修理がままならないために、漏水が多かったといわれている。また港町では、良質な井戸水が得られず、コレラなどがたびたび蔓延し、居留地の外国人や市民から、水道の建設が強く要望されていた。

水道の建設には、多大な費用が必要なため、水道事業の基本方針を決める必要があり、政府は1887(明治20)年6月17日の閣議で「水道布設ノ目的ヲ一定スルノ件」を決議し、水道事業の経営は営利を排した地方政府による経営を原則とし、やむを得ない場合に限り、地方政府監督下で私営水道を認めることとした。

同年、ついに横浜で水道の創設工事が完了し、通水を記念して、吉田橋(横浜市中区)で消防出初式が行われた。日本で最初の近代水道による給水が始められたのである。市民はどれほどこのときを待ち望んだことであろうか。コレラの恐怖も去り、水汲みの重労働からも解放される日がやってきた。引き続き函館、長崎という順に開港都市での給水が始まった。だが、当時使用された鑄鉄管は英国やベルギーからの輸入

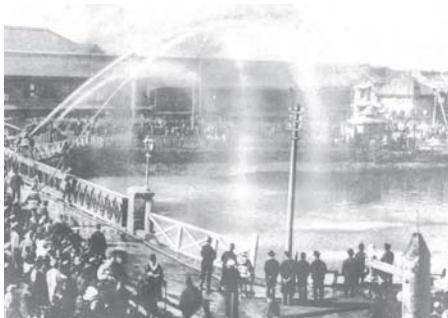
铸铁管であった。

水道の建設費は横浜の水道で約107万円であったが、その当時の市の予算約5万円の20倍以上であり、他の水道でも市の予算の数倍から数十倍と高額なものであった。従って、日本の創設水道の多くは国の補助なくしては建設できなかった。市民からの強い要望があったものの、水道の創設が計画されたいずれの議会でも賛否両論意見が分かれて、幾度かの起案を経て、議会の解散や市長の辞職までに至る場合も少なくなかった。

さらに、翌年1888(明治21)年には、大都市や貿易の拠点で水道布設の緊急性の高かった3府(東京、大阪、京都)と5港(横浜、神戸、長崎、函館、新潟)に水道布設を促進するための国庫補助の道が開かれ、次々に近代水道が創設されていった。政府の水道建設促進策が、近代水道発展の基盤をつくっていったのである。コレラの蔓延が数度と起こるたびに水道建設賛成派が多くなり、県知事、市長、創設に関わる強い推進派の人々の努力で多くの水道が造られた。

1890(明治23)年、全文16カ条からなる「水道条例」が公布され、水道布設の公営優先原則、市町村経営の原則が確立した。

●図表1-3-2-3 吉田橋の消防出初式
(1887(明治20)年)



横浜市水道局所蔵

1-3-3 近代水道創設期の铸铁管

1 铸铁管国産化の歴史

横浜水道が創設された1887(明治20)年ごろは、日本では铸铁管のメーカー(製造業者)はなかったため、英国のR.レイドロー社製の铸铁管を使用した。当時の輸入铸铁管は、錆び止めの赤色の下塗りだけで、検査後上塗りの黒色塗料を塗装した。

釜石鉱山田中製鐵所(現新日鐵住金釜石製鐵所)では1886(明治19)年に、49回の試行錯誤の末、鉄の連続出銑(溶けた鉄が連続的に生産できること)に成功し、製鉄の国産化が見えてきた。しかし、1889(明治22)年創設の函館市では、横浜市と同じR.レイド

ロー社製、1891(明治24)年創設の長崎市ではD.Y.スチュワード社製など外国製の鑄鉄管を用いた。だが、鑄鉄管の工事費に占める割合は大きく、外貨の流出抑制のためにも国産化が強く望まれた。

横浜市の場合では総工費約107万円の内約48万円(約45%)が鑄鉄管の費用であり、輸入鑄鉄管を使用しないで陶管を使用する案や鍛鉄管を使用して費用を低減する案が出された。

その当時の函館市水道の資料では、鍛鉄管(輸入)、鍛鉄管(函館港にて製造)、ワイコック発明木管、日本製木管、日本製陶管などの特性、経済性を比較している。J.H.クロフォードの設計は米国製の鍛鉄管であったが、設計のチェックを依頼されたファン・ゲントは鍛鉄管の使用は年月が浅く耐久力が不明であるとして、強く反対した。鑄鉄管は200年の実績があり、実験では100年は保つと述べている。当時の時任ときとうたもと為基支庁長がこれらの意見を踏まえて区長に審議させ、将来のために一時の費用を惜しむべきではないとして、鑄鉄管を採用することで衆議一決した。なお、J.H.クロフォードも米国に帰国後、鍛鉄管の事故事例を知り、後に耐久性に優れた鑄鉄管の採用に賛成している。

鑄鉄管の国産化の要望が高まる中、大阪の久保田鉄工所(現クボタ)では、鑄鉄管の製造を1893(明治26)年に開始していた。しかし、大阪市の水道創設時の1895(明治28)年に、大口径の鑄鉄管を大量製造できる技術力と設備を持っていたのは、大口径の火炮を主体とする兵器の製造を担った大阪砲兵工廠のみであった。大阪市は、水道創設に必要な鑄鉄管(内径36インチ以下、延長約325km、総重量約2万290トン)の全ての製造を大阪砲兵工廠に依頼した。しかし、同工廠にとって初めての水道用鑄鉄管の製造であり、職工の熟練度が不十分で、不合格品も多く、契約当初の履行が不可能になったため、英国のD.Y.スチュワード社製に頼り、最終的には全体の約54%が輸入品となった。

東京水道創設時にも鑄鉄管国産化の動きがあった。1893(明治26)年に、水道用鑄鉄管購買の決議がなされ、東京市は国内外のメーカー(製造業者)より見積りを取り、製造の可否を調査し、入札により日本鑄鉄と契約を行った。他の入札者としては、石川島造船所、東京鑄鉄所などがあった。しかし、日本鑄鉄による鑄鉄管の生産・納品にはさまざまな問題が発生した。まず、画数の多い製造所番号「東京水道」の文字を小口径管に鑄出すことは困難として、契約後に東京市のロゴマークに変更した。さらに、生産体制が整わず東京市への納入は大幅に遅延、検査で不合格となった鉄管を合格品と偽って納入していた不正も発覚した。こうした問題が、政治問題に発

展し、市参事会員の辞表提出、府知事辞職の勧告、市会解散、知事辞職と続き、東京市政を混乱に陥れた。結果として、1894(明治27)年には、外国鉄管購買決議がなされ、日本鑄鉄との契約は解除され、ベルギーのリエージュ市水道鉄管会社、英国のM.ストラング社の鑄鉄管を輸入することになった。

1899(明治32)年に創設された広島市水道の鑄鉄管もD.Y.スチュワード社製を用いたが、不足分については大阪砲兵工廠の鑄鉄管も用いた。神戸市水道もD.Y.スチュワード社、R.レイドロー社製のものを用いたが、不足分の一部は石田鉄工所の鑄鉄管も使用した。

東京水道は、1898(明治31)年の創設時は神田・日本橋方面への通水のみであったが、順次給水区域を拡大し1911(明治44)年に全面的に完成した。久保田鉄工所では、1897(明治30)年に合わせ型斜吹鑄造法を開発した。1903(明治36)年ごろに久保田鉄工所が国産鑄鉄管を東京水道向けに700トン納入した記録も残っている。1905(明治38)年創設の岡山市水道は大阪鉄工所(現在の日立造船が創業し、1916(大正5)年に久保田鉄工所の尼崎工場となった)の鑄鉄管を使用しており、下関市水道は谷口鉄工所製、佐世保市水道は、釜石鉦山田中製鐵所製、大阪鉄工所製を用いるなど鑄鉄管の国産化がこのころを境に進んでいく。

鑄鉄管は、1887(明治20)年代は主に外国製、1887(明治20)年代後半から国内製を一部使用するようになり、1897(明治30)年代後半には国内でも造られていたが、まだ外国製を一部使用していた。明治1907(明治40)年代には、水道の鑄鉄管は、ほぼ国内産で賄えるようになった。また、1904(明治37)年には、久保田鉄工所が立吹回転式鑄造法を開発し、国産鑄鉄管の量産も始まった。1909(明治42)年には、大阪市が国産の48インチ(呼び径1200)の大口径管を採用している。

2 近代水道創設期の鑄鉄管とメーカー

●図表1-3-3-1 近代水道創設期の鑄鉄管とメーカー

水道事業体 ^{注1} 創設年	創設期の鑄鉄管 公称内径 ^{注2} ／総延長／総重量	創設期のメーカー	拡張初期のメーカー
横浜市水道局 1887 (明治20)	18インチ以下 約44km 約11400トン	R.レイドロー社 リエージュ市水道鉄管会社	久保田鉄工所 栗本鐵工所
函館市企業局 1889 (明治22)	12.5インチ以下 約45km 約2790トン	R.レイドロー社	D.Y.スチュワード社

水道事業体 ^{注1} 創設年	創設期の鑄鉄管 公称内径 ^{注2} ／総延長／総重量	創設期のメーカー	拡張初期のメーカー
長崎市上下水道局 1891 (明治24)	24インチ以下 約52km 約2300トン	D.Y.スチュワード社	R.マクラレン社 大阪鉄工所 TE&S社
大阪市水道局 1895 (明治28)	36インチ以下 約325km 約20290トン	D.Y.スチュワード社(54%) 大阪砲兵工廠(46%)	久保田鉄工所 大阪砲兵工廠
東京都水道局 1898 (明治31)	42インチ以下 約695km 約45000トン	リエージュ市水道鉄管会社 M.ストラング社	久保田鉄工所
広島市水道局 1899 (明治32)	20インチ以下 約66km 約3080トン	D.Y.スチュワード社 大阪砲兵工廠 瀬良鑄物工場	久保田鉄工所
神戸市水道局 1900 (明治33)	24インチ以下 約150km 約9230トン	D.Y.スチュワード社 石田鉄工所 R.レイドロー社	東京堅鉄製作所 神戸川崎造船所 大阪鉄工所 栗本鐵工所 久保田鉄工所
岡山市水道局 1905 (明治38)	22インチ以下 約34km 約17260トン	大阪鉄工所	—
下関市上下水道局 1906 (明治39)	14インチ以下 約48km 約2430トン	谷口鉄工所 R.レイドロー社	—
佐世保市水道局 1907 (明治40)	14インチ以下 約36km 約10590トン	釜石鉱山田中製鐵所 大阪鉄工所 石田鉄工所	久保田鉄工所 釜石鉱山田中製鐵所 栗本鐵工所 大阪鉄工所

注1 水道事業体については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは25.4mm。

●図表1-3-3-2 近代水道創設期の主要な鑄鉄管

横浜市 18インチ R.レイドロー社製
1885(明治18)年ごろ



水源の三井用水取水地から川井接合井間で使用していた。

横浜市水道局所蔵

函館市 12.5インチ R.レイドロー社製
1888(明治21)年ごろ



赤川から元町配水池の送水管に使用していた。

函館市企業局所蔵

長崎市

6インチ D.Y.スチュワード社製
1889(明治22)年ごろ



分水栓が付いている。

長崎市上下水道局東長崎浄水場資料室所蔵

大阪市

26インチ 大阪砲兵工廠製
1893(明治26)年ごろ



大阪城内の幹線に使用していた。

大阪市水道局柴島浄水場所蔵

東京都

20インチ リエージュ市水道
鉄管会社製 1897(明治30)年



中央区新富一丁目付近で使用していた。

東京都水道歴史館所蔵

広島市

20インチ D.Y.スチュワード
社製 1896(明治29)年ごろ



神田橋水管橋の一部と考えられる。

広島市水道局水道資料館所蔵

神戸市

12インチ D.Y.スチュワード
社製 1898(明治31)年ごろ



布引ダム五本松堰堤の取水管として使用していた。
(手前側は石田鉄工所製)

神戸市水道局奥平野浄水場所蔵

岡山市

10インチ 大阪鉄工所製
1904(明治37)年ごろ



岡山市北区舟橋町付近で使用していた。

岡山市水道局三野浄水場所蔵

下関市

14インチ 谷口鉄工所製
1904(明治37)年ごろ



内日貯水池から高尾浄水場への導水管として使用していた。

下関市上下水道局水道資料室所蔵

佐世保市

14インチ 釜石鉱山田中製鐵所製
1906(明治39)年ごろ



山の田浄水場内の急速ろ過池から第1配水池までの管路として使用していた。

佐世保市水道局山の田浄水場所蔵

備考 創設時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは約25.4mm。

3 現存する近代水道創設期の鑄鉄管

近代水道の創設は、2017年現在から約130年前になるが、水道創設時に埋設されたまま現在でも使用している鑄鉄管が全国に存在する。

●図表1-3-3-3 現存する近代水道創設期の鑄鉄管

水道事業者 ^{注1}	公称内径(インチ) ^{注2}	メーカー ^{注3}	布設年	埋設期間 ^{注4}
函館市企業局	12.5	R.レイドロー社	1889(明治22)	128年間
函館市企業局	12	R.レイドロー社	1889(明治22)	128年間
函館市企業局	4	R.レイドロー社	1889(明治22)	128年間
大阪市水道局 ^{注5}	36	大阪砲兵工廠	1895(明治28)	122年間
大阪市水道局 ^{注5}	30	大阪砲兵工廠	1895(明治28)	122年間
広島市水道局 ^{注5}	14	D.Y.スチュワード社	1897(明治30)	120年間
広島市水道局 ^{注5}	12	D.Y.スチュワード社	1898(明治31)	119年間
岡山市水道局	20	大阪鉄工所	1905(明治38)	112年間
下関市上下水道局	18	不明	1905(明治38)	112年間
下関市上下水道局	16	不明	1905(明治38)	112年間
下関市上下水道局	14	不明	1905(明治38)	112年間
佐世保市水道局	16	釜石鉱山田中製鐵所	1906(明治39)	111年間

注1 水道事業者名については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは約25.4mm。

注3 メーカー名については当時の名称を記載している。

注4 埋設期間は、2017(平成29)年現在。

注5 内面更生を実施済み。

4 長期間使用された鑄鉄管

●図表 1-3-3-4 長期間使用された鑄鉄管

水道事業者 ^{注1}	公称内径 ^{注2}	メーカー ^{注3}	布設年 ^{注4}	撤去年	埋設期間
横浜市水道局	18	R.レイドロー社	1887 (明治20)	2002 (平成14)	115年間
横浜市水道局	15.5	R.レイドロー社	1887 (明治20)	2003 (平成15)	116年間
函館市企業局	12.5	R.レイドロー社	1889 (明治22)	1989 (平成元)	100年間
大阪市水道局	26	大阪砲兵工廠	1893 (明治26)	1958 (昭和33)	65年間
広島市水道局	20	D.Y.スチュワード社	1896 (明治29)	1950 (昭和25)	54年間
東京都水道局	20	リエージュ市水道鉄管会社	1896 (明治29)	1984 (昭和59)	88年間
広島市水道局	18	大阪砲兵工廠	1897 (明治30)	2007 (平成19)	110年間
神戸市水道局	24	D.Y.スチュワード社	1898 (明治31)	2009 (平成21)	111年間
佐世保市水道局	8	D.Y.スチュワード社	1899 (明治32)	1986 (昭和61)	87年間
岡山市水道局	10	大阪鉄工所	1904 (明治37)	1993 (平成5)	89年間
岡山市水道局	10	大阪鉄工所	1904 (明治37)	1999 (平成11)	95年間
岡山市水道局	10	大阪鉄工所	1904 (明治37)	2003 (平成15)	99年間
岡山市水道局	12	大阪鉄工所	1904 (明治37)	1999 (平成11)	95年間
広島市水道局	4	不明	1905 (明治38)	1992 (平成4)	87年間
佐世保市水道局	14	釜石鉱山田中製鐵所	1906 (明治39)	1997 (平成9)	91年間
佐世保市水道局	6	大阪鉄工所	1906 (明治39)	1997 (平成9)	91年間
京都市 上下水道局	12	久保田鉄工所	1910 (明治43)	2010 (平成22)	100年間
佐世保市水道局	継ぎ輪 14	釜石鉱山田中製鐵所	1914 (大正3)	2013 (平成25)	99年間
長崎市 上下水道局 ^{注5}	14	不明	1917 (大正6)	2015 (平成27)	98年間

水道事業体 ^{注1}	公称内径 ^{注2}	メーカー ^{注3}	布設年 ^{注4}	撤去年	埋設期間
横浜市水道局	4	田中鉱山	1925 (大正14)	2016 (平成28)	91年間
佐世保市水道局	90°曲管 14	栗本鐵工所	1937 (昭和12)	2013 (平成25)	76年間

注1 水道事業体名については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は内径(インチ)で規定されていた。1インチは約25.4mm。

注3 メーカー名については当時の名称を記載している。

注4 布設年は、製造年、もしくは埋設年などを記載した。

注5 1992(平成4)年に内面更生を実施済み。

●図表1-3-3-5 100年以上使用された鑄鉄管

116年間使用された鑄鉄管



15.5インチ R.レイドロー社製
1885～2003(明治18～平成15)年

横浜水道記念館所蔵

110年間使用された鑄鉄管



18インチ 大阪砲兵工廠製
1897～2007(明治30～平成19)年

広島市水道資料館所蔵

100年間使用された鑄鉄管



12インチ 久保田鐵工所製
1910～2010(明治43～平成22)年

京都市上下水道局所蔵

5 近代水道創設期の布設工事

横浜市の水道創設時は、鑄鉄管を使用するのは初めてであり、印籠継手(麻と鉛で止水する構造)の接合方法についても技術を習得する必要がある。

また運搬についても、鉄道もトラックもなく、鉄管その他重量物の運搬は困難であり、約40km離れた水源地までは、軽便軌条を敷設し、牛馬を使役して輸送を行った。

●図表 1-3-3-6 近代水道創設期の布設工事状況など

横浜水道の鑄鉄管布設工事

1885(明治18)年ごろ



宮内庁書陵部所蔵「横浜水道写真帳」より

函館市水道鉄管置場 12.5インチ以下

1888(明治21)年ごろ



『函館市水道百年史』(函館市企業局、1989年)より

長崎市水道浦上浄水場送水管布設工事

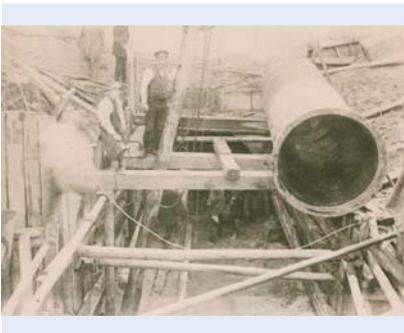
呼び径600 1941(昭和16)年ごろ



長崎市上下水道局東長崎浄水場資料室所蔵

大阪市水道柴島浄水場の鑄鉄管布設工事

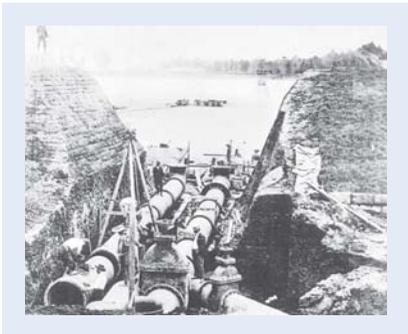
1914(大正3)年



大阪市水道局所蔵

東京水道淀橋浄水場の鑄鉄管布設工事

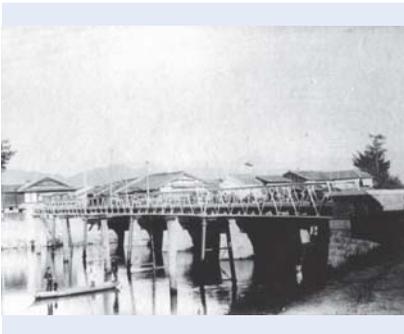
1896(明治29)年ごろ



東京都水道歴史館

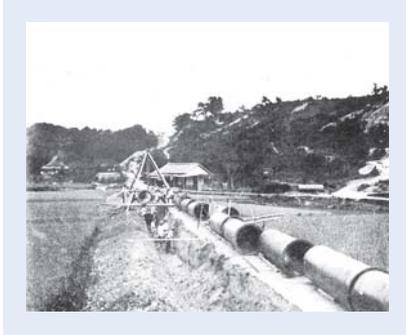
広島市水道猿猴橋水管橋

1897(明治30)年ごろ



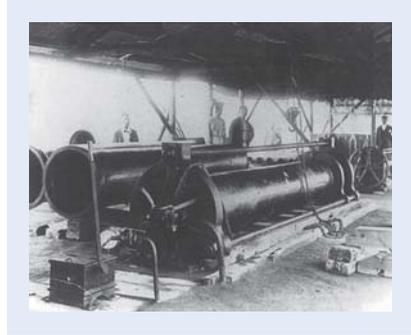
広島市水道局所蔵

神戸水道上ヶ原送水管布設工事
1916(大正5)年



神戸市水道局所蔵

岡山市水道水圧試験機による鑄鉄管の検査
1904(明治37)年



岡山市水道局所蔵

下関市送水管布設工事 長府浄水場から
日和山浄水場 第5期拡張事業
1940~1953(昭和15~28)年



「WaterTalk VOL.44」(下関市上下水道局)より

佐世保市水道内径18インチ布設工事
1926(大正15)年ごろ



「佐世保市水道誌」(佐世保市役所、1928年)より

印籠継手の鉛の流込み



横浜水道記念館水道技術資料館所蔵

6 近代水道拡張期の鑄鉄管とメーカー

大阪市水道の第1回、2回拡張事業が1897(明治30)年から1914(大正3)年にかけて行われ、久保田鉄工所製、大阪砲兵工廠製などの国産鑄鉄管が使われた。1909(明治42)年には、大阪市が国産の48インチ(呼び径1200)の大口径管を採用している。

神戸水道の第1回拡張工事は、1911(明治44)年から1921年(大正10)年にかけてであるが、神戸川崎造船所、東京堅鉄製作所、大阪鉄工所、関西鉄工、栗本鐵工所、久保田鉄工所などの国産鑄鉄管が多く使われた。

●図表1-3-3-7 近代水道拡張期に使用された鑄鉄管

水道事業体 ^{注1}	公称内径 ^{注2}	メーカー ^{注3}	製造年
横浜市水道局	22	リエージュ市水道鉄管会社	1897(明治30)ごろ
長崎市上下水道局	18	R.マクラレン社	1901(明治34)
長崎市上下水道局	14	TE&S社	1901(明治34)
広島市水道局	18 ^{注4}	不明	1905(明治38)
佐世保市水道局	2	大阪鉄工所	1908(明治41)
大阪市水道局	48	久保田鉄工所	1909(明治42)
佐世保市水道局	2	久保田鉄工所	1912(明治45)
神戸市水道局	6	神戸川崎造船所	1915(大正4)
長崎市上下水道局	18	不明	1917(大正6)
佐世保市水道局	14	釜石鉱山株式会社	1924(大正13)

注1 水道事業体名については現在の名称を記載している。

注2 当時の鑄鉄管は公称内径(インチ)で規定されていた。

注3 メーカー名については当時の名称を記載している。

注4 内面更生を実施済み。

●図表1-3-3-8 大阪市水道柴島浄水場向け鑄鉄管



第2回拡張工事
1908～1914(明治41～大正3)年

大阪市水道局写真提供



印籠継手 48インチ 久保田鉄工所製 1909(明治42)年

『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

1-4

製造方法の歴史

1-4-1 鉄管（直管）製造方法の変遷

1 概要

わが国の铸铁管の材質は、普通铸铁、高級铸铁からダクタイル铸铁に変わり、铸铁管（直管）の製造方法は、おきつき置注铸造法から遠心力铸造法に変わっていった。この間、1954（昭和29）年には世界初のダクタイル鉄管が置注铸造法で製造され、1957（昭和32）年には遠心力铸造法による初のダクタイル鉄管が製造された。

●図表1-4-1-1 日本における鉄管（直管）製造方法の変遷

開始年次	製造方法	材質
1893（明治26）年	置注铸造法 ^{注1} （合わせ型横込め铸造法）	普通铸铁
1897（明治30）年	置注铸造法 ^{注1} （合わせ型斜吹铸造法）	普通铸铁
1897（明治30）年	置注铸造法 ^{注1} （合わせ型立吹铸造法）	普通铸铁
1900（明治33）年	置注铸造法 ^{注1} （立込丸吹铸造法）	普通铸铁
1908（明治41）年	置注铸造法 ^{注1} （回転盤式立吹铸造法）	普通铸铁
1940（昭和15）年	砂型遠心力铸造法 ^{注1} （呼び径300～900） ^{注3}	高級铸铁
1950（昭和25）年	金型遠心力铸造法 ^{注2} （呼び径75～300） ^{注3}	高級铸铁
1957（昭和32）年	サンドレジン型遠心力铸造法 ^{注1} （呼び径700、1350） ^{注3}	ダクタイル铸铁
1957（昭和32）年	金型遠心力铸造法 （呼び径250以下） ^{注3}	ダクタイル铸铁
1977（昭和52）年	ウェットスプレー遠心力铸造法 （呼び径1000、1200） ^{注3}	ダクタイル铸铁

注1 現在はこの製造方法は使われていない。

注2 高級铸铁に対して使用されたこの铸造法は、現在は使用されていないが、ダクタイル铸铁向けに若干の改良を加えた後、現在はダクタイル铸铁向けに使用されている。製造方法の名称は両者とも同じである。

注3 呼び径は当時のもの。

●図表1-4-1-2 鉄管(直管)製造方法の変遷年表

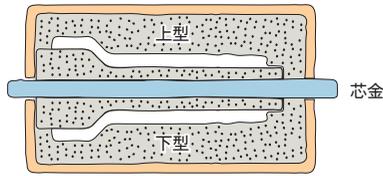
年代	普通铸铁/高級铸铁			ダクタイル铸铁		
	置注 铸造法	遠心力 铸造法		置注 铸造法	遠心力 铸造法	
1900 (明治33)	● 合わせ型横 込め铸造法 (1893)		普通铸铁			
1910 (明治43)						
1920 (大正9)	● 立吹 铸造法 (1900)		普通铸铁			
1930 (昭和5)						
1940 (昭和15)						
1950 (昭和25)		● 砂型 遠心力 铸造法 (1940)	高級铸铁			
1960 (昭和35)						
1970 (昭和45)		● 金型 遠心力 铸造法 (1950)		● 世界 初の ダクタイル 鉄管 (1954)	● 遠 心力 铸造法 による ダクタイル 鉄管 (1957)	ダクタイル 铸铁
1980 (昭和55)						
1990 (平成2)						
2000 (平成12)						
2010 (平成22)						

2 置注铸造法の変革

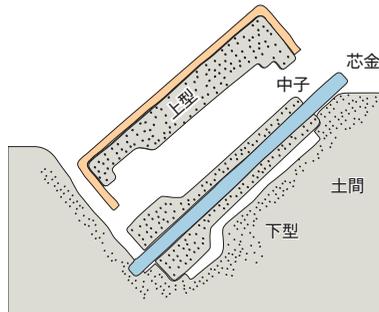
初期の铸铁管は、世界的に合わせ型横込め铸造法により铸造され、この铸造法が300年以上も続けられた。铸铁管の長さが長くなるにつれて、水平式から傾斜式となり、ついには垂直式すなわち立吹法に変化した。立吹法で初めて铸铁管を生産したのは、英国モントローズのリンクスファウンドリーで1846年のことである。この方法は海外では1920年ごろまで铸铁管の主たる製造方法であった。

● 図表1-4-1-3 鉄管製造方法(置注鑄造法)

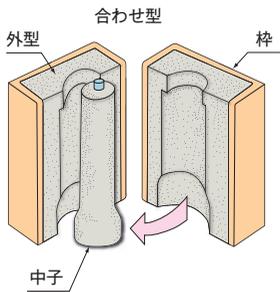
合わせ型横込め鑄造法



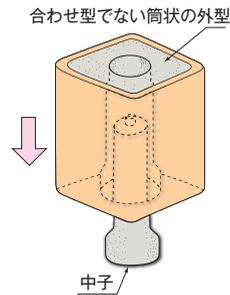
合わせ型斜吹鑄造法



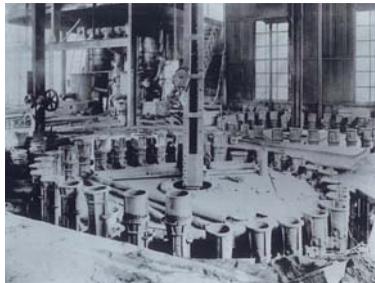
合わせ型立吹鑄造法



立込丸吹鑄造法



回転盤式立吹鑄造法



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-4-1-4 1914(大正3)年製鑄鉄管



当時、60インチ(約1500ミリ)管は国内最大であり、大正博覧会で金賞を受けている。『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

3 遠心力鑄造法への発展

① 遠心力鑄造法への試み

静置した型に溶湯を流し込む鑄造法に対して、遠心力を利用した鑄造法であれば、鑄巣もなく効率も上がるはずだとの思想はかなり早くからあった。久保田鐵工所(現クボタ)が1903(明治36)年から遠心力鑄造法を試みたという記録が残っている。

その記録によると、まず中空円筒形の鑄型を造り、両端には把手を固定しておき、これを回転軸受に乗せる。円筒の一カ所にあらかじめ孔を開けておき、そこから溶湯を流し込み、粘土で素早く孔をふさぐ。両端の把手にかけたハンドルを懸命に手で回す。頃合いを見計らって中を見ると、ウサギのふんみたいにモロモロになっていて、とてもパイプとはいえない。何回やっても駄目だった。また、旋盤に型を取り付けて、回転させながら注湯する方法も試みたが、うまくいかなかったそうである。今から見れば滑稽かもしれないが、当時は危険を伴う真剣な試みであり、まさに可能性を追求しようという一念であった。

1916(大正5)年、カナダのトロントでド・ラボーが開発したド・ラボー式金型遠心力鑄造による鑄鉄管の試作が行われていた。久保田鐵工所の社主は、そこでド・ラボーに面会して遠心力鑄造設備の特許を25万円で購入した。この特許を活用するために、栗本鐵工所、津田勝商店(現津田鋼材)と共同で金型遠心力鑄造による鑄鉄

管を試作し、1923(大正12)年に6インチ(呼び径150)小口径鑄鉄管の製造に日本で初めて成功した。

1927(昭和2)年に社主は、英国、ドイツ、スイス、イタリア、フランス、米国の6カ国を訪問し、ドイツのランツ社からはパーライト鑄物の特許を購入した。

② 米国における実用化

1922(大正11)年、米国においてアメリカン・キャスト・アイアン・パイプ社が砂型遠心力鑄造を開始し、1933(昭和8)年にはユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社により金型遠心力鑄造法が実用化された。

1934(昭和9)年には、久保田鉄工所、アメリカン・キャストアイアン・パイプ社の

茶話

08

鑄鉄管国産化への情熱

Column

明治20年代は横浜をはじめ函館、長崎、大阪、東京と近代水道の創設がなされた時代であり、自社でなければできないものと考えたクボタの創業者は、鑄物技術を用いて国産の水道管を造ることを目指し、ありとあらゆる知恵をしばり工夫を重ねた。

鉄管の異形管を製造しはじめた1893(明治26)年当時、鉄鉱石をキュポラ(溶銑炉)で溶かした銑鉄は不純物を含んでいるため固くもろかった。直管は鉄の材質、湯の温度、鑄物土、水分の関係、鑄込み時間、湯口の取り具合など、どれかに欠陥があってもうまくいかない。鉄管の製造は外型と芯型との間に溶湯を流し込み固めるだけで一見簡単のように思われるが、鉄管は薄くて長いので、偏肉にもなりやすく非常に難しかった。当時は大資本家が鑄鉄管の製造に挑戦しても失敗の連続であった。鑄型を横にしたり、斜めにしたり、2つの割型を合わせて

縦にしてみたり工夫を重ねた。鑄造法を教えてくれる学者、文献、マニュアルもなかった。アイデアは一夜にして考えられるが、工業化するには非常に努力がいる。九分九厘までできても、一步及ばなければ工業化はできない。

職人たちからも徐々に不平が起こり、「ご主人、一体いつまでこんな商売にならんことをやるつもりなんですか」と口々に反対し始めた。しかし、「金もうけのためにやっているのではない。水道鉄管を造ることはお国のためなんだ」「岩の上に生えた松は育たぬが、干ばつでも枯れはせぬ、これがわしの事業の根本だ、黙ってみておれ」と職人たちを説得した。

こうした4年に及ぶ努力の末、1897(明治30)年に、内径3インチ、4インチの鑄鉄管の製造に成功した。

扶間祐行「此の人を見よ 久保田権四郎傳」(山海堂出版、1940年)より

Chapter 1

Chapter 2

Chapter 3

Chapter 4

Chapter 5

Chapter 6

Chapter 7

Appendix

砂型特許と、ユナイテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社の金型遠心力鑄造技術の特許の製造実施権をそれぞれ譲り受けた。

③ 日本最初の砂型遠心力鑄造

日本人の満州移住が始まって2年後の1935(昭和10)年、大連機械製作所と久保田鉄工所が合弁で満州久保田鑄鉄管を設立した。鞍山工場あんざんでは、原材料の鑄鉄を隣接していた昭和製鋼から調達し、当時日本で主流であった立吹回転式鑄造法ではなく、久保田鉄工所が研究を続けていた遠心力鑄造法で鑄鉄管を製造した。翌1936(昭和11)年には、鞍山工場に東洋初の砂型遠心力設備が完成し、4mの直管を製造した。そして最盛期には1200人をもって月6000トンの鑄鉄管の生産を行っている。終戦後は中国に接収され、同国最大の鑄鉄管生産の拠点として、そのまま生産が続けられた。

ついで1940(昭和15)年に久保田鉄工所の武庫川工場において、砂型遠心力法で呼び径300～900の鑄鉄管が、1950(昭和25)年には金型にごく薄く耐熱コーティングを施すだけで極めて能率の良い金型遠心力法で呼び径75～250の鑄鉄管の生産が開始されている。

遠心力鑄造法の特徴は、管の組織が緻密で鑄巣がないこと、管長6mの長尺ものが鑄造できることである(今では管長9mのものまで可能)。さらに、鑄造欠陥や偏肉、偏心がなく、均一な材質になるなど品質管理面における大きなメリットもあった。

4 太平洋戦争前後の鑄鉄管

① 戦前戦中の苦難時代

1937(昭和12)年に日中戦争が勃発し、1938(昭和13)年には国家総動員法が公布され、生産活動に必要な原料、資材、人も全て軍需優先となった。揚げ句の果てに1941(昭和16)年には太平洋戦争に突入した。

1937(昭和12)年の鑄鉄管の全国生産量は14万トンであったが、1941(昭和16)年には8万トンに減少、しかもそのほとんどが軍用水道に使われ、民需は極端に圧迫されるに至った。当時の事情を物語る一例を挙げる。

鑄鉄管用銑鉄を確保したいと考えた久保田鉄工所は、尼崎製鋼所と共同で350トン高炉を有する本格的な製鉄所を建設した。ようやく1941(昭和16)年6月に竣工を

見たが、すでに戦時統制下にあり、その銑鉄はついに隣接する武庫川鉄管工場へ一片も運ばれることなく終わってしまった。そして1945(昭和20)年8月、日本は破局に至り、筆舌に尽くし難い戦後の数年を迎えることになった。

2 戦後の混乱と復興の時代

戦争による荒廃は惨状を極めた。都市の水道施設は爆弾によって破壊され、焼夷弾によって家もろとも給水装置が焼失したため、漏水率は70%を越えるありさまであった。さらに、鑄鉄管の工場の多くは全焼あるいは破壊のため生産は不能に陥っていた。

1950(昭和25)年に朝鮮戦争が勃発、その特需を契機としてようやく経済が立ち直り始めた。そんな中で鉄管メーカーである久保田鉄工所は何をしたか。破壊された工場を修復しつつ、あらゆる困難と闘いながら原料、資材、人の確保に奔走する一方、四散してしまった印籠継手の鉛コーキングの熟練者不足を補い、かつ水密性を高めるためのメカニカル継手の開発、あるいは維持管理を容易にするためのセメントモルタルライニングの実用化などに努めた。なお、埼玉県でピストン関連品を製造していた東洋精機(現日本鑄鉄管)が1949(昭和24)年に鑄鉄管の製造を始めている。

5 ダクタイル鉄管の開発

1949(昭和24)年に米国からダクタイル鑄鉄発明のニュースが伝わり、これこそ天の恵み、従来の高級鑄鉄管に代わる強靱なパイプの製造に利用できると直感的に閃いた人々がいた。久保田鉄工所では早速鑄鉄管部門に対してダクタイル管の試作を指示した。そして手探りのまま立吹法、砂型遠心力法、金型遠心力法などあらゆる方法で試作が始まった。

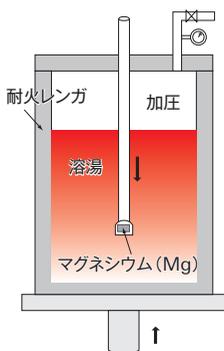
サンフランシスコで日米の平和条約が1951(昭和26)年9月9日に締結された。間もなく和平回復後の定期飛行便の第一便が羽田を飛び立ち、その便で久保田鉄工所の技術者はインターナショナル・ニッケル社を訪問し、ダクタイル鑄鉄をパイプに利用することの可否を研究者たちと議論し、確信を得て、早速特許の交渉を始めている。このとき、すでにダクタイル鉄管の開発に社運をかける決意で臨んでいたのであった。

1952(昭和27)年にはダクタイル鑄鉄の発明者ギャグネビンと直接交渉し、ダクタイル鑄鉄鑄造法の日本国内実施権を受けることに成功。インターナショナル・ニッ

ケル社の親会社カナディアン・ニッケル・プロダクツ社と契約を結んだ。

ダクティル鑄鉄を工業的に造るには大きな課題があった。マグネシウム(Mg)の融点は650℃、気化温度は1100℃、比重は1.74と鉄よりも軽く、きわめて爆発しやすい金属であった。一方の溶湯の温度は、低くても1450℃はあり、マグネシウムを溶湯の中に不用意に投げ込むと爆発的な反応を起こし危険極まりなかった。そこで、ダクティル鉄管のように大量に連続生産する方法として考案されたのが世界で「クボタメソッド」といわれている「圧力添加法」である。高圧下では物質の蒸発気化温度が上昇するという一般物理現象を利用したもので、取鍋を高圧容器にして、マグネシウムの気化温度を溶湯の温度近くになるように取鍋内の圧力を調節し、その上で挿入棒の先に取り付けておいたマグネシウムの塊を溶湯の中に押し込むと、圧力密閉容器内で反応は静かに進むという仕掛けである。

●図表1-4-1-5 マグネシウム圧力添加法(クボタメソッド)



ダクティル鉄管の鑄造は、砂型遠心力鑄造で試みられたが、完全な失敗に終わった。この方法では、金枠の内面に30～50mmもの鑄物砂を内張りするため、全体が固まるまでに相当の時間がかかって、マグネシウム処理した溶湯の効果がなくなり、管の内面側は黒鉛の球状化が不十分で、かつ酸化のために皺が生じたりした。金型遠心力鑄造法でも試みられたが、鑄造品に材質以外の不具合が発生するなどさらに悪い結果であった。

そこでもう一つの鑄造法として立吹鑄造法があった。これこそ昔から鑄鉄管(FC管)でやってきた安定した方法であり、すでにダクティル鉄管の試作で1953(昭和28)年ごろまでに一応の成功を収めていた。ただ欠点としては肉厚があり、重量が重い。管長も4mが限度で、遠心力管のように6mのものは困難である。しかし強度は十分

ある。なぜなら立吹鑄造法では外型と中子の隙間に溶湯を鑄込むので、凝固は管の内面側からと外面側からとが同時に始まって速く進行し、マグネシウムの酸化あるいは蒸発消失も少ないからである。

久保田鉄工(現クボタ)は、新規の遠心力鑄造法の開発は武庫川工場で、一方の立吹鑄造法の完成は尼崎工場でそれぞれ担当するという両面作戦を展開していった。苦労を重ねた末に、1954(昭和29)年には立吹鑄造法によってダクタイル鉄管の製造に成功した。

そのころ、阪神上水道市町村組合(のちの阪神水道企業団)では、第二期淀川導水路計画が具体化、そのうち尼崎浄水場から甲東ポンプ場への約6.6km強、そこから甲山浄水場までの2.8kmの区間は高圧となり、従来の鑄鉄管では耐え得ないと判断さ

●図表1-4-1-6 阪神水道企業団へ呼び径1350ダクタイル鉄管を運ぶトラック



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

茶話

09

火事と間違えられた鑄造作業

尼崎工場で呼び径1350管を初めて鑄造したときのことである。朝から手順の打ち合わせや段取りにかかり、鑄込みが時刻になった。前工程が脱硫作業であるが、カーバイド粉を窒素ガスで数分間にわたって吹き込むので、反応生成物の黒煙が高い建屋の天井から吹き上げる。続いてマグネシウム処理の工程である。反応が激しく、物凄い閃光がパツパツと天窓のガラスを真赤に染める。たまたま

尼崎消防署員が望楼ぼろうの上から望んでおり、「クボタが火事や!」というので数台の消防車がサイレンを鳴らしながら工場の中へ飛び込んできた。「火事はどっちだ!」と消防士。「えー、火事?どこの?」と門衛。騒ぎのあと「そんなことするんなら、事前に連絡せんかいな」と叱られ、「えらいすんまへん」と平謝りの一幕であった。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より

Column

Chapter 1
Chapter 2
Chapter 3
Chapter 4
Chapter 5
Chapter 6
Chapter 7
Appendix

れ、たまたま完成したばかりの立吹鑄造法によるダクタイル鉄管が着目された。

若い技術者が毎日のように工場に派遣され、抜き取った試作品を切り刻んでは機械強度試験、残留応力の有無、継手の水密試験など、考えられるあらゆる面から綿密かつ徹底的な調査・試験を実施した結果、呼び径1350管を4.1km分、呼び径1200管を1km分それぞれ初採用、1954(昭和29)年春から工事が開始された。

これが歴史を飾る日本におけるダクタイル鉄管の第1号であり、しかも世界における最初の大口径ダクタイル鉄管であった。

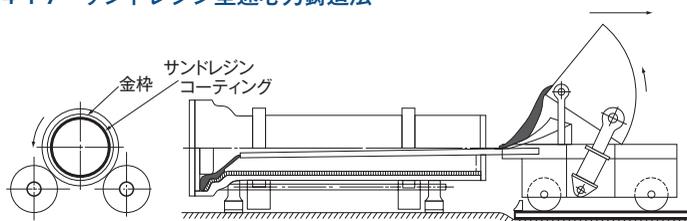
6 サンドレジン型遠心力鑄造法

久保田鉄工では、発想を転換して新たな遠心力管を開発することになった。だが、一朝一夕には無理な話で、相当の時間がかかることを覚悟しなければならない。ところが水道を取り巻く環境・情勢は急を要しており、とても悠長なことはいっておれない。

珪砂けいさにフェノール樹脂を混合して造型する方法(サンドレジン遠心力鑄造法)が実用化されつつあった。予熱した金枠の内面に1~2mmほどの薄いサンドレジンコーティングをコーティングし鑄造すると溶湯の冷却が速いために、酸化物の生成がなく、管内面にも皺ができてくいが、硬くて脆い組織(セメントイト、 Fe_3C)になってしまうので、鑄造後に焼鈍しょうどんをしてやらねばならない。

焼鈍は1本1本やっているわけにはいかないので、長さ50~60mの連続炉を築き、加熱、保温、冷却の各ゾーンを管が回転しながら連続的に動いていく仕組みで行った。こうして1957(昭和32)年にサンドレジン型遠心力鑄造法により、ダクタイル鉄管の遠心力鑄造に成功したわけである。ダクタイル鑄鉄は非常に難しい材料であり、この鑄造法を確立するまでに7年の歳月を要していた。

●図表1-4-1-7 サンドレジン型遠心力鑄造法



ローラー上に横たえた鑄型が高速回転を始めると取鍋が転倒し、溶湯が樋を伝って流れる。鑄型上に落ちた溶湯は遠心力の作用で鑄型に沿って広がる。こうして樋が後退しながら管を形成していく。管は冷却後引き抜かれ、次の工程に流れる。

●図表1-4-1-8 サンドレジン遠心力铸造ダクタイル鉄管の工場検査



桂沢水道企業団写真提供

1957(昭和32)年に砂型・金型両者の長所を兼備したサンドレジン型による遠心力铸造法により、世界に先駆けて大口径遠心力ダクタイル鉄管の製造を開始し、桂沢上水道組合(現在の桂沢水道企業団)の創設に初めて採用された。

7 ウェットスプレー遠心力铸造法

サンドレジン型遠心力铸造法では、金枠に無数のガス抜き孔を設ける必要があり、金枠の維持管理作業が大変であること、焼鈍に伴う寸法ばらつきが大きいことなどの問題があった。そこで、ガス抜き孔のない予熱金枠の内面に水に溶いたスラリー(珪藻土、ベントナイト、水)をスプレーして耐火物層を形成しておき、溶湯を铸込むウェットスプレー遠心力铸造法が開発され、まず呼び径1000、1200で実用化された。

今日の日本のダクタイル鉄管製造技術は世界をリードするものであり、技術・製品ともに遠く海外に輸出されるまでに至っている。特に1987(昭和62)年に製造された呼び径2900ダクタイル鉄管のような超大口径管の遠心力铸造技術は世界を驚嘆させた。

●図表1-4-1-9 呼び径2900ダクタイル鉄管



クボタ写真提供(日本ダクタイル鉄管協会加工)

1978(昭和53)年10月、中国土木工
程学会しょうへいの招聘により、日本水道協会
名誉会員小林重一先生を団長に、日
本下水道協会専務理事寺島重雄先生
を副団長に、計8名の訪中団が17日
間にわたり北京、西安、南京、上海を
回り、技術交流を行った。詳細は日
中経済協会から報告書が出ているの
で、ここでは省略する。時あたかも鄧
小平副首相が日中平和友好条約批准
書交換のため来日された前後であり、
中国でも友好的な雰囲気がみなぎり、
その上、時候もベストシーズンであ
ったこともあって万事めぐまれた旅で
あった。

当時中国では国を挙げて4つの近
代化に取り組んでいた。農業、工業、
国防、科学技術である。交流会を通じ
て感じた限りでは、自力更生を貫く精
神と新技術を吸収しようとする強烈
な意欲がひしひしと迫ってくるよう
な印象に打たれた。

さて、鑄鉄管に関連する一部に
ちよっと触れてみよう。水道管の主流
はやはり鑄鉄管であったが、どこも普
通の印籠形鑄鉄管であり、ダクタイル
鉄管はまだなかった。鑄鉄管の製造工
場は北京、上海にもあるが、主力は鞍

山工場であるとのこと(終戦時に満州久
保田鑄鉄管を接収したもので、その後もその
まま稼働させている)。上海鑄鉄管工場で
は水冷銅鑄型による立型半連続鑄造
方式で小管を製造していた。ソ連から
持ってきた技術らしいが、まだまだ問
題ありとのこと。ただ感心したのは取
鋼の扱いから鑄造機の運転まで女性
がやっていたことで、当時の日本では
まずないことだろうと思った。中国で
は男女を問わず同一労働同一賃金で、
働ける者はすべて働くのが原則だか
ら当然のことなのだろう。

もうひとつ。西安(昔の長安)で、あ
まりの懐かしさに胸が熱くなる思い
をしたことだった。それは技術交流会
が終わった直後、私とほぼ同年輩と
思われる一人の技師が近寄り、「高級
鑄鉄管規格、昭和8年印刷、久保田鉄
工所」なる古びたわら藁半紙刷りの規格書
を取り出され、「その後も変わってい
ないか」と質問されたことだった。パ
ラパラとめくって見ると、旧漢字と片
仮名文字とむずかしい文章の、まぎ
れもない鞍山当初の規格書であった。

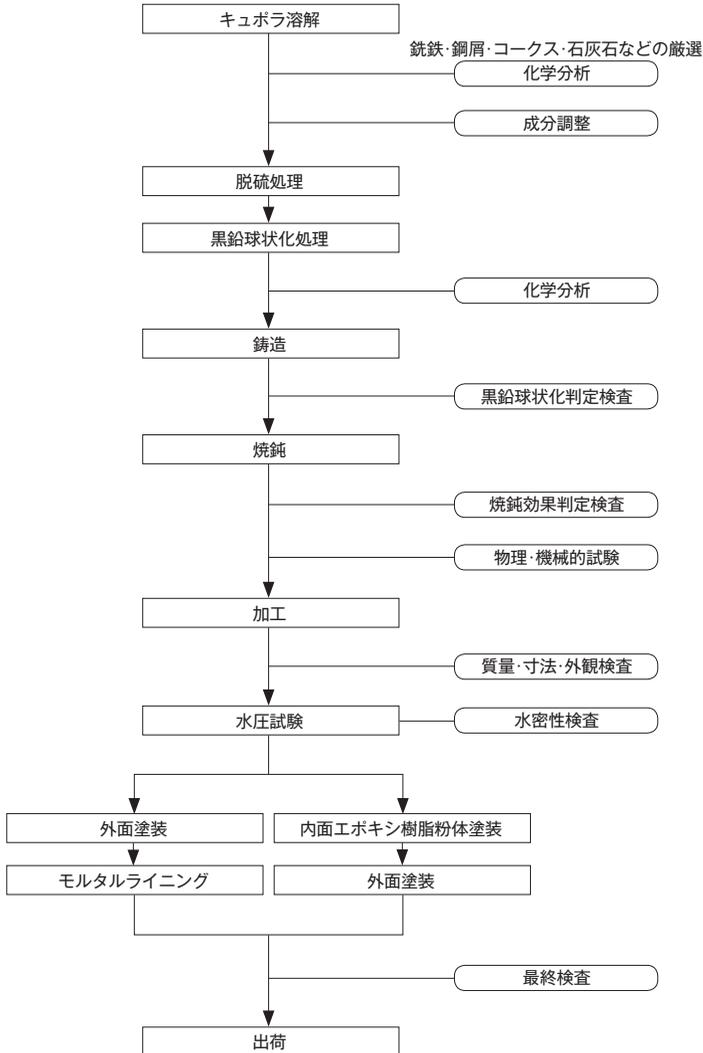
宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より

1-4-2 現在の製造方法

1 直管の製造工程

直管の製造工程と品質管理のフローの一例を図表1-4-2-1に示す。

●図表1-4-2-1 ダクタイル鉄管(直管)の製造工程



① 溶解

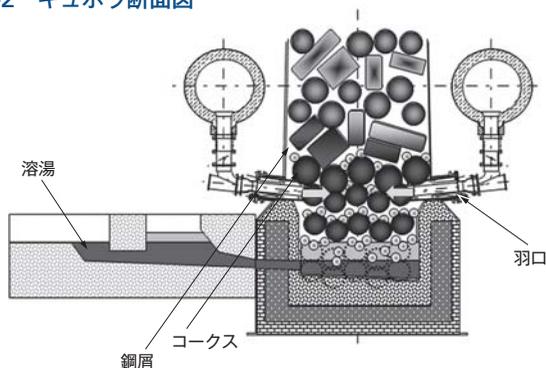
連続的に大量の良質な溶湯が得られる特徴を有することから、溶解にはキュポラが使用されている。日本の鉄管メーカーが保有するキュポラの中には溶解能力(時間当たりの溶解トン数)が世界最大級のものもある。

溶解方法はキュポラに良質のコークス(石炭から製造した燃料)を投入し、羽口から高温の空気を吹き込むことで、燃焼させる。その雰囲気温度は 2000°C 以上にもなり、その熱で鋼屑・銑鉄などの鉄源を溶かして、 1500°C 以上の高温の溶湯にする。溶湯中には黒鉛球状化を阻害する硫黄(S)が含まれるため、生石灰(CaO)やカルシウムカーバイド(CaC_2)を添加して脱硫処理を行った後、低周波炉に保持し、温度・成分の調整を行う。

その後、黒鉛を球状化させるために、溶湯に少量のマグネシウム(Mg)、またはその合金を添加する。マグネシウムの添加には圧力添加法やコンバータ法などが用いられる。

各工程では、溶湯中の成分(炭素(C)、ケイ素(Si)、硫黄、マグネシウムなどの元素)が基準を満足しているかをサンプリング・分析によって確認している。

●図表1-4-2-2 キュポラ断面図



② 鋳造

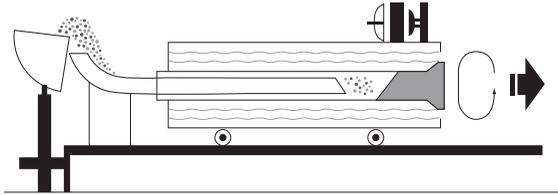
1) 金型遠心力鋳造法

金型遠心力鋳造法は、同一管種を連続的に高能率で生産するのに適した鋳造法であり、主に小・中口径管に適用される。

高速回転させた水冷金型に細長い樋(トラフ)を通じて一定割合で溶湯を流し込みながら、金型を後退させる。金型上に落ちた溶湯は遠心力の作用によって金型内面

に広がり、均一な厚みの管を鑄造できる。鑄造後短時間で凝固するため、すぐに金型から引き抜くことができる。なお、受口部には砂型中子(コア)をセットして鑄造しており、鑄造時に受口内面形状を形成することができる。

●図表1-4-2-3 金型遠心力鑄造法の仕組み



●図表1-4-2-4 金型遠心力鑄造法による管の鑄造

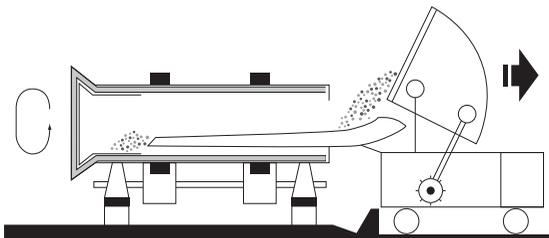


2) ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法

ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法は、多品種の大口径管を生産するのに適した鑄造法であり、主に中・大口径管に適用される。

耐火粉末を薄く内面にコーティングした金型を高速回転させ、樋(トラフ)を通じて一定割合で溶湯を流し込みながら、樋を後退させる。金型遠心力鑄造法と同様、金型上に落ちた溶湯は遠心力の作用によって金型内面に広がり、均一な厚みの管を鑄造できる。鑄造が終わった金型はクレーンで搬送され、管の引き抜き、ブラシ・コーティング工程を経て、次の鑄造を行うことができる。

●図表1-4-2-5 ウェットスプレーコーティング遠心力鑄造法の仕組み



●図表1-4-2-6 ウェットスプレーコーティング遠心力铸造法による管の铸造

③ しょうどん 焼鈍

1) 連続式横転炉

連続式横転炉は、金属爪(フィンガー)で管を押しして転がしながら熱処理を行う炉で、連続的に高効率で生産するのに適した焼鈍設備であり、小口径・中口径・大口径などに適用されている。

铸造された管のままではセメントイトやパーライトを含んだ脆い組織であるため、高温焼鈍を行うことによって基体組織をフェライト化し、強靱性・延性を持たせている。

●図表1-4-2-7 連続式横転炉



2) バッチ式炉

バッチ式炉は、1本1本熱処理を行う炉であって、管の変形を抑制するためローラー上に横たえた管を回転させる方式(回転式)と管を立てたまま静止させておく方

式(立型式)がある。

焼鈍後は、扁平試験または組織観察を行い、焼鈍効果を確認している。

●図表1-4-2-8 バッチ式炉(回転式)



●図表1-4-2-9 バッチ式炉(立型式)



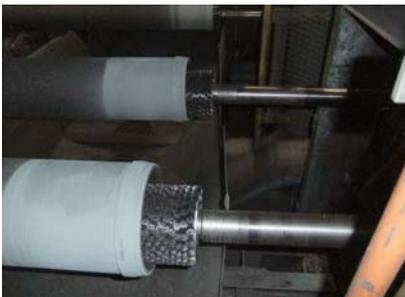
4 加工

成分・組織・機械的性質といった厳しい検査に合格した管は、外面や内面について研削・切削・溶接などが行われ、規定の形状・寸法のダクタイル鉄管に仕上げられる。

研削工程では、主に塗装の下地処理を目的に、外面ではブラスト処理、内面では中摺り処理が施される。切削工程では、主に大口径管の受口内面の形状・寸法確保を目的に旋盤加工が施される。また、耐震継手管向けの挿し口外面には、離脱防止機能付加を目的にリング溶接も施される。

規定の形状・寸法に仕上げられた管は全数について水圧試験が行われ、管の水密性が確認される。

●図表1-4-2-10 内面研削加工



●図表1-4-2-11 旋盤による受口内面加工



●図表1-4-2-12 水圧試験



5 塗装

1) 内面塗装

内面塗装は、エポキシ樹脂粉体塗装(主に小・中管)とモルタルライニングに大きく分けられる。

エポキシ樹脂粉体塗装は、200℃程度に加熱した管を回転させながら管内面にエポキシ樹脂粉末を吹き付ける塗装方法である。検査工程では、全数の管について塗膜厚さの測定やピンホール試験を実施し、規格に適合しているかを確認している。

モルタルライニングは、セメント・砂・水を混ぜたモルタルを高速回転した管に流し込み、養生後に表面のレイタンス層を取り除き、シーラートを塗布する方法である。検査工程では、外観や厚さの測定などを行っている。

●図表1-4-2-13 エポキシ樹脂粉体塗装



塗装状況



製品の内面状況

●図表1-4-2-14 モルタルライニング



施工状況

2) 外面塗装

外面塗装では、エポキシやアクリル系の合成樹脂塗料を塗装している。小・中口径管では、乾燥を早めるために60℃程度に加熱して回転した管にスプレー塗装を行っている。製造時には、目標厚さの塗膜を形成できるように塗布量を管理している。

また、GX形管では耐食亜鉛系塗装を施している。合成樹脂塗装前に、亜鉛合金溶射、封孔処理を施して耐食性を向上し、長寿命を実現している。

●図表1-4-2-15 外面塗装



亜鉛合金溶射

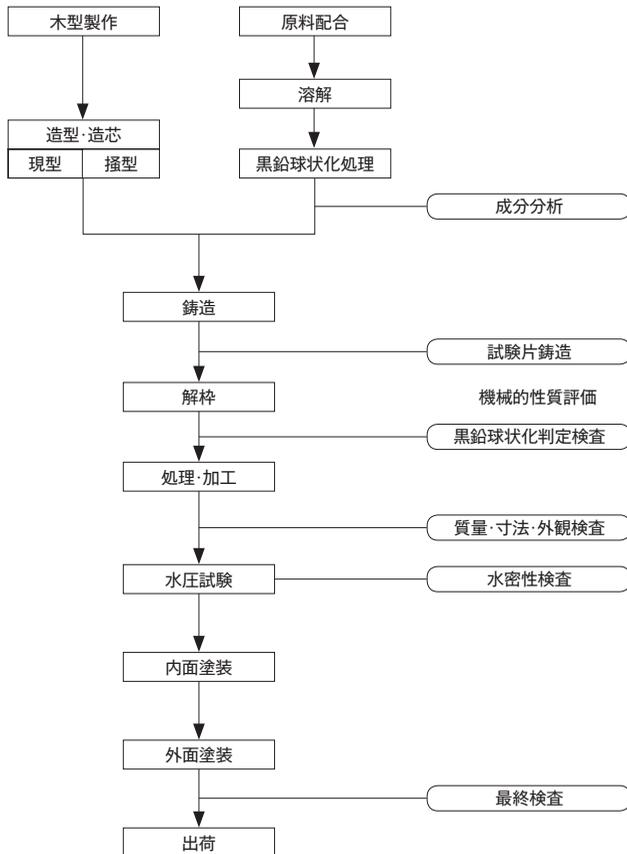


合成樹脂塗装

2 異形管の製造工程

異形管の製造工程と品質管理のフローの一例を図表1-4-2-16に示す。

●図表1-4-2-16 ダクタイル鉄管(異形管)の製造工程



① 造型・造芯工程

異形管の造型・造芯工程は、大きく現型造型法と掻型造型法に分かれる。造型砂には造型法に適したものが使用される。

異形管の鑄型は、製品の外側形状となる上型、下型と、内側形状となる中子(また

は芯)から構成される。

・ 現型造型法

製品と相似形状をした三次元(半割)の模型に金枠をかぶせて砂を詰め、砂が硬化した後に模型を抜き取ることで模型形状を写し取った鑄型が完成する。

機械化に適した造型法であり、ばらつきが少ない鑄型を造れるが、模型の製作には費用・期間がかかり、また保管スペースも必要となる。

多量または繰り返し生産するのに適している造型法といえる。主に、小口径管・中口径管などに用いられる。

・ 掻型造型法

二次元での木型を円運動あるいはスライド運動させることにより三次元の鑄型を造る。木型製作費や製作期間を圧縮できる反面、造型作業には技能と労力が必要である。多品種少量生産に適した造型法であり、主に、大口径管・特大口径管などに用いられる。

● 図表1-4-2-17 異形管の造型



現型造型法に使用される模型



掻型造型法

② 鑄造工程

異形管の鑄造は直管と異なり、砂で造型した鑄型を使用する。鑄造後は製品を取り出す際に鑄型を壊すので、鑄造のたびに鑄型を造り直す。

1) かぶせまえ被前(鑄型のセット)

下型、中子、上型を所定の位置に組み合わせ、鑄造時に溶湯流で鑄型が動いたり、溶湯が漏れたりしないよう固定する。

2) 鑄込み

1350℃程度の溶湯を流し込む。溶湯は湯道から堰を通り静かに鑄型の中に入っ

ていく。凝固の際、砂型の中で保温されながら時間をかけて冷えるので基地組織はフェライト化し、焼鈍工程を必要としない。

3) 解粹^{かいわく}

上型、下型を壊して製品を取り出し、製品から中子を取り出す。

●図表1-4-2-18 異形管の鑄造



被前(下型と中子のセット)



鑄込み



解粹

③ 処理加工工程

鑄造後から塗装前の鉄部完成までの処理加工工程は以下の通り。

1) 処理

鑄型から取り出された製品はショットブラストで表面の砂が除去され、湯道、堰、押湯、バリといった不要な部分がプラズマ切断機や高周波グラインダーなどで切断・除去される。この段階で製品表面を磨いて金属組織を観察し、黒鉛球状化判定検査と製品肉厚などの寸法検査が行われる。

2) 機械加工

主に中・大口径管では、工作機械によって継手部が規定の形状・寸法に加工され

る。接合用の孔明け加工、タッピング加工も行われる。また、塗装の下地処理を目的に、内面にグラインダー処理が施されるものもある。

3) 検査

質量測定、寸法・外観検査、水圧試験による水密性を全数確認している。

●図表1-4-2-19 異形管の加工処理・検査



機械加工



検査(水圧試験)

4 塗装工程

1) 内面塗装

エポキシ樹脂粉体塗装、液状エポキシ樹脂塗装、無溶剤形液状エポキシ樹脂塗装など、呼び径・用途に合わせて塗装を行う。

粉体塗装は、200～250℃に予熱した管に粉体塗料を静電塗装することで管の熱により塗料が熔融密着し、強固な塗膜が形成される。

液状エポキシ樹脂塗装は、エアレスプレーにより製品に吹き付けることで塗料の硬化反応により塗膜が形成される。

2) 外面塗装

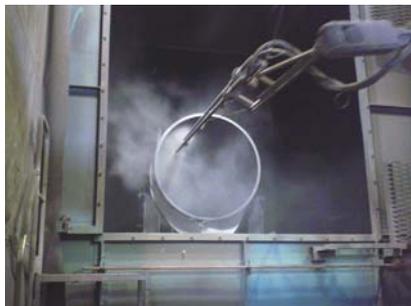
内面の塗装に塗料がかからないようマスキングを行い、塗装仕様に合わせて外面塗装を行う。塗装方法はエアレスプレー、ローラー刷毛など、塗料性状や塗膜厚さに応じて使い分ける。

3) 検査・出荷

塗装が乾燥・硬化した後で、塗膜厚さ、外観、ピンホールなどの不具合がないか最終検査を行う。

ペイント表示・梱包をして出荷する。

●図表1-4-2-20 異形管の塗装



内面粉体塗装ロボット



外面スプレー塗装

(図表1-4-2-4, 6～15, 17～20の写真はクボタ提供)

1-4-3 鋳鉄管メーカーの変遷

横浜のガス灯用のガス管として1872(明治5)年ごろに英国のR. レイドロー社の鋳鉄管が輸入されたのが、日本の鋳鉄管の始まりである。

国内のメーカーについては、いつから鋳鉄管を製造して、いつ辞めたかなどははっきりしないメーカーもあるが、資料を基に分かっているメーカーの変遷を以下に示す。

1895(明治28)年創設の大阪市水道では大阪砲兵工廠が鋳鉄管を製造し納入する予定であったが、生産が間に合わず、半分以上は英国のD.Y. スチュワード社の鋳鉄管が使用されたが、大阪城に現在でも使用している当時の大阪砲兵工廠製鋳鉄管が残っている。また、1898(明治31)年創設の東京水道でも当初国産化を図ったが日本鋳鉄合資会社の製造がうまくできずに、ベルギーのリエージュ市水道鉄管会社の鋳鉄管を使用することになった。

佐賀の谷口鉄工所は1883(明治16)年に設立し、1892(明治25)年に鋳鉄管の製造に成功した記録が残っているが、現存する最古の谷口鉄工所製鋳鉄管は下関市の1904(明治37)年のものである。また、1915(大正4)年の佐賀市水道の創設時に鋳鉄管を納めている。1893(明治26)年には久保田鉄工所が鋳鉄管の製造を開始し、1900(明治33)年には大阪鉄工所、官営八幡製鉄所(現新日鐵住金八幡製鉄所)が鋳鉄管の製造を開始した。1903(明治36)年には釜石鉾山田中製鉄所(現新日鐵住金釜石製鉄所)が鋳鉄管の製造を開始し、1909(明治42)年には栗本鐵工所が操業している。

数多くの鋳鉄管メーカーが明治時代に創業したが、その多くは1929(昭和4)年に

始まる世界恐慌^{きょうこう}の影響で日本経済が危機的な状況に陥った1930(昭和5)年から翌1931(昭和6)年にかけての昭和恐慌の際に鑄鉄管の製造を中止した。その後も鑄鉄管の製造を継続したのは久保田鉄工所と栗本鐵工所のみで、1949(昭和24)年に東洋精工業(現日本鑄鉄管)が鑄鉄管の製造を新たに開始した。

● 図表1-4-3-1 過去の鑄鉄管(直管)メーカー

メーカー	明治		大正		昭和				平成					
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
〈輸入鑄鉄管〉 ^{注1}														
R.レイドロ-&ソンス社 (R.LAIDLAW & SON/RL&S) (英国) ガス用	1872~1907(明治5~40)年ごろ													
R.レイドロ-&ソンス社 (R.LAIDLAW & SON/RL&S) (英国) 水道用	1885~1907(明治18~40)年ごろ													
リエージュ市水道鉄管会社 (Compagnie General Liesi/ CIEGLELIEGE) (ベルギー)	1896~1902(明治29~35)年ごろ													
D.Y.ステュワード社 (Daniel Yoolow Stewart & Co./DYS&C) (英国)	1889~1907(明治22~40)年ごろ													
R.マクラレン社 (Roberts McLaren & Co./RM&C) (英国)	1887~1901(明治20~34)年ごろ													
TE&S ^{注2}	1901(明治34)年ごろ													
〈国産鑄鉄管〉														
東京鉄管製造	1875(明治8)年ごろ(ガス用鑄鉄管の製造を手掛けた記録があるが、製品として製造したか定かではない)													
中小坂鉄山(群馬県)	1876(明治9)年ごろ(ガス用鑄鉄管の製造を手掛けた記録があるが、製品として製造したか定かではない)													
日本鑄鉄合資会社(東京市)	1892~1894(明治25~27)年ごろ(東京水道の創設時に鑄鉄管の製造を試みるが失敗した)													
東京堅鉄株式会社	1907~1916(明治40~大正5)年													
永瀬鉄工所(川口市)	1893~1937(明治26~昭和12)年													
官営製鉄所(釜石釜山田中製鐵所のルーツ)	1880~1883(明治13~16)年ごろ													
釜石釜山田中製鐵所(現新日鉄住金釜石製鐵所)	1903~1917(明治36~大正6)年													
田中釜山株式会社(現新日鉄住金釜石製鐵所)	製鉄技術 1917~1930(大正6~昭和5)年ごろ													
官営八幡製鐵所 尾倉鑄造工場(現新日鉄住金八幡製鐵所)	1900~1933(明治33~昭和8)年ごろ													
官営八幡製鐵所 堂山鑄造工場(現新日鉄住金八幡製鐵所)	1918~1927(大正7~昭和2)年ごろ													
大阪砲兵工廠(大阪市)	1891~1919(明治24~大正8)年ごろ													
谷口鉄工所(佐賀県)	1892~1929(明治25~昭和4)年													
大阪鉄管製造所	1925~1948(大正14~昭和23)年													
藤永田造船所	1921~1924(大正10~13)年													

注1 輸入鑄鉄管は製造期間ではなく、日本への輸入時期を示す(日本水道創設期の水道事業への輸入実績のみ示す)。

注2 メーカー名不明のため、管体鑄出しマークを記載している。

備考 ■■■■■ は、鑄鉄管の製造以外を示す。

●図表1-4-3-2 現在のダクタイル鉄管(直管)メーカー(国内)

メーカー	明治		大正		昭和				平成					
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
株式会社クボタ		● 1890(明治23)年、大出鑄物(現株式会社クボタ)創業	● 1894(明治27)年、大出鑄造所と改称	● 1897(明治30)年、久保田鉄工所と改称	● 1930(昭和5)年、株式会社久保田鉄工所と改称	● 1953(昭和28)年、久保田鉄工株式会社と改称						● 1990(平成2)年、株式会社クボタと改称		
大出鑄物 (大阪市南区御藏跡町23番地)		1890～1893(明治23～26)年(1891(明治24)年に高津町に移転)												
大出鑄造所 西開谷町工場 (後に第一分工場)		1893～1917(明治26～大正6)年 (1894(明治27)年に大出鑄造所に改称)												
久保田鉄工所 北高岸町工場 (後に本店工場、船出町工場となる)		1900～1918(明治33～大正7)年												
久保田鉄工所 第二分工場 (南区馬淵町)		1907～1917(明治40～大正6)年												
大阪鉄工所(現日立造船株式会社)		1900～1916(明治33～大正5)年 (1908(明治41)年、尼崎へ移転)												
関西鉄工株式会社 (後に尼崎工場となる)		1916～1917(大正5～6)年												
久保田鉄工所 尼崎工場		1917～1957(大正6～昭和32)年												
株式会社久保田鉄工所 武庫川工場 (現株式会社クボタ阪神工場)		1941(昭和16)年～												
満州久保田鑄鉄管株式会社 鞍山工場		1935～1945(昭和10～20)年 (以降、中国の工場となる)												
株式会社久保田鉄工所 北京工場		1940～1945(昭和15～20)年 (以降、中国の工場となる)												
株式会社隅田川精鉄所		1920～1938(大正9～昭和13)年 (1927(昭和2)年に久保田鉄工所が買収)												
株式会社久保田鉄工所 隅田川工場		1938～1967(昭和13～42)年 (以降、船橋工場に移転)												
久保田鉄工株式会社 船橋工場 (現株式会社クボタ京葉工場)		1963(昭和38)年～ (2002(平成14)年、京葉工場に改称)												

備考 ■■■ は、鑄鉄管の製造以外を示す。

1912(明治45)年ごろの
久保田鉄工所本店新工場(後の船出町工場)。
高津入堀川をまたぐ80尺クレーンによる
鉄管の出荷風景。

『クボタ100年』(クボタ、1990年)より



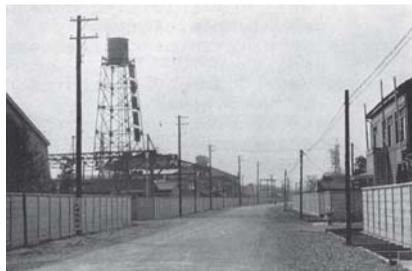
メーカー	明治			大正		昭和				平成				
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
株式会社栗本鐵工所				● 1909 (明治42) 年、栗本鐵工所創業	● 1914 (大正3) 年、合資会社栗本鐵工所と改称				● 1934 (昭和9) 年、株式会社栗本鐵工所と改称					
紀野吉鐵工所				■ 1906 ~ 1909 (明治39 ~ 42) 年										
株式会社栗本鐵工所 千島工場	1909 ~ 2002 (明治42 ~ 平成14) 年													
株式会社栗本鐵工所 加賀屋工場				1940 (昭和15) 年 ~										
新日本ハイク株式会社						1963 ~ 1987 (昭和38 ~ 62) 年				● 1975 (昭和50) 年、買収	● 1987 (昭和62) 年、合併			
株式会社栗本鐵工所 堺工場										1987 (昭和62) 年 ~				
製造メーカー	明治			大正		昭和				平成				
	1880	1890	1900	1910	1920	1930	1940	1950	1960	1970	1980	1990	2000	2010
日本鑄鉄管株式会社						● 1937 (昭和12) 年、東洋精機株式会社 (現日本鑄鉄管株式会社) 創業	● 1939 (昭和14) 年、東洋精工工業株式会社と改称			● 1960 (昭和35) 年、日本鑄鉄管株式会社と改称				
東洋精機株式会社						■ 1937 ~ 1939 (昭和12 ~ 14) 年								
東洋精工工業株式会社							■ 1949 ~ 1960 (昭和24 ~ 35) 年							
日本鑄鉄管株式会社 蕨工場						1960 ~ 1981 (昭和35 ~ 56) 年								
日本鑄鉄管株式会社 久喜菖蒲工場 (現本社・工場)												1981 (昭和56) 年 ~		

備考 ■ は、鑄鉄管の製造以外を示す。



1935 (昭和10) 年ごろの栗本鐵工所千島工場 (現在は閉鎖)。工場敷地内の護岸から港湾船 (はしけ) に積み出された鑄鉄管は、貨物船へと積み替えられ国内外に出荷された。

『栗本鐵工所百年記念誌-百歳のしるべ』(栗本鐵工所、2010年)より



1962 (昭和37) 年当時の日本鑄鉄管蕨工場。道路を挟んで左側が工場、右側手前の建屋が事務所、その奥は製品置場。

『日本鑄鉄管三十年史』(日本鑄鉄管、1968年)より

1-5

継手の歴史

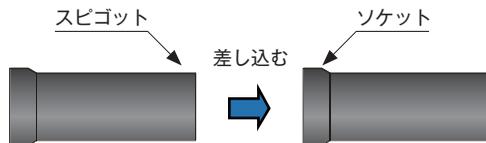
1-5-1 主な継手の変遷

日本で初めて使用された鑄鉄管は、1872(明治5)年に横浜の街頭にガス燈を灯すために布設されたガス管用の輸入管である。この鑄鉄管はソケット形であり、葉などを入れて腰に下げる印籠の形に似ていたので「印籠接手^{*1}」といわれるようになった。

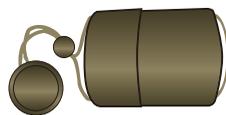
*1 1914(大正3)年の上水協議会規格では「印籠接手」が用いられており、1961(昭和36)年以降はC形が用いられた。本書では総称として「印籠継手」を用いている。

●図表1-5-1-1 鑄鉄管の印籠接手と印籠

鑄鉄管



日本の印籠



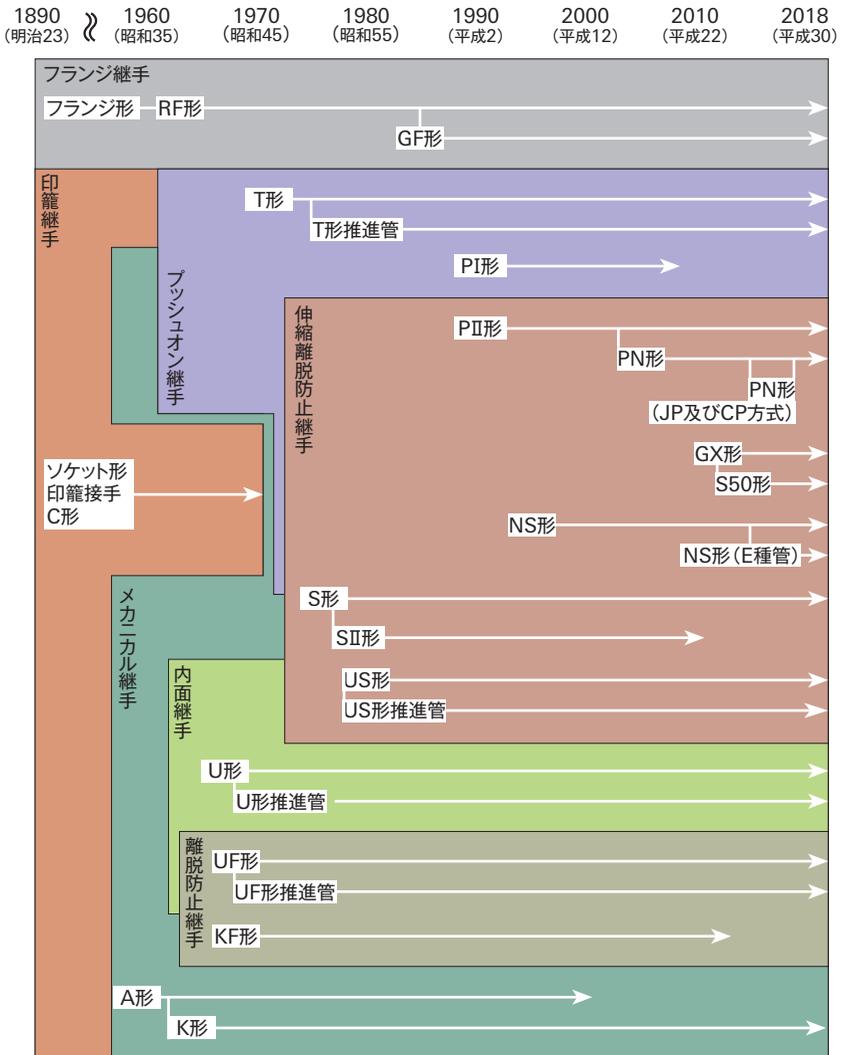
その後1891(明治24)年ごろから国産品が製造され、鑄鉄管の材質は普通鑄鉄、高級鑄鉄、ダクタイル鑄鉄と発展していったが、その過程で多くの継手が開発された。水密性の確保、現場の人手や施工技術の不足を補うためなど時代のニーズに応える継手の開発が行われた。またゴム輪の開発により継手の構造は大きく変化した。

また、トンネル内配管、推進工法、PIP(パイプインパイプ)工法、水管橋用など工法に応じたダクタイル鉄管の継手も開発されてきた。また、防護コンクリートに代わり曲管部などの不平均力を止める離脱防止継手や地震や地盤沈下に耐える伸縮離脱防止継手など現在の主流となる継手が開発されてきた。

ダクタイル鉄管の歴史は「継手の歴史」といっても過言ではなく、近代水道創設期に埋設された鑄鉄管には現在も使用されているものがある。過去の多くの継手が日本の地下に埋設されている現在、今後の水道管路の更新、また新しい継手の開発においても継手の歴史を十分に理解しておくことが必要となる。そこで本節では日本における継手の歴史を概説する。

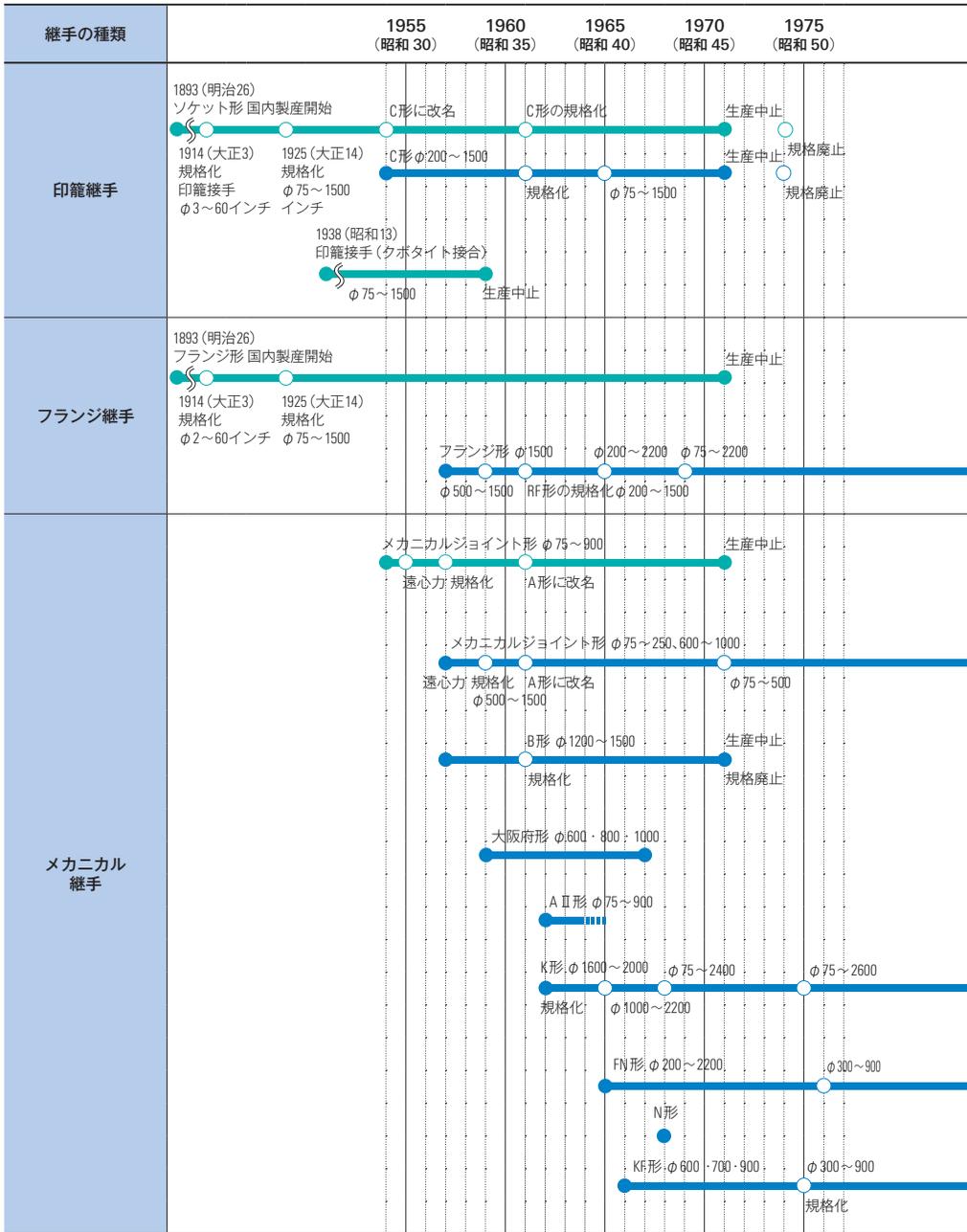
なお、本節の継手の構造図に記載している年度はその継手が布設に用いられた年または製造開始年から中止年を示している。一方、表内の年は主な規格の制定、改正、廃止年を示している。また、継手の構造図に記載している呼び径はその継手を使用された当時の呼び径を示し、現在も使用しているものは現在の呼び径を示した。

●図表1-5-1-2 継手の歴史と接合形式別分類

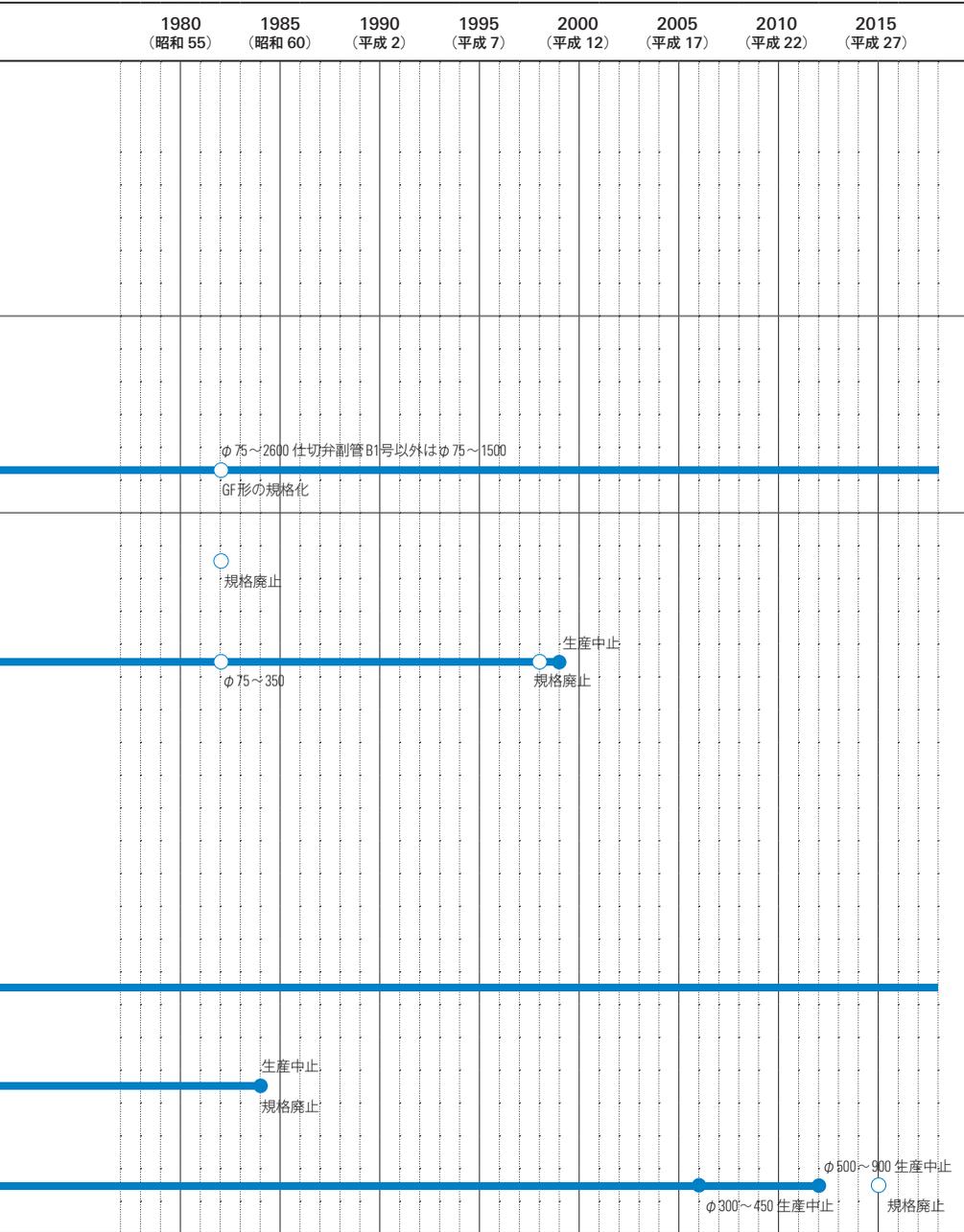


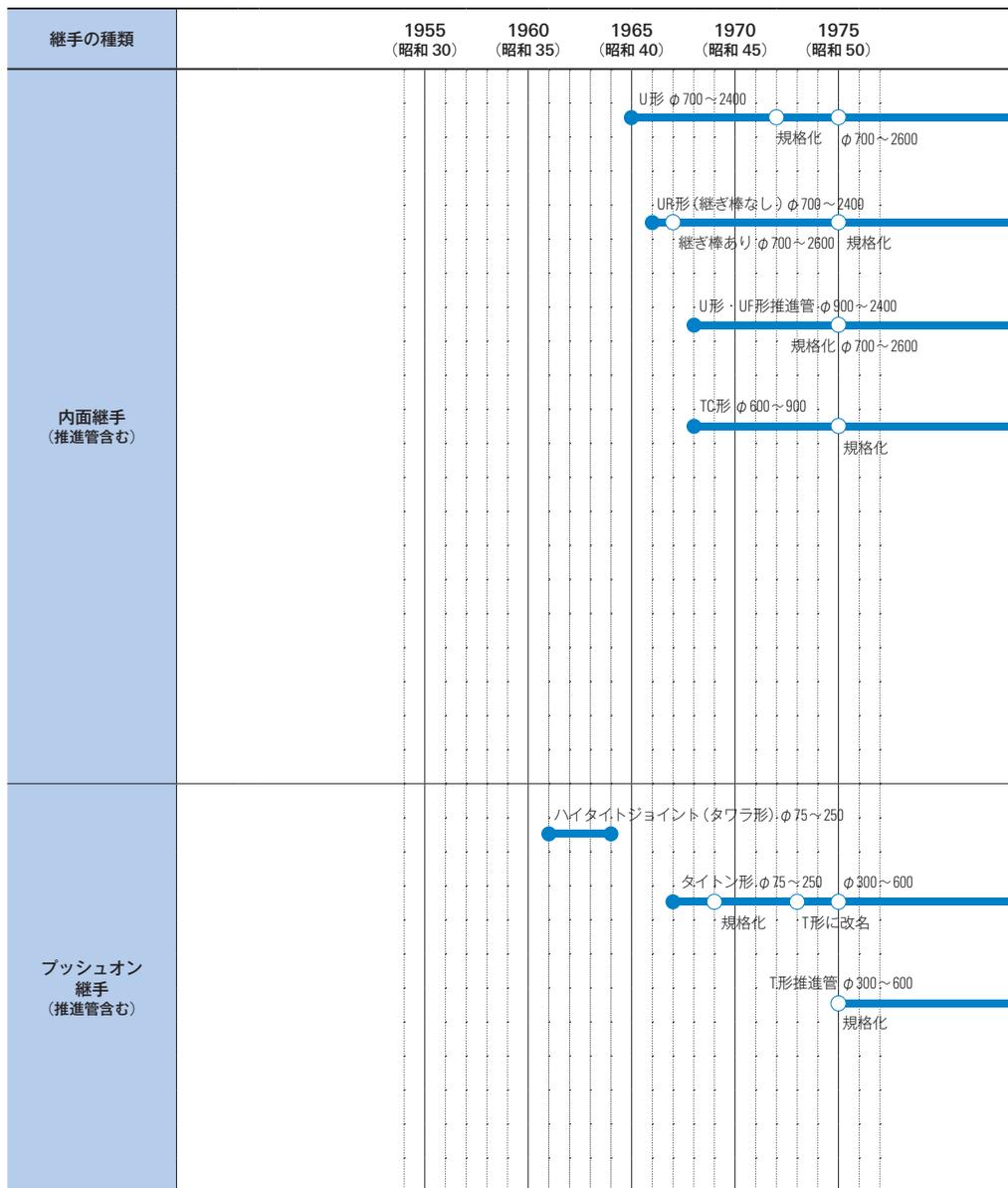
●図表 1-5-1-3 直管の主な接合形式の変遷

凡例 ● = 生産開始、○ = 規格制定・改訂・廃止など、● = 生産中止(年は製造メーカーにより多少異なる)、



— は鑄鉄管、— はダクタイル鉄管



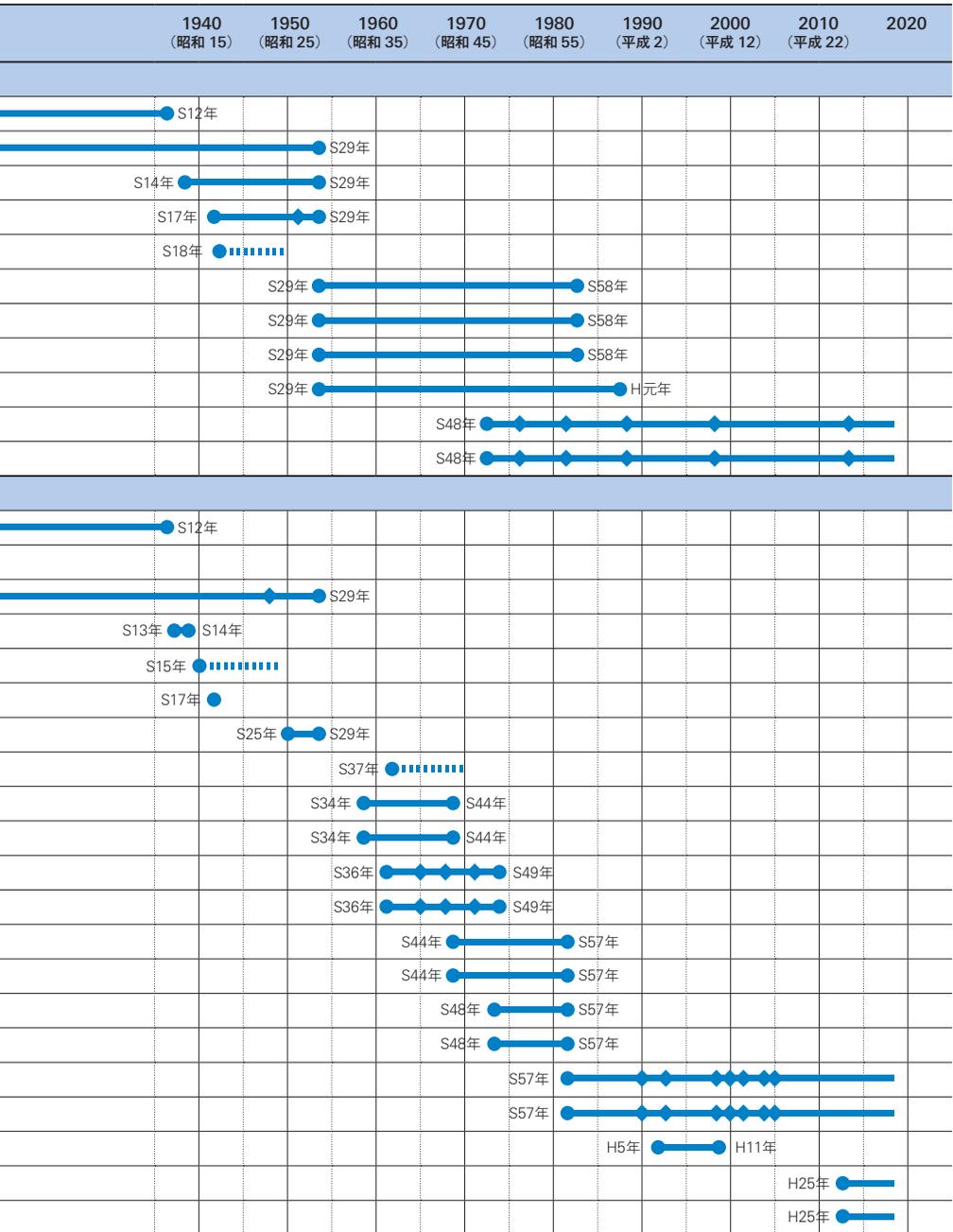


継手の種類	1955 (昭和 30)	1960 (昭和 35)	1965 (昭和 40)	1970 (昭和 45)	1975 (昭和 50)
耐震継手					<p>S形φ 1000～1500 φ 500～2000 S Ⅱ形 φ 100～450 DUB形 呼び径 500・1000・1500</p>
PIP 工法用継手					<p>タイトン形・ロックリングタイトン形・TN形・TS形など</p>

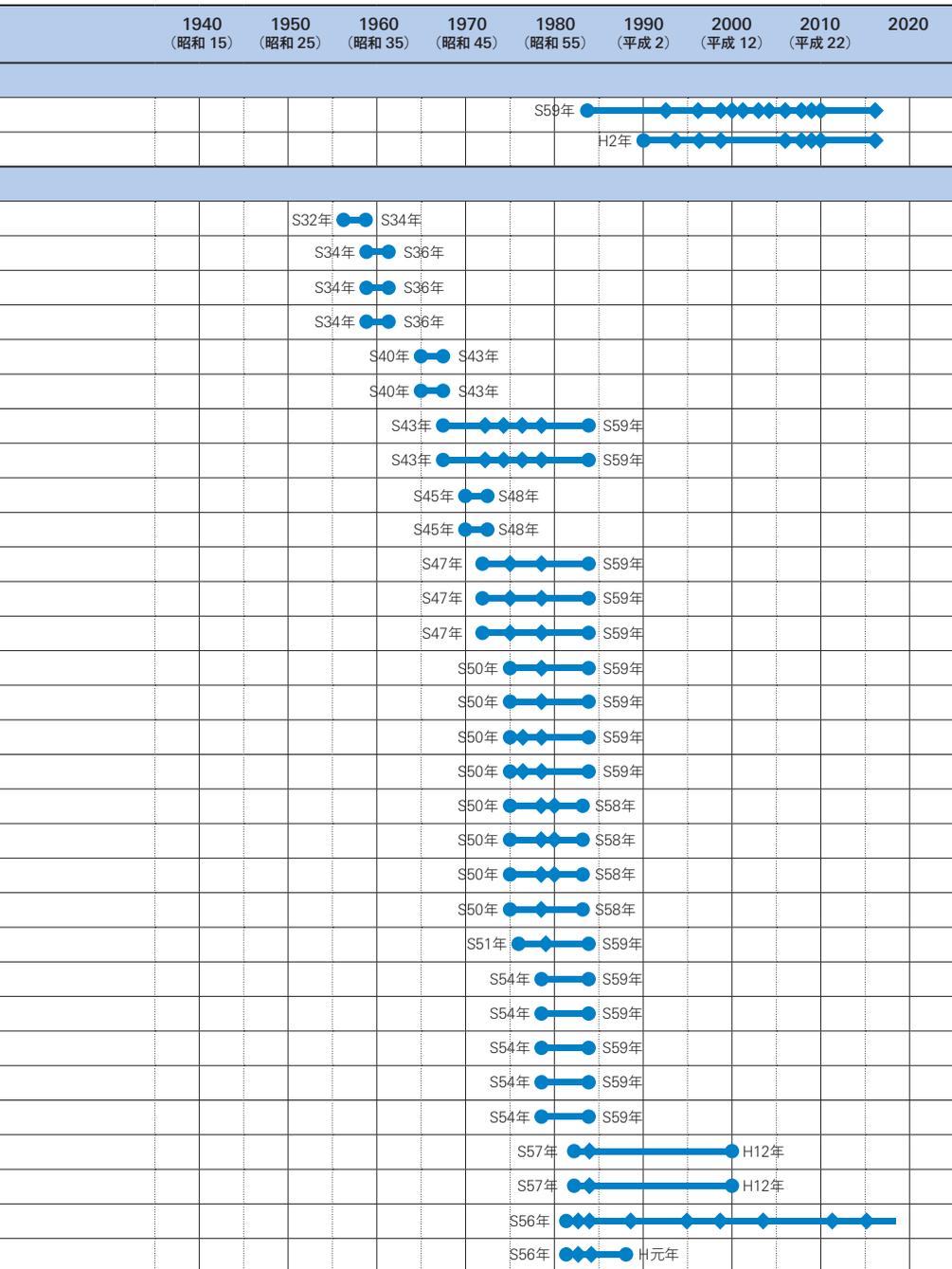
● 図表 1-5-1-4 主な規格の変遷

凡例 ● = 制定、◆ = 改正、● = 廃止、T = 大正、S = 昭和、H = 平成

規 格	1920 (大正 9)	1930 (昭和 5)
日本工業規格類		
JES 第80号類別G21 水道用鑄鉄管規格	T3年 ●	
JES 第272号類別G36 水道用高級鑄鉄管規格		S9年 ●
臨 JES 第111号類別G 水道用高級鑄鉄薄手管規格		
臨 JES 第328号類別G 水道用遠心力砂型鑄鉄管臨時規格		
土木工事戦時規格		
JIS G 5521 水道用立型鑄鉄管		
JIS G 5522 水道用遠心力砂型鑄鉄管		
JIS G 5523 水道用遠心力金型鑄鉄管		
JIS G 5524 水道用鑄鉄異形管		
JIS G 5526 ダクタイル鑄鉄管		
JIS G 5527 ダクタイル鑄鉄異形管		
(社) 日本水道協会規格		
水道用鑄鉄管仕様書標準	T3年 ●	
水道用鑄鉄管規格	T 14年 ●	S3年 ●
水道用高級鑄鉄管規格		S8年 ●
水道用高級鑄鉄薄手管規格		
水道用高級鑄鉄管臨時規格		
水道用砂型遠心力鑄鉄管臨時規格		
水道用遠心力金型鑄鉄管		
水道用鑄鉄異形管実用管種表(厚生省監修)		
JWSA G 102 水道用メカニカルジョイント形鑄鉄直管		
JWSA G 103 水道用メカニカルジョイント形鑄鉄異形管		
JWSA G 105 水道用遠心力ダクタイル鑄鉄管		
JWSA G 106 水道用ダクタイル鑄鉄異形管		
JWWA G 108 水道用遠心力鑄鉄管		
JWWA G 109 水道用鑄鉄異形管		
JWWA G 110 水道用T形遠心力ダクタイル鑄鉄管		
JWWA G 111 水道用T形ダクタイル鑄鉄異形管		
JWWA G 113 水道用ダクタイル鑄鉄管		
JWWA G 114 水道用ダクタイル鑄鉄異形管		
JWWA G 114-2 水道用うず巻式ダクタイル鑄鉄フランジ付きT字管(消火栓用)		
JWWA G 120 水道用GX形ダクタイル鑄鉄管		
JWWA G 121 水道用GX形ダクタイル鑄鉄異形管		

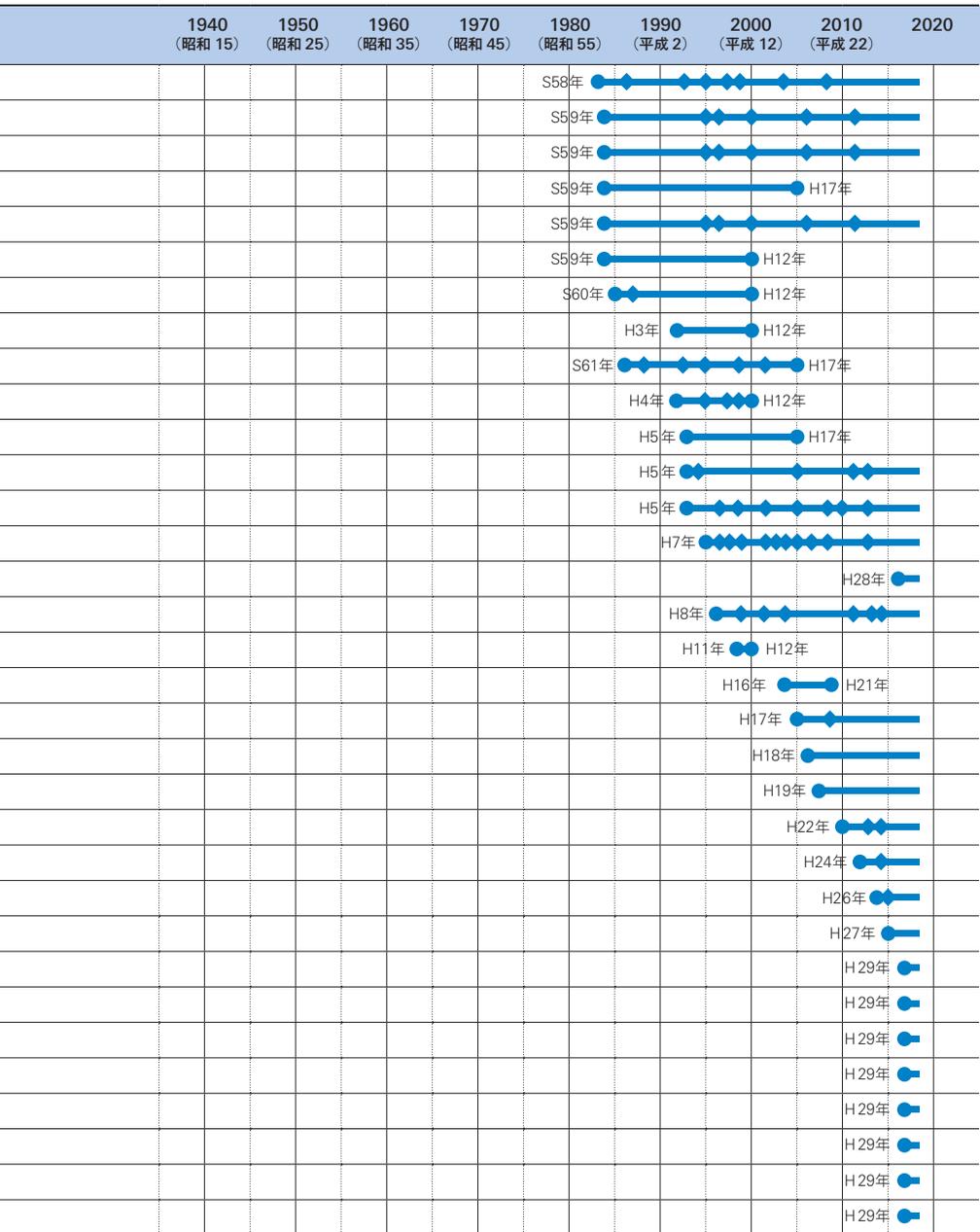


規 格	1920 (大正 9)	1930 (昭和 5)
日本下水道協会規格		
JSWAS G-1 下水道用ダクタイル鋳鉄管		
JSWAS G-2 下水道推進工法用ダクタイル鋳鉄管		
日本ダクタイル鋳管協会規格		
水道用メカニカルジョイント型鋳鉄直管、鋳鉄異形管及び付属品		
メカニカル型水道用遠心カ砂型ダクタイル鋳鉄直管		
メカニカル型水道用立型ダクタイル鋳鉄直管		
メカニカル型水道用ダクタイル鋳鉄異形管		
K形遠心カダクタイル鋳鉄管		
K形ダクタイル鋳鉄異形管		
JDPA G 1001 K形遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1002 K形ダクタイル鋳鉄異形管		
JCPA G 1003 タイトン形水道用遠心カダクタイル鋳鉄管		
JCPA G 1004 タイトン形水道用ダクタイル鋳鉄異形管		
JDPA G 1007 U形遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1008 U形ダクタイル鋳鉄異形管		
JDPA G 1009 フランジダクタイル鋳鉄長管		
JDPA G 1010 UF形遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1011 UF形ダクタイル鋳鉄異形管		
JDPA G 1012 KF形遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1013 KF形ダクタイル鋳鉄異形管		
JDPA G 1014 U形推進工法用遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1015 UF形推進工法用遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1016 T形推進工法用遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1017 TC形推進工法用遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1018 K形ダクタイル鋳鉄管用FN形継手		
JDPA G 1019 S形遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1020 S形ダクタイル鋳鉄異形管		
JDPA G 1021 SⅡ形遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1022 SⅡ形ダクタイル鋳鉄異形管		
JDPA G 1024 T形遠心カダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1025 下水道用ダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1026 下水道用ダクタイル鋳鉄管継手		
JDPA G 1027 農業用水用ダクタイル鋳鉄管		
JDPA G 1028 農業用水用ダクタイル鋳鉄管継手		



規 格		1920 (大正 9)		1930 (昭和 5)	
JDPA G 1029	推進工法用ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1030	ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1031	ダクタイル鑄鉄異形管				
JDPA G 1032	フランジ形ダクタイル鑄鉄直管				
JDPA G 1033	PⅡ形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1034	US形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1035	下水道推進工法用ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1036	下水道推進工法用GS形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1037	呼び径50ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1038	うず巻式ダクタイル鑄鉄フランジ付きT字管(消火栓用)				
JDPA G 1039	ボール式ダクタイル鑄鉄可とう管ユニット				
JDPA G 1040	ダクタイル鑄鉄管用ステンレス鋼製ボルト・ナット				
JDPA G 1041	ダクタイル鑄鉄製貯水槽(耐震用・緊急用)				
JDPA G 1042	NS形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1042-2	NS形ダクタイル鑄鉄管(E種管)				
JDPA G 1043	ダクタイル鑄鉄製FT形水管橋				
JDPA G 1044	浅層埋設形ダクタイル鑄鉄フランジ付きT字管(空気弁用・消化栓用)				
JDPA G 1045	農業用水用(低圧用)KL形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1046	PN形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1047	NS形防食ゴム付き切管用挿しロリング				
JDPA G 1048	US形ダクタイル鑄鉄管(LS方式)				
JDPA G 1049	GX形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1051	PN形ダクタイル鑄鉄管(JP方式及びCP方式)				
JDPA G 1052	S50形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 1053	ALW形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA A 3000	ダクタイル鑄鉄管、異形管及び接合部品				
JDPA G 3001	S形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3002	US形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3003	UF形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3004	K形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3005	T形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3006	U形ダクタイル鑄鉄管				
JDPA G 3007	フランジ形ダクタイル鑄鉄異形管				

備考 規格名称は最新のものを記載した。



1-5-2 印籠継手

1 ソケット形、印籠接手、C形

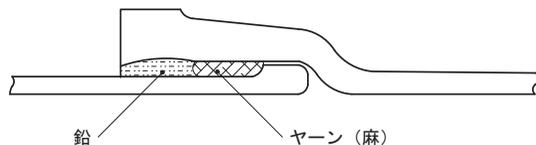
ベルサイユ宮殿の鑄鉄管など1600年代の初期の鑄鉄管の接合形式は、鉛をガスケットに用いたフランジ形であった。しかし、1785年にロンドンのチェルシー給水整備会社の技師トーマス・シンプソンがソケット&スピゴット(受口&挿し口)を用いた接合形式を考案、鉛と黄麻おうまを使って、試験的に埋設した結果が良好であり、1700年代後半以降の鑄鉄管にはこのソケット形が広く用いられるようになった。

明治初めごろ日本で使用された鑄鉄管は、ヨーロッパ(英国、ベルギーなど)からの輸入品であったためソケット形であった。ソケット形は、その構造が印籠の構造に似ていることから日本では「印籠接手」「鉛継手」と呼ばれた。日本最初の近代水道である横浜水道で鑄鉄管が使用された1885(明治18)年以來1950(昭和25)年ごろまでは、鉛とヤーン(麻)で止水する印籠接手(後のC形)が主要な接合形式として使用されたが、メカニカルジョイント形(A形)、K形などの普及に伴い1974(昭和49)年にC形は規格が廃止された。受口と挿し口の形状は、輸入品と国産品、時代などによって多少異なる。

印籠接手は1954(昭和29)年にC形に改名され、1961(昭和36)年に「JWSA G 105 水道用遠心力ダクタイル鑄鉄管」としてA形、B形とともに制定された。その際、管厚も普通圧、低圧から1種、2種、3種になり、かなり薄くなった。なお、C形の挿し口突部は、遠心鑄造法の場合は溶接で形成されていた。

図表 1-5-2-1～8 に印籠継手の変遷を示す。

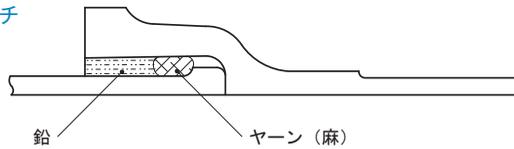
●図表 1-5-2-1 普通鑄鉄管 ソケット形(R.レイドロー社製)
1885(明治18)～1907(明治40)年ごろ
公称内径4～18インチ



横浜、函館、下関などで公称内径4～18インチの管が使われていた。

●図表1-5-2-2 普通铸铁管 ソケット形〈D.Y.スチュワード社製〉
1889(明治22)～1907(明治40)年ごろ

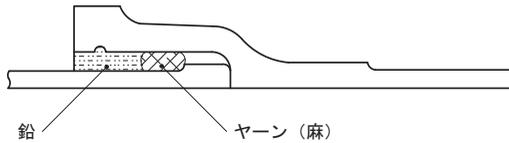
公称内径3.5～36インチ



長崎、大阪、広島、神戸などで使われていた。

●図表1-5-2-3 普通铸铁管 ソケット形〈リエージュ市水道鉄管会社製〉
1894(明治27)～1914(大正3)年ごろ

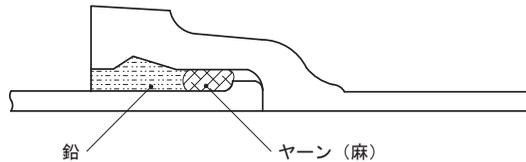
公称内径3～36インチ



東京、横浜、大阪などで使われていた。

●図表1-5-2-4 普通铸铁管(インチ管) 印籠接手 1914(大正3)～1937(昭和12)年

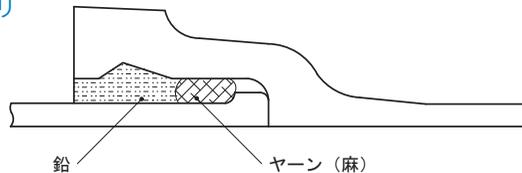
公称内径3～60インチ



規格：上水協議会規格「水道用铸铁管仕様書標準」

●図表1-5-2-5 普通铸铁管(ミリ管) 印籠接手 1925(大正14)～1937(昭和12)年

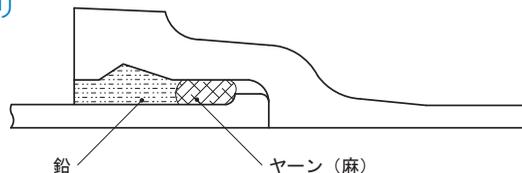
公称内径75～1500ミリ



規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

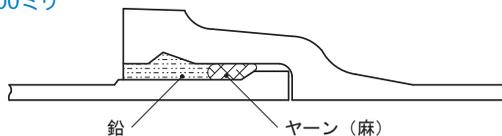
●図表1-5-2-6 高級铸铁管 印籠接手 1933(昭和8)～1954(昭和29)年

公称内径75～1500ミリ



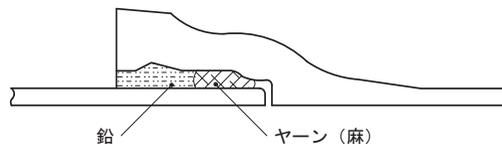
規格：上水協議会規格「水道用高級铸铁管規格」

●図表1-5-2-7 水道用遠心力砂型鑄鉄管 印籠接手 1942(昭和17)～1952(昭和27)年
公称内径300～900ミリ



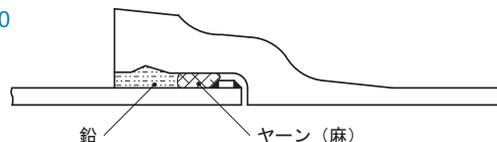
規格：水道協会規格「水道用砂型遠心力鑄鉄管臨時規格」

●図表1-5-2-8 水道用遠心力砂型鑄鉄管 ソケット管、C形 1954(昭和29)～1971(昭和46)年
呼び径75～450



「C形」として規格化されたのは1961(昭和36)年である。

呼び径500～1500



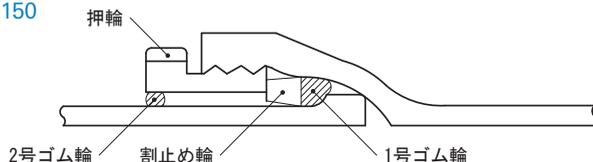
遠心力鑄造法の場合は挿し口突部は溶接で形成された。

規格：JWSA G 105

2 クボタ耐震細管

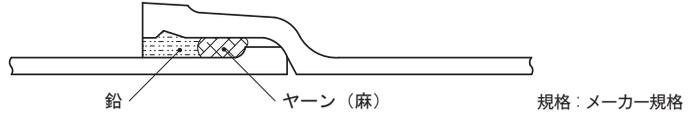
クボタ耐震細管は、印籠接手の接合部品である鉛やヤーンが不足し始めた1937(昭和12)年ごろに開発された。鉛もヤーンも使用せず、押輪を回転させることにより割止め輪を押し出し、ゴム輪の面圧で水密性を保持する接合形式である。継手部が屈曲し、抜けない構造から耐震細管と称された。当時のメーカーの仕様書ではエタニットパイプよりも経済的で、管厚も薄く、普通管に比べて重量が軽く、運搬施工も安全にできるとしている。また、印籠接手に比べて継手の接合に熟練と手間がいらず簡便であるとしている。

●図表1-5-2-9 クボタ耐震細管 1937(昭和12)年ごろ(現在は廃止)
呼び径50～150

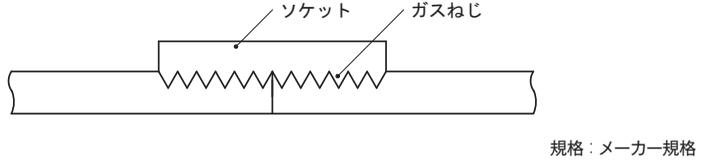


規格：メーカー規格

●図表1-5-2-10 クボタ細管 1937(昭和12)年ごろ(現在は廃止)
呼び径50~300



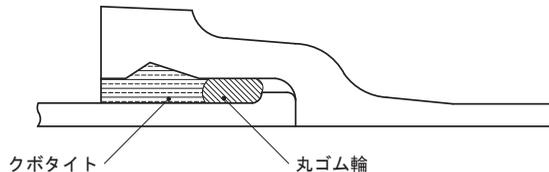
●図表1-5-2-11 クボタ無頭細管 1937(昭和12)年ごろ(現在は廃止)
呼び径50~150



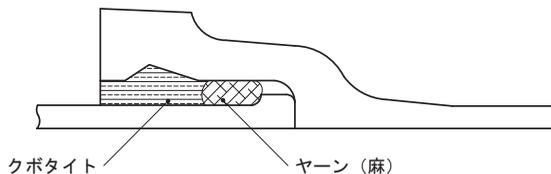
3 印籠接手(クボタイト接合)

1937(昭和12)年に日中戦争が始まって鉛など接合材料が不足した時期に、印籠接手(クボタイト接合)が開発された。継手構造は印籠接手と同じであるが、鉛の代用品としてクボタイトを受口・挿し口の間に流し込み固めることにより丸ゴム輪を押さえた。クボタイトは硫黄、珪砂などを混ぜた粉末を常に攪拌しながら熔融したものである。管体は当時の印籠接手であり、1938(昭和13)年ごろから1959(昭和34)年ごろまで使用された。横浜市水道局の水道資料館には現物が保存されているが、丸ゴムの代わりにヤーンを使用した管もあったようである。1925(大正14)年ごろ、小樽市などで使用されたハイドロタイト形またはレイタイト形と呼ばれる輸入品も同じ継手構造である。

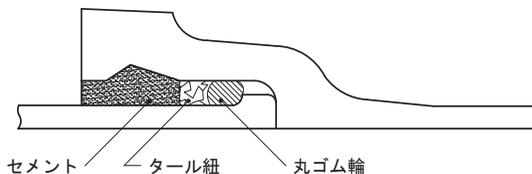
●図表1-5-2-12 印籠接手(クボタイト接合) 1938(昭和13)~1959(昭和34)年
丸ゴム輪タイプ 呼び径75~1500



ヤーンタイプ 呼び径75～1500



セメント+タール紐+丸ゴム輪 呼び径75～1500



規格：メーカー規格

●図表1-5-2-13 クボタイトの組成

組 成	重量比 (%)
硫黄	64～70
珪砂	24～30
カーボンブラック	4～5
珪弗化ソーダ	0.6
チオコール	1.3

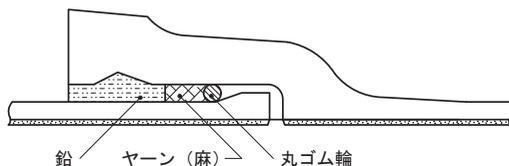
西川栄三「クボタイトに就いて」『水道協会誌』97号(1941年)より

4 名古屋市形

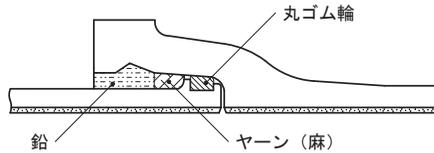
印籠接手を基にヤーンの奥側に丸ゴム輪を用いる名古屋市形が使用された。丸ゴム輪が受口の奥にいかないように挿し口端部に溝を設けた改良型もあった。

●図表1-5-2-14 名古屋市形 1965(昭和40)年ごろ(現在は廃止)

呼び径1800



改良型 呼び径1800



規格：メーカー規格

1-5-3 メカニカル継手

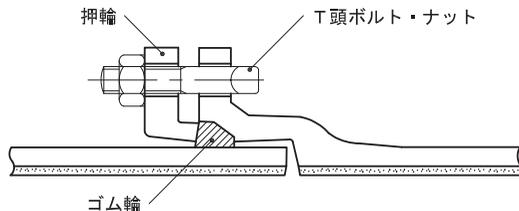
1 メカニカルジョイント形、A形

戦後(1945年以降)、印籠接手の接合材料である鉛やヤーンの不足に加えて、水道の工事量の増加のため熟練工が不足し、また道路上を通行する車両の重量、交通量の増加など、埋設環境も過酷となったため、継手の接合に熟練を要せず、より水密性の高い継手が求められた。そこで、角ゴム輪を受口と挿し口の間に挿入し、ボルトで締め付けて角ゴム輪の面圧で止水する高級鑄鉄管のメカニカルジョイント形呼び径75～900が1954(昭和29)年に開発され、神奈川県企業庁で使用された。1957(昭和32)年には、鑄鉄管協会標準仕様書に呼び径75～900が制定された。また、同年には遠心力鑄造法によるダクタイル鉄管のメカニカルジョイント形呼び径700が桂沢上水道組合で初めて採用された。

ダクタイル鉄管の普及とメカニカルジョイント形の口径拡大に伴い、1959(昭和34)年には鑄鉄管協会標準仕様書に「メカニカル型水道用遠心力砂型ダクタイル鉄管直管」の呼び径500～1500が制定され、1961(昭和36)年には「JWSA G 105 水道用遠心力ダクタイル鑄鉄管」にA形として制定された。

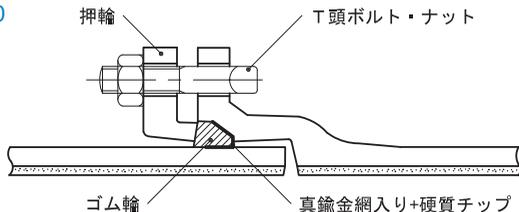
その後、K形の普及に伴い1971(昭和46)年には呼び径600～1500が廃止され、1982(昭和57)年には呼び径400～500が廃止され、1998(平成10)年にはJIS G 5526から削除された。

●図表1-5-3-1 メカニカルジョイント形 1957(昭和32)～1959(昭和34)年
呼び径75～900



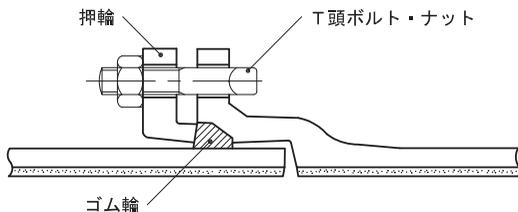
規格：鑄鉄管協会標準仕様書「水道用メカニカルジョイント鑄鉄直管・鑄鉄異形管及び付属品」

●図表1-5-3-2 メカニカルジョイント形 1959(昭和34)～1961(昭和36)年
呼び径500～1500



規格：日本水道協会規格「水道用メカニカルジョイント型鑄鉄直管」

●図表1-5-3-3 A形 1961(昭和36)～1999(平成11)年
呼び径75～1500



規格：JWSA G 105、JWWA G 105、JIS G 5526、JWWA G 113

●図表1-5-3-4 メカニカルジョイント形、A形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1954 (昭和 29)	メーカー規格	高級鑄鉄管のメカニカルジョイント形をメーカー規格として制定	75～900
1957 (昭和 32)	鑄鉄管協会標準仕様書「水道用メカニカルジョイント鑄鉄直管・鑄鉄異形管及び付属品」	高級鑄鉄管のメカニカルジョイント形の普及に伴い、仕様書を制定	75～900
1959 (昭和 34)	JWSA G 102 制定	JWSA 規格として制定	75～900

年	規格	主な改正内容	呼び径
1959 (昭和 34)	鑄鉄管協会標準仕様書 「メカニカル型水道用遠心力 砂型ダクタイル鑄鉄直管」	遠心力ダクタイル鑄鉄管の普及 に伴い、仕様書を制定	500 ~ 1500
1959 (昭和 34)	鑄鉄管協会標準仕様書 「メカニカル型水道用立型ダ クタイル鑄鉄直管」	立型ダクタイル鑄鉄管の普及に 伴い、仕様書を制定	500 ~ 1500
1961 (昭和 36)	JWSA G 105 制定	昭和 34 年の仕様書を JWSA 規 格として制定し、呼び径 200 ~ 450 を追加、名称を A 形に変更	200 ~ 1500
1965 (昭和 40)	JWWA G 105 改正	呼び径 75 ~ 150 を追加	75 ~ 1500
1971 (昭和 46)	JWWA G 105 改正	K 形の普及に伴い A 形の呼び径 600 ~ 1500 を削除	75 ~ 500
1974 (昭和 49)	JIS G 5526 制定	JIS 規格として制定	75 ~ 500
1982 (昭和 57)	JIS G 5526 改正 JWWA G 113 改正	SI 単位に変更	75 ~ 500
1982 (昭和 57)	JIS G 5526 改正	水道以外にも使用できるよう改 正し、呼び径 400 ~ 500 を削除	75 ~ 350
1982 (昭和 57)	JWWA G 113 制定	JIS G 5526 の改正に伴い、水道 用として改めて JWWA 規格を 制定	75 ~ 350
1998 (平成 10)	JIS G 5526 改正 (A 形 廃止)	A 形を JIS G 5526 から削除	—
1999 (平成 11)	JWWA G 113 改正 (A 形 廃止)	A 形を JWWA G 113 から削除	—

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

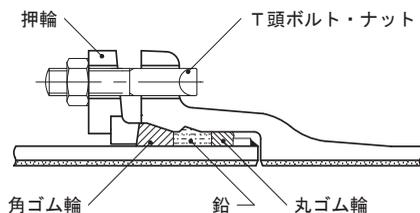
2 B形、特殊メカニカル形(大阪府形)

メカニカルジョイント形の口径拡大とさらなる水密性の向上を目指して、B形呼び径600~1500が1957(昭和32)年に開発された。大阪府では1959(昭和34)年ごろ、異形管に特殊メカニカル形(大阪府形)が使用された。B形は大口径用であり、水密性を高めるためにC形にA形の機能を加えたもので、丸ゴム輪、鉛、さらに角ゴム輪を加えて、割輪、押輪をボルトで締め付けて止水する継手構造であった。

B形は1961(昭和36)年に呼び径1200~1500がJWSA G 105として制定され、1974(昭和49)年に廃止された。

●図表1-5-3-5 B形 1957(昭和32)～1971(昭和46)年

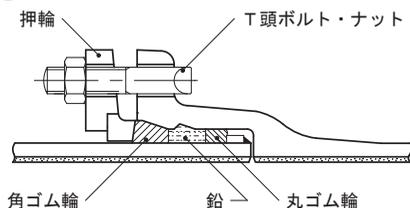
呼び径1200～1500



規格：JWSA G 105

●図表1-5-3-6 特殊メカニカル形(大阪府形) 1959(昭和34)～1967(昭和42)年ごろ

呼び径600、800、1000など



規格：メーカー規格

3 AⅡ形、K形

ダクタイル鉄管はその優れた材質により大口径化が図られたが、高級鋳鉄管とは異なり土圧に対する変形が大きく、受口と挿し口の剛性差を吸収する継手構造が必要となった。A形は呼び径500～1500であったが、大口径管用、薄肉管用、高压管用の要望に応えるため、1962(昭和37)年ごろに角ゴム輪に丸ゴム輪を付加したAⅡ形が開発された。AⅡ形は、受口と挿し口の剛性差を角ゴム輪で吸収し丸ゴム輪の変形による面圧で止水する構造である。東京都水道局では呼び径1600、2000が、大阪府水道部(現大阪広域水道企業団)では呼び径1600などが使用された。

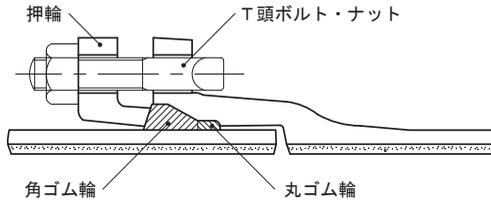
1964(昭和39)年ごろ、AⅡ形に角ゴム輪の形状変更、受口内面の角ゴム輪と丸ゴム輪境界付近の面取りを付加するなどの改良が加えられ、K形の継手構造の原型ができた。

その後、施工性の改善を図るため、角ゴム輪と丸ゴム輪が一体化され、現在のK形の継手構造となった(図表1-5-3-8)。K形が開発された当初はA形と同じボルトが使用されたため、初期の製品にはボルトの短いものがある。

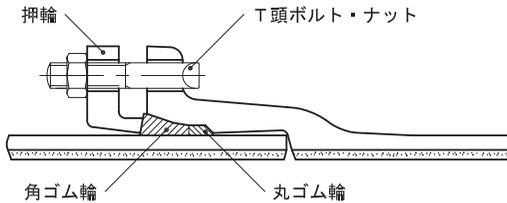
K形はA形に比べ性能が良いため、1965(昭和40)年に日本鋳鉄管協会規格として呼び径1000～2200が規格化され、1968(昭和43)年には呼び径75～2400に拡大

された。さらに1975(昭和50)年には呼び径2600が追加されて一般継手の主流になっていった。

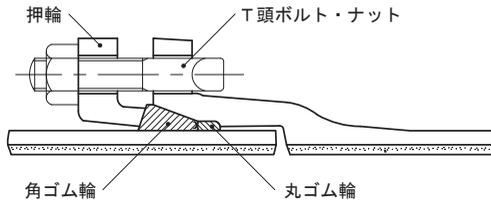
●図表1-5-3-7 A II形からK形への改良 1962(昭和37)～1964(昭和39)年ごろ



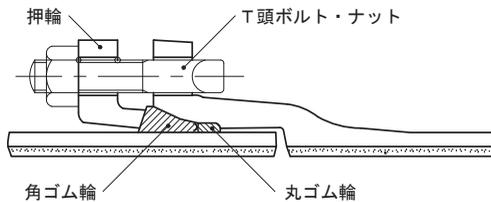
呼び径75～1500(メーカー規格)。角ゴム輪はA形と同じ形状で、角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。



呼び径75～1500(メーカー規格)。角ゴム輪は現在のK形と同じ形状で、角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。



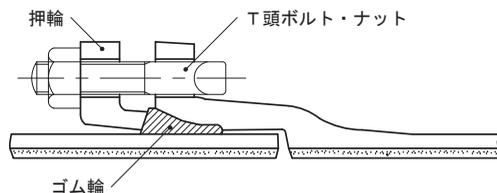
呼び径1600～2200(メーカー規格)。角ゴム輪は現在のK形と同じ形状で、メッシュ補強がされている。角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。



呼び径1600～2200(メーカー規格)。角ゴム輪は現在のK形と同じ形状で、メッシュ補強がされている。角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化なし。受口内面の面取りあり。

●図表1-5-3-8 K形 1965(昭和40)～現在

呼び径75～2600



角ゴム輪と丸ゴム輪の一体化あり。

●図表1-5-3-9 K形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1962(昭和37)	メーカー規格	A形を改良したK形が開発された	1000～2000
1965(昭和40)	日本鑄鉄管協会規格 「K形遠心力ダクタイル鑄鉄管」制定	K形の普及に伴い日本鑄鉄管協会規格として制定	1000～2200
1968(昭和43)	JCPA G 1001 制定	JCPA規格として制定し、呼び径を拡大	75～2400
1971(昭和46)	JWWA G 105 制定	JWWA規格として制定	400～1500
1974(昭和49)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	400～1500
1975(昭和50)	JCPA G 1001 改正	呼び径を拡大	75～2600
1976(昭和51)	JCPA G 1001 改正	酸化被膜処理したボルト・ナットに変更	75～2600
1979(昭和54)	JDPA G 1001 制定	SI単位に変更	75～2600
1982(昭和57)	JWWA G 105 改正	JWWA規格の呼び径を拡大	75～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 改正	JIS規格の呼び径を拡大	75～2600
2017(平成29)	JDPA G 3004 制定	JDPA規格として新たに制定	75～2600

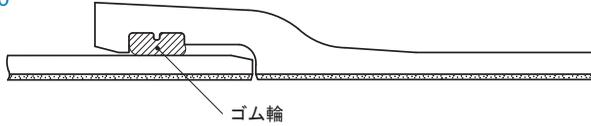
備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

1-5-4 プッシュオン継手

1 ハイタイトジョイント(タワラ形)

ボルトレスの要望から開発されたのがプッシュオン継手である。ハイタイトジョイントは、後継のタイトン形が実用化される前の1961(昭和36)年から1964(昭和39)年に関西地区などで使用された接合形式である。挿し口を受口に挿入しにくいなどの課題があった。

●図表1-5-4-1 ハイタイトジョイント 1961(昭和36)～1964(昭和39)年ごろ
呼び径75～250



規格：メーカー規格

2 タイトン形、T形

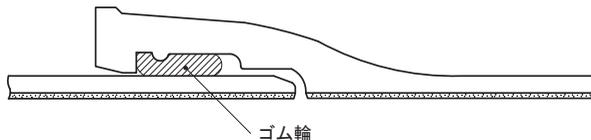
ボルトレスで接合できるプッシュオン継手の要望はその後もあり、ユニテッド・ステイツ・パイプ&ファウンドリー社が特許を有していたタイトンジョイントが日本でも製造された。タイトンジョイントは受口に特殊形状のゴム輪を預け、これに挿し口を挿入することでゴム輪を圧縮し、管内の水圧によりゴム輪の面圧を高めるセルフシールタイプの継手構造である。

タイトン形の呼び径75～250は1967(昭和42)年から実用化され、1970(昭和45)年に制定されたJCPA G 1003ではタイトン形と称した。1973(昭和48)年に制定されたJWWA G 110でT形と名称変更された。1974(昭和49)年には呼び径300～2000が実用化され、1979(昭和54)年に呼び径300～2000をJDPA G 1024として制定するとともに呼び径300～600の受口の形状を現在の形状に変更した。

異形管も同時に実用化され、曲管の $L_1 \cdot L_2$ 寸法が短いショートボディを採用したために接合がしにくく、またプッシュオン継手のため曲げ配管の際にも挿し口をまっすぐに挿入する必要があった。夜間工事など施工時間が限られる現場では使用しにくい面もあり、タイトン形の異形管はあまり採用されなかった。

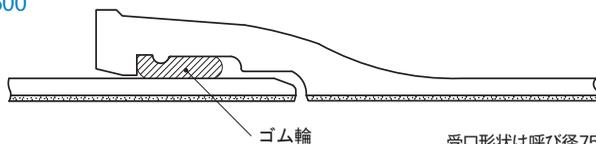
1995(平成7)年の阪神・淡路大震災の被害状況から1998(平成10)年のJIS G 5526の改正では、継手部が抜け出しにくいように呼び径75～250のP寸法(受口部の呑込み寸法)を長くする改良が行われた。

●図表1-5-4-2 T形(タイトン形) 1967(昭和42)年～現在
呼び径75～250



●図表 1-5-4-3 T形 1975(昭和50)～1979(昭和54)年

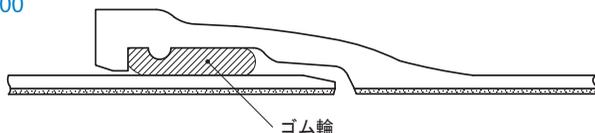
呼び径300～600



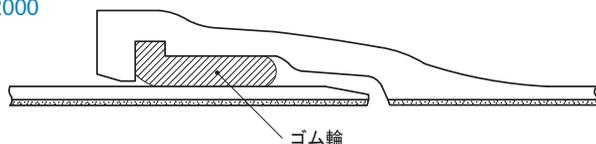
受口形状は呼び径75～250と同じ形状
規格：メーカー規格

●図表 1-5-4-4 T形 1979(昭和54)～現在

呼び径300～600

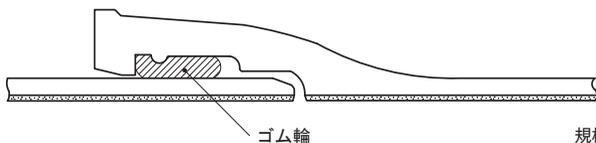


呼び径700～2000



●図表 1-5-4-5 T形 1986(昭和61)～2005(平成17)年

呼び径50



規格：JCPA G 1037

●図表 1-5-4-6 T形および呼び径50の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1967(昭和42)	メーカー規格	タイトン形をメーカー規格として制定	75～250
1970(昭和45)	JCPA G 1003 制定	JCPA規格として制定	75～250
1973(昭和48)	JWWA G 110 制定	JWWA規格として制定 T形に名称変更	75～250
1975(昭和50)	メーカー規格	メーカー規格の呼び径を拡大 (受口形状は呼び径75～250と同じ)	300～600
1979(昭和54)	JCPA G 1024 制定	JWWA G 110に規定されていない 呼び径をJCPA規格として制定	300～2000
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	75～2000
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	75～2000

年	規格	主な改正内容	呼び径
1986(昭和61)	JDPA G 1037 制定	JDPAとして制定	50
1988(昭和63)	JDPA G 1037 改正	管長を4mから3mに変更	50
1998(平成10)	JIS G 5526 改正	受口のP寸法の改良	75~250
2005(平成17)	JDPA G 1037 廃止	JDPA規格を廃止	—
2014(平成26)	JDPA G 3005 制定	JDPA規格として新たに制定	75~2000

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

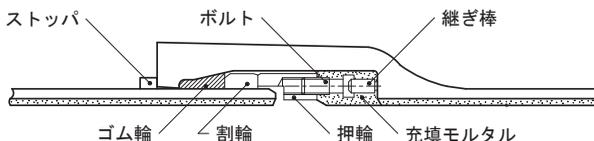
1-5-5 内面継手

1 U形

道路交通事情や埋設物により道路の全面掘削が困難になり、非開削工法の要望が1960(昭和35)年ごろから出てきた。シールド工法を用いた配管工事が東京都で計画され、外面から接合するK形などは新設管とシールド内面との間に広いスペースが必要になるため、内面から接合できるU形呼び径700~2600が1965(昭和40)年に開発された。U形を使用するとさや管としてのトンネルの内径を小さくでき、開削工法においても掘削の幅を狭くできるメリットがあった。1972(昭和47)年に呼び径700~2400がJDPA G 1007として制定され、1975(昭和50)年には呼び径2600が追加された。1985(昭和60)年に東京都水道局が呼び径2900を使用した。2010(平成22)年には安全上の理由から呼び径700が削除された。

U形は管内面から接合ができ、管内面に凸部のない継手構造になっている。内面の継ぎ棒、ボルトの隙間は、腐食防止、損失抵抗の増加防止のためにモルタルで充填している。静岡県企業局の東駿河工業用水の蒲原・富士間の送水管は、U形の採用により呼び径2200の2条配管において管と管の間隔を1mに狭めることができた。

●図表1-5-5-1 U形 1965(昭和40)年~現在 呼び径800~2600



●図表 1-5-5-2 U形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1965(昭和40)	メーカー規格	メーカー規格を制定	1000、1600、2000
1972(昭和47)	JCPA G 1007 制定	JCPA規格として制定	700～2400
1975(昭和50)	JCPA G 1007 改正	呼び径2600を追加	700～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定 4種管および中間管種を追加	700～2600
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	700～2600
1985(昭和60)	メーカー規格	呼び径2900を追加 (東京都水道局など)	2900
2010(平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径700をJWWA G 113から削除	800～2600
2014(平成26)	JIS G 5526 改正	呼び径700をJIS G 5526から削除	800～2600
2017(平成29)	JDPA G 3006 制定	JDPA規格として新たに制定	800～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

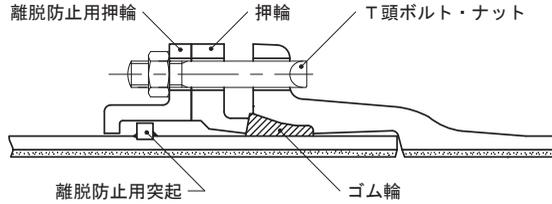
1-5-6 離脱防止継手

1 FN形、N形、W形

K形は地盤変動に順応するが最終的には継手部が離脱するため、大阪市と大阪府から離脱防止機能を持たせた新たな接合形式を開発するよう要請があった。そこで発案されたのがFN形とN形であった。FN形の発案者は野口一男氏(大阪府)、N形は西山利夫氏(大阪市)であり、それぞれの名称は発案者の名前に由来する。いずれも継手の離脱防止力はゴム輪を締め付けるボルトの強度に依存するため、それほど高くはなかった。異形管防護として使用する場合は、コンクリート防護との併用で使用した。FN形呼び径200～2200は1965(昭和40)～1977(昭和52)年、N形は1968(昭和43)年ごろ使用された。FN形は呼び径300～900が1976(昭和51)年にJCPA G 1018になり、1984(昭和59年)に廃止されている。

この他にも1968(昭和43)年ごろに離脱防止機能を有するW型が使用された。

●図表1-5-6-1 FN形 1965(昭和40)～1984(昭和59)年
呼び径200～2200



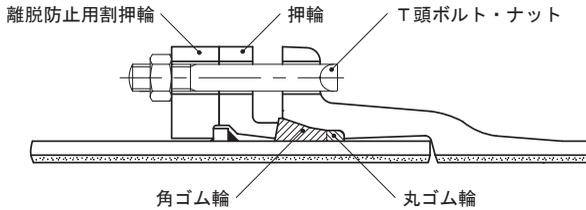
規格：JDPA G 1018

●図表1-5-6-2 FN形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1965(昭和40)	メーカー規格	メーカー規格	200～2200
1976(昭和51)	JCPA G 1018 制定	JCPA規格として制定	300～900
1979(昭和54)	JDPA G 1018 制定	JDPA規格として制定	300～900
1984(昭和59)	JDPA G 1018 廃止 (FN形廃止)	JDPA規格を廃止	—

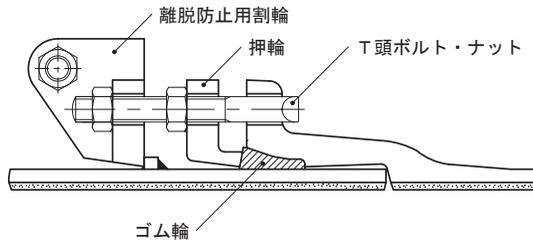
備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-6-3 N形 1968(昭和43)年ごろ(現在は廃止)



規格：メーカー規格

●図表1-5-6-4 W形 1968(昭和43)年ごろ(現在は廃止)
呼び径75～250



規格：メーカー規格

2 KF形、UF形

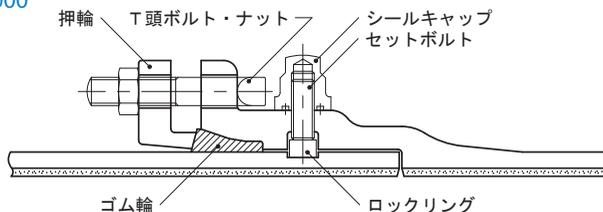
曲管部など不平均力が作用する所には、コンクリート防護などが必要になるが、交通量の多い所では長時間の道路開放が難しく、即日復旧できる防護方法の要望が出てきた。曲管部やT字管部の継手が抜け出さない接合形式で管路を一体化することにより不平均力を押さえるKF形、UF形が開発された。

K形に離脱防止機能が付いたKF形呼び径300～900は1966(昭和41)年に開発され、富山県高岡市上下水道局で呼び径700が採用された。同年、U形に離脱防止機能を付けたUF形も開発され、1967(昭和42)年には千葉県水道局の印旛～柏井浄水場線で呼び径2000が採用された。その後、1967(昭和42)年に施工性を向上するために継ぎ棒が加えられ、現在の継手構造になった。

KF形呼び径300～900は1975(昭和50)年にJCPA G 1012として規格化され、NS形の普及により2012(平成24)年に製造中止となり2015(平成27)年にJWWA規格が廃止された。

UF形呼び径700～2400は1975(昭和50)年にJCPA G 1010として規格化され、同年呼び径2600が追加され、1982(昭和57)年にはJIS G 5526として呼び径700～2600が制定された。呼び径700は2006(平成18)年に製造中止となり、2014(平成26)年にJIS G 5526から削除された。

●図表1-5-6-5 KF形 1966(昭和41)～2012(平成24)年
呼び径300～900



●図表1-5-6-6 KF形の規格の変遷

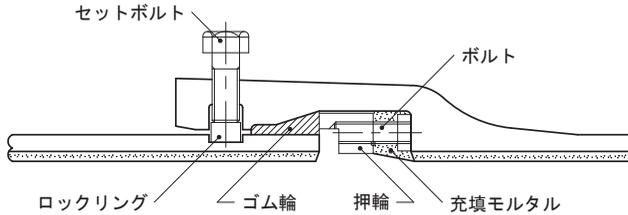
年	規格	主な改正内容	呼び径
1966(昭和41)	メーカー規格	メーカー規格制定	300～900
1975(昭和50)	JCPA G 1012 制定	JCPAとして制定	300～900
1976(昭和51)	JCPA G 1012 改正	酸化被膜処理したボルト・ナットに変更	300～900
1979(昭和54)	JDPA G 1012 制定	JDPAとして制定し、SI単位に変更	300～900

年	規格	主な改正内容	呼び径
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	300～900
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	300～900
2014(平成26)	JIS G 5526 廃止	KF形をJIS G 5526から削除	300～900
2015(平成27)	JWWA G 113 廃止	KF形をJWWA G 113から削除	300～900

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-6-7 UF形 1966(昭和41)年ごろ～現在

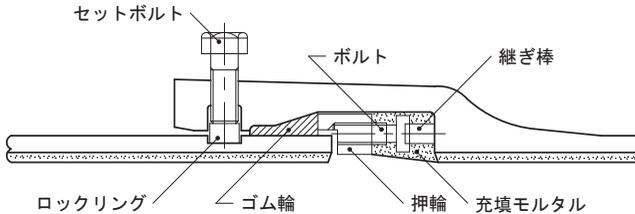
継ぎ棒なし 呼び径1000～2400(現在は廃止)



1966(昭和41)年に開発され、1969(昭和44)年に廃止された。

規格：メーカー規格

継ぎ棒あり 呼び径800～2600



継ぎ棒が追加され、現在の継手構造になったのは1967(昭和42)年からである。

●図表1-5-6-8 UF形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1966(昭和41)	メーカー規格(旧UF形)	メーカー規格を制定(継ぎ棒なし)	700～2400
1967(昭和42)	メーカー規格(UF形)	メーカー規格を制定(継ぎ棒あり)	700～2600
1975(昭和50)	JCPA G 1010 制定	JCPA規格として制定	700～2400
1975(昭和50)	JCPA G 1010 改正	呼び径2600を追加	700～2600
1979(昭和54)	JDPA G 1010 改正	SI単位に変更	700～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定し、呼び径2600追加	700～2600
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定し、呼び径2600追加	700～2600

年	規 格	主な改正内容	呼び径
2010(平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径700をJWWA G 113から削除	800～2600
2014(平成26)	JIS G 5526 改正	呼び径700をJIS G 5526から削除	800～2600
2017(平成29)	JDPA G 3003 制定	JDPA規格を新たに制定	800～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

1-5-7 伸縮離脱防止継手

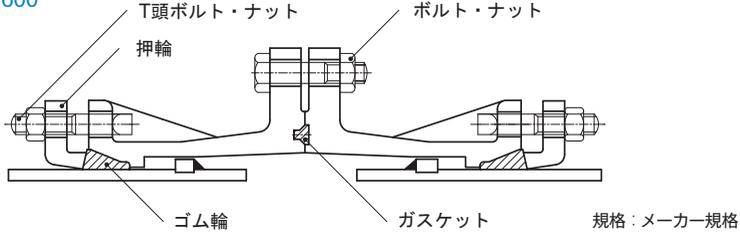
現在の伸縮離脱防止継手(耐震継手)は1974(昭和49)年のS形(呼び径1000～1500)から始まったが伸縮離脱防止機能への試みはS形が開発される前に特殊カラー継手やSW形として行われていた。S形は、呼び径範囲の拡大(呼び径500～2600)が行われ、US形呼び径800～2600、SⅡ形呼び径75～450、PⅡ形呼び径300～1350、NS形呼び径75～450、PN形呼び径300～1500、NS形呼び径500～1000、GX形呼び径75～400、S50形呼び径50、NS形(E種管)呼び径75～150へと発展した。2015(平成27)年度にはダクタイル鉄管における耐震継手の出荷比率は約91.6%に達した。

1 特殊カラー継手、SW形

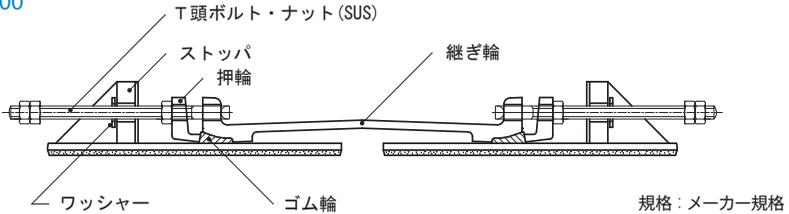
1970(昭和45)年には継ぎ輪の中心部をフランジで接合し、継手部が伸縮して離脱防止機能を持つ特殊カラー継手が開発されていた。1968(昭和43)年の十勝沖地震で水道管路が大きな被害を受け全市が断水した八戸市では、1972(昭和47)年の第2次拡張計画策定の際に地震でも断水することのないダクタイル鉄管への強い要望があった。久保田鉄工(現クボタ)および栗本鐵工所と八戸市水道部(現八戸圏域水道企業団)は、5回に及ぶ毎週の討議を重ね、SW形が開発されて呼び径700が試験的に使用された。稚内市でも軟弱地盤対策として呼び径700が採用された。

また静岡県企業局柿田川水道では高水圧管路があり、また三島市内大場地区の軟弱地盤の配管において継手部の抜出し防止用としてSW形が採用された。

●図表1-5-7-1 特殊カラー継手 1970(昭和45)年ごろ～1986(昭和61)年
呼び径250～600



●図表1-5-7-2 SW形 1972(昭和47)～1978(昭和53)年ごろ
呼び径700



稚内市で1978(昭和53)年ごろに
使用されたSW形 呼び径700。
『ダクタイル鉄管』第26号
(日本ダクタイル鉄管協会,1979年)より

2 S形、SⅡ形、US形

1964(昭和39)年の新潟地震では、ダクタイル鉄管の管体に被害はなかったが、継手部の拔出が多く発生した。地震に強い管路の継手部に求められる条件は伸縮、屈曲が自在なフレキシブル構造であり、かつ最終的には継手部が離脱しないことであることが分かった。振動実験装置で正弦波を与え、管路の挙動を調べた結果、

管路が地盤の動きに追従して動き、継手部が屈曲し、かつ地盤変位を吸収するためには、継手部の伸縮量は管長の $\pm 1\%$ 、離脱防止力は $3DkN$ (D :呼び径)必要であった。このような機能を有する管路を鎖構造管路という。各種の実験を経て1974(昭和49)年に日本初の耐震継手管であるS形(呼び径1350)が開発された。八戸市への初年度の納入分はロックリングを管体に抱き付かせるために外面からボルトで押さえるセットボルト方式であったが、その後ロックリングの分割部分を継手の隙間から固定する現在の結合ピース方式に変更された。また構造物との取合部などのより大きな変位を吸収するためにDBJ形呼び径500・1000・1500が開発され、八戸市の西水管橋に呼び径1000が使用された。

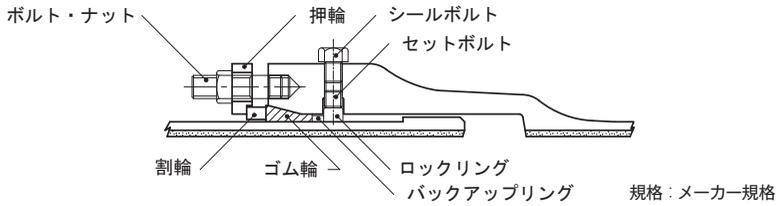
当初S形は呼び径1000～1500であったが、その後、口径拡大が行われて1976(昭和51)年に呼び径500～2000になり、1979(昭和54)年には呼び径500～2600になった。その後、NS形呼び径500～1000が2005(平成17)年に開発され、S形呼び径500～1000は2012(平成24)年ごろ製造を中止した。

S形の開発直後の1977(昭和52)年には、小口径の耐震継手管の要望があり、SⅡ形呼び径100～450が開発され、長年小口径耐震継手管の主流であった。SⅡ形の普及に伴いより大きな変位を吸収できるBJ形呼び径75～1200が1988(昭和63)年に開発され、1993(平成5)年にJDPA G 1039として制定されたが2011(平成23)年に廃止になった。1995(平成7)年にはSⅡ形呼び径75が追加されたが、2005(平成17)年ごろには呼び径75～250はNS形の普及に伴い製造が中止された。その後2011(平成23)年ごろにSⅡ形呼び径300～450の製造も中止され、2015(平成27)年に規格が廃止された。

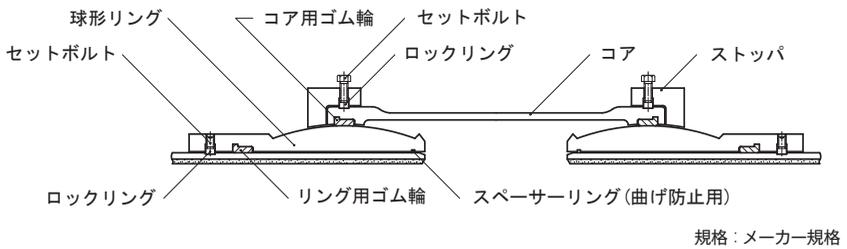
1978(昭和53)年には、非開削工法のシールド内配管などに使われる耐震継手管として内面継手のUS形呼び径700～2600が開発された。シールド内など外面からロックリングの締付けができない場合には、VT(ビニルチューブ)方式が採用された。当初は呼び径700から開発されたが、安全性などから2006(平成18)年ごろには呼び径700は製造中止となり、2010(平成22)年には呼び径700は規格から削除された。

SB(セットボルト)方式は、開削部など外面からの施工が可能な場所で用いられたが、施工性をより改善したLS(ロックリング絞り)方式が開発され2008(平成20)年に規格化された。LS方式はロックリング収納溝の壁面がテーパ状になっており、拔出し力によりロックリングが締め付けられる構造である。呼び径1100以上はロックリングの外側に絞り用ゴムが入っている。

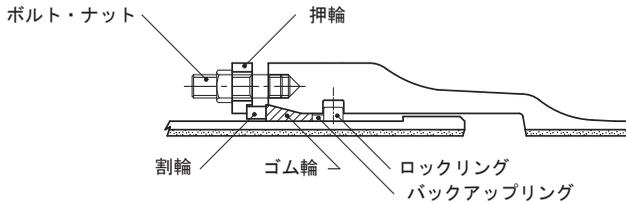
●図表1-5-7-3 S形(セットボルト付き) 1974(昭和49)～1975(昭和50)年
呼び径500～2000



●図表1-5-7-4 DBJ形 1976(昭和51)～1979(昭和54)年
呼び径500・1000・1500



●図表1-5-7-5 S形 1975(昭和50)年～現在
呼び径1100～2600 結合ピース方式



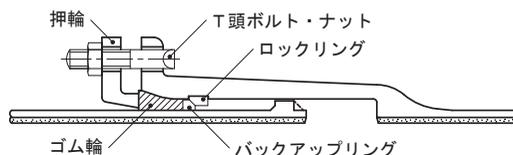
●図表 1-5-7-6 S形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1976(昭和51)	メーカー規格	メーカー規格を制定	500～2000
1979(昭和54)	JDPA G 1019 制定	JDPA規格として制定	500～2600
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	500～2600
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	500～2600
2012(平成24)	JDPA G 1019 改正	呼び径500～1000を削除	1100～2600
2014(平成26)	JWWA G 113 改正	呼び径500～1000を削除	1100～2600
2015(平成27)	JIS G 5526 改正	呼び径500～1000を削除	1100～2600
2017(平成29)	JDPA G 3001 制定	JDPA規格を新たに制定	1100～2600

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表 1-5-7-7 S II形 1977(昭和52)～2011(平成23)年

呼び径75～450

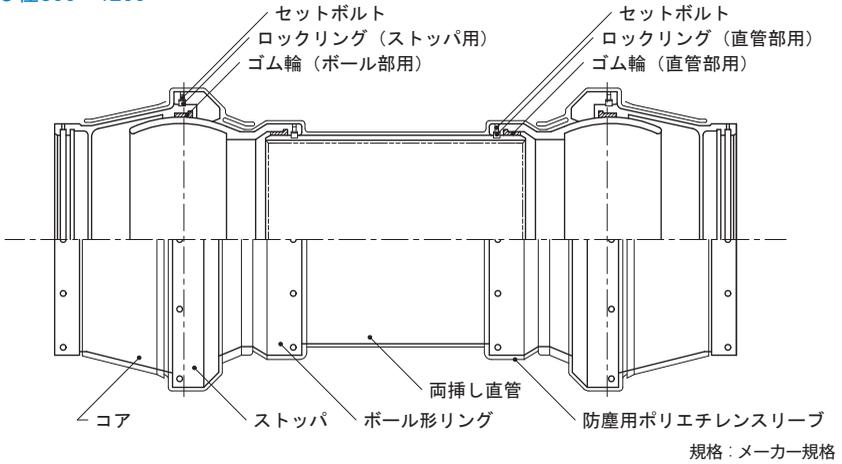


●図表 1-5-7-8 S II形の規格の変遷

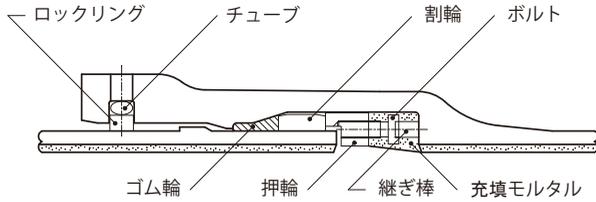
年	規格	主な改正内容	呼び径
1977(昭和52)	メーカー規格	メーカー規格を制定	100～450
1979(昭和54)	JDPA G 1021 制定	JDPA規格として制定	100～450
1982(昭和57)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	100～450
1982(昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	100～450
1992(平成4)	JWWA G 113 改正	呼び径75を追加	75～450
2010(平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径300～450をJWWA G 113から削除	75～250
2014(平成26)	JIS G 5526 廃止(S II形 廃止)	S II形をJIS G 5526から削除	—
2015(平成27)	JWWA G 113 廃止(S II形 廃止)	S II形をJWWA G 113から削除	—

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

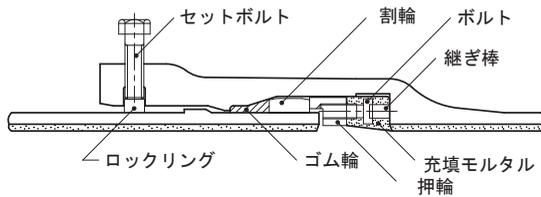
●図表1-5-7-9 BJ形 1988(昭和63)年～2003(平成15)年
呼び径500～1200



●図表1-5-7-10 US形 1978(昭和53)年～現在
VT方式 呼び径800～2600

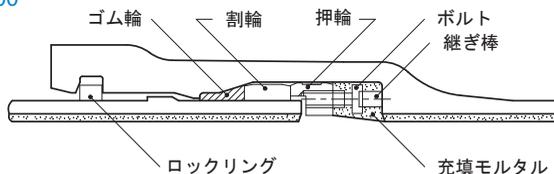


SB方式 呼び径800～2600

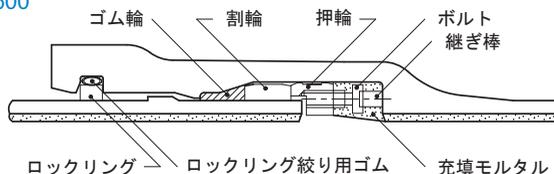


●図表 1-5-7-11 US形 (LS方式) 2008 (平成20) 年～現在

呼び径800～1000



呼び径1100～2600



呼び径1100以上にはロックリング絞り用ゴムがある。

●図表 1-5-7-12 US形の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1978 (昭和53)	メーカー規格	メーカー規格を制定	700～2600
1984 (昭和59)	JDPA G 1034 制定	JDPA規格として制定	700～2600
1989 (平成元)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	700～2600
1991 (平成3)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	700～2600
2007 (平成19)	JDPA G 1048 制定	LS方式を追加し、呼び径700を削除	800～2600
2010 (平成22)	JWWA G 113 改正	JWWA G 113から呼び径700を削除	800～2600
2014 (平成26)	JIS G 5526 改正	JIS G 5526から呼び径700を削除	800～2600
2017 (平成29)	JDPA G 3002 制定	JDPA規格を新たに制定	800～2600

備考 規格名称などは図表 1-5-1-4 を参照のこと。

3 NS形、NS形 (E種管)

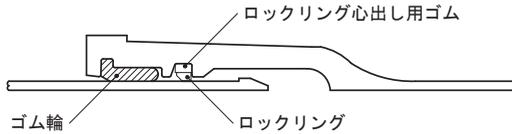
小さな口径の耐震化率が向上するにつれて、SⅡ形よりもボルトレスにより施工性が向上し、経済性が高いプッシュオン継手の耐震継手管NS形呼び径75～250が1993 (平成5) 年に開発され、呼び径300～450は2000 (平成12) 年に開発された。開発当初は継手の伸縮量が $\pm 0.5\%$ であったが、1995 (平成7) 年の阪神・淡路大震災を受けて $\pm 1\%$ に変更された。2005 (平成17) 年には、従来のS形よりも部品点数を減らし、

施工性の向上、コストダウンを図ったNS形呼び径500～1000が開発された。

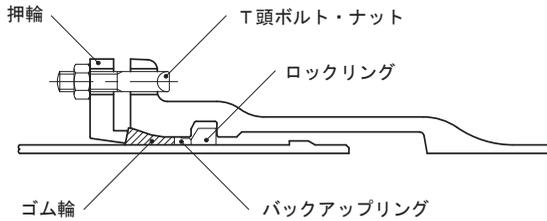
事業者からの要望に応じて、技術開発によりNS形のさらなる低コスト・軽量化を実現したNS形(E種管)呼び径75～100(使用水圧:1.3MPa以下)が、2015(平成27)年に開発され、2016(平成28)年には呼び径150が追加された。鑄造技術の開発により、管厚の薄肉化を図り、挿し口突部をビード突起に変更し、内面塗装も珪砂混合エポキシ粉体塗装に変更することにより、低コスト・軽量化を実現した。継手性能は伸縮量管長の±1%、離脱防止力3DkN、許容屈曲角度4°であり性能はNS形と同等である。

●図表1-5-7-13 NS形 1993(平成5)年～現在

呼び径75～450

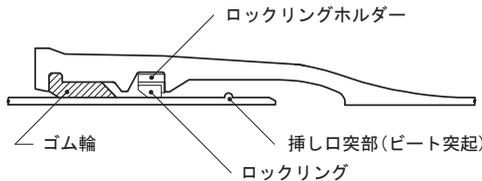


呼び径500～1000



●図表1-5-7-14 NS形(E種管) 2015(平成27)年～現在

呼び径75～150



●図表 1-5-7-15 NS形の規格の変遷

年	規 格	主な改正内容	呼び径
1993 (平成5)	メーカー規格	メーカー規格を制定	75～250
1995 (平成7)	JDPA G 1042 制定	JDPA規格として制定	75～250
1996 (平成8)	JDPA G 1042 改正	挿し口突部の溶接方法および5/8曲管を追加	75～250
1998 (平成10)	JDPA G 1058 改正	うず巻式フランジ付きT字管を追加	75～250
1999 (平成11)	JWWA G 113 制定	JWWA規格として制定	75～250
2000 (平成12)	JWWA G 113 改正	挿し口突部を性能規定に変更	75～250
2003 (平成15)	JDPA G 1042 改正	タッピングねじタイプを追加	75～250
2004 (平成16)	JDPA G 1042 改正	呼び径300～450を追加	75～450
2005 (平成17)	JDPA G 1042 改正	呼び径500～1000を追加	75～1000
2005 (平成17)	JWWA G 113 改正	NS形切管用挿し口リング(タッピングねじタイプ)の形状をR面取りからテーパ形状に変更	75～1000
2006 (平成18)	JDPA G 1042 改正	呼び径500～1000 接合部品を変更	75～1000
2008 (平成20)	JDPA G 1042 改正	呼び径75～250に新たなゴム輪形状を追加	75～1000
2010 (平成22)	JWWA G 113 改正	呼び径300～450を追加	75～450
2011 (平成23)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	75～1000
2015 (平成27)	JWWA G 113 改正	呼び径500～1000を追加	75～1000
2016 (平成28)	JDPA G 1042-2 制定	NS形(E種管)をJDPA規格として制定	75～150

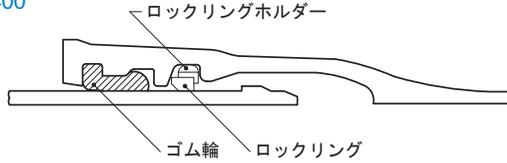
備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

4 GX形

NS形の改良型として、管路布設費の低減、施工性の向上、長寿命化(外面耐食塗装C-Protectにより、一般的な埋設環境で期待できる100年の寿命)を実現した耐震継手管GX形呼び径75～250が2010年(平成22)年に開発された。2013(平成25)年には呼び径300が追加され、切管時の現場施工性を向上するために切管用挿し口リングに加えて、呼び径75～300のP-Link(直管用)、G-Link(異形管用)が開発された。P-Linkは挿し口突部を有しており、直管受口に切管を接合する場合に使用する。切管をP-Linkに接合し、押しボルトをトルク100N・mで締め付けて一体化する。

また、2014(平成26)年には呼び径400が追加された。

●図表1-5-7-16 GX形 2010(平成22)年～現在
呼び径75～300・400



●図表1-5-7-17 GX形の規格の変遷

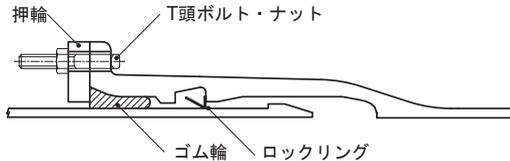
年	規 格	主な改正内容	呼び径
2010(平成22)	JDPA G 1049 制定	JDPA規格を制定	75～250
2013(平成25)	JDPA G 1049 改正	呼び径300およびP-Link、G-Linkを追加	75～300
2013(平成25)	JWWA G 120 制定	JWWA規格として制定	75～250
2014(平成26)	JDPA G 1049 改正	呼び径400および切管用挿しロッキングを追加	75～300・400
2017(平成29)	JWWA G 120 改正	呼び径300、400を追加	75～300・400

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

5 S50形

従来の耐震継手管は呼び径75以上であったが、管路末端部まで耐震化が求められるようになり、高い耐震性を有し施工性に優れた呼び径50の耐震継手管S50形が2012(平成24)年に開発された。

●図表1-5-7-18 S50形 2012(平成24)年～現在
呼び径50



規格：JDPA G 1052

1-5-8 フランジ継手

フランジ継手は印籠継手の時代からあり、パッキンに鉛や銅線の輪を使用していたが、その後1937(昭和12)年に「水道用ゴム」の規格が制定され、ゴムパッキンも使われるようになった。ダクタイル鉄管のゴム製ガasketを用いたフランジ継手は1957(昭和32)年に初めて製造された。1961(昭和36)年のJWSA G 106にRF形と

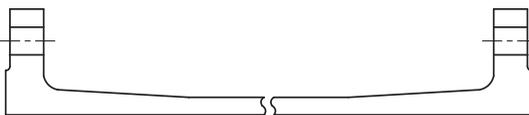
して追加されて現在でも使用されている。1982(昭和57)年には、曲げモーメントなどが働いたときの水密性がRF形より高いGF形が開発され、高水圧管路や耐震継手管路に使用されている。GF形にはガスケット1号(メタルタッチの場合)とガスケット2号(メタルタッチでない場合)の2種類がある。GF形は呼び圧力7.5~20kで使用されている。1976(昭和51)年に呼び径1100~1500、1982(昭和57)年に呼び径1600~2600が追加されている。ステンレス管との接合部など異種金属腐食が発生しやすいフランジ継手にはメタルタッチでないガスケット2号を用いる。東京都水道局、宮城県企業局などでは、ガスケット1号が開発される以前からガスケット2号を使用していた。

●図表1-5-8-1 普通铸铁管 フランジ形 1914(大正3)~1937(昭和12)年
両フランジ管 公称内径2~60インチ



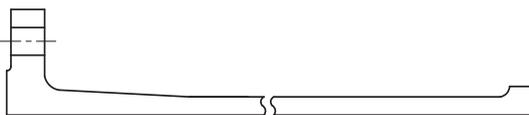
規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

●図表1-5-8-2 普通铸铁管 フランジ形 1925(大正14)年~1937(昭和12)年
両フランジ管 公称内径75~1500ミリ



規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

片フランジ管 公称内径75~1500ミリ



規格：上水協議会規格「水道用铸铁管規格」

●図表1-5-8-3 高級铸铁管 フランジ形 1933(昭和8)~1949(昭和24)年
両フランジ管 呼び径75~1500



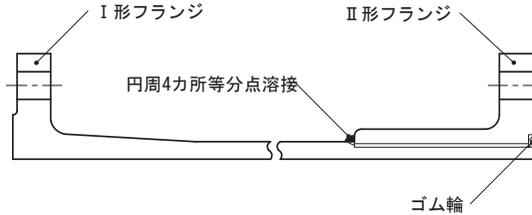
規格：水道協会規格「水道用高級铸铁管規格」

●図表1-5-8-4 高級铸铁管 フランジ形 1957(昭和32)年ごろ(現在は廃止)
片フランジ管 呼び径1500



挿し口突起は溶接。
規格：メーカー規格

●図表1-5-8-5 高級铸铁管 ねじ込みフランジ形 1960(昭和35)年ごろ(現在は廃止)
呼び径75～1500



規格：メーカー規格

●図表1-5-8-6 フランジ形(両フランジ管・片フランジ管)の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1914(大正3)	上水協議会規格 制定	普通铸铁管のインチ管として制定された	2～60インチ
1925(大正14)	上水協議会規格 制定	普通铸铁管のミリ管として制定された	75～1500
1928(昭和3)	JES 第80号類別G21 制定	JES規格として制定	75～1500
1933(昭和8)	上水協議会規格 制定	高級铸铁管の規格として制定	75～1500
1934(昭和9)	JES 第272号類別G36 制定	高級铸铁管の規格として制定	75～1500
1954(昭和29)	JIS G 5524 制定	JIS規格として制定	75～1500
1989(平成元)	JIS G 5524 廃止	JIS規格を廃止	—

備考 「JES」はJIS(日本工業規格)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-8-7 フランジ形 1972(昭和47)年ごろ～現在
フランジ長管 呼び径75～1500



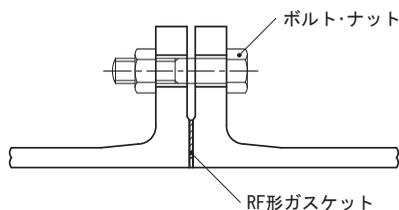
●図表1-5-8-8 フランジ形ダクタイル鋳鉄長管の規格の変遷

年	規 格	主な改正内容	呼び径
1972 (昭和47)	JCPA G 1009 制定	ダクタイル鋳鉄長管の普及に伴いJCPA規格として制定	75～1000
1976 (昭和51)	JCPA G 1009 改正	呼び径1100～1500を追加	75～1500
1979 (昭和54)	JCPA G 1009 改正	SI単位に変更	75～1500
1982 (昭和57)	JIS G 5526 制定	JIS規格として制定	75～2600
1984 (昭和59)	JDPA G 1032 制定	フランジ形ダクタイル鋳鉄直管をJDPA規格として制定	75～1200
2005 (平成17)	JDPA G 1032 廃止	JDPA規格を廃止	—
2017 (平成29)	JDPA G 3007 制定	JDPA規格を新たに制定	75～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

●図表1-5-8-9 RF形 1957(昭和32年)～現在

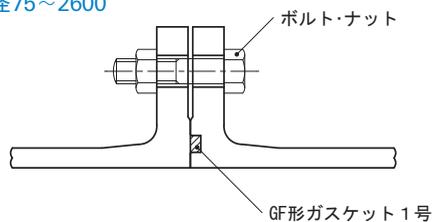
呼び径75～2600



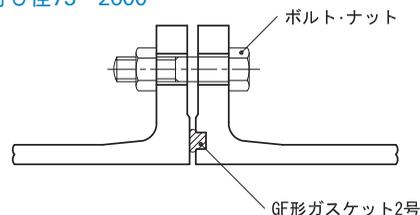
RF形の製造開始年としてはダクタイル鋳鉄製のフランジ形の製造開始年を示した。

●図表1-5-8-10 GF形 1982(昭和57年)～現在

メタルタッチの場合 呼び径75～2600



メタルタッチでない場合 呼び径75～2600



●図表1-5-8-11 RF形、GF形の規格の変遷

年	規 格	主な改正内容	呼び径
1957 (昭和32)	鑄鉄管協会標準仕様書	ダクタイル鑄鉄製のフランジ形の製造を開始	75～900
1961 (昭和36)	JWSA G 106	RF形として制定	75～1500
1968 (昭和43)	JCPA G 1001	ボルト・ナットをメートル並目ねじに変更 呼び径1600～2400を追加	75～2400
1982 (昭和57)	JWWA G 114	GF形を追加 呼び径2600を追加	75～2600
2017 (平成29)	JDPA G 3007 制定	JDPA規格を新たに制定	75～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。なお、規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

1-5-9 推進工法用の継手

短いスパンの鉄道横断や河川横断などの場合に直接推進できるダクタイル鉄管の要望が大阪市などからあり、内カラー継手のO—I形、O—II形、O—III形や外面にコンクリート外装を施して受口部との段差を平滑にしたUF形推進管、U形推進管呼び径900～2400が1968(昭和43)年に開発された。推進工法は当時主に横断方向に用いられたが、大阪市水道局は同年にUF形推進管呼び径1500の延長76mを道路縦断方向に推進する工事を実施した。U形推進管は挿し口にフランジを溶接して受口端面で推進力を伝達させる構造である。同工事では主に立坑近傍の立上り配管など不平均力(水圧による拔出し力)を押さえるための一体化を行う際にUF形推進管を使用している。

U形推進管呼び径700～2600、UF形推進管呼び径700～2600、T形推進管呼び径300～600、TC形推進管呼び径600～900は、それぞれ1975(昭和50)年にJCPA規格として制定された。その後、1983(昭和58)年に、U形推進管、UF形推進管、T形推進管がJDPA G 1029として制定された。

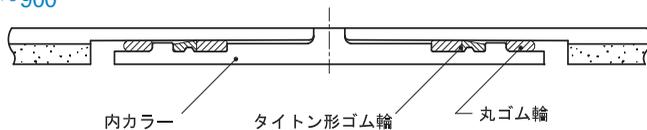
耐震継手を有するUS形推進管呼び径700～2600は1978(昭和53)年に開発された。長距離推進には中間スリーブを用いた中押工法が行われたが、推進工法の進化により現在ではあまり使用されていない。

推進工法は1975(昭和50)年ごろには道路縦断方向に用いられることが多くなり、長距離推進やカーブ推進も行われるようになった。1995(平成7)年に改定されたJDPA G 1029では、継手部が曲がりやすいように植込みボルトレスタイプが追加さ

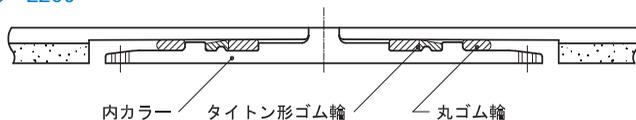
れ、U形推進管、UF形推進管、US形推進管（LS方式、SB方式）は管内面作業の安全性から呼び径700が削除され呼び径800～2600、T形推進管は呼び径250～700が規格化されている。

1 TC形推進管

●図表1-5-9-1 タイトン形内カラー継手推進管 1968（昭和43）年ごろ（現在は廃止）
呼び径200～900

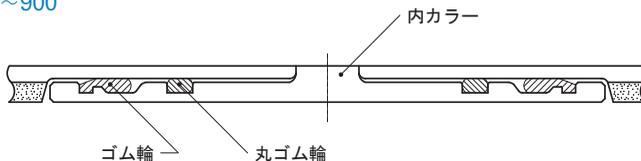


呼び径1000～2200



規格：メーカー規格

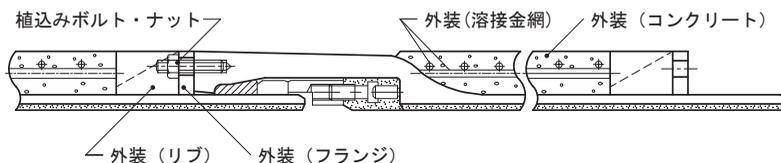
●図表1-5-9-2 TC形推進管 1975（昭和50）～1983（昭和58）年
呼び径600～900



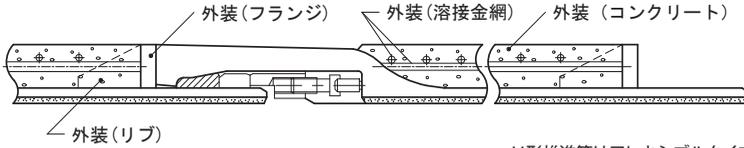
規格：JCPA G 1017

2 U形推進管、UF形推進管、T形推進管、US形推進管

●図表1-5-9-3 U形推進管 1968（昭和43）年～現在
植込みボルトタイプ

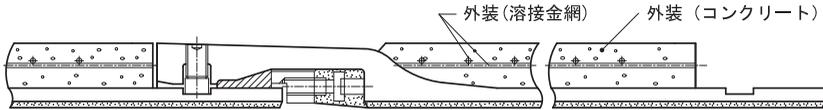


植込みボルトレスタイプ



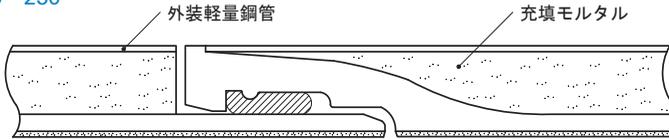
U形推進管はフレキシブルタイプである。

●図表1-5-9-4 UF形推進管 1968(昭和43)年～2016(平成28)年



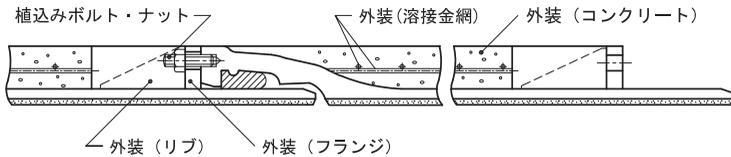
UF形はリジットタイプである。

●図表1-5-9-5 タイトン形外装推進管(TOM) 1972(昭和47)年ごろ(現在は廃止) 呼び径75～250



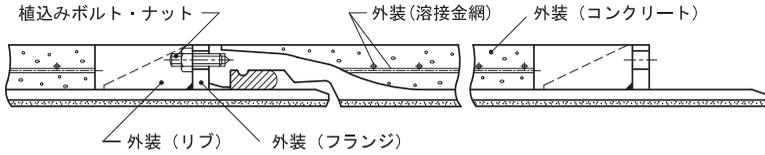
規格：メーカー規格

●図表1-5-9-6 T形推進管 1975(昭和50)～1979(昭和54)年 呼び径300～600

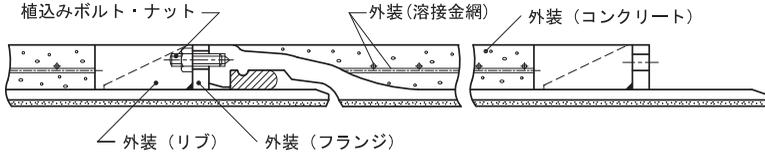


受口形状はJCPA G 1029の呼び径250以下と同じであった。
規格：JCPA G 1016

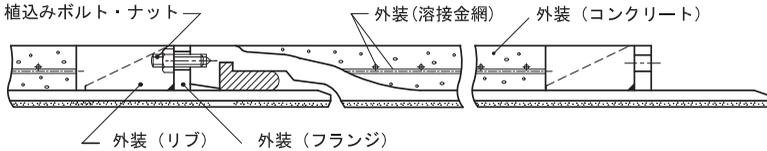
●図表1-5-9-7 T形推進管 1979(昭和54)年～現在
呼び径250



呼び径300～600

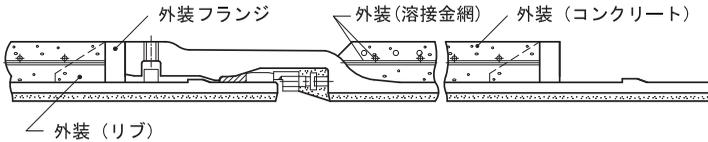


呼び径700

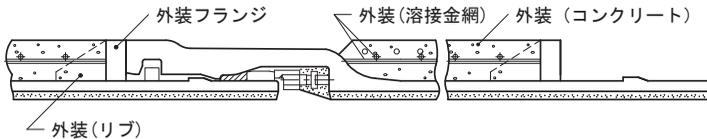


1995(平成7)年に植込みボルトレスタイプが規格に追加され、
2004(平成16)年に植込みボルトタイプは規格から削除された。

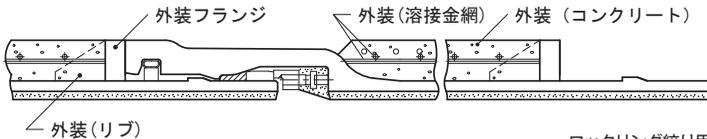
●図表1-5-9-8 US形推進管 1993(平成5)年～現在
SB方式 呼び径800～2600



LS方式 呼び径800～1000



LS方式 呼び径1100～2600



ロックリング絞り用ゴムあり。

●図表 1-5-9-9 U形推進管、UF形推進管、T形推進管、US形推進管の規格の変遷

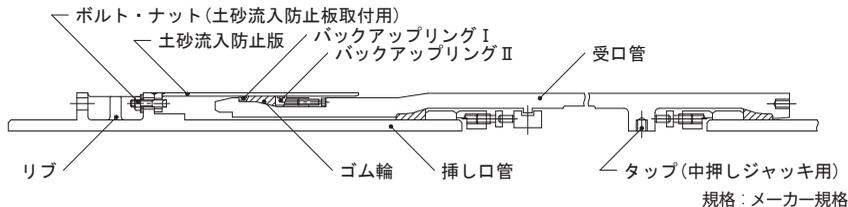
年	規 格	主な改正内容	呼び径
1968 (昭和43)	メーカー規格	U形推進管、UF形推進管をメーカー規格として制定	900～2400
1975 (昭和50)	JCPA G 1014 制定	U形推進管をJCPA規格として制定	700～2600
1975 (昭和50)	JCPA G 1015 制定	UF形推進管をJCPA規格として制定	700～2600
1975 (昭和50)	JCPA G 1016 制定	T形推進管をJCPA規格として制定	300～600
1975 (昭和50)	JCPA G 1017 制定	TC形推進管をJCPA規格として制定	600～900
1978 (昭和53)	メーカー規格 制定	US形推進管をメーカー規格として制定	700～2600
1979 (昭和54)	JCPA G 1014～1017 改正	外装などの仕様を追加し、T形推進管の呼び径300～600の受口形状を現在の形に変更	300～2600
1983 (昭和58)	JCPA G 1014～1017 廃止	TC形推進管を廃止	600～900
1983 (昭和58)	JDPA G 1029 制定	JDPA規格として制定 U形推進管、UF形推進管呼び径700～2600 T形推進管呼び径300～700	300～2600
1986 (昭和61)	JDPA G 1029 改正	T形推進管の呼び径250を追加	250～2600
1993 (平成5)	JDPA G 1029 改正	US形推進管を追加 内面エポキシ粉体塗装を追加 呼び径1500以下の中間管種を削除	250～2600
1995 (平成7)	JDPA G 1029 改正	植込みボルトレスタイプを追加 U形推進管、UF形推進管、US形推進管の呼び径700を削除 呼び径800～2600	250～2600
1999 (平成11)	JDPA G 1029 改正	T形推進管呼び径250の受口P寸法およびZ'寸法を変更	250～2600
2004 (平成16)	JDPA G 1029 改正	植込みボルトタイプ、中間管種を削除	250～2600
2008 (平成20)	JDPA G 1029 改正	US形推進管にLS方式を追加	250～2600
2016 (平成28)	JDPA G 1029 改正	UF形推進管を削除	250～2600

備考 「JCPA」はJDPA(日本ダクタイル鉄管協会)の前身名称である。規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

3 U形中間スリーブ

中間スリーブには、U形推進管用、US形推進管用などがあった。ここではU形推進管用を示す。

●図表図表 1-5-9-10 中間スリーブ(U形推進管用) 1978(昭和53)～2007(平成19)年
呼び径800～2600



仙台市下水道部で1982(昭和57)年ごろに使用された中間スリーブ呼び径1100。

〔ダクタイル鉄管〕第32号(日本ダクタイル鉄管協会、1982年)より

1-5-10 PIP(パイプインパイプ)工法用の継手

1975(昭和50)年代になると戦前に布設された普通・高級铸铁管などが老朽化してきた。布設替する時に交通量の多い道路などでは、既設管の中に新設管を押し込むPIP工法のニーズが高まった。1973(昭和48)年ごろにはタイトン形を用いて押し込んでいたが2口径落としになるため翌年には1口径落としの改良形が開発された。また1979(昭和54)年ごろには内カラー継手のTN形、1980(昭和55)年には現在のPⅡ形に近いTS形などが使用された。1982(昭和57)年には、新設管を1口径落としで押

し込むことができるPⅠ形、PⅡ形呼び径300～1350が開発され、1984(昭和59)年にJDPA G 1033として規格化された。大きな押込力が必要な場合の補強タイプとして溶接リング付き、フランジ・リップ付きがある。また曲管部で管内ドッキングをするためのPⅢ形も開発された。

2003(平成15)年には、PⅡ形の施工性を向上し、離脱防止力が1.5DkNから3DkNに改良されたPN形呼び径300～1500が開発された。また、PN形はロックリングを受口外面の長穴から挿入する方式となった。2005(平成17)年にPN形はJDPA G 1046として規格化された。

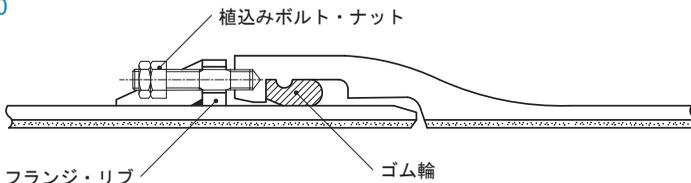
その後、既設の铸铁管への押込みだけではなく、推進工法により新設されたヒューム管の中に押込または持込配管することができるPN形(JP方式及びCP方式)が2015(平成27)年に開発されている。ロックリングにテーパを設けることにより、セットボルトがなくても離脱力が作用するとロックリングが挿し口外面に抱き付く構造になっている。PN形呼び径700以上にはゴム輪の面圧を確保するための押輪があり、呼び径900以上にはロックリングを押えるためのスプリングが入っている。またシールド内に持ち込んで配管する場合にもPN形(JP方式及びCP方式)が用いられることがある。JP方式では1種管、CP方式ではP種管を使用する。また、2口径以上呼び径が異なる場合にキャストバンドを用いて押し込む方法も開発された。

2017(平成29)年には、PN形とPN形(JP方式及びCP方式)はJDPA G 1046として統合された。

1 タイトン形など

大阪市の工業用水道の既設管鉄筋コンクリート管呼び径800総延長2120mのPIP工事では、1973(昭和48)年に第1期工事としてタイトン形呼び径600を50m押し込んだ。第1期工事には離脱防止金具を装着したが、第2期工事以降は簡単な押込台を下に敷き、タイトン形のみをウィンチを用いて押し込む方法で行った。

●図表1-5-10-1 タイトン形の継手離脱防止金具 1973(昭和48)年ごろ(現在は廃止) 呼び径600

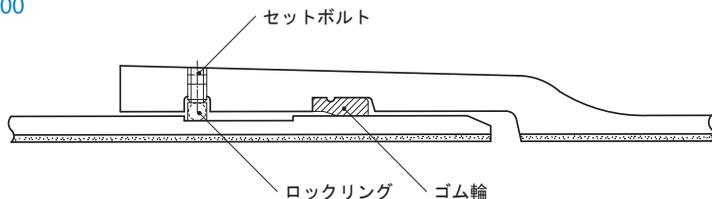


規格：メーカー規格

京都市でも1974(昭和49)年に西大路幹線の普通铸铁管公称内径900の中にP II形の原形ともいえる離脱防止機能としてロックリングとセットボルトを用いたタイトン形呼び径700を、最大押込延長120mのPIP工事7スパンを実施した。

●図表1-5-10-2 タイトン形 1974(昭和49)年～1984(昭和59)年

呼び径700



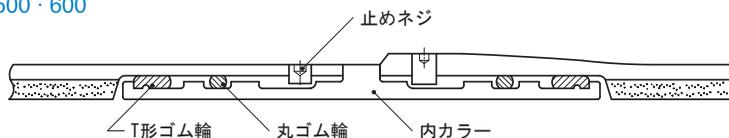
管外径D₂は、通常のダクタイル鉄管と同じ。

規格：メーカー規格

タイトン形式では2口径落としになるため、1口径落としでできるように管外面に突起のないTC形(JDPA G 1017 タイトン形内カラー継手管)に改良を加えたTN形が開発され、1978(昭和53)年には、大阪市の三軒家枝管公称内径600、700の中にTN形呼び径500、600で総延長1200m(3工区14スパン)のPIP工事を行っている。その後東京都でも芝線普通铸铁管公称内径1100の中にTN形呼び径1000を使用して、総延長2700m最大押込延長330m(4スパン)のPIP工事を行っている。

●図表1-5-10-3 TN形 1978(昭和53)年ごろ(現在は廃止)

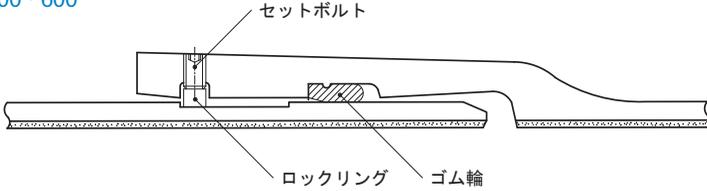
呼び径500・600



規格：メーカー規格

1980(昭和55)年には、京都市が³一乗寺幹線(高級铸铁管呼び径800、延長1150m)においてTS形呼び径600を総延長1150m(4工区11スパン)最大挿入延長276mのPIP工事を行っている。

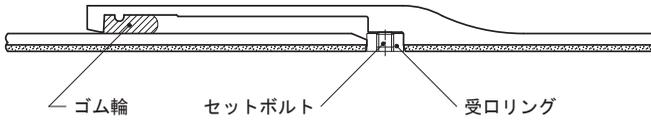
●図表1-5-10-4 TS形 1980(昭和55)～1984(昭和59)年
呼び径500・600



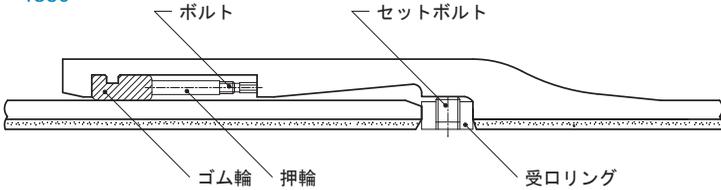
規格：メーカー規格

2 P I形、P II形

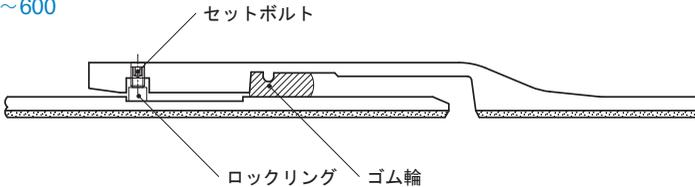
●図表1-5-10-5 P I形 1982(昭和57)～2007(平成19)年
呼び径300～600



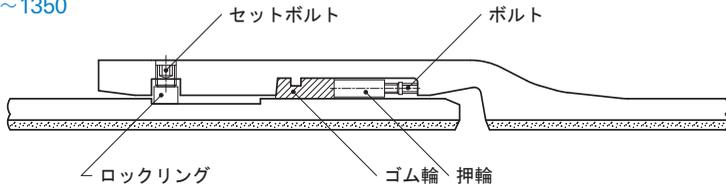
呼び径700～1350



●図表1-5-10-6 P II形 1982(昭和57)～現在
呼び径300～600

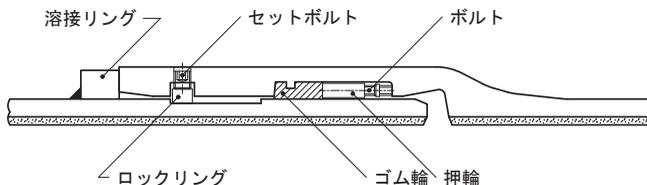


呼び径700～1350



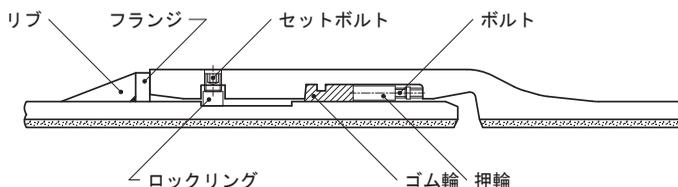
●図表 1-5-10-7 P I、P II形<補強タイプ>

溶接リング付き 呼び径300~1350



挿し口に溶接したリングで押込力を伝達する。図はP II形呼び径700~1350の継手構造。
P I形の溶接リング付きは2007(平成19)年に廃止。

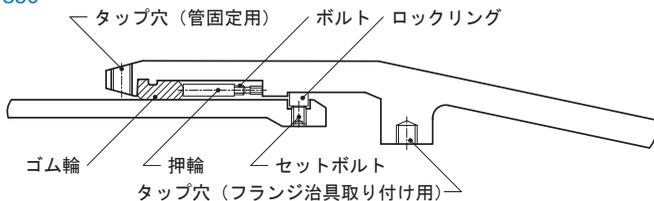
フランジ・リップ付き 呼び径300~1350



挿し口に溶接したフランジで押込力を伝達する。図はP II形呼び径700~1350の継手構造。
P I形のフランジ・リップ付きは2007(平成19)年に廃止。

●図表 1-5-10-8 P III形 1982(昭和57)年~現在

呼び径700~1350

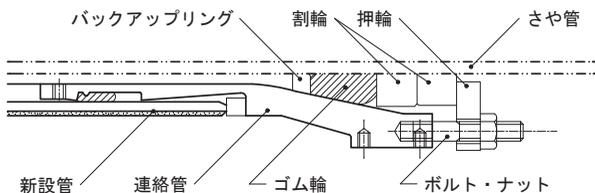


PIP工法において管内で新設管をドッキングする際に用いる曲管である。
P III形が最後に製造されたのは2003(平成15)年である。

規格：メーカー規格

●図表 1-5-10-9 連絡管 1982(昭和57)年~現在

呼び径700~1350



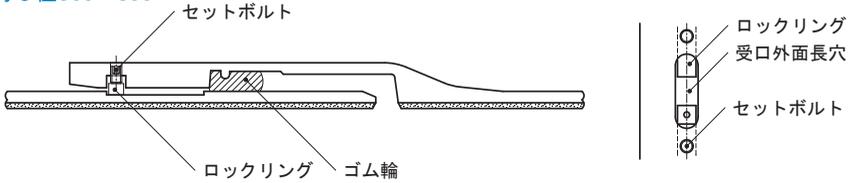
PIP工法において既設管と新設管を管の内側で連絡して止水するときに用いる連絡管である。
連絡管が最後に製造されたのは1990(平成2)年である。

規格：メーカー規格

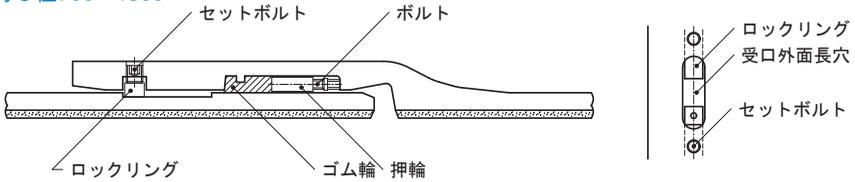
3 PN形

●図表1-5-10-10 PN形 2003(平成15)年～現在

呼び径300～600

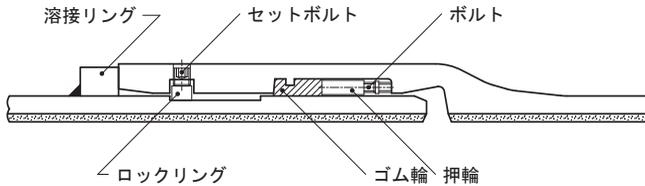


呼び径700～1500



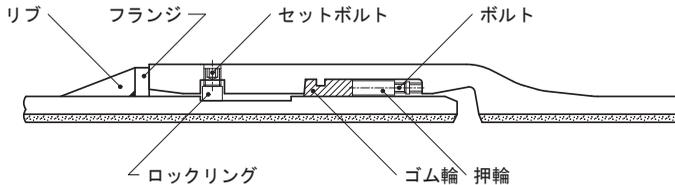
●図表1-5-10-11 PN形<補強タイプ>

溶接リング付き 呼び径300～1500



挿し口に溶接したリングで押込力を伝達する。図は呼び径700～1500の継手構造。

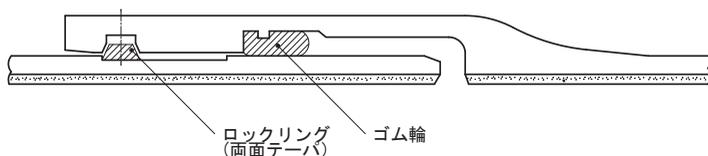
フランジ・リブ付き 呼び径300～1500



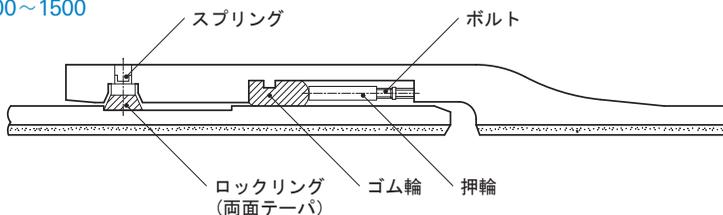
挿し口に溶接したフランジで押込力を伝達する。図は呼び径700～1500の継手構造。

4 PN形 (JP方式及びCP方式)

- 図表 1-5-10-12 PN形 (JP方式及びCP方式) 2015 (平成27)年～現在
呼び径300～600

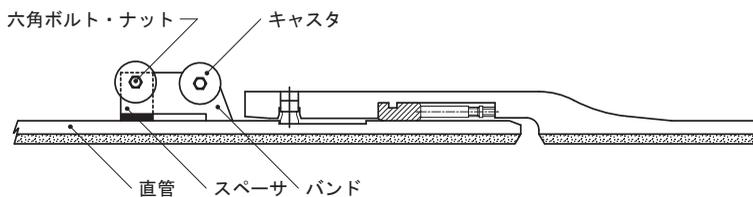


呼び径700～1500



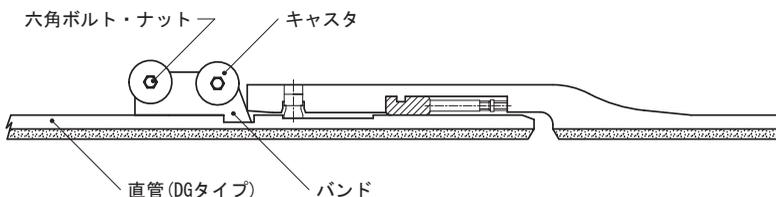
呼び径700・800ではスプリングなし。

[参考] キャスタバンドタイプ (溝なし) 呼び径300～1500



PN形 (溝なし) 呼び径700～1500にキャスタバンドが取り付けられている場合の継手構造。

[参考] キャスタバンドタイプ (溝あり) 呼び径300～1500



PN形 (溝あり) 呼び径700～1500にキャスタバンドが取り付けられている場合の継手構造。

●図表1-5-10-13 P I形、P II形、PN形、PN形（JP方式及びCP方式）の規格の変遷

年	規格	主な改正内容	呼び径
1984(昭和59)	JDPA G 1033 制定	P I形、P II形をJDPA規格として制定	300～1350
2005(平成17)	JDPA G 1046 制定	PN形をJDPA規格として制定 離脱防止力を3DkNに変更	300～1500
2007(平成19)	JDPA G 1033 改正	溶接リング、フランジ・リップ付き管を追加し、P I形を削除	300～1350
2007(平成19)	JDPA G 1046 改正	継手部の寸法を主要寸法に限定 継手性能の規定を強化	300～1500
2015(平成27)	JDPA G 1051 制定	PN形（JP方式及びCP方式）をJDPA規格として制定	300～1500
2017(平成29)	JDPA G 1046 改定	PN形とPN形（JP方式及びCP方式）を統合	300～1500

備考 規格名称などは図表1-5-1-4を参照のこと。

1-5-11 農業用水用の継手

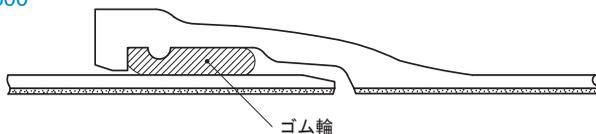
農業用水で多く用いられてきたT形ダクタイル鉄管は、1970(昭和45)年に「JCPA G 1003 タイトン形水道用遠心力鋳鉄管」として呼び径75～250が規格化された。その後、1973(昭和48)年に日本水道協会規格の「JWWA G 110 水道用T形遠心力ダクタイル鋳鉄管」として制定され広く普及してきた。

またその当時、海外でもT形ダクタイル鉄管のニーズが高く、呼び径2000までの拡大を図り、1979(昭和54)年に呼び径300～2000までが「JDPA G 1024 T形遠心力ダクタイル鋳鉄管」として制定された。1974(昭和49)年には「JIS G 5526 ダクタイル鋳鉄管」、1982(昭和57)年には「JWWA G 113 水道用ダクタイル鋳鉄管」として規格化され現在に至っている。従来のメカニカル継手に比べてゴム輪のみのプッシュオン継手であるT形は、直線部が多くかつ比較的大きな口径である農業用水では経済性を発揮して採用されるケースも多くなった。

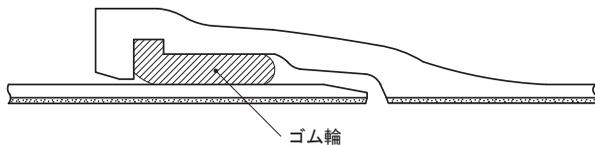
農業用水用としては、1981(昭和56)年に「JDPA G 1027 農業用水用ダクタイル鋳鉄管」が制定され、今日に至っている。その他、農業用水用としては2004(平成16)年にKL形、2010(平成22)年にTLW形、2015(平成27)年にALW形が開発された。詳細は図表1-5-11-5を参照のこと。

●図表 1-5-11-1 T形 1967(昭和42)年～現在

呼び径300～600

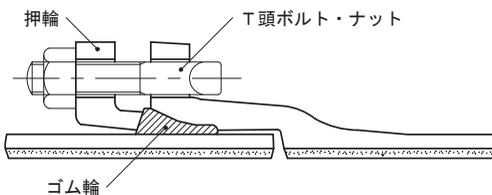


呼び径700～2000



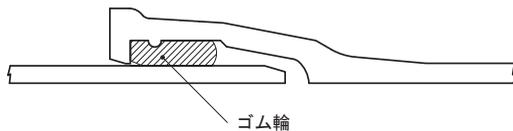
●図表 1-5-11-2 K形 1965(昭和40)年～現在

呼び径75～2600



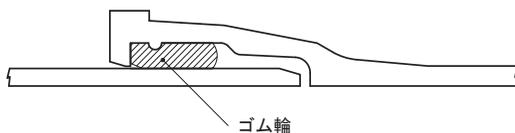
●図表 1-5-11-3 ALW形 2015(平成27)～2016(平成28)年

呼び径300～600



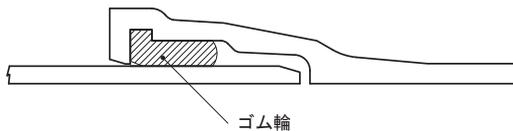
●図表 1-5-11-4 ALW形 2016(平成28)年～現在

呼び径300～600

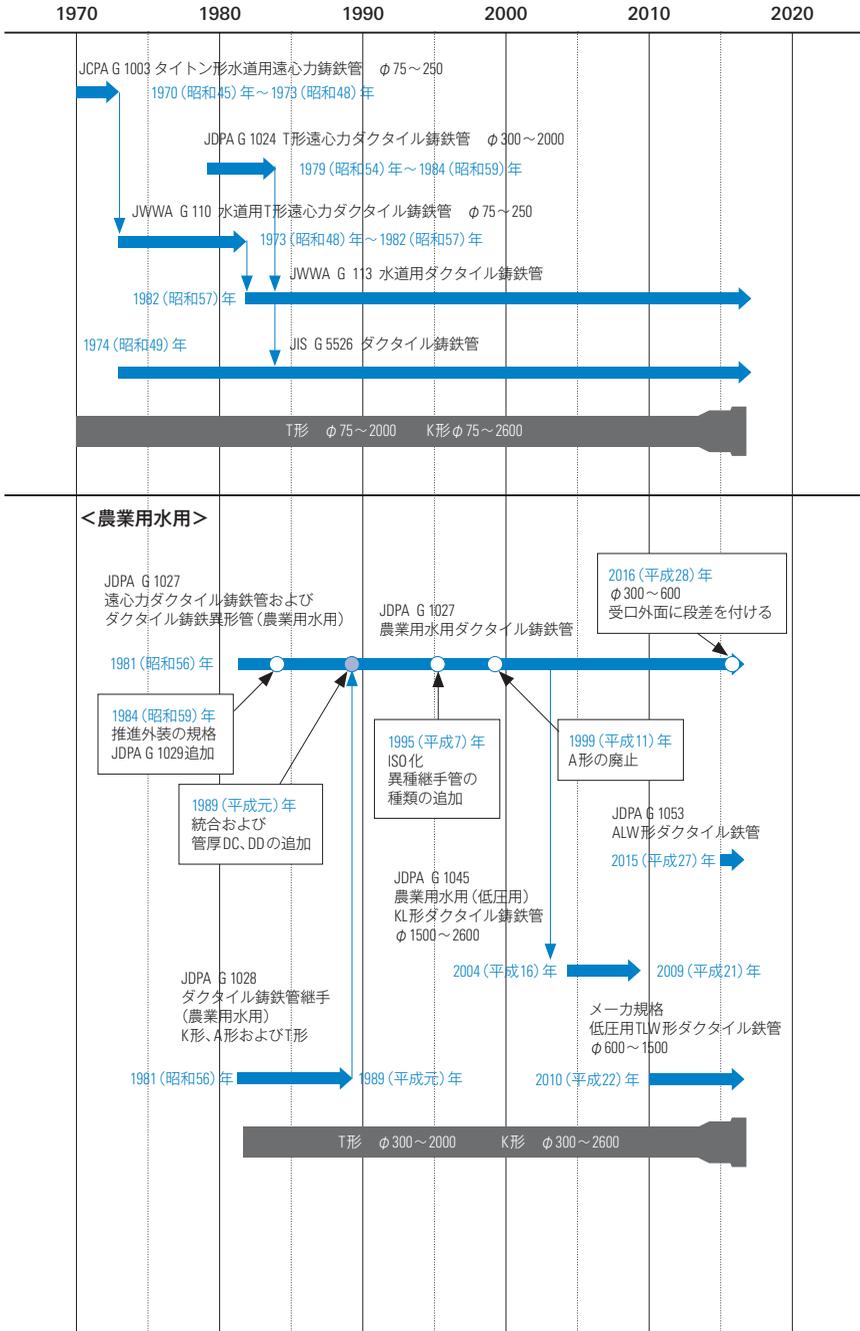


受口外面の段差付き。

呼び径700・800



●図表1-5-11-5 農業用水用ダクタイル鉄管の変遷

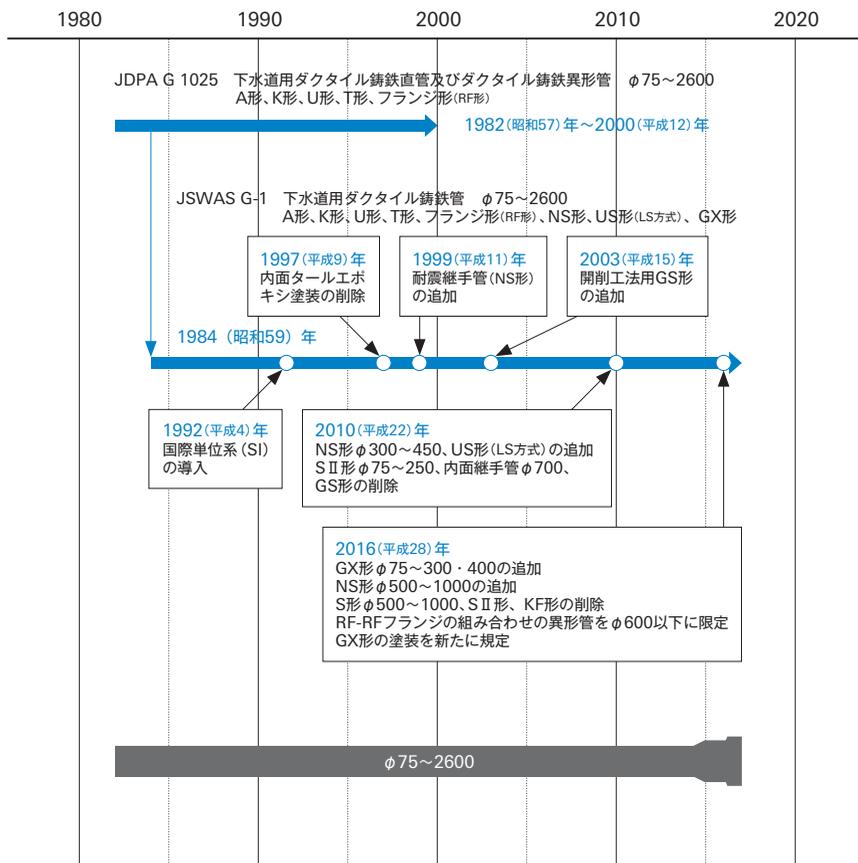


1-5-12 下水道用の継手

1 下水道用ダクタイトイル鉄管

ダクタイトイル鉄管は、下水道に古くから用いられており、送泥管、送水管など圧送管路や処理場内配管を中心に幅広く使用されている。下水道用ダクタイトイル鉄管は、下水道独自の規格の必要性から1984(昭和59)年10月に「JSWAS G-1 下水道用ダクタイトイル鑄鉄管」として制定された。新たに実用化された管種の追加、JIS規格(JIS A 5314、JIS G 5526、JIS G 5527、JIS G 5528)との整合などから適宜改正されている。規格の主な変遷は図表1-5-12-1の通りである。

●図表1-5-12-1 下水道用ダクタイトイル鉄管の規格(JSWAS G-1)の変遷

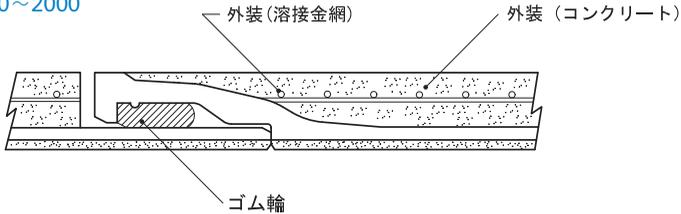


2 下水道推進工法用ダクタイトイル鉄管

ダクタイトイル鉄管は、送泥管、送水管など圧送管路や自然流下でも使用されている。下水道独自の規格の必要性から1990(平成2)年4月に「JSWAS G-2 下水道推進工法用ダクタイトイル鉄管」として制定された。新たに実用化された管種の追加、JIS規格との整合などから適宜改正されている。規格の主な変遷は図表1-5-12-10の通りである。

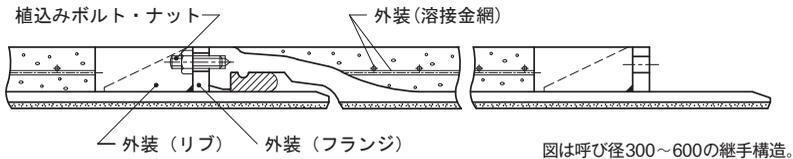
●図表1-5-12-2 ST形推進管 1990(平成2)～1993(平成5)年

呼び径250～2000



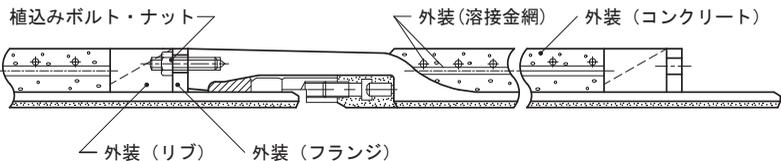
●図表1-5-12-3 T形推進管 1985(昭和60)年～現在

呼び径250～700



●図表1-5-12-4 U形推進管 1990(平成2)年～現在

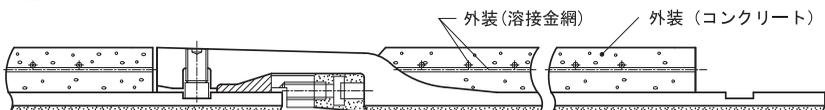
呼び径800～2600



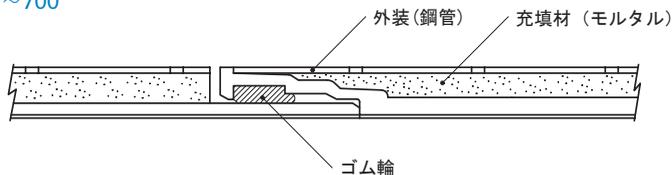
1997(平成9)年に植込みボルトレスが追加され、
2010(平成22)年に植込みボルトタイプは規格から削除された。

●図表1-5-12-5 UF形推進管 1997(平成9)年～現在

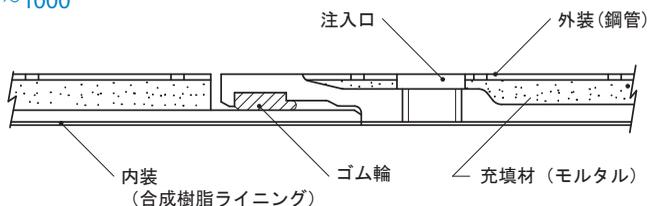
呼び径800～2600



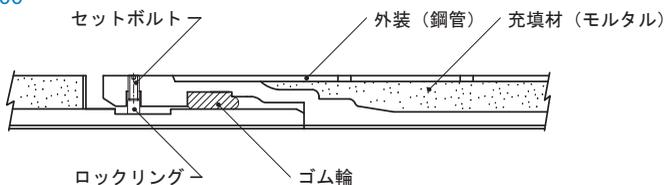
●図表1-5-12-6 GS形推進管 1993(平成5)年～2010(平成22)年
呼び径300～700



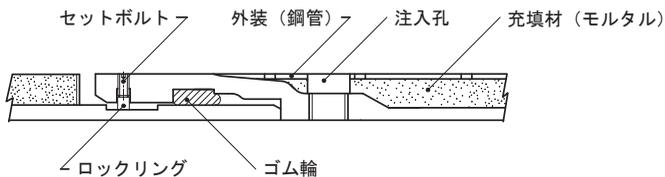
●図表1-5-12-7 GS形推進管 1993(平成5)～2010(平成22)年
呼び径800～1000



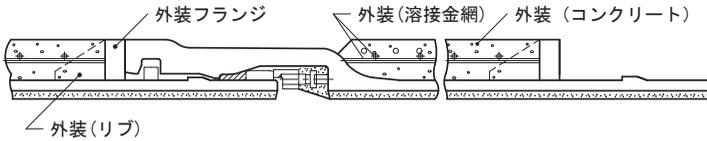
●図表1-5-12-8 GSS形推進管 1993(平成5)～2010(平成22)年
呼び径300～700



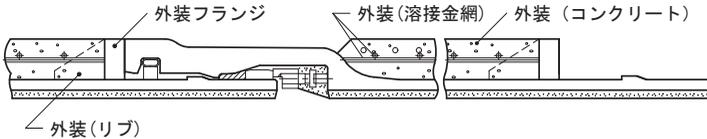
呼び径800～1000



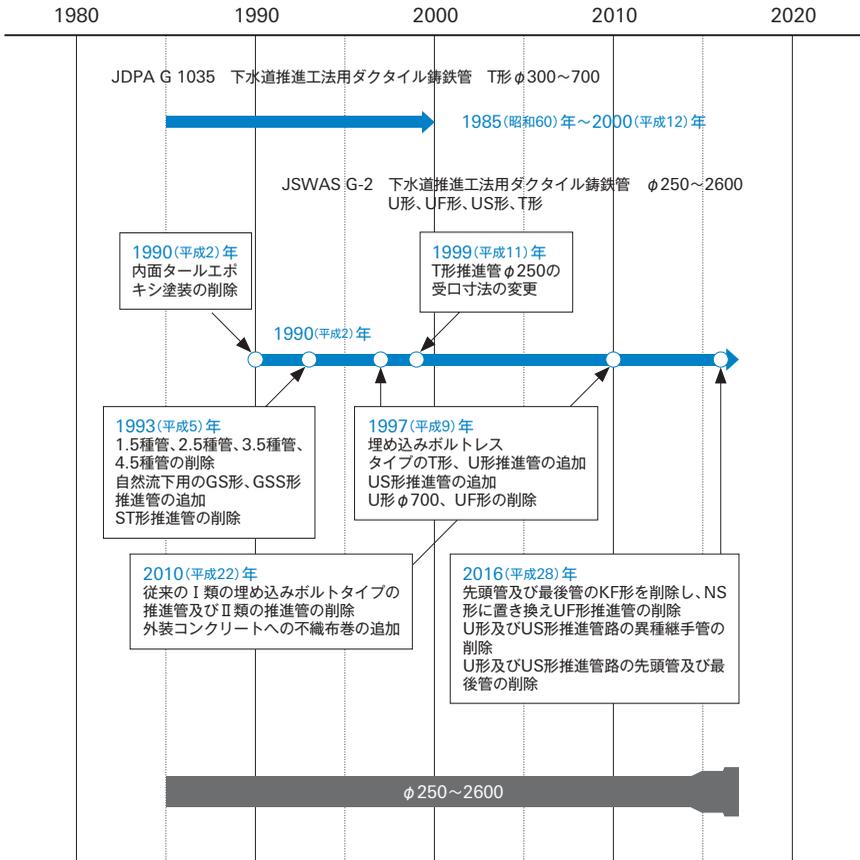
●図表1-5-12-9 US形(LS方式)推進管植込みボルトレスタイプ 1997(平成9)年～現在
呼び径800～1000



呼び径1100～2600



●図表1-5-12-10 下水道推進工法用ダクタイトイル鉄管の規格(JSWS G-2)の変遷



1-5-13 ガス管用の継手

日本で初めてガス用の鑄鉄管が使われたのは、横浜の街頭にガス燈が灯された1872(明治5)年のことである。公称内径8インチ以下の鑄鉄管が使われたが、横浜市発展記念館に当時のガス管用鑄鉄管が保存されており、鑄出し記号「R.L.&S」からイギリスのグラスゴー市にあったR.レイドロー社製であることが分かっている。このとき使われた鑄鉄管は印籠継手であった。1874(明治7)年に銀座にガス燈が灯されたときもガス管用鑄鉄管が使用された。その後も日本国内ではガス管用としては印籠継手が使用され、また水道用高級鑄鉄管規格(呼び径75~1500)をガス管用の鑄鉄管として用いた。印籠継手の接合部分である麻がガス中の飽和水蒸気で常に湿っており、十分気密性を発揮した。

東京ガスでは1932(昭和7)年には水道用の鑄鉄管よりも管外径が大きく、麻と鉛を主体としてゴム輪を補助的に使用した継手であるG型(呼び径75~750)を採用しており、1964(昭和39)年発行の『日本鑄鉄管協会便覧』には「東京瓦斯型呼び径75~750」として掲載されている。1970(昭和45)年には、G型と外径が同じで角ゴム輪、丸ゴム輪、バックアップリングを用いたメカニカル継手TM型呼び径100~400が開発された。1989(平成元年)年以降は呼び径100~300に改正されている。

大阪ガスでは、G型と形状は類似しているが、外径は水道用と同じ瓦斯型を1940(昭和15)年ごろに開発した。またビクトリックジョイントも一時用いられたが、ゴムの性状が劣っていたことから気密性を確保できなかった。1946(昭和21)年の「瓦斯型鑄鉄管表」(日本瓦斯工業会)には呼び径100~1500が規定されている。

1953(昭和28)年の「鉄管・バルブ・コックおよび継手類の検査規定」(日本瓦斯協会(現日本ガス協会))には、瓦斯型(G型)鑄鉄管(呼び径75~1000)、砂型遠心力鑄鉄管(呼び径150~250)、金型遠心力鑄鉄管(呼び径75~300)が規定されている。しかし、瓦斯型(G型)の継手は、施工性、費用の面から改良を必要とされ、より簡便な信頼性の高い継手が望まれるようになった。

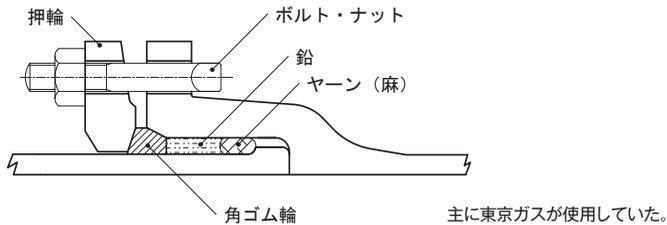
東海ガスが1956(昭和31)年に水道用のメカニカルジョイント形に形状は類似しているが、耐ガス性のゴム層、ゴム輪の先端や背部に真鍮^{しんちゅう}金網層を施したガス用のメカニカル継手管を日本で初めて採用した。一般的にはメカニカル継手はガスの成分がゴム輪を劣化させるために敬遠されてきたが、角ゴムの前に耐ガス性の丸ゴムを加えた改良AⅡ形(呼び径75~300)を多くのガス会社が1971(昭和

46) 年ごろから使用した。

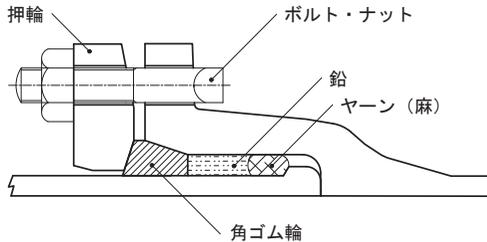
1969(昭和44)年には、大阪ガスがAⅡ形のメカニカル継手の優位性を残したまま継手の拔出し防止力を向上させるためにロックリングを有したGM形呼び径100～400を開発した。1977(昭和52)年には、GM形のロックリングに溝を設けるなど改良を施し、引張側で60mm、圧縮側で15mmの伸縮を有したGMⅡ形呼び径100～300を開発した。

1980(昭和55)年ごろから耐震性能の向上を図る目的でSⅡ形呼び径400、450が使用された。

●図表1-5-13-1 高級铸铁管 G型、東京瓦斯型 1932(昭和7)～1970(昭和45)年ごろ
呼び径75～750

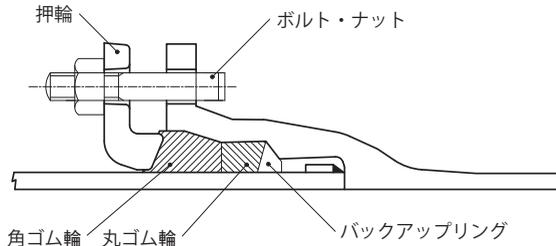


東京瓦斯型 呼び径75～750



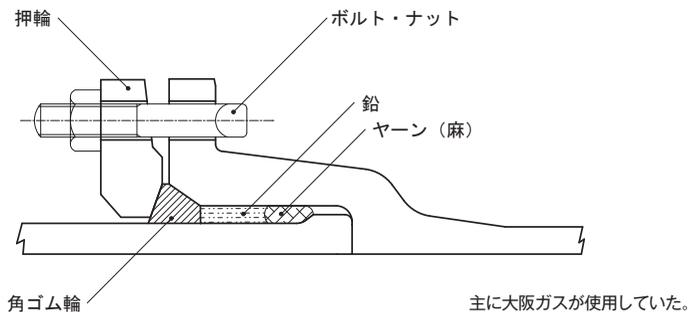
1964(昭和39)年発行の『日本铸铁管協会便覧』(日本ダクタイル鉄管協会)に掲載されていたもので、G型と気密性構造は同じである。主に東京ガスが使用していた。

●図表1-5-13-2 TM型 1970(昭和45)年～現在
呼び径100～300

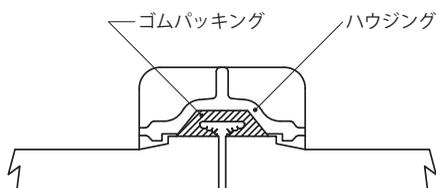


1989(平成元年)年以前は呼び径100～400であった。

●図表1-5-13-3 高級铸铁管 瓦斯型 1940(昭和15)年～1969(昭和44)年ごろ
呼び径100～1500

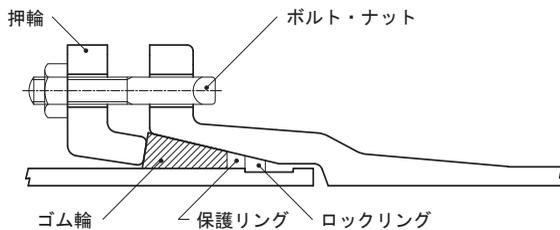


●図表1-5-13-4 高級铸铁管 ビクトリックジョイント 1940(昭和15)年ごろ



主に大阪ガスが使用していた。1940(昭和15)年当時に一部使用されたが、ゴムの性状が劣っていたため気密性が不十分であった。

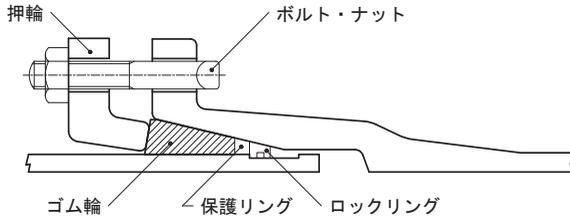
●図表1-5-13-5 GM形 1969(昭和44)年～1977(昭和52)年ごろ
呼び径100～400



主に大阪ガスが使用していた。

● 図表1-5-13-6 GM II形 1977(昭和52)年～現在

呼び径100～300

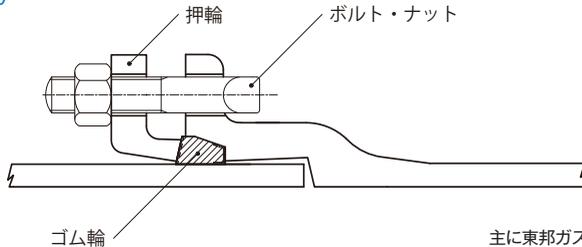


主に大阪ガスが使用している。

詳細は『ダクタイル鉄管』第36号(日本ダクタイル鉄管協会、1984年)を参照のこと。

● 図表1-5-13-7 A形(ガス用) 1956(昭和31)年～1971(昭和46)年ごろ

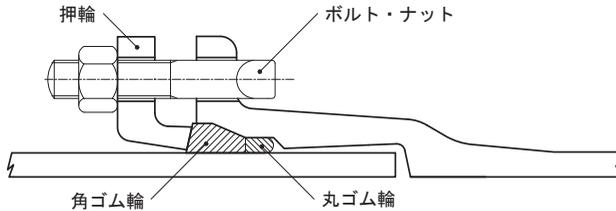
呼び径100～300



主に東邦ガスが使用していた。

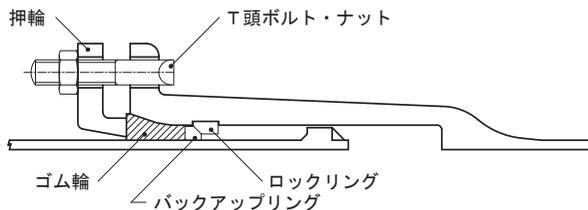
● 図表1-5-13-8 改良A II形 1971(昭和46)年～2009(平成21)年

呼び径75～300

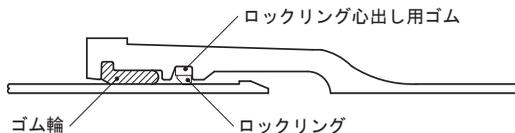


● 図表1-5-13-9 S II形 1980(昭和55)～2012(平成24)年

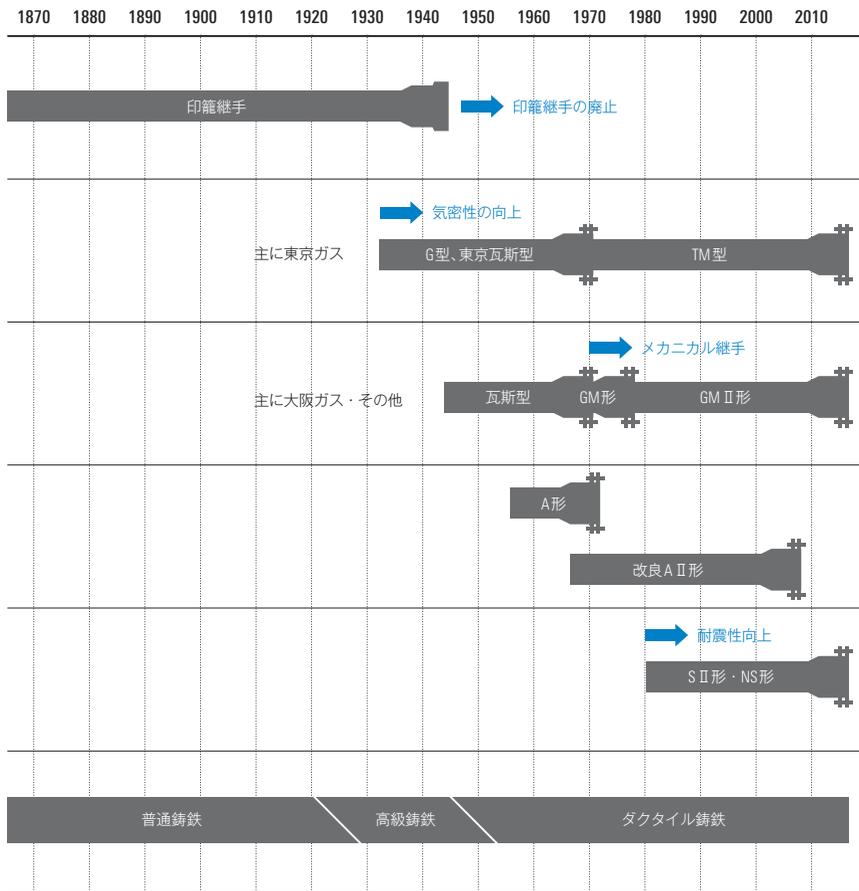
呼び径400・450



●図表1-5-13-10 NS形 1993(平成5)年～現在
呼び径400・450



●図表1-5-13-11 ガス管用ダクタイル鉄管の変遷



1-5-14 ケーブル保護管用の継手

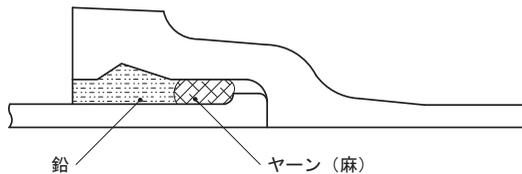
電話ケーブル保護管用鑄鉄管が日本で初めて用いられたのは1897(明治30)年のことである。公称内径3インチ、管長9フィートの印籠継手の鑄鉄管が東京の錢瓶町電話局から浪速局までの約2kmに地下管路として布設された。その後、管体強度は向上し管長も4mになった。戦争による物資の不足などから1938(昭和13)年ごろからソケット形(クボタイト接合)が併用された。また1964(昭和39)年には継手の施工性の改善から印籠継手はスクリュー形に切り替わった。

東海道新幹線などの交流電化、電力の超高压送電などで電話ケーブルの電磁誘導遮断対策が必要となり、1967(昭和42)年に平塚駅の近くで遮断特性の比較試験を行った結果、ねじ形が最も優れていたために1969(昭和44)年に管材は全てダクタイル鉄管になり、接合形式はスクリュー形からねじ形に改良された。

管路工事の安全対策上、掘削構内に入らないで接合できる継手の要望がNTTからあり、掘削溝の上から作業が可能な差込み継手が必要となった。そのため、従来から用いられているプッシュオン継手のT形に電話ケーブル保護管用として必要な導電性、離脱防止性を付加した新しい差込み継手のダクタイル鉄管がPL-I管として開発された。2012(平成24)年からは、水道用耐震形継手管GX形と同じように継手部が $\pm 45\text{mm}$ 伸縮し、かつ196kNの離脱防止性能が付き、外面は新たな耐食仕様で長寿命化が図られたGX-I管が使用されている。

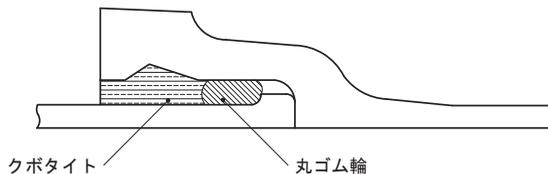
●図表1-5-14-1 普通鑄鉄管印籠継手 1897(明治30)～1937(昭和12)年

呼び径75

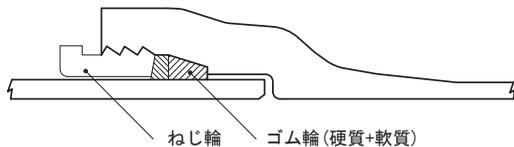


●図表1-5-14-2 高級鑄鉄管印籠継手(クボタイト接合) 1938(昭和13)～1959(昭和34)年

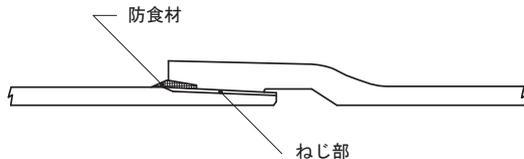
呼び径75



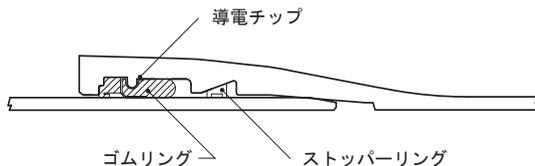
●図表1-5-14-3 高級铸铁管 スクリュー形 1964(昭和39)～1969(昭和44)年
呼び径75



●図表1-5-14-4 ねじ形 1969(昭和44)～1985(昭和60)年
呼び径75

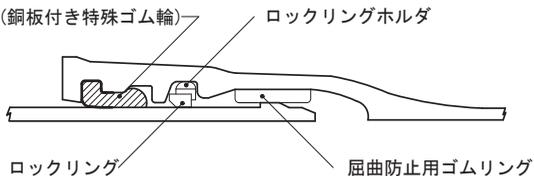


●図表1-5-14-5 PL-I管 1985(昭和60)～2012(平成24)年
呼び径75

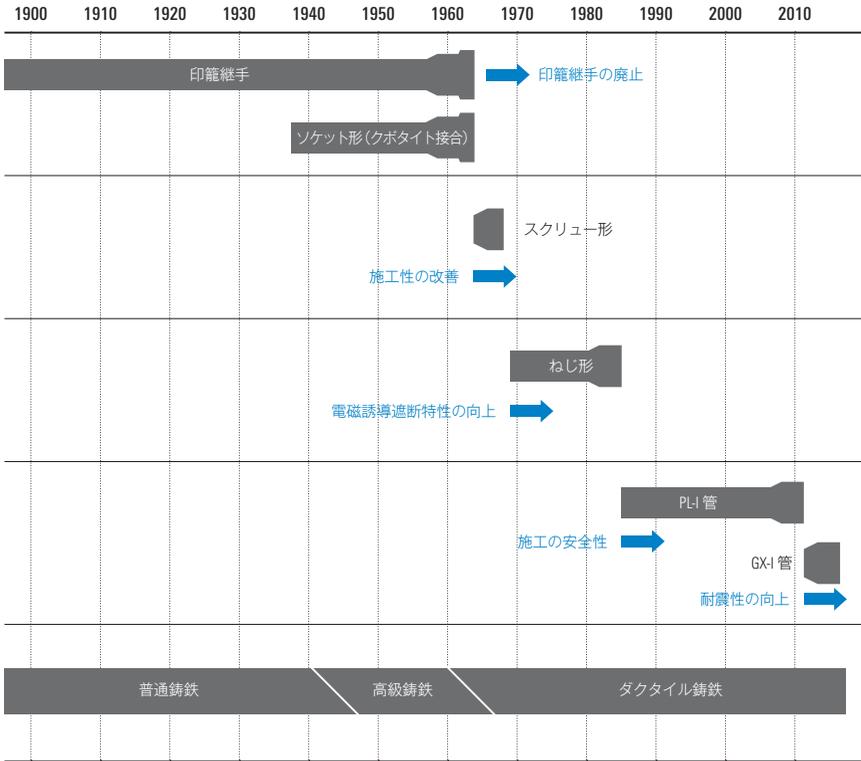


●図表1-5-14-6 GX-I管 2012(平成24)年～現在

呼び径75 ゴムリング(銅板付き特殊ゴム輪) ロックリングホルダ



●図表1-5-14-7 ケーブル保護管用ダクタイル鉄管の変遷



1-6 耐震継手の誕生

耐震継手の開発経緯については「世界に先駆ける耐震形ダクタイル鉄管」(八戸圏域水道企業団・クボタ、2013年)にまとめられており、抜粋して以下に紹介する(特に引用の記載がない図表も同書からの引用である)。

1-6-1 管路耐震化への取組み

1 開発の経緯

1964(昭和39)年6月16日13時1分41秒、新潟県の粟島南方沖40km、深さ34kmを震源として発生した新潟地震の規模はM7.5、最大震度5であった。新潟市水道局の青山浄水場への導水管、関谷浄水所への送水管の国道部分では1m以上の隆起や押出しにより管路被害が発生した。また配水管についても液状化による地盤の陥没箇所では被害を受けるなど、地盤が良好な地区を除いてほとんど使用できなくなり、全管路延長約470kmのうち約68%を取り換える必要があった。管路の被害で特徴的なことは、ダクタイル鉄管の管体破損はなく、铸铁管も破裂、破損というよりも、いんろう印籠継手の緩みによる漏水、継手の離脱が多かったことである。その後、1968(昭和43)年に発生した十勝沖地震でも埋設管路に被害を受け、特に軟弱地盤に埋設された管路に被害が集中した。

青森県では、十勝沖地震で大きな被害を受けた八戸市水道部(現八戸圏域水道企業団)の水道事業管理者であった田邊一政氏が、市民が水を求める姿を目のあたりにして、「どうしても地震時に破損しないパイプが欲しい。このパイプの開発こそ、人間生活を幸福にする。」と痛感し、1971(昭和46)年に日本ダクタイル鉄管協会を訪ねて、久保田鉄工(現クボタ)の開発部門に耐震継手管の開発を依頼した。そのコンセプトは当時としては以下のような非常に厳しい要求であったが、同社は快諾し、地震時における管路の挙動と耐震継手の研究を決断した。

- ・ 継手が軸方向にスライドして、かつ抜けない。

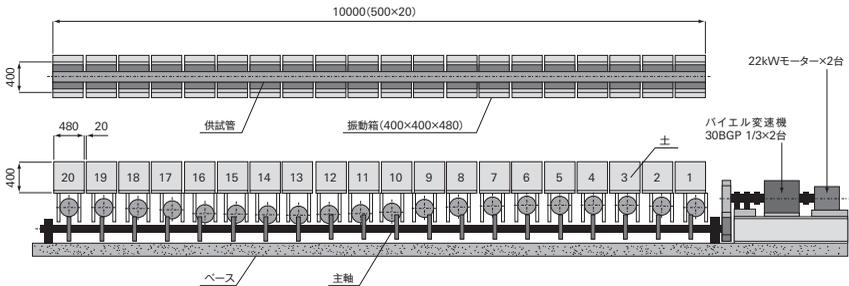
- ・ ボールジョイントのように360°方向に折れ曲がることができ、漏水しない。

2 最初の管路挙動試験

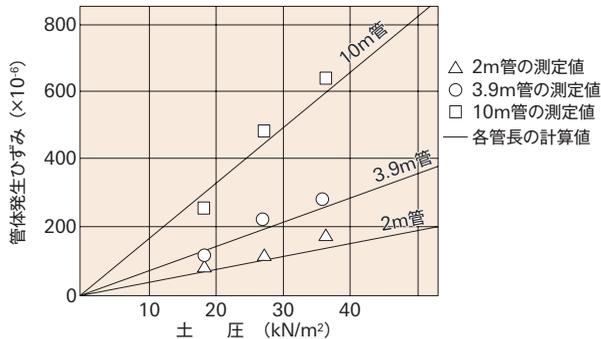
開発は、地震時の埋設管路の挙動を確認することから始めた。1971(昭和46)年、図表1-6-1-1に示すような小さな振動台を多数並べた装置で、各振動台を往復運動させ、かつ位相をずらして運動させることによって振動台に相対変位を与え、地震時の地盤の動きを再現させた。この結果から、下記の知見が得られた。

- ・ 管体発生ひずみは、地震の加速度、周期にはあまり関係なく、地盤の相対変位からくる地盤のひずみ量、管長および土と管の摩擦力などによって決まる。
- ・ 管と土の摩擦力は土圧にほぼ比例する。
- ・ 継手の伸縮量は、管体発生ひずみと同様に、地震の加速度、周期にはあまり関係なく、地盤のひずみ量、管長によって決まる。

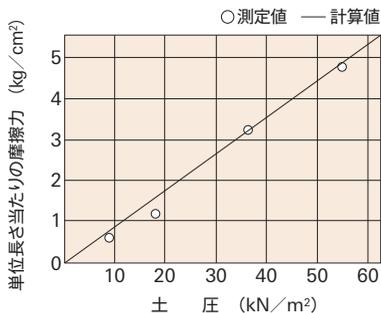
●図表1-6-1-1 振動実験装置



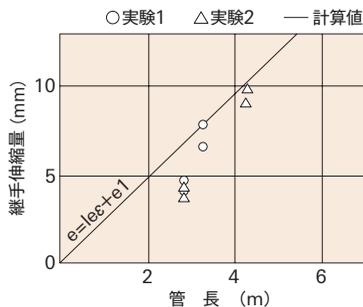
●図表1-6-1-2 土圧と管体発生ひずみの関係



●図表1-6-1-3 土圧と摩擦力の関係



●図表1-6-1-4 管長と継手伸縮量の関係

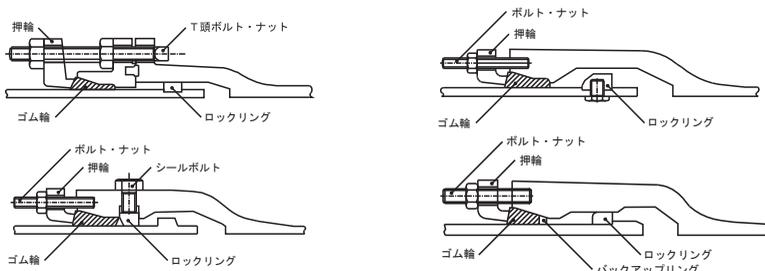


1-6-2 耐震継手の開発

1 耐震継手の試作

耐震継手の開発は、すでに開発されていた離脱防止継手管UF形をベースに研究し、新潟地震や十勝沖地震の被害レポートをさらに研究して、図表1-6-2-1に示す継手案を基に性能試験を繰り返し、長所短所を見極めていった。

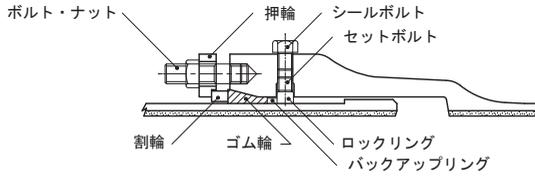
●図表1-6-2-1 開発過程の耐震継手(試作)



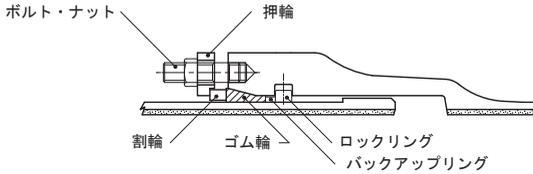
2 S形の開発

八戸市水道部と開発チームはダクタイル鉄管の耐震継手の目標性能をまとめ、1972(昭和47)年8月から約1年間で耐震継手の試作を完了し、1974(昭和49)年に日本で初めての耐震継手管を開発した。その名称は耐震を意味する英語「Seismic/Seismal」の頭文字をとって、「S形ダクタイル鉄管」(呼び径1000~1500)と命名された。

●図表1-6-2-2 S形 1974～1975(昭和49～50)年
セットボルト付き 呼び径1000～1500



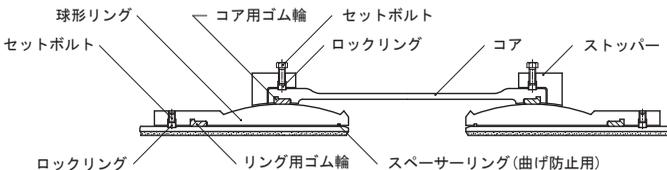
●図表1-6-2-3 S形 1976(昭和51)年当時
結合ピース方式 呼び径500～2000



八戸市のループ幹線(約8km)に最初に採用されたS形はUF形のようなセットボルト付き(図表1-6-2-2)であった。1976(昭和51)年には呼び径が500～2000に拡大されるとともに、ロックリングは現在の結合ピース方式(図表1-6-2-3)に改良され、さらに1979(昭和54)年には呼び径が500～2600に拡大されている。

S形では対応しにくい建物との取合部などいわゆる不同沈下が生じる所や、非常に大きな地盤変位が生じる所に使用可能な屈曲性の高いDBJ形呼び径1500が開発された。八戸市水道部は、田辺水道事業管理者の「地震が起きても市民は生きている。橋が落ちて水も供給しなければならない」といった思想に基づいて、馬淵川を横断する西水管橋に使用している。

●図表1-6-2-4 DBJ形 1976(昭和51)～1979(昭和54)年



3 耐震継手管路のコンセプト

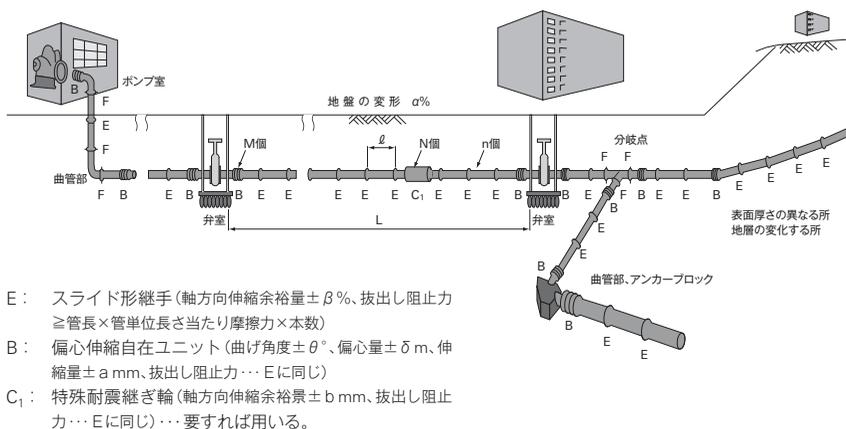
耐震継手管の開発とはほぼ同時期に厚生省(現厚生労働省)では、南関東大地震対策調査研究会が発足し、1973(昭和48)年3月に「南関東大地震対策調査報告書」をま

とめた。この中でも前述の耐震継手管路の挙動研究などが掲載されている。厚生省との打合せの中で、耐震継手管路のコンセプトは、継手が伸縮、屈曲し、離脱しない「鎖構造管路」と明確になった。

耐震継手管路のコンセプトを実現するための継手性能は以下のように定められた。

- ・ 高水圧に耐えること。
- ・ 大きな伸縮量(管長の±1%)が可能である(地盤の弾性範囲は 10^{-4} のオーダー(0.1%未満)であり、地盤が塑性域に達するのはひずみが 5×10^{-3} (0.5%)程度である)。
- ・ ある程度の屈曲(U形、K形並み)が可能である。
- ・ 大きな抜出し力 $3DkN$ (当時は $0.3Dtf$ 、 D :呼び径)に耐える(管と土の単位当たり摩擦力を $10kN/mi$ と仮定した。安全率を考慮すると、管路長 $100m$ 分の管を引っ張ることができる力に相当する)。

●図表1-6-2-5 鎖構造管路構想



E: スライド形継手(軸方向伸縮余裕量±β%, 抜出し阻止力
≥管長×管単位長さ当たり摩擦力×本数)

B: 偏心伸縮自在ユニット(曲げ角度±θ°, 偏心量±δ m, 伸縮量±a mm, 抜出し阻止力…Eに同じ)

C₁: 特殊耐震継ぎ輪(軸方向伸縮余裕量±b mm, 抜出し阻止力…Eに同じ)…要すれば用いる。

$$\text{使用個数}(N\text{個}) = \frac{\alpha L - n\beta \ell - Ma}{b}$$

F: 離脱防止継手

『南関東大震災対策調査報告書』(厚生省、1973年)より

4 耐震継手の技術基準

1976(昭和51)年、国土開発技術研究センター(現国土技術研究センター)に、東京大学・久保慶三郎教授を委員長とする埋設管路耐震継手技術委員会が設置され、「地中施設の耐震継手に関する研究」が実施された。その中で、各種埋設管の継手の耐震性が調査され、「地下埋設耐震継手技術基準(案)」が作成された。

●図表 1-6-2-6 耐震継手の性能基準

項目	区分	継手の性能
伸縮性能	S-1類	伸縮量 $\pm 0.01 \ell$ mm以上
	S-2類	伸縮量 $\pm 0.005 \ell$ mm以上 $\pm 0.01 \ell$ mm未満
	S-3類	伸縮量 $\pm 0.005 \ell$ mm未満
離脱防止性能	A級	離脱防止抵抗力0.3dTon以上
	B級	離脱防止抵抗力0.15dTon以上0.3dTon未満
	C級	離脱防止抵抗力0.075dTon以上0.15dTon未満
	D級	離脱防止抵抗力0.075dTon未満

備考 表中の ℓ は管長(mm)、dは呼び径(mm)を示す。

「地下埋設耐震継手技術基準(案)」(国土開発技術研究センター、1977年)より(抜粋)

茶話

11

「ライフライン」の始まり

1977(昭和52)年夏、UCLAにおいてアメリカ土木学会のLIFELINE EARTHQUAKE ENGINEERING学会があり、久保慶三郎先生が講演されたおりに、私が学会名の「ライフライン」なる言葉が非常に新鮮であり、大いに気に入ったが、日本では一般化しておらず、マスコミにも出たことがなかったので、その出所なり意義なりがいかなるものかをお伺いした。先生のご説明は、「新潟地震におくれること7年後の、1971(昭和46)年アメリカでサンフェルナンド地震が発生、高架橋が落ちるなどの被害が生じたが、アメリカで注目したのは高架橋よりもむしろ水道、ガス、電気の施設に対する被害であった。この重要性に気付き、研究を始めた。この分野について、マーティン・デュークという先生が、ライフライン地震工学という言葉を使ったの

が始まりだった」というもので、当時の日本においても、そうあるべきだなと痛感した。

また、先生が常々おっしゃっていたことは、「安全は金で買うという考えが大事だ。これを基本にしないと色々な問題が解決していかない。丈夫なものにするよう、あとの祭りにならないように早く手を打つ、このように行政に動いてもらいたい。それをサポートするのが大学の研究機関であり、メーカーの立場だと思う」と。また、「埋設管の場合、実証することが難しいから、今までのデータ、これは神様がくれたデータだから、過去の地震時の被害状況を克明に解析することが大事」とも主張された。

宮岡正「铸铁管からダクタイル鉄管へ」
日本ダクタイル鉄管協会ホームページより(抜粋)

1-7

工法の歴史

1-7-1 工法の種類

施工方法としては、明治の近代水道創設以来、開削工法が中心であったが、戦後の経済成長に伴い大都市では道路交通事情や地下埋設物の輻輳化、騒音、振動等の住環境への配慮から、開削工法が困難な場合には、非開削工法を適用することが増加してきた。

●図表1-7-1-1 工法の種類と特徴

種 類		特 徴
開削工法		道路などを掘削して管を布設していく工法であり、経済性も高く、施工方法の基本である。
非開削工法	トンネル内配管工法 シールド内配管工法	シールド工法でセグメントのトンネルを形成し、その中にダクタイト鉄管を持ち込んで配管する工法である。 長距離（約数百m～2Km程度）、カーブ施工も可能であるが、費用的には開削工法より割高である。最近では、セグメント内径が1m程度の小さなシールド工法も可能になってきている。 シールドと新設管の間をエアミルクなどで充填する方法と充填しない点検通路方法がある。
	山岳トンネル内配管工法	TBM（トンネルボーリングマシン）工法、NATM（ナトム）工法等で築造されたトンネル、水道用ずい道の馬蹄形トンネル（耐震補強等）、道路用トンネル（消火用配管等）などのトンネル内に管を持ち込んで配管する工法である。
	推進工法（直押し）	推進工法用ダクタイト鉄管を発進立坑から1工程もしくは2工程方式で直接推進する工法である。土質、推進工法の種類により異なるが、シールド工法より施工可能延長は相対的に短い。1スパン数百mの施工が可能で、最近ではカーブ推進（口径により異なるが曲率半径約100～500m程度）も可能になっている。費用は開削工法よりは割高であるがトンネル内配管工法よりは割安である
PIP工法（ハイインハイ工法）	既設管内押込工法	既設管（铸铁管、鉄筋コンクリート管、ヒューム管、石棉管等）の中に、1口径程度小さなPⅡ形、PN形、PN形（JP方式及びCP方式のJP方式）を挿入する工法である。1スパンの施工延長は、既設管の屈曲角、既設管と新設管との摩擦力、新設管の許容抵抗力などにより決まるが、実績的には500m程度まで可能である。費用的には配管距離が長くなれば開削工法より割安になる場合もある。2口径程度小さくなるが、GX形、NS形、S形なども推力伝達部材などを用いて挿入は可能である。

1-7-2 開削工法

開削工法とは、道路など管を埋設する場所を掘削して、管を所定の位置に据え付け、接合した後に埋め戻す工法である。一般的には経済性も高いため、日本最初の近代水道となる横浜水道以来、最も標準的な工法として用いられている。

基本的な工法は明治時代以来変わっていないが、年々機械化が進んでいる。また、接合の施工性向上に伴い、掘削幅が小さくなったり、浅層埋設が可能になったりするなど、改良も進んでいる。

① 運搬と吊上げ・吊下ろし

横浜水道などの近代水道創設期には、管を運ぶトラックなどもなく、重量物である鑄鉄管の運搬は、配管ルートに沿って軌条を敷き、台車を載せて牛などを使って行った。

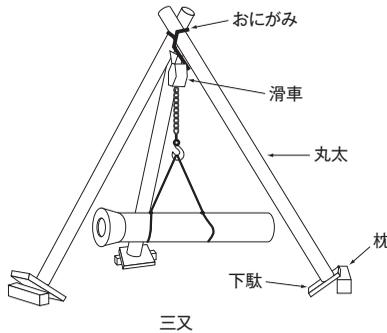
●図表1-7-2-1 管の運搬の変化



宮内庁書陵部所蔵「横浜水道写真帳」より

また、現場での荷降ろしや配管作業では、鉄管の吊上げ・吊下ろしに三又さんまたが使われていたが、近年ではクレーンを用いている。特に小口径の工事では積載形トラッククレーンなどが用いられている。

●図表1-7-2-2 管の吊上げ・吊下ろしの変化



積載形トラッククレーン

② 掘削

1) 掘削

掘削は人力から機械化され、主にバックホウなどが用いられている。また、掘削方法はのり勾配を付けて掘削し土留め(木材や鋼材で土を押さえる)を行わない方法から、交通事情などを背景に垂直に掘削して土留めを行う方法に変化してきている。しかし、水道管の埋設深さについては、1999(平成11)年3月31日付建設省道政発第32号、道国発第5号において、土かぶり1.2m以上から0.6m(舗装厚+0.3m)以上(給水取出しがない場合)の浅層埋設に変更するように通達が出されており、呼び径300以下であればのり勾配も土留めも必要でない素掘りを用いた掘削が多くなっている。また施工性が改善されたGX形の開発により、掘削幅も小さくなってきている。

●図表1-7-2-3 掘削幅の変化(土留めなしの場合)

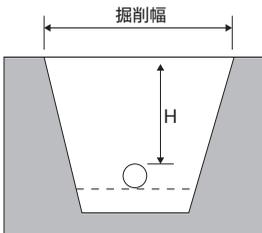
(単位:cm)

接合形式	呼び径75	呼び径100	呼び径150	呼び径200	呼び径250
NS形	60	65	70	75	80
GX形	55	55	55	55	60

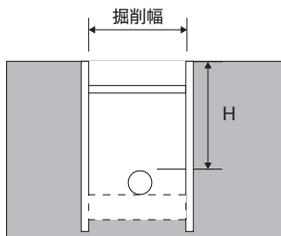
備考 「水道施設整備費に係る歩掛表」厚生労働省平成29年度により算出した掘削面。

●図表1-7-2-4 掘削断面の例

①のり勾配を付けた場合

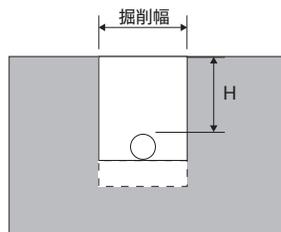
東北電力
GX形 呼び径400

②土留めの場合



沖縄県企業局
US形 呼び径1500

③索掘りの場合



筑後市上下水道課
GX形 呼び径300

備考 会所掘り（継手接合のための余掘り）は呼び径350以下は深さ0.3m、長さ0.5mとする。

『ダクタイル鉄管』第95、96号（日本ダクタイル鉄管協会、2014、2015年）より

2) 土留め

多くの掘削の際、法面や段差の崩壊を防ぐために、木材や鋼材で土を押さえる土留めが必要となる。土留めには各種の工法があり、管の埋設深さは比較的小さいため、地盤条件が悪くなければ、埋設物などが多い都市部での布設は、親杭横矢板工法や軽量鋼矢板工法の一つである建込方式が用いられることが多い。

●図表1-7-2-5 土留めの種類と特徴

種類	特徴
親杭横矢板工法	湧水の恐れのない土質に用いられる工法で、H鋼を根入れ深さまで打ち込み、木製横矢板を掘削しながら挿入して土留めする工法である。地中に小規模な埋設物があっても対応できる。
鋼矢板工法	砂質地盤、湧水地盤、軟弱地盤に用いられる工法で、鋼矢板（シートパイル）を打ち込み後掘削する工法である。推進工事の立坑が深い場合や、湧水がある場合などに用いる。
軽量鋼矢板工法 ^{注1}	建込方式：掘削した地山が自立する場合には、一定の深さまで掘削し、軽量鋼矢板を建て込んでから押し込み、腹越し、切梁を設置する。 打込方式：砂質土、湧水、軟弱地盤等の場合には、軽量鋼矢板を打ち込んだ後に掘削し、腹起し、切梁を設置する。
建込簡易鋼矢板工法 ^{注1}	スライドレール方式：切梁を取り付けたスライドレールをあらかじめ設置し、これに土留めパネルを挿入して掘削する。 縦ばりプレート方式：切梁を取り付けた縦ばりプレートと呼ばれる矢板を建て込み、プレートを押し込みながら掘削する。

注1 「土止め先行工法による土止め支保工等の種類と特徴」（労務安全情報センターホームページ）より抜粋要約した。

3) 埋戻し土

ダクタイル鉄管の場合は、埋戻しが適切に行われれば、管体の損傷などの影響は受けにくく、発生土を埋戻しに使用してきた。しかし、軟弱地盤など粘性土や含水比が高い場合には埋戻し後に道路に不陸^{ふりく}が生じるなど道路管理者からの要請により砂埋めを行う場合が多くなった。土壌の腐食性が高い場合は、ポリエチレンスリーブ法や、管周りのみ砂埋めしたりする方法が取られた。

また、山砂が少なくなり、発生土を捨てる所も少なくなったため、国土交通省令(平成13年3月29日国交令60)では、発生土の適正な利用促進を図るために、コーン指数(土の固さを示す指数)、含水比、粒子の大きさなど目的に応じて第一種から第四種までの建設発生土および泥土の5段階の利用基準が定められている。また石灰などを混ぜ改良土として利用する場合もあるが、その場合は、改良後の性状で判定することになっている。改良土を用いる場合、GX形の外面耐食塗装以外はポリエチレンスリーブを用いる必要がある。現在、公共工事においては、発生土を有効利用するために、購入山砂はなるべく使用せず個々の工事間で発生土の流用を図ることを原則にしている。

③ 継手の変遷

明治時代から使用された印籠^{いんろう}継手(ソケット形、C形)は、現場で鉛を溶かして受口と挿し口の隙間に流し込む必要があり、その鉛をかしめる(鉛を塑性変形させて水密性を確保する)職人技が必要であった。1955(昭和30)年代になると、メカニカルジョイント形の開発により、接合は容易になったが、トルクチェック(トルクレンチを用いたボルトの締付け具合のチェック)などは必要であった。1965(昭和40)年代には、大口径化により、B形、AⅡ形、K形などが開発された。接合部品がゴム輪のみのプッシュオン継手(T形)も使用された。また、内面継手管(U形、UF形)なども開発され、都市部など掘削幅が浅くても配管できるようになった。1975(昭和50)年ごろには、時代の要請もあり耐震継手管であるS形、SⅡ形、US形などが開発された。その後、耐震継手管はNS形、GX形、S50形、NS形(E種管)へと進化し施工性も改善されてきている。

1-7-3 シールド内配管工法

シールド内配管工法とは、シールドトンネルをさや管として、その中にダクタイ
ル鉄管を配管する工法である。シールドトンネルは、切羽^{きりは}(トンネルの掘削先端部)後
方のトンネル壁面をセグメントで支えて構築したトンネルである。

1 歴史

英国の技師マーク・イズムバード・ブルネルによって1818年に考案されたシールド工法は、1825年にロンドンのテムズ川を横断する水底トンネルに初めて採用された。ブルネルが考案したシールドの断面は長方形の断面であったが、1870年のテムズ川水底トンネル建設の際にピーター・バーロウによって円形断面のシールドが考案され、より大きな土砂の圧力に耐えられるトンネルができるようになった。1884年のロンドンの地下鉄建設で、グレートヘッド式シールドはさらに大型化され改良されている。日本で初めて採用されたのは、1917(大正6)年、羽越本線折渡^{うえつ おりわたり}トンネルの一部区間においてである。1936(昭和11)年には、世界初の海底鉄道トンネルである関門鉄道トンネルにおいてもこの工法が採用された。

その後、水道でも用いられるようになり、シールドトンネルをさや管として、その中にダクタイル鉄管を配管するシールド内配管工法が普及した。

シールド内配管工法に用いる内面継手U形が1965(昭和40)年に開発され、初めて東京都の溜池交差点を通過するシールドトンネル内にU形呼び径1500が配管された。1978(昭和53)年には、耐震継手管であるUS形呼び径700～2600が開発され、VT方式、SB方式に加えて挿入するだけでロックリングの機能が働くLS方式へと改良されて、シールド内配管材料の主流になっている。

シールドトンネルと新設管のダクタイル鉄管との間隙は、以前はコンクリートなどを打設していたが、1980(昭和55)年代には流動性の高いエアモルタルが使用されるようになり、施工性が向上した。その後、長スパンの施工や間隙の縮小に伴い、より流動性の高いエアミルクおよび流動化充填材が使用されると、間仕切りの間隔が長くできるようになり、施工性の改善、工期の短縮化が図られた。

シールド工法も進化を遂げており、トンネル内径1000mm、曲率半径15mのシールドなども可能になり、2012(平成24)年には、持込配管が可能なPN形(JP方式及び

CP方式)がJCPA G 1051として制定され、CP方式呼び径700～1500を用いることにより、急曲線、長距離施工も可能になった。

●図表1-7-3-1 シールド内配管工法

立坑内の吊下ろし状況



神奈川県内広域水道企業団
U形 呼び径1500

シールド内の運搬状況



東京都水道局
US形 呼び径1500

『ダクタイル鉄管』第58、89号(日本ダクタイル鉄管協会、1995、2011年)より

2 実績

1972(昭和47)年6月に完工した東京都水道局の村山下貯水池～東村山浄水場間で、当時世界最大口径のU形呼び径2600がその安全性と経済性からシールド内配管工法に採用された。

●図表 1-7-3-2 シールド内配管工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	内径 ^{注3} (m)	接合形式	呼び径	延長 ^{注4} (m)	No. ^{注5}
東京都水道局	1973 (昭和48)	3300	U形	2600	818	13
東京都下水道局	1977 (昭和52)	4000	U形	1800	1100	22
			K形	700	1100×2 (並列)	
京都市上下水道局	1983 (昭和58)	2700	US形	2000	2300	35
大阪府南部流域 下水道事務所	1984 (昭和59)	1800	T形	350	総延長9000	36
			U形	800		
京都市上下水道局	1987 (昭和62)	1850	US形	1000	364	45
札幌市水道局	2007 (平成19)	2144	US形	1500	1849 (R460)	82
					1056 (R600)	
名古屋市 上下水道局	2013 (平成25)	2700	US形	2000	12400	93
東京都水道局	2013 (平成25)	1850	US形	1000	2741	95
東京都水道局	2016 (平成28)	2700	US形	2000	2800	98

注1 事業体名は現在の事業体名で記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

注3 内径はシールド内径を示す。

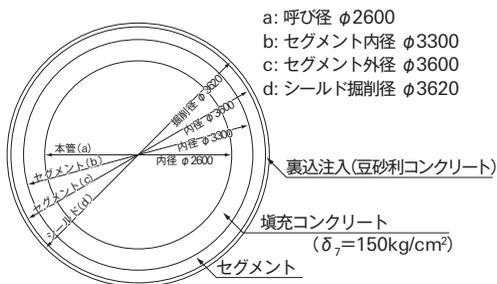
注4 ()内のRはカーブの曲率半径。

注5 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

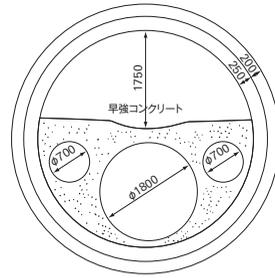
施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表 1-7-3-3 シールド内配管工法の施工事例

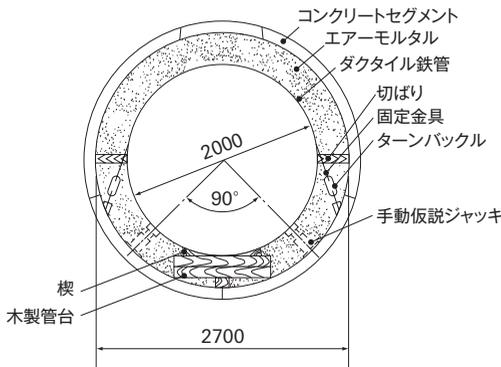
東京都水道局 U形 呼び径2600 1973(昭和48)年度 No.13



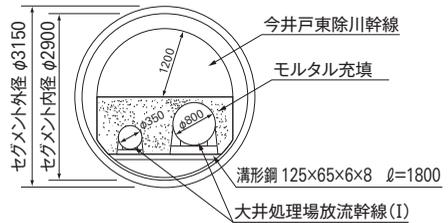
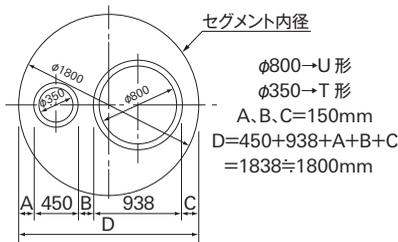
東京都下水道局 U形 呼び径1800 1977 (昭和52) 年度 No.22



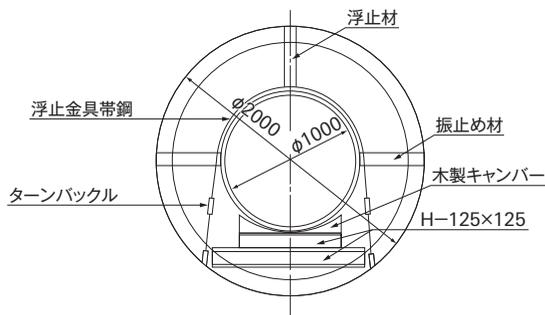
京都市上下水道局 US形 呼び径2000 1983 (昭和58) 年度 No.35



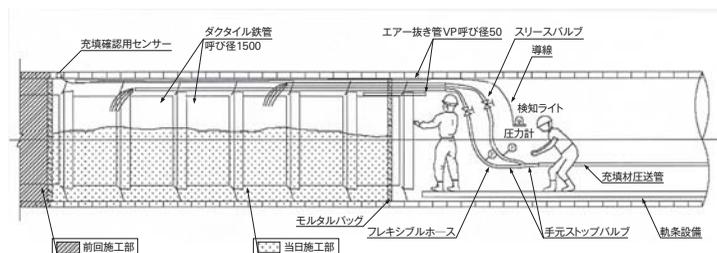
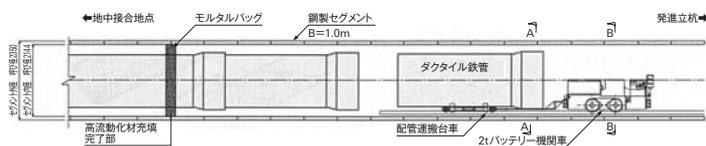
大阪府南部流域下水道事務所 U形 呼び径800、T形 呼び径350 1984 (昭和59) 年度 No.36



京都市上下水道局 US形 呼び径1000 1987(昭和62)年度 No.45



札幌市水道局 US形 呼び径1500 2007(平成19)年度 No.82



名古屋市上下水道局 US形 呼び径2000 2013(平成25)年度 No.93



備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

1-7-4 山岳トンネル内配管工法

山岳トンネル内配管工法は、馬蹄形トンネルなど山岳工法(NATM工法など)により築造された山岳トンネル内にダクタイトイル鉄管を配管する工法である。

この工法は、大口径のダクタイトイル鉄管を配管後にエアモルタルなどで間隙を充填する工法で、シールド内配管工法と使用する接合形式や配管方法、間隙の充填方法などはほぼ同じである。山岳トンネル内は湿度が高く水が挿すなどシールドトンネル内よりも施工環境が悪いため、施工条件をあまり選ばないダクタイトイル鉄管が適している場合が多い。

山岳トンネル内配管としては、以下のようなケースがある。

- ・ 既設の水道用馬蹄形トンネルに、地下水による汚染防止および耐震補強などを目的に配管する場合
- ・ 山岳トンネル工法によってトンネルを築造し、その中に新設管として配管する場合
- ・ 道路トンネルの消火用配管として配管する場合
- ・ 鉄道トンネルの地下水排水用として配管する場合

1 歴史

山岳トンネル内配管に使用されてきた接合形式はシールド内配管工法とほぼ同じである。

1965(昭和40)年に、接合が内側から可能なU形が開発され、山岳トンネル内配管工法にも使用されたが、新設管の呼び径が小さい場合や、トンネルと新設管との間隙が十分大きな場合には、外面継手であるT形やK形も使用された。なお、1985(昭和60)年には東京都水道局の羽村線導水路の馬蹄形トンネル内に世界最大のU形呼び径2900のダクタイトイル鉄管が採用されている。

耐震継手であるUS形が1978(昭和53)年ごろに開発され、施工性を改善したUS形(LS方式)が2008(平成20)年ごろに開発された。

PIP工法用の継手としては、1982(昭和57)年には、PⅠ形、PⅡ形、その後、機能、施工性が向上したPN形が2003(平成15)年、PN形(JP方式及びCP方式)が2015(平成27)年に開発されている。

2 実績

●図表1-7-4-1 山岳トンネル内配管工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	トンネル種類・用途	接合形式	呼び径	延長 ^{注3} (m)	No. ^{注4}
NEXCO中日本	1975 (昭和50)	道路トンネル	T形	250	8500	18
広島市水道局	1981 (昭和56)	山岳トンネル	K形	1650	4040、1748	30
東京都水道局	1982 (昭和57)	馬蹄形トンネル	U形	2000	9500	35
仙台市水道局	1983 (昭和58)	馬蹄形トンネル	K形	700	3343	37
近畿農政局	1984 (昭和59)	ダム回廊	T形	1000	225	38
奈良県水道局	1984 (昭和59)	山岳トンネル	U形	1800	620	39
東京都水道局	1985 (昭和60)	馬蹄形トンネル	U形	2900	8800	41
宮城県企業局	1985 (昭和60)	馬蹄形トンネル	U形	2300	4857	41
静岡県大井川 広域水道企業団	1986 (昭和61)	馬蹄形トンネル	U形	1500	2600	43
中国四国農政局	1986 (昭和61)	山岳トンネル	T形	700	890	43
横浜市水道局	1987 (昭和62)	馬蹄形トンネル	U形	2000	3755	45
神戸市水道局	1996 (平成8)	馬蹄形トンネル	P I形	1350	4887	62
高知市 上下水道局	1996 (平成8)	山岳トンネル	U形	1500	3870	62
JR東日本	2001 (平成13)	鉄道トンネル	K形	350 300	10690 1540	73
NEXCO中日本	2008 (平成20)	道路トンネル	T形	350	上り4503 下り4545	86
京都府道路公社	2008 (平成20)	道路トンネル	T形	150	3660	86

注1 事業体名は現在の事業体名を記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）に事例が掲載された前年度とした。

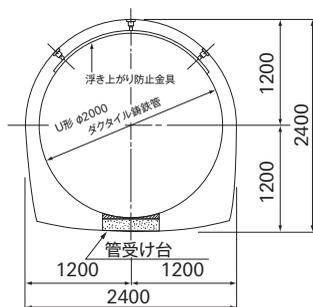
注3 工事区間延長ではなく、対象の工事全延長を示した。

注4 No.は『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）の号数を表す。

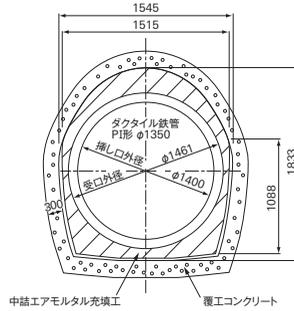
施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）の号数を表す。

●図表1-7-4-2 山岳トンネル内配管工法の施工事例

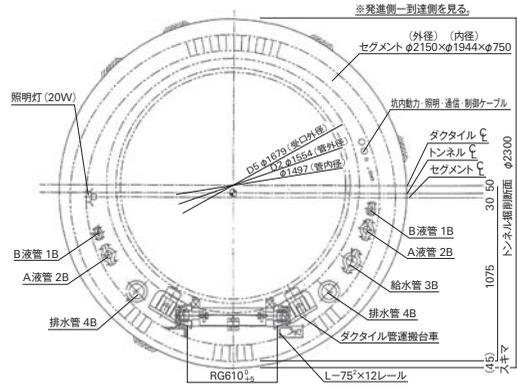
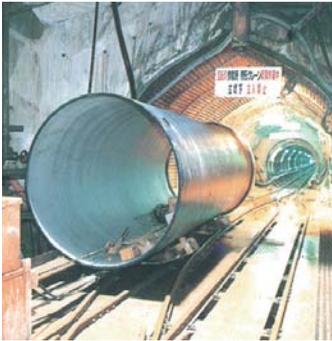
馬蹄形トンネル内配管例 横浜市水道局 U形 呼び径2000 1987(昭和62)年度 No.45



馬蹄形トンネル内配管例 神戸市水道局 P I 形 呼び径1350 1996 (平成8) 年度 No.62



山岳トンネル (TBM工法) 内配管例 高知市上下水道局 U 形 呼び径1500 1996 (平成8) 年度 No.62



トンネル内消火用配管例 2009 (平成21) 年度 No.86



NEXCO中日本 T 形 呼び径350

京都府道路公社 T 形 呼び径150

備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

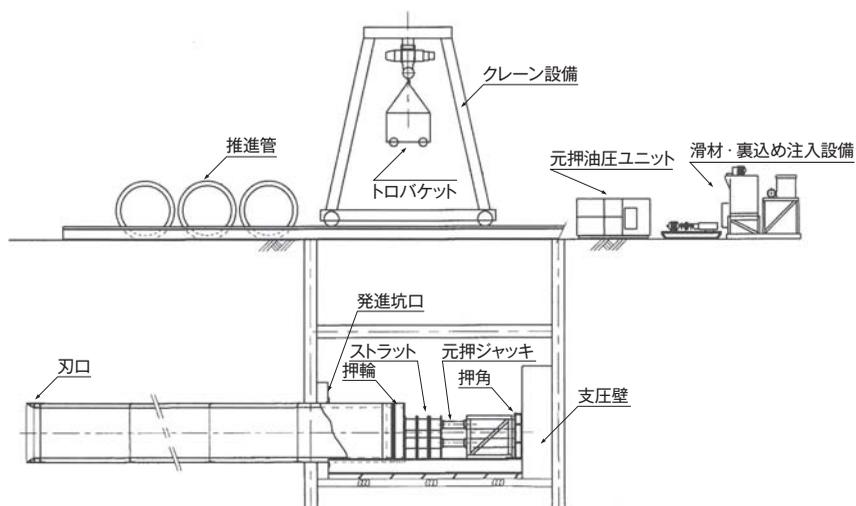
1-7-5 推進工法

推進工法とは、発進立坑と到達立坑を築造し、発進立坑から油圧ジャッキ等で推進工法用ダクタイル鉄管を地中に押し込みながら、管路を構築する工法である。

推進工法用ダクタイル鉄管を直接押し込む一工程方式と、先に推進した誘導管を案内管として進工法用ダクタイル鉄管を推進する二工程方式がある。

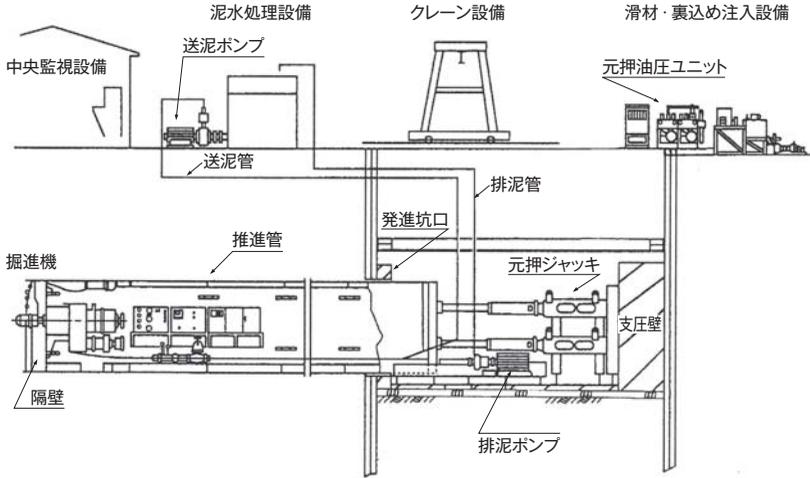
T形呼び径250～700などの小中口径では、圧入式、オーガ式、泥水式、泥土圧式などの機械推進で行われる。U形、UF形、US形呼び径800～2600などの中大口径では、開放型の刃口式、密閉型の泥水式、土圧式、泥濃式などで行われる。

●図表1-7-5-1 刃口式推進工法



「ダクタイル鉄管による推進工法 JDP A T33」(日本ダクタイル鉄管協会)より

●図表1-7-5-2 泥水加圧式推進工法



「ダクタイル鉄管による推進工法 JDP A T33」(日本ダクタイル鉄管協会)より

1 歴史

推進工法用ダクタイル鉄管が1968(昭和43)年に開発されたが、当初は推進距離も数十m程度と比較的短く、手掘りの刃口式推進工法で、河川横断面や鉄道横断面など開削ができない部分に適用された。1969(昭和44)年には、静岡県でU形推進管呼び径1500が東海道線の横断で採用され、翌々年には東名高速道路の横断で、U形推進管呼び径1500・2200の並列推進工事で採用された。1970(昭和45)年には東京都の石神井川横断でU形推進管呼び径2200が採用された。

推進工法も道路・河川横断のみでなく、道路縦断方向にも適用されるようになり、推進延長が長くなるとともに、軟弱地盤や礫層などの地盤が悪い場所でも推進工事が必要となり、密閉式の機械推進が用いられるようになった。

1973(昭和48)年に埼玉県企業局で、泥水加圧セミシールド工法によりU形推進管呼び径2200×120m、124mの2条が施工された。1980(昭和55)年には香川県坂出市でU形推進管呼び径1100の泥水加圧セミシールド工法が採用された。1990(平成2)年ごろから泥水加圧式など機械推進が一般的に用いられるようになった。

また、呼び径300～700において1983(昭和58)年に、オーガ式一工程方式のダクタイル鉄管専用の推進機械なども開発され、推進延長も約100m以上になり、レーザーを用いた精密測量による自動方向制御が採用された。1986(昭和61)年に兵庫

県明石市で行われたU形推進管呼び径1800、延長400mの長距離推進は道路縦断方向に行った推進工事である。

2005(平成17)年には、埼玉県で耐震継手のUS形推進管呼び径2200を用いた曲率半径1000mを含むカーブ推進が行われた。さらに2010(平成22)年には茨城県でU形推進管呼び径1000を用いた曲率半径300m、500mを含むカーブ推進が行われた。2010(平成22)年には、秋田市の手形山配水池の最大傾斜16°の斜面配管でUS形推進管(LS方式)呼び径1000が採用された。

2 実績

●図表 1-7-5-3 推進工法の実績例

事業者名 ^{注1}	年度 ^{注2}	工法 ^{注3}	接合形式	呼び径	延長(m) ^{注4}	No. ^{注5}
静岡県企業局	1969(昭和44)	刃口	U形	1500	32	9
東京都水道局	1970(昭和45)	刃口	U形	2200	54	10
静岡県企業局	1971(昭和46)	刃口	U形	1500	78	11
				2000	78	
守口市下水道部	1971(昭和46)	刃口	U形	1000	84-84-76-84-56-56-60-88-80-80-56	13
埼玉県企業局	1973(昭和48)	泥水加圧	U形	2200	120-124	16
宇治市建設部	1975(昭和50)	刃口	U形	2000	40-100	20
近畿農政局	1975(昭和50)	刃口	U形	2000	20	20
北千葉広域水道企業団	1976(昭和51)	刃口	U形	2000	174(中間)×2-80-116-132-154-116-140-56	21
高知市上下水道局	1977(昭和52)	刃口	U形	1200	229-230(中間)	24
東京都水道局	1979(昭和54)	刃口	U形	1000	222	29
坂出市建設経済部	1980(昭和55)	泥水加圧	U形	1100	170	30
茨城県企業局	1981(昭和56)	刃口	U形	1500	68	32
札幌市水道局	1982(昭和57)	刃口	U形	1800	386(中間)	33
札幌市水道局	1983(昭和58)	オーガ	T形	500	51-70	36
				400	51-67	
札幌市水道局	1983(昭和58)	刃口	U形	1650	134(R458)(中間)	37

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	工法 ^{注3}	接合形式	呼び径	延長(m) ^{注4}	No. ^{注5}
明石市都市局 下水道室	1986(昭和61)	泥水加圧	U形	1800	68	40
近畿農政局	1987(昭和62)	刃口	U形	1350	187-237(中間)	42
近畿農政局	1987(昭和62)	オーガ	U形	1100	32-26-26	45
			T形	500	32-26-26	
宮崎市上下水道局	1990(平成2)	泥水加圧	U形	900	総延長749 内 145(R148)	52
愛知県建設部	1991(平成3)	泥水加圧	U形	2900	100	52
秋田県中央流域 下水道事務所	1991(平成3)	泥水加圧	GS形	600	164-142	52
藤井寺市水道局	1991(平成3)	泥水加圧	T形	350	55-46-107-91- 91-71	52
安城市上下水道部	1991(平成3)	泥水加圧	GS形	800	268	53
岡谷市建設水道部	1992(平成4)	刃口	GS形	800	74	54
名古屋市 上下水道局	1993(平成5)	泥水加圧	U形	1800	150-102	55
福井市下水道部	1993(平成5)	泥水加圧	GS形	600	131-121-124- 112-94-85	56
東京レポート センター	1993(平成5)	オーガ	GSS形	500	59-74-11	57
			GSS形	700	50-46-22-64-44	
名古屋市 上下水道局	1994(平成6)	泥水加圧	U形	1800	80(R833)	58
長岡市土木部	1995(平成7)	オーガ	GSS形	400	45	59
八戸圏域 水道企業団	1996(平成8)	泥水加圧	US形	800	180-218-248	63
国土交通省 中国地方整備局	1997(平成9)	刃口	U形	2000	22	64
鎌倉市都市整備部	1997(平成9)	泥水加圧	GS形	1000	500(R300・中間) -448(中間)	64
鹿児島県大隅耕地 事務所	1998(平成10)	超泥水	U形	1100	334-139-248- 291-267-424 (R200)	66
高岡市上下水道局	1999(平成11)	パイロット	NS形	100	48	68
東京都水道局	1999(平成11)	泥水加圧	S形	800	201	69
茨城県企業局	2000(平成12)	泥濃	U形	1000	410(R300)-500	70
国土交通省 九州地方整備局	2001(平成13)	刃口	US形	1800	50×2	72
埼玉県企業局	2005(平成17)	泥水加圧	US形	2200	263(R1000)×2 (並列)	78

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	工法 ^{注3}	接合形式	呼び径	延長(m) ^{注4}	No. ^{注5}
名古屋市上下水道局	1992-2000 (平成4-平成12)	超泥水	U形	1800	総延長4500	83
秋田市上下水道局	2010(平成22)	泥水加圧	US形 (LS方式)	1000	274(最大16°)×2 (並列)	89
関東農政局	2013(平成25)	CMT	U形	800	42	94

注1 事業体名は現在の事業体名で記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

注3 刃口：刃口推進工法、泥水加圧：泥水加圧式推進工法、高濃度：高濃度密封式推進工法、パイロット：パイロット式推進工法

超泥水：超泥水加圧式推進工法、泥濃：泥濃式推進工法、オーガ：オーガ式推進工法、CMT：複合推進工法

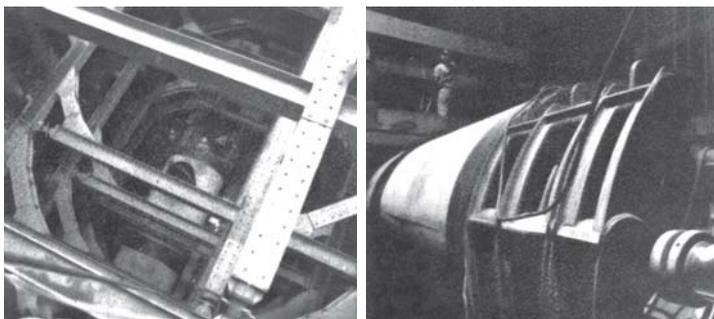
注4 (中間)は中間スリーブ使用、()内のRはカーブの曲率半径。

注5 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表1-7-5-4 推進工法の施工事例

東京都水道局 U形推進管 呼び径2200 1970(昭和45)年度 No.10



横浜市水道局 U形推進管 呼び径1350 1978(昭和53)年度 No.26



札幌市水道局 U形推進管 呼び径1650
カーブ推進 1983(昭和58)年度 No.37



水資源機構愛知用水総合管理所 U形推進管
呼び径2400 1984(昭和59)年度 No.39



大阪市建設局 U形推進管 呼び径2000
カーブ推進 1993(平成5)年度 No.57



国土交通省中国地方整備局 US形推進管
呼び径2000 1997(平成9)年度 No.64



鹿児島県大隅耕地事務所 U形推進管
呼び径1100 1998(平成10)年度 No.64



国土交通省九州地方整備局 US形推進管
呼び径1800 1998(平成10)年度 No.67



国土交通省九州地方整備局 US形推進管
呼び径1800 2001(平成13)年度 No.72



秋田市上下水道局 US形推進管 呼び径1000
2010(平成22)年度 No.89



備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

1-7-6 PIP 工法——既設管内挿入工法

1970(昭和45)年代になると鑄鉄管の布設替えが多くなったが、新設管の呼び径をサイズダウンできるところでは、既設管の中に新設管を挿入するPIP工法が行われはじめた。

1 歴史

日本で最初のPIP工法は、大阪市で1973(昭和48)年に行われたヒューム管呼び径800の中に呼び径600の継手離脱防止金具を付けたタイトン形50mを押し込む工事である。1974(昭和49)年には、京都市で印籠継手管^{いんろう}呼び径900の中に呼び径700のロックリングを用いたタイトン形式(PⅡ形の原形)を用いて、最大押込延長120m、7スパンのPIP工事を実施した。京都市ではさらに、1980(昭和55)年に印籠継手管呼び径800に呼び径600(11区間12～296m)のタイトン形式(TS形)を用いてPIP工事を行った。これらのPIP工事はさや管と新設管の呼び径は2口径ダウンで行われ、現在のPN形などと異なり管外径寸法は通常のダクタイル鉄管と同じであった。

タイトン形式では2口径落としになるため、1口径落としでできるようにTN形が開発された。1978(昭和53)年には、大阪市で印籠継手管呼び径600に呼び径500(4区間38～218m)、呼び径700に呼び径600(7区間11～175m)を押し込むPIP工事が行われた。

その後、東京都でも印籠継手管呼び径1100の中に呼び径1000(2区間、300m、

350m)のPIP工事が行われた。

1982(昭和57)年には、PIP工法用継手であるPⅠ形と離脱防止機能が付いたPⅡ形が開発され、大阪市においてPⅡ形を用いた印籠継手管呼び径1500に呼び径1350を512m押し込む工事が行われた。

また、名古屋市でも印籠継手管呼び径900に呼び径700を519m押し込む工事が行われ、東海橋幹線では印籠継手管呼び径500に呼び径400を252m、415mの2スパンのPIP工事を実施している。1984(昭和59)年には、曲管内に配管できるPⅢ形が開発され、札幌市、神戸市などで使用された。1987(昭和62)年には、福岡市でも印籠継手管呼び径750にPⅡ形 呼び径600(3区間、最大押込延長430m)のPIP工事をを行った。平成になると、新居浜市などでは総延長約2.5kmの石綿管呼び径900にPⅡ形呼び径700のPIP工事が行われた。堺市でも総延長約870mの石綿管呼び径900にPⅡ形呼び径700のPIP工事を実施している。

PⅡ形の離脱阻止力が1.5DkN(D:呼び径)に対して、2003(平成15)年に開発されたPN形の離脱阻止力は3DkNである。PN形はロックリングを受口外面長穴から挿入する形式であったが、2012(平成24)年に開発されたPN形(JP方式及びCD方式)では、ロックリングを押さえるセットボルトがなくなり、新設管(さや管)に立坑から油圧ジャッキなどで押し込むPN形(JP方式)呼び径300～1500と1本ずつ新設管を持ち込んで配管するPN形(CP方式)呼び径700～1500が開発された。キャストバンドタイプ(2口径ダウン)も用意されており、長距離、曲線に対する施工性向上が図られており、今後、口径の縮小が可能な幹線の更新など適用範囲が広がっている。

2 実績

●図表1-7-6-1 PIP工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	既設管		新設管		延長 (m)	No. ^{注4}
		種類 ^{注3}	呼び径	接合形式	呼び径		
大阪市水道局	1973(昭和48)	HP	800	タイトン形 離脱防止 金具	600	50	18
京都市 上下水道局	1974(昭和49)	CIP印	900 (36インチ)	タイトン形	700	72-90-120-108- 108-84-108	18

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	既設管		新設管		延長 (m)	No. ^{注4}
		種類 ^{注3}	呼び径	接合形式	呼び径		
大阪市水道局	1978 (昭和53)	CIP印	600 (24インチ)	TN形	500	142-50-218-38	26
		CIP印	700 (28インチ)	TN形	600	1工区 64-11-88-96-41-21-175 2工区 22-166-50	
京都市 上下水道局	1980 (昭和55)	CIP印	800 (30インチ)	TS形	600	1工区 12-28	29
						2工区 116-82	
						3工区 276	
						4工区 69-96-29-16-87-78	
東京都水道局	1980 (昭和55)	CIP印	1100 (42インチ)	TN形	1000	330-350	31
大阪市水道局	1982 (昭和57)	CIP印	1500 (60インチ)	P II形	1350	512-184-178-265-107	34
		CIP印	1000	TN-K形	900	総延長671	32
名古屋市 上下水道局	1984 (昭和59)	CIP印	900 (36インチ)	P II形	700	519	37
		CIP印	500 (20インチ)	P II形	400	252-415	39
福岡市水道局	1987 (昭和62)	CIP印	750 (30インチ)	P II形	600	123-293-430	43
新居浜市水道局	1990 (平成2)	ACP	900	P II形	700	515-791-541-673	51
堺市上下水道局	1991 (平成3)	ACP	800	P II形	700	182-182-182-320	53
呉市上下水道局	1991 (平成3)	HP	600	P II形	500	52	51
千葉県水道局	1992 (平成4)	ACP	1100	P II形	1000	194	54
神戸市水道局	1993 (平成5)	PC	1350	P II形	1200	108-376 (11 1/4 × 2) -262	56
	2001 (平成13)	CIP印	800 (33インチ)	P II形	700	197-201	73
		CIP印	900 (36インチ)	P II形	800	197-200	
横須賀市 上下水道局	2009 (平成21)	CIP印	750 (30インチ)	PN形	600	318 (傾斜24.9%)	87

注1 事業体名は現在の事業体名で記載。

注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）に事例が掲載された前年度とした。

注3 CIP印は铸铁管の印籠継手、ACPは石棉管、HPは鉄筋コンクリート管、PCはプレストレスコンクリート管を示す。

注4 No.は『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）の号数を表す。

施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表1-7-6-2 PIP工法の施工事例

京都市上下水道局 TS形(さや管CIP 呼び径800)呼び径600 1980(昭和55)年度 No.29



大阪市水道局 TN形(さや管CIP 呼び径1000)呼び径900 1981(昭和56)年度 No.32



名古屋市上下水道局 P II形(さや管CIP 呼び径500)呼び径400 1984(昭和59)年度 No.39



大阪市水道局 PⅢ形 呼び径1350
1985(昭和60)年度 No.41



福岡市水道局 PⅡ形(さや管CIP 呼び径750)
呼び径600 1987(昭和62)年度 No.43



神戸市水道局 PⅡ形(さや管PC 呼び径1350) 呼び径1200 1993(平成5)年度 No.56



倉敷市水道局 PN形(JP方式及びCP方式)
呼び径700 2013(平成25)年度 No.95



広島県企業局広島水道事務所 PN形
呼び径1350 2014(平成26)年度 No.97

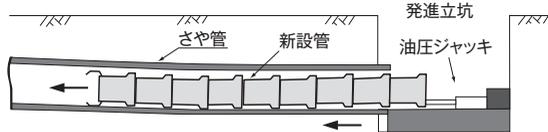


備考 施工年度が不明な場合は、「ダクタイル鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

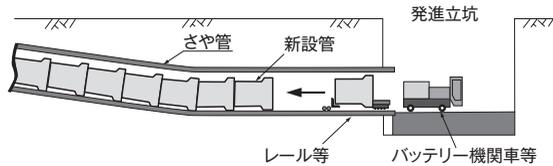
1-7-7 PIP工法——新設さや管内押込・持込工法

新設さや管内押込・持込工法は、配管ルートにヒューム管などの推進管を新設のさや管として推進し、その中にダクタイル鉄管を挿入するか、もしくは持込みで配管する工法である。

●図表1-7-7-1 新設さや管内押込工法



●図表1-7-7-2 新設さや管内持込工法



1 歴史

鉄道や河川横断部など比較的延長が短く直線的な配管では、鋼管やヒューム管などのさや管を推進し、その中に新設管としてA形、K形、T形などを押し込む方法は従来から行われていた。

T形やNS形などフランジ部がない接合形式では、そのまま押し込み、新設管をさや管の中心部に配置する場合や、フランジ部がある場合、押込距離が長い場合には、ソリや車輪などを用いて配管を行った。

最近では延長が長い場合などは、小口径のシールド工法がさや管築造に使用されるようになった。新設管としてはPIP工法用のPⅡ形を用いたりしたが、当初は離脱防止力が1.5DkNだったため、離脱防止力3DkNを有するS形、NS形、US形を使用する例もあった。2005(平成17)年には、3DkNを有するPIP工法用のPN形が開発され、新設さや管内配管押込・持込工法の新設管として使用されるようになった。2015(平成27)年には施工性がさらに改善されたPN形(JP方式及びCP方式)が開発され、呼び径700～1500は持込配管にも使用できるようになった。

2017(29平成)年には「JDPA G 1046 PN形ダクタイル鋳鉄管」として統合された。

2 実績

●図表1-7-7-3 新設さや管内押込・持込工法の実績例

事業体名 ^{注1}	年度	新設さや管		新設管		延長 ^{注3} (m)	No. ^{注4}
		種類 ^{注2}	呼び径	接合形式	呼び径		
長浜水道企業団	1986(昭和61)	HP	1000	P II形	300	609	42
東京都水道局	1998(平成10)	HP	1000	S形	500	336(R300)	67
福岡市水道局	1998(平成10)	HP	1200	P II形	1100	120(R120)	67
熊本市上下水道局	2000(平成12)	SP	400	NS形	1-70	21(1m管)	68
札幌市水道局	2000(平成12)	HP	1200	S形	700	170	70
		HP	900	S形	500	327	
福岡市水道局	2006(平成18)	SP	1000	PN形	800	18	80
札幌市水道局	2009(平成21)	HP	2400	US形	1800	480	87
岡山市水道局	2010(平成22)	HP	1350	NS形	900	1018	89
高知市上下水道局	2012(平成24)	SD	1000	PN形	800	575(R120)	92
宇部興産株式会社	2013(平成25)	SP	600	P II形	500	90	95
倉敷市水道局	2013(平成25)	SD	1000	PN形 (CP方式)	700	1636	95
広島県企業局 広島水道事務所	2014(平成26)	SD	1650	PN形 (CP方式)	1350	2037	97
滑川市上下水道課	2015(平成27)	HP	1000	PN形	350	48	98
				GX形	150		
蒲都市上下水道部	2015(平成27)	HP	600	PN形	500	141	98
津市上下水道局	2015(平成27)	HP	1100	PN形	900	147	98

注1 事業体名は現在の事業体名を記載した。

注2 HPは推進工法用ヒューム管、SPは推進用鋼管、SDはシールドを示す。

注3 区間が複数の場合は、最長スパンの長さを記載。Rは最大曲率半径。

注4 No.は『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）の号数を表す。

施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』（日本ダクタイル鉄管協会）の号数を表す。

●図表1-7-7-4 新設さや管内押込・持込工法の施工事例

札幌市水道局 US形(さや管 HP推進)
呼び径1800 2009(平成21)年度 No.87



滑川市上下水道課 PN形 呼び径350 および
GX形 呼び径150 2015(平成27)年度 No.98



蒲都市上下水道部 PN形 呼び径500
2015(平成27)年度 No.98



津市上下水道局 PN形 呼び径900
2015(平成27)年度 No.98



備考 施工年度が不明な場合は、「ダクタイル鉄管」(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

1-7-8 共同溝内配管

共同溝内配管は、道路管理者が複数の公益事業者の施設(管、電線、通信線など)を収めるための共同溝にダクタイル鉄管を布設する工法である。

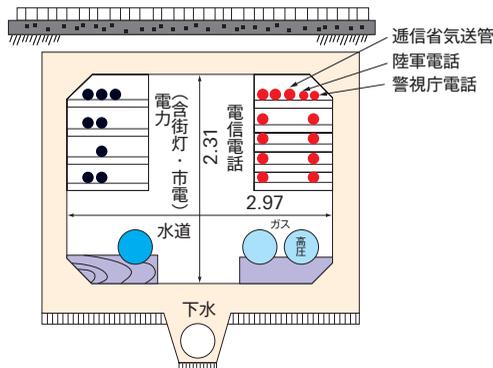
共同溝は道路下などにコンクリート構造物などで築造され、布設環境としてはトンネルなどよりは良い。共同溝を大きくすると不経済なため他企業の管との離隔が狭い場合が多く、設計、施工方法、管台、外面塗装、不平均力対策、地震対策、エク

スパンションジョイント部の対策など十分に検討する必要がある。

1 歴史

日本初の共同溝は、関東大震災の帝都復興事業の一環として、1927(昭和2)年に九段坂、八重洲通り、浜松金座通りの3カ所で試験的に整備された。その後、1960(昭和35)年に至り、東京都では淀橋をはじめ新宿角管、人形町、また関西では第二阪神国道尼崎に設置された。1963(昭和38)年には、「共同溝の整備等に関する特別措置法」が制定され、1964(昭和39)年に青山共同溝、1966(昭和41)年に三宅坂共同溝が設置された。1971(昭和46)年以降は、横浜市内の直轄国道、千葉県、川崎市、名古屋市、大阪府、京都市などで設置が進められた。

●図表1-7-8-1 東京九段共同溝断面図 1925(大正15)年



東京国道事務所ホームページより

共同溝は開削工法で布設する予定の管を共同溝に布設するので、開削工法で使用する接合形式をそのまま使用する場合が多い。したがって初期の共同溝ではT形、A形、K形などが使用されたが、1993(平成5)年の東京臨海副都心ではSⅡ形呼び径75～450、S形500～1200が採用された。共同溝の標準的な勾配は1:3であり角度にすると約18.4°である。ダクタイル鉄管の曲管では11 1/4°曲管と5 5/8°曲管が2個必要になるが臨海副都心では18.4°曲管を製作して配管を行った。

共同溝自体も耐震設計がなされているので躯体として破損することはないが、軸方向には躯体と躯体の間には必ずエキスパンションジョイント部が設けてあり、その部分で伸縮と変位を吸収する設計になっている。ダクタイル鉄管の耐震継手は十分な伸縮・屈曲性を有しているので通常の場合はエキスパンションジョイント部に

耐震継手があれば吸収できるが、東京臨海副都心では、より安全性を高めるためにつなぎ部には耐震継手を2個使用した。『水道施設耐震工法指針・解説 2009』には「重要幹線の場合、共同溝内においても耐震性の高い管種・継手管路の使用を検討する」とある。

共同溝内にダクタイル鉄管を配管する場合は、搬入口から管をクレーンなどで吊り下ろして共同溝内の台車に載せ人力またはバッテリー機関車を用いて横持ちを行い、布設場所では門型にチェーンブロックなどを用いて吊り上げて所定の位置に配管する。東京臨海副都心では共同溝内の横持ちにモノレールなどを使用した事例もある。

2 実績

●図表1-7-8-2 共同溝内配管の実績例

事業体名 ^{注1}	年度 ^{注2}	接合形式	呼び径	延長(m)	No. ^{注3}
広島市水道局	1987(昭和62)	T形	150	4000	44
東大阪市上下水道局	1989(平成元)	K形	300	北側375	47
			600	南側342	
東京都港湾局	1993(平成5)	SⅡ形	450以下	72555	56
		S形	500~1200		
名古屋市上下水道局	1993(平成5)	U形	1350	210-80	57
			1800	20	
広島市水道局	1994(平成6)	SⅡ形・S形	400・1000	410-1681	58
北九州市上下水道局	1996(平成8)	K形・KF形	300~800	209	61
札幌市下水道局	1998(平成10)	SⅡ形・S形	100~600	1000	67
福岡市水道局	1998(平成10)	K形	1200	333	67
東京都下水道局	2009(平成21)	U形	2200	701-146	85
姫路市下水道局	2012(平成24)	K形	1000	150	92

注1 事業体名は現在の事業体名を記載。

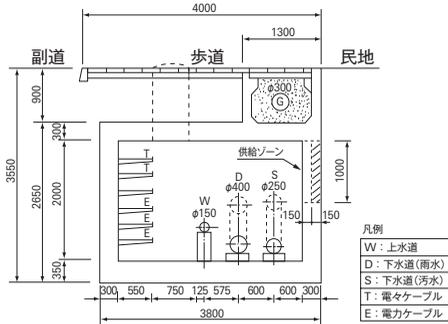
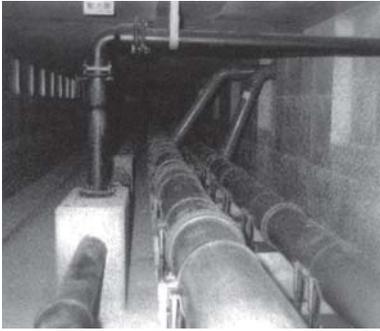
注2 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

注3 No.は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

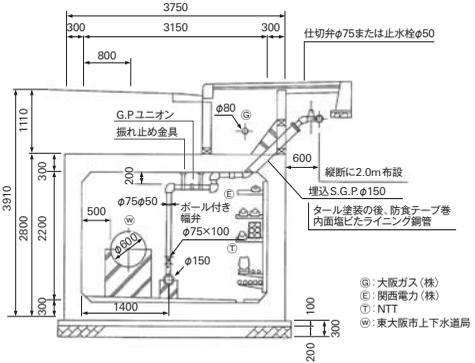
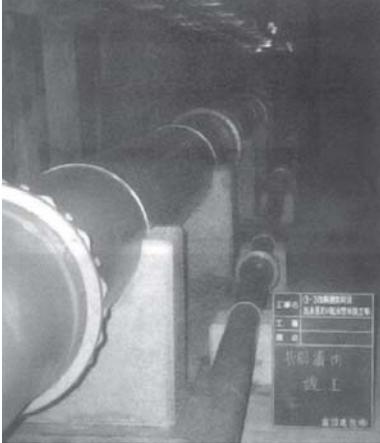
施工事例を以下に示す。なお、図表内の「No.」は『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)の号数を表す。

●図表1-7-8-3 共同溝内配管の施工事例

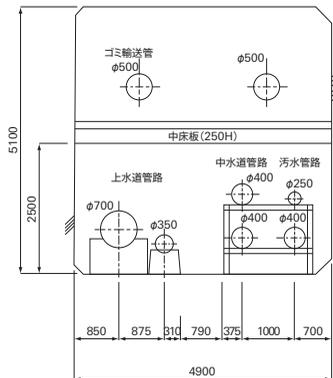
広島市水道局 T形 呼び径150 1987(昭和62)年度 No.44



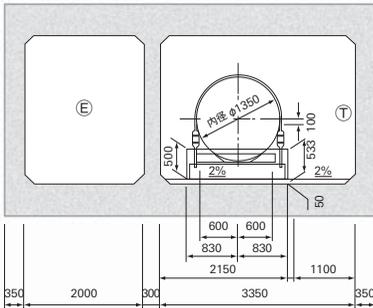
東大阪上下水道局 K形 呼び径300・600 1989(平成元)年度 No.47



東京都港湾局 SⅡ形 呼び径450以下/S形 呼び径500~1200 1993(平成5)年度 No.56



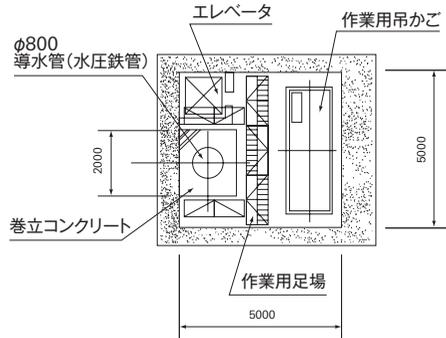
名古屋市上下水道局 U形 呼び径1800
1993(平成5)年度 No.57



広島市水道局 S形 呼び径1000
1994(平成6)年度 No.58



北九州市上下水道局 KF形 呼び径800 1995(平成7)年度 No.61



姫路市下水道局 K形 呼び径1000 2012(平成24)年度 No.92



備考 施工年度が不明な場合は、『ダクタイル鉄管』(日本ダクタイル鉄管協会)に事例が掲載された前年度とした。

1-8 輸出の歴史

1-8-1 戦前 ——1929～1945(昭和4～20)年

日本における鉄管輸出の歴史は、1917(大正6)年に、インドネシアのスラバヤ市に制水弁を含めて国産品の鑄鉄管2000トンを輸出したことに始まる。同市へは1929(昭和4)年にも800トンの鑄鉄管が輸出されている。長年、日本企業が東北帝国大学と共同研究してきた高級鑄鉄管の開発に1931(昭和6)年に成功する。これは普通鑄鉄管に比して強度が高いことから、重量の軽減が可能となる画期的なものであった。当時東南アジアの統治国であったオランダ政府にその品質の優秀性が認められ、オランダ本国への輸出が実現した。また、1932(昭和7)年には、オランダのロッ

- 図表1-8-1-1 インドネシア・スラバヤ市向け鑄鉄管 1917(大正6)年ごろ
- 図表1-8-1-2 オランダ向け鑄鉄管 1932(昭和7)年ごろ

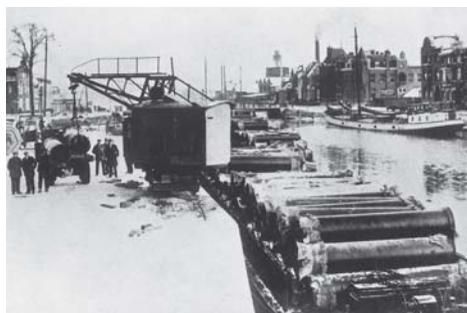


『概観』(久保田鉄工所)より



『概観』(久保田鉄工所)より

- 図表1-8-1-3 オランダ・フローニンゲン市向け鑄鉄管 1932(昭和7)年ごろ



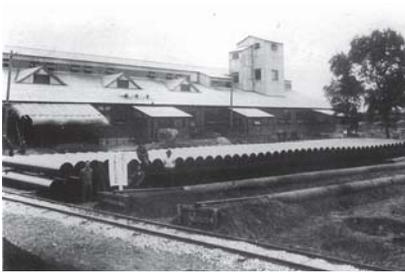
『クボタ100年』
(クボタ、1990年)より

テルダム・ガス会社にガス用鑄鉄管3000トン、オランダのフローニンゲン市に水道用鑄鉄管2500トンが輸出されている。

1932(昭和7)年に満州国が成立すると、大阪工業会は、満蒙経済視察団を派遣した。そのころ大連では、大連機械製作所が立吹法で鑄鉄管を生産していたが、需要に供給が追いつかず日本から大量の鑄鉄管を輸入していた。

そのため大連機械製作所と日本企業の合弁で1935(昭和10)年に満州の鞍山あんざんに工場を建設した。鞍山工場では、それまで国内で研究が重ねられてきた砂型遠心力鑄造法が初めて用いられ、最盛期の1943(昭和18)年には月6000トンを生産した。また、1940(昭和15)年には北京にも工場が建設され立吹鑄造法で月1000トンを生産した。

●図表1-8-1-5 満州久保田鑄鉄管鞍山工場 1936(昭和11)年ごろ



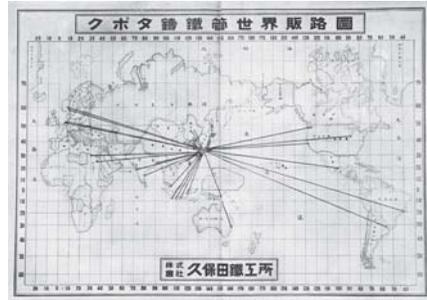
『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

●図表1-8-1-7 出荷を待つ戦前最大の直管 呼び径1700 1935(昭和10)年ごろ



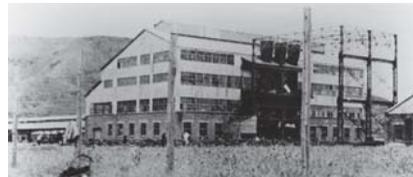
『栗本鐵工所百年記念誌 一百歳のしるべ』(栗本鐵工所、2010年)より

●図表1-8-1-4 鑄鉄管の輸出先 1940(昭和15)年ごろ



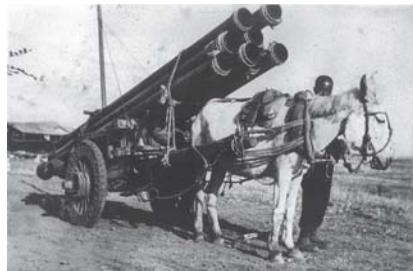
『株式会社久保田鐵工所創業五十周年祝典誌』(久保田鐵工所、1941年)より

●図表1-8-1-6 久保田鐵工所北京工場 1940(昭和15)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

●図表1-8-1-8 馬車で運搬される鑄鉄管 1940(昭和15)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

茶話 12 ウンブランの泉の鑄鉄管

ジャワ島の東端に近く、スラバヤという市がある。当時人口200万人を超えるインドネシア国第二の大都市である。ここからはプロモという標高2400mばかりの秀麗な姿の火山が望見できる。その山麓の懐深く、スラバヤ市から約70km、車で1時間半ほどに入った所にウンブランという泉がある。泉といっても大変なもので、1日43万 m^3 もの清澄な水が湧き出るので、ちょっと想像し難いほどのものである。

湧水の一部は古くからスラバヤ市の水道水として利用されている。ところが近年人口膨張が続き、水需要が増大する一方なので、もう1本の導水管を緊急に新設しなければならない必要に迫られた。

私は昭和57年にその調査のためにこの泉を訪ねた。鬱蒼たる森の緑とカラフルな花々に抱かれた泉のほとりに

ウンブランポンプ場

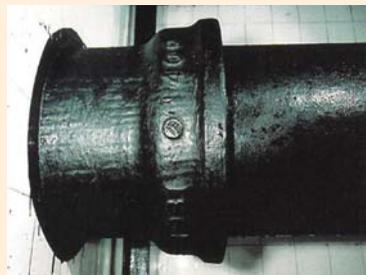


佇めば、わが身はあたかも仙境にあるかのような不思議を覚えた。人のよさそうな番人の案内でポンプ室へと下り立って驚いた。黒光りしている配管には、なんと「1931(久)400」との鑄出しがきわめて鮮明であった。昭和6年に鑄造された鑄鉄管！赤道を越えて遙か彼方の島の山奥に、50年間黙々と……。「ご苦労さんでした」。私は管をなでながら心の中で話しかけた。「まだまだ頑張るさ」との答えが返ってきたような、いいしれぬ感動に打たれたのであった。

ちなみにクボタでは、大正6年にインドネシアに2000トンをはじめ、その後数度にわたって鑄鉄管を輸出しており、また、オランダのロッテルダムなど欧州市場にも販路を拡げている。

宮岡正「鑄鉄管からダクタイル鉄管へ」
(日本ダクタイル鉄管協会ホームページ)より(抜粋)

鑄鉄管 呼び径400



久保田鉄工所製 1931(昭和6)年

クボタ写真提供

さらに朝鮮半島は大陸と内地との中間地点であることから、輸送力の大幅アップのために幹線鉄道の複線化が進められることに関連して送水用の鑄鉄管が必要となった。そこで、1944(昭和19)年に日本企業が工場を設立して鑄鉄管の製造に着手し、鑄鉄管の供給を開始したものの翌年に終戦を迎えた。

戦前、日本からオランダや満州以外にもノルウェー、メキシコ、エジプト、シンガポール、インド(英国・オランダ領)、上海など多方面に鑄鉄管が輸出されていた。

1-8-2

戦後

—1946(昭和21)年～現在

1959(昭和34)年にカンボジアのプノンペン市において、フランスのデグレモン社との競争に日本企業が勝ち、初めての海外水道工事を行った。この工事では、日本の規格品(日本水道協会規格)を使用した、浄水場、貯水池、パイプラインの施工が行われた。工期はわずか7カ月であったが、常時400人の作業員を動員し、大工事を短時間で完成させたため、日本人の勤勉さと優秀な技術力に対し、敬意と称賛が寄せられた。竣工式にはプノンペン市長が出席して執り行われた。

さらに、1962(昭和37)年にラオスのビエンチャン市の浄水場(2万 m^3 /日)、沈殿池、急速濾過池、浄水池、市内配管53kmの工事を日本企業が受注した。その起工式には、ラオスからスファヌボン殿下、日本政府から蓮見幸雄大使が出席し、工事は工期を2カ月余り残して完成した。この工事により、ラオス最高の勲章である「百万頭の象と白い天蓋」を日本企業として初めて受賞した。

1964(昭和39)年、アフガニスタン・カブール市の浄水場(3万6000 m^3 /日)の工事でも日本企業が施工および技術指導を行い、主要資材には日本の製品が使用された。また、1965(昭和40)年に、台湾の台北市にも日本からガス管が輸出された。

●図表1-8-2-1 カンボジア・プノンペン市水道工事 1959(昭和34)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

フィリピンでは水不足を解消するために、アンガットダムからのバリチェス貯水池を経てバララ浄水場に導水するマニラ広域水道拡張計画が1968(昭和43)年に策定されたが、工事が遅々として進まず、新たにマリキナ渓谷から取水して山越しにバララ浄水場に直送する日本の提案が採用された。そのマリキナ管路には日本製のメカニカル継手ダクタイル鉄管呼び径1200が、バララ浄水場および各ポンプステーションにも日本のダクタイル鉄管、バルブ、制御扉などが輸出された。

1976(昭和51)年には先発欧米メーカーとの競争の末、イラク工業省のバスラ肥料工場用の鉄管1.3万トンや、エジプトのカイロ下水道局、カタール水電気省にも日本製品が採用された。翌1977(昭和52)年には、ナイジェリアにも日本製ダクタイル鉄管

●図表1-8-2-2 ラオス・ビエンチャン市
水道工事 1964(昭和39)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-4 アフガニスタン・
カブール市内の配管
1964(昭和39)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-3 フィリピン・
マリキナ管路の配管
メカニカル継手 呼び径1200
1970(昭和45)年ごろ



『鑄鉄管』第6号(日本ダクタイル鉄管協会,1969年)より

●図表1-8-2-5 エジプトのカイロ
下水道局向けダクタイル鉄管
1976(昭和51)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

呼び径1600(2.3万トン)が輸出されている。また、1978(昭和53)年ごろ日本企業がアラブ首長国連邦アブダビ・サムハ地区に、最大呼び径600、延長約120km分の輸出を行った。このときのパイプの輸送では、呼び径の異なるパイプを入れ子にして運ぶネスティングを行い、物流コストの大幅な削減が図られた。1979(昭和54)年にはクウェート水電力省向けに呼び径150～1200、延べ185km(5.5万トン)分の日本製ダクタイル鉄管が輸出された。

1980(昭和55)年、日本企業がイラクのバグダッド市水道局向けにダクタイル鉄管呼び径80～1000、延べ約273km分を納入したときは、イラン、イラク戦争勃発直後の砲火をくぐり、昼夜を分かたず奔走した同社の誠意と製品への愛着心が先方に感銘を与えた。1981(昭和56)年ごろ、イラクのカルハ地区給水工事では、欧州の鋼管メーカーとの競合の末に日本企業が成約し、呼び径350～1600、延べ173km(8.7万トン)分のダクタイル鉄管が輸出された。また、イラクのウェストデザート灌漑プ

●図表1-8-2-6 クウェート
水電力省向けダクタイル鉄管
1978(昭和53)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-7 アラブ首長国連邦アブダビ・
サムハ地区の水道工事
1979(昭和54)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-8 ネスティング輸送



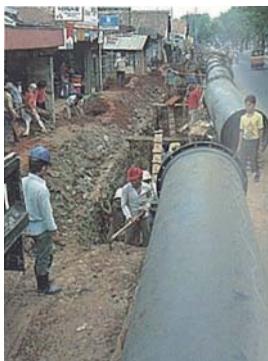
『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

●図表1-8-2-9 シリア向けダクタイル鉄管
1981(昭和56)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ,1990年)より

- 図表1-8-2-10 インドネシア・ジャカルタ市の水道工事
1990(平成2)年ごろ



『クボタ100年』(クボタ、1990年)より

- 図表1-8-2-11 台湾・台北市の推進工事
U形呼び径2600
2001年(平成13)年ごろ



栗本鐵工所写真提供

プロジェクトでは現地調査と配管設計も日本のメーカーが行い、呼び径600・800、延べ345km(6.9万トン)分が輸出された。1982(昭和57)年のカルハ地区の2期工事では呼び径800～2300、延長88km(10万トン)分が日本から輸出された。このころ日本からイラクへのダクタイル鉄管の輸出量は年間20万トンを超える勢いであった。

ダクタイル鉄管の輸出シェアでは1982(昭和57)年からの3年間は日本が首位に立ち、国内よりも輸出の方が上回る年もあった。その後は中近東産油国を中心に、チリ、ネパール、パキスタン、エジプト、リビアなどの南米、アジア、アフリカの国々へと輸出先が広がった。1984(昭和59)年にはサウジアラビアの2つの大きなプロジェクトを中心に18万トン、1985(昭和60)年にはアジアやアフリカ市場へ日本からの輸出も増えたが、同年9月のプラザ合意によって円高へとシフトしたために海外への輸出は5万トン前後にとどまった。

1986(昭和61)年、中国の改革・開放政策による経済特区や沿岸都市での都市基盤整備が急がれている中、長春市にJICAの無償資金によって「長春日中友好浄水場」の建設が決定し、1988(昭和63)年に日量18万トンが完成。この浄水場内配管に日本の呼び径75～1350のダクタイル鉄管が使用された。

さらに、1990(平成2)年に入るとジャカルタ市のODA(政府開発援助)によるプロジェクトを含めインドネシアへ7万トン、1993(平成5)年に北京市向けの呼び径2600、延べ32kmを含め中国へ9万トン、2002(平成14)年にシウイハットの9万トンを含め16万トンアラブ首長国連邦とカタールへ輸出が行われた。また、台湾の台北自来水事業處において1992(平成4)年～2002(平成14)年の10カ年で実施された第二條清

水プロジェクトに、呼び径2400・2600のU形推進工法用ダクタイル鉄管約4200トンを供給した。

2011(平成23)年のODAによるバングラデシュのカルナフリ上水道整備事業では、チッタゴン市への導水・送水管用ダクタイル鉄管呼び径300～1200、延べ76.3km分のダクタイル鉄管の供給と布設工事を日本企業が担った。また、2012(平成24)年には、カンボジアの鉱工業エネルギー省の3都市プロジェクト(プルサット市、バタンバン市、シハヌークビル市)延べ123kmの配水管改修および拡張工事を日本企業が行い日本製ダクタイル鉄管が輸出された。

2012(平成24)年に米国ロサンゼルス水道電気局への耐震継手管(GX形呼び径150、1800フィート)の輸出を皮切りに、サンフランシスコ(NS形呼び径500、GX形呼び径200・400)、カナダのバンクーバー市(GX形呼び径200)、サンノゼ市の傾斜配管(S形呼び径1500・1650・1800)など9都市で採用され、耐震継手管の北米への輸出が広がりを見せている。

2014(平成26)年、カタールの上水道メガリザーバープロジェクトに呼び径1600を中心に、延べ301km(20万トン)分の日本製ダクタイル鉄管が採用された。また、2016(平成28)年から行われたバングラデシュ・カルナフリ上水道整備事業2期工事では、導水・送水用に日本製ダクタイル鉄管呼び径1100・1200、延べ約35km分が採用されている。