



ダクタイル鉄管の  
特性

Chapter 2

## 2-1

## ダクタイル鑄鉄の種類と特性

## 2-1-1 組織と種別

## 1 組織

ダクタイル鑄鉄は球状黒鉛鑄鉄、ノジュラー鑄鉄とも呼ばれ、組織内の黒鉛(炭素の結晶)が球状に存在する。強度のない黒鉛を細長く片状に含むねずみ鑄鉄(普通鑄鉄、高級鑄鉄)は、黒鉛を起点にひび割れを起こす。これに対してダクタイル鑄鉄は、黒鉛が球状で他の黒鉛とつながらないため強度や延性に優れる。

ダクタイル鑄鉄の<sup>きぢ</sup>基地組織は、セメンタイト(炭化鉄 $\text{Fe}_3\text{C}$ )組織、パーライト(フェライトとセメンタイトの共析)組織、フェライト(アルファ鉄の固溶体)組織の形態をとる。

## 1) セメンタイト組織

硬度が高く、延性はない。金型、サンドレジン型などで鑄造したダクタイル鉄管の鑄放し組織はこれに属する。

## 2) パーライト組織

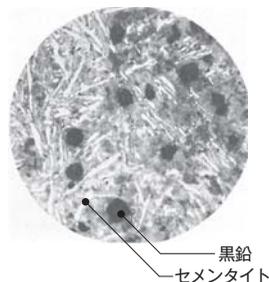
強度はあるが延性は少ない。硬度は比較的高い。

## 3) フェライト組織

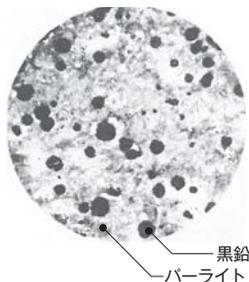
強靱性に優れる。硬度は低く切削性良好。<sup>しょうどん</sup>焼鈍したダクタイル鉄管はこれに属する。

## ●図表2-1-1-1 ダクタイル鑄鉄の組織

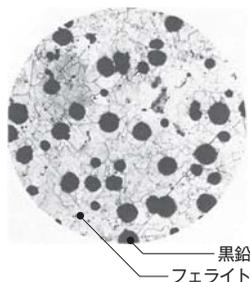
セメンタイト組織



パーライト組織



フェライト組織



## 2 日本におけるダクタイル鋳鉄の種別

「JIS G 5502-2001 球状黒鉛鋳鉄品」には、ダクタイル鋳鉄とその供試材が規定されている。図表2-1-1-2に一例を示す。

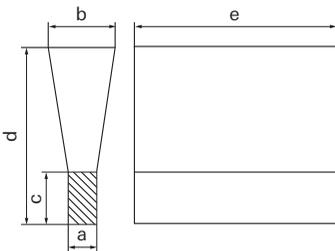
●図表2-1-1-2 JIS G 5502-2001によるダクタイル鋳鉄の種別  
(別鑄込み供試材の機械的性質)

種類の 記号	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	0.2% 耐力 (N/mm <sup>2</sup> )	伸 び (%)	シャルピー吸収エネルギー			(参 考)		
				試験温度 (°C)	3個の平均値 (J)	個々の値 (J)	硬 さ (HB)	主要基地 組織	
FCD 350-22	350以上	220以上	22以上	23±5	17以上	14以上	150以下	フェライト	
FCD 350-22L				-40±2	12以上	9以上			
FCD 400-18	400以上	250以上	18以上	23±5	14以上	11以上	130~180		
FCD 400-18L				-20±2	12以上	9以上			
FCD 400-15			15以上						
FCD 450-10	450以上	280以上	10以上				140~210		
FCD 500-7	500以上	320以上	7以上				150~230		フェライト+ パーライト
FCD 600-3	600以上	370以上	3以上	—	—	—	170~270		パーライト+ フェライト
FCD 700-2	700以上	420以上	2以上				180~300		パーライト
FCD 800-2	800以上	480以上					200~330		パーライト または焼戻し マルテンサイト

●図表2-1-1-3 Y形供試材(別鑄込み供試材の例)の形状・寸法

(単位: mm)

種 類	寸 法				
	a	b	c	d	e
A 号	12	40	25	135	180以上
B 号	25	55	40	140	180以上
C 号	50	90	50	160	180以上
D 号	75	125	65	175	180以上



備考 原則としてB号を用いる。鋳鉄品の肉厚が著しく異なる場合には、受渡当事者間の協定によって、A号、C号、D号のいずれかを用いることができる。

### 3 米国におけるダクタイル鑄鉄の種別

米国におけるダクタイル鑄鉄の種別と機械的性質の例を示す。

●図表2-1-1-4 米国におけるダクタイル鑄鉄の種別

種別	引張強さ		降伏点		伸び (%)
	(psi)	(N/mm <sup>2</sup> )	(psi)	(N/mm <sup>2</sup> )	
60-40-18	60000以上	414以上	40000以上	276以上	18以上
60-42-10	60000以上	415以上	42000以上	290以上	10以上
65-45-12	65000以上	448以上	45000以上	310以上	12以上
70-50-05	70000以上	485以上	50000以上	345以上	5以上
80-55-06	80000以上	552以上	55000以上	379以上	6以上
80-60-03	80000以上	555以上	60000以上	415以上	3以上
100-70-03	100000以上	689以上	70000以上	483以上	3以上
120-90-02	120000以上	827以上	90000以上	621以上	2以上

ASTM A536-84

●図表2-1-1-5 米国におけるダクタイル鑄鉄の機械的性質

種別	80-60-03型 (鑄入れ)	60-45-10型 (焼なまし)
圧縮強さ (引張強さに対する比)	1.2	1.2
高温強さ		
クリープ強さ 430°C 10000時間 1% (N/mm <sup>2</sup> )	78~177	108~186
破壊強さ 430°C 1000時間 (N/mm <sup>2</sup> )	206~275	177~186
650°C 1000時間 (N/mm <sup>2</sup> )	16.7~19.6	14.7~15.7
弾性係数 ( $\times 10^3$ N/mm <sup>2</sup> )	172	172
剪断強さ (引張強さに対する比)	0.90	0.90

International Nickel Co. "Ductile Iron" 1954

## 2-1-2 特性

### 1 物理的性質

#### ① 熱伝導率

ダクタイル鑄鉄の物理的性質は化学成分と基地組織によって多少異なる。熱伝導率はねずみ鑄鉄より低い(図表2-1-2-1)。

●図表2-1-2-1 ダクタイル鑄鉄の熱伝導率

(単位: J/m<sup>2</sup>/C/S)

区 分	基地組織	
	フェライト	パーライト
100℃	35.4	31.4
200℃	35.0	31.9
300℃	34.7	32.1
400℃	34.4	31.9

Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

## ② 熱膨張係数

●図表2-1-2-2 ダクタイル鑄鉄の熱膨張係数

温度範囲	熱膨張係数
20~100℃	10.8~11.5×10 <sup>-6</sup> /℃
20~200℃	11.7~12.2×10 <sup>-6</sup> /℃
20~400℃	12.9~13.2×10 <sup>-6</sup> /℃
20~600℃	13.5 ×10 <sup>-6</sup> /℃

AFS. "Cast Metal Handbook" 1957

## ③ 比熱

●図表2-1-2-3 ダクタイル鑄鉄の比熱

温度 (°C)	比熱 (J/g/°C)	温度 (°C)	比熱 (J/g/°C)	温度 (°C)	比熱 (J/g/°C)
100	0.481~0.532	400	0.536~0.599	700	0.599~0.678
200	0.502~0.569	500	0.544~0.620	800	0.628~0.720
300	0.515~0.586	600	0.573~0.636	900	0.640~0.758

総合鑄物センター編「鑄鉄の高温特性」『鑄造品のエンジニアリング・データブック』(1980年)掲載のグラフより  
日本ダクタイル鉄管協会が作成

## ④ 比抵抗

ダクタイル鑄鉄の比抵抗はねずみ鑄鉄より小さく、パーライト組織よりフェライト組織の方が小さい。ケイ素(Si)が1%増すごとに約0.2 μΩ・mが増加する(図表2-1-2-4)。

●図表2-1-2-4 ダクタイル鋳鉄の比抵抗

(単位:  $\mu\Omega \cdot m$ )

測定者	比抵抗		
	ねずみ鋳鉄	ダクタイル鋳鉄	
		鋳造のまま	焼鈍後
Everest	1.066	0.576	0.548
Wittmoser	0.6724	0.577	0.530
Königer <sup>注1</sup>	0.98 <sup>(1)</sup> 0.89 <sup>(2)</sup>	0.59 <sup>(3)</sup>	0.55 <sup>(4)</sup>

注1 Königerの鋳鉄成分

C: 3.6% Si: 2.4% Mn: 0.5%

P: (1) (2) 0.5% (3) (4) 0.087%

(1) パーライト95% (2) フェライト100% (3) フェライト5% (4) フェライト95%

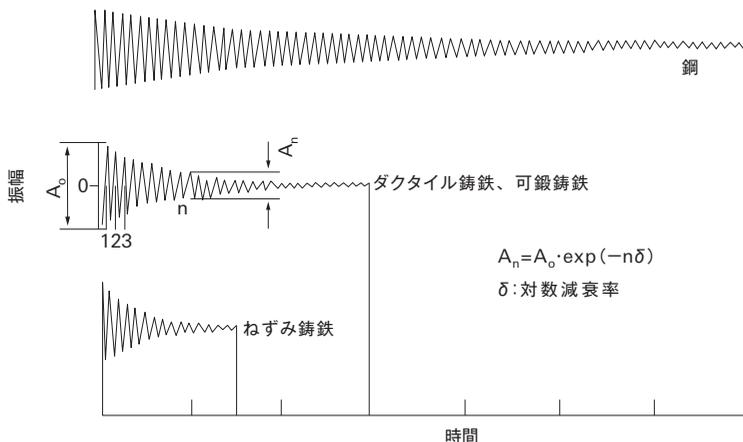
A.B. Everest "Foundry Tr. J" 89, 1950 / A. Wittmoser "Z. VDI" 93, 1951 / A. Königer "Giesserei" 46, 1959

## 2 機械的性質

### ① 吸振性 (減衰能)

ダクタイル鋳鉄の吸振性はねずみ鋳鉄と鋼の間にある。

●図表2-1-2-5 鉄系材料の振動減衰状況の比較



C.F. Walton, T.J. Opar 『Iron Castings Handbook』 (Iron Castings Society, 1981)より

### ② 磁気特性

ダクタイル鋳鉄の静磁場磁性は組織、黒鉛化率、化学成分等によって異なる。

●図表2-1-2-6 ダクタイル鑄鉄の磁気特性

鑄鉄の種類	抗磁力 (Hc)	残留磁力 (Br)	最大導磁率 ( $\mu m$ )	( $\mu m$ )に対する磁場の強さ ( $H\mu m$ )	磁気感応 $4\pi I$		履歴損失 (エルグ/cm <sup>3</sup> )
					H=750e	H=9000e	
ねずみ鑄鉄 <sup>注1</sup>	6.3	4700	355	11	9400	16100	30300
ダクタイル鑄鉄 <sup>注2</sup> (パーライト)	9	8000	544	14	14850	18500	49300
ダクタイル鑄鉄 <sup>注2</sup> (フェライト)	2.4	5100	1400	5.5	16100	19100	16320

注1 C 3.6% Si 2.16% Mn 0.69% P 0.128% S 0.11%

注2 C 3.6% Si 2.5% Mn 0.6% P 0.08% S 0.009%

A. Königler "Giesserei"46,1959

### ③ 疲労限界

●図表2-1-2-7 ダクタイル鑄鉄の疲労限界 (250個の試験結果の集計)

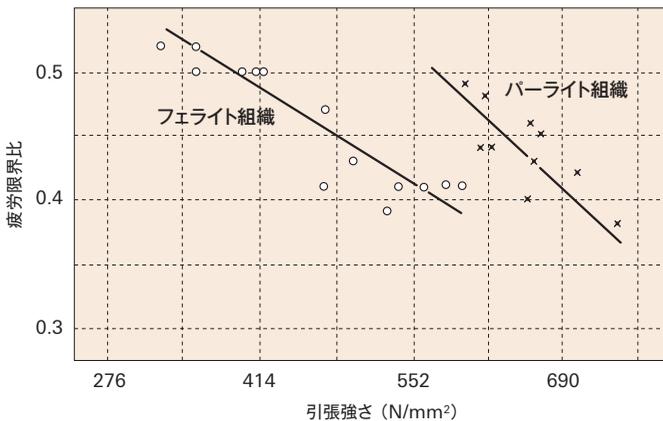
種別 <sup>注1</sup>	引張強さ	ノッチなし		45° V-ノッチ付		ノッチ感度係数
		疲労限界	疲労限界比	疲労限界	疲労限界比	
		St (N/mm <sup>2</sup> )	Se (N/mm <sup>2</sup> )	Se ÷ St	Sn (N/mm <sup>2</sup> )	
60-45-10型	490	211	0.43	147	0.30	1.4
80-60-03型	618	272	0.44	167	0.27	1.7
120-90-02型 <sup>注2</sup>	932	335	0.36	206	0.22	1.6

注1 ASTM A339-55による種別。

注2 約900℃にて油焼入後、約600℃にて焼なまし。

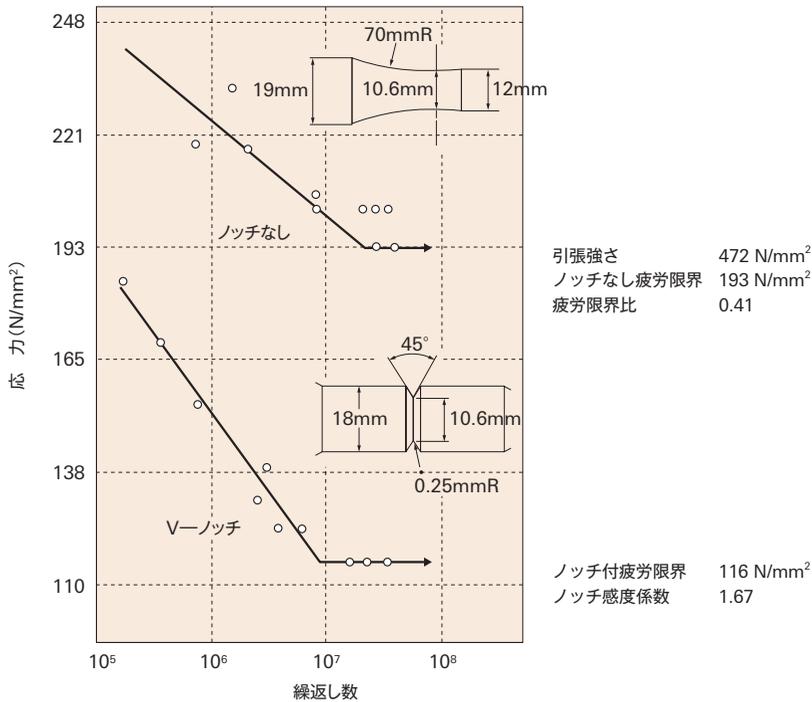
Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

●図表2-1-2-8 ダクタイル鑄鉄の引張強さに対する疲労限界比



Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

●図表2-1-2-9 ダクタイル鋳鉄の代表的なS-N曲線の例(焼鈍)



Charles F. Walton "Gray Iron Castings Handbook" 1958

### 3 工業的性質

#### 1 切削性

- フェライト組織のダクタイル鋳鉄の切削性は良好であるが、パーライト組織に近づくほど不良となる。パーライト量が65%から25%に減ると切削性は著しく改良されるが、20%以下ではあまり変わらない。
- フェライト組織のダクタイル鋳鉄のドリル穿孔は、ドリル直径の3.5～4倍の深さまでは容易である。
- 旋盤切削の場合、冷間引抜鋼の切削性を100とすれば、鋳造のままのブリネル硬さ(HB)290～300のダクタイル鋳鉄の切削性は80～90、焼鈍したブリネル硬さ(HB)180～200のものでは135～155である。
- 切削面は片状黒鉛鋳鉄と異なり、鋼の場合に似ている。

## 2 耐摩耗性

摩耗条件によって異なる。一般的にはパーライト組織のダクタイル鑄鉄の耐摩耗性は優秀であるが、フェライト基地になればその性質は劣る。

## 3 耐熱性

ダクタイル鑄鉄はねずみ鑄鉄よりも耐熱性、とりわけ耐成長性が良好<sup>\*1</sup>であることは、多くの報告によって認められている。特にケイ素の影響が大きい。黒鉛が球状になっていることは外部からの酸化性ガスの侵入を妨げ、耐熱性、耐成長性を与えている。

\*1 鑄鉄を高温で保持したり、繰り返し加熱冷却すると、体積が膨張し、割れや強度の低下を引き起こす。耐成長性が良好であると、このような現象(鑄鉄の成長)を起こしにくい。

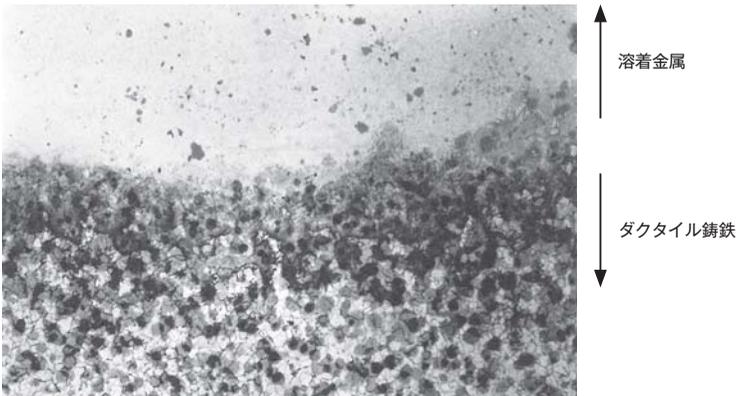
## 4 高温加工性

ダクタイル鑄鉄は高温加工できる。加工度が増すと、加工後フェライト化焼鈍したダクタイル鑄鉄の延性および衝撃値が増す。

## 5 溶接性

ねずみ鑄鉄に比較して、ニッケル(Ni)溶接性が良好である。適切な条件で溶接を行えば、ボンド部にはごくわずかのセメンタイトしか晶出せず(図表2-1-2-10)、かなりの強度が得られる。

### ●図表2-1-2-10 ダクタイル鑄鉄を全自動MIG溶接<sup>注1</sup>したボンド部



注1 アーク溶接でシールドガスに不活性ガスを使った全自動溶接の一種。

## 2-1-3 用途

ダクタイル鋳鉄は、鋳造品でありながら、強度、剛性、耐衝撃性、疲れ強さなどに優れるため、さまざまな用途に用いられている。経済産業省による統計分類上の「球状黒鉛鋳鉄」と「鋳鉄管」との合計生産量(2016(平成28)年)は161万3825トンで、輸送機械用(自動車用)52.5%と鋳鉄管19.2%で約72%を占める(図表2-1-3-1)。

●図表2-1-3-1 球状黒鉛鋳鉄鋳物の生産量(2016(平成28)年)の内訳

品目・用途例		生産量(トン)
球状黒鉛鋳鉄	一般・電気機械用(産業機械機具用)	198716
	一般・電気機械用(金属工作・加工機械用)	11204
	一般・電気機械用(その他の一般・電気機械用)	94739
	輸送機械用(自動車用)	847692
	輸送機械用(その他の輸送機械用)	65721
	その他用の球状黒鉛鋳鉄	86178
鋳鉄管		309575
合 計		1613825

備考 「球状黒鉛鋳鉄」と「鋳鉄管」の合計生産量。「鋳鉄管」と分類されているものの中には、ごくわずかにダクタイル鋳鉄管以外のものが含まれている可能性がある。

〔平成28年経済産業省生産動態統計年報〕より(抜粋)

輸送機械用(自動車用)のほとんどは自動車の足回り部品、鋳鉄管のほとんどはダクタイル鉄管(直管、異形管など)である。その他のダクタイル鋳鉄を用いた製品の例を図表2-1-3-2に示す。

●図表2-1-3-2 ダクタイル鋳鉄を用いた製品例

マンホール蓋(FCD製)



日本鋳鉄管写真提供

橋梁用防護柵(FCD製)



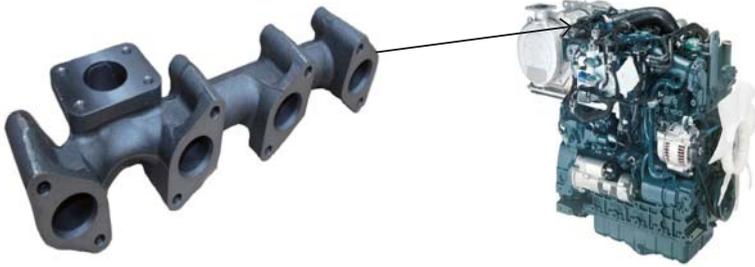
大阪高級鋳造鉄工写真提供

シールド工法用セグメント継手金物 (FCD製)



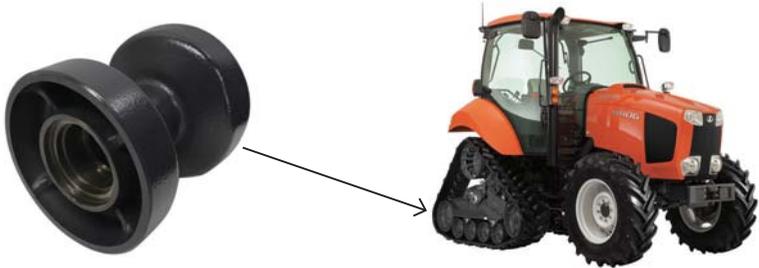
日本シールドセグメント技術協会写真提供

エキゾーストマニホールド (FCD製)



クボタ写真提供

トラックローラ (FCD製)



クボタ写真提供

## 2-2

ダクタイル鉄管の  
管体・管路の特性

## 2-2-1 材料

## 1 化学組成

●図表2-2-1-1 ダクタイル鉄管と高級鑄鉄管の化学組成

(単位:%)

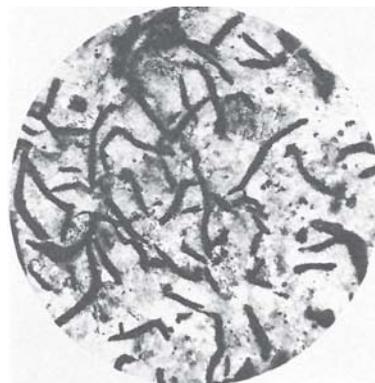
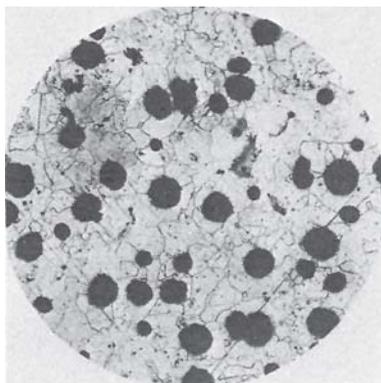
成分	ダクタイル鉄管	高級鑄鉄管
トータルカーボン(TC)	2.8~3.7	3.2~3.8
シリコン(Si)	1.7~2.5	1.4~2.2
マンガン(Mn)	0.2~0.4	0.4~0.6
リン(P)	0.1以下	0.5以下
硫黄(S)	0.015以下	0.1以下
マグネシウム(Mg)	0.03以上	—

## 2 組織

●図表2-2-1-2 ダクタイル鉄管と高級鑄鉄管の組織

ダクタイル鉄管(フェライト組織)

高級鑄鉄管



### 3 物理的・機械的性質

●図表2-2-1-3 ダクタイル鉄管の物理的・機械的性質

項目	物性値
引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	420以上 (JIS G 5526)
曲げ強さ (N/mm <sup>2</sup> )	600 以上
伸び (%)	10以上 (JIS G 5526)
弾性係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	150～170
ブリネル硬さ (HB)	230以下 (JIS G 5526)
ポアソン比	0.28～0.29
比重	7.15

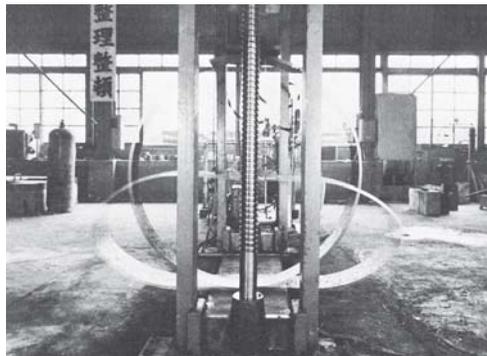
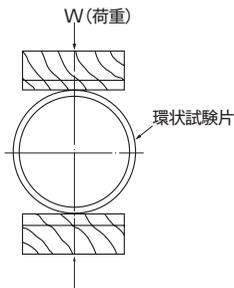
## 2-2-2 強度

### 1 へん平荷重に対する強度

ダクタイル鉄管と高級鑄鉄管から切り出した環状試験片に図表2-2-2-1に示す方法でへん平荷重を負荷し、荷重とたわみの関係を調査した。

図表2-2-2-2～6にへん平試験結果を示す。試験をした呼び径のいずれにおいて

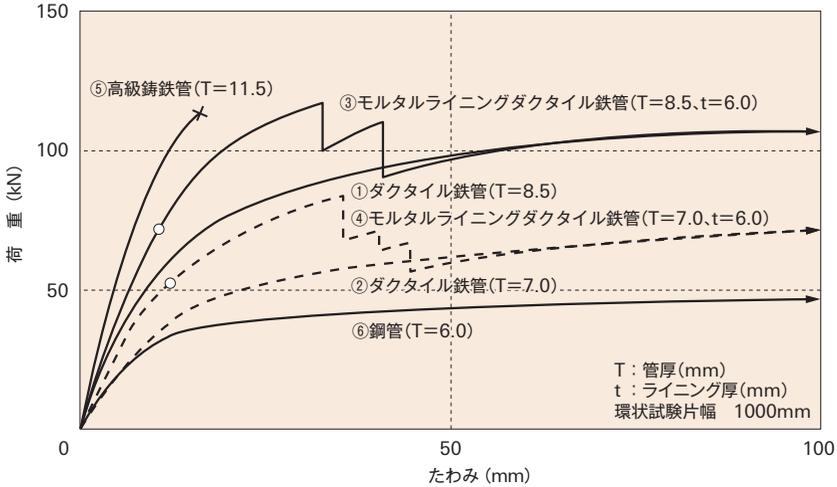
●図表2-2-2-1 へん平試験方法



も次のことがいえる。

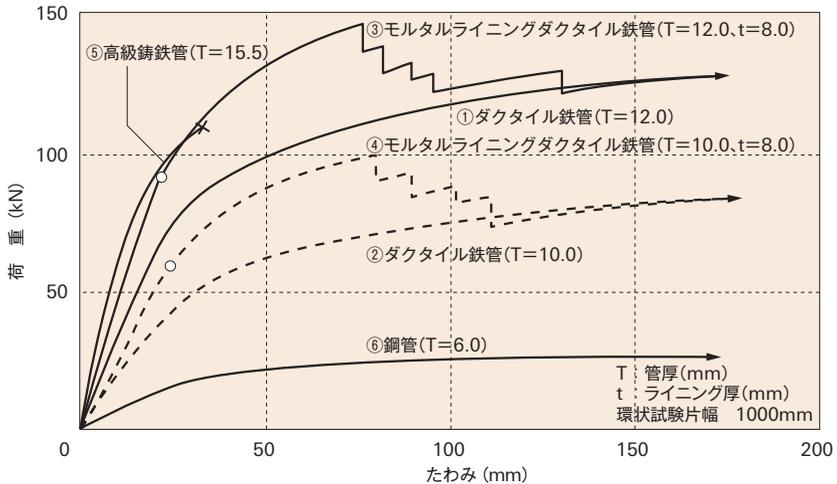
- ・ダクタイル鉄管は高級铸铁管よりも大きなたわみに耐える。
- ・モルタルライニング付きのダクタイル鉄管はモルタルライニングなしの同じ鉄管厚のダクタイル鉄管よりも大きな荷重に耐える。

●図表2-2-2-2 へん平試験結果 呼び径400



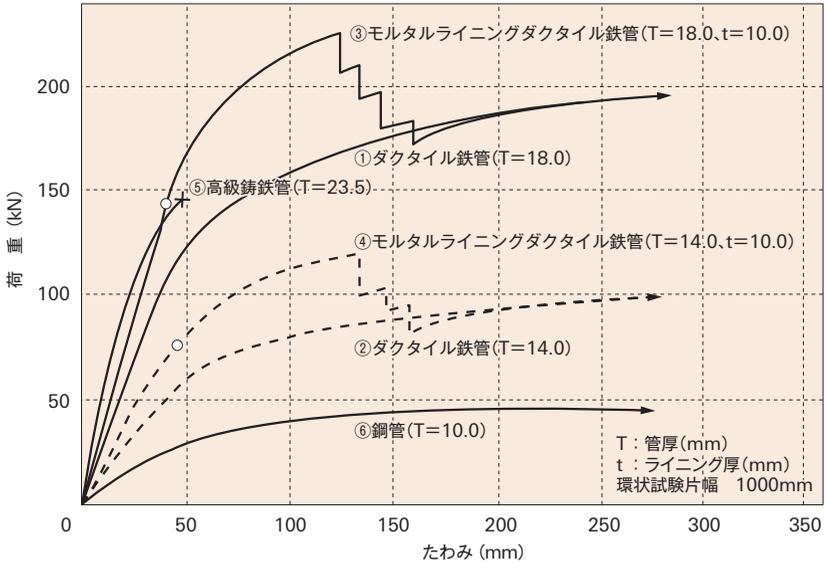
備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

●図表2-2-2-3 へん平試験結果 呼び径700



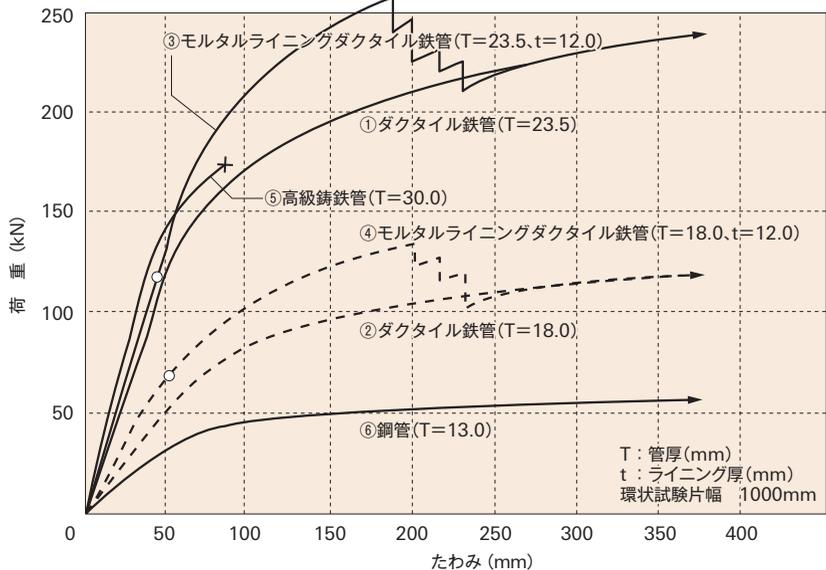
備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

●図表2-2-2-4 へん平試験結果 呼び径1100



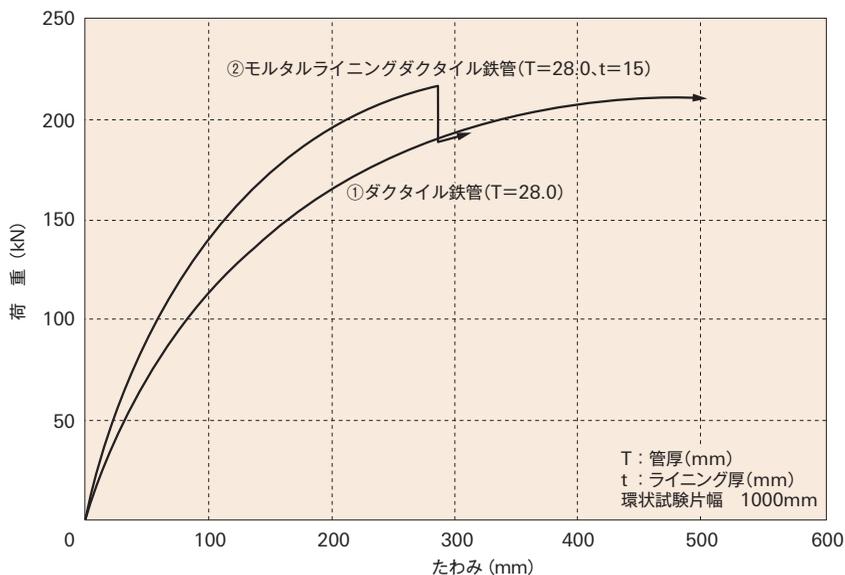
備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

●図表2-2-2-5 へん平試験結果 呼び径1500



備考 図中の○はライニング部の表面に可視クラックの入るところ、グラフ線の下降部はライニング部の破断など、×は環状試験片の破壊を示す。

●図表2-2-2-6 へん平試験結果 呼び径2200



## 2 モルタルライニングの補強効果

モルタルライニングの目的は防錆であるが、モルタルの圧縮強度が大きいいため、結果的には管の補強にもなっている。しかし、管体の発生応力やたわみ率を安全側で評価するために、これらの計算にあたってはモルタルライニングによる補強効果は加味しない。

補強の程度は次式により求められる。

- ・ 同一荷重に対する応力減少係数：f

$$f = \frac{\pi}{2} \cos \phi_0$$

ここに、 $\phi_0$  : モルタルライニングのある場合、曲げモーメントが0になる位置(水平軸基準)

- ・ 同一荷重に対するたわみの減少係数：g

$$g = \frac{1}{0.149} \left[ \left( \frac{\pi}{4} - \cos \phi_0 \right) - \left( 1 - \frac{I}{I^*} \right) \left( \frac{\phi_0}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\phi_0 \right) \right]$$

$$\frac{I}{I^*} = \frac{1}{1 + nm^3 + 3nm \frac{(1+m)^2}{1+nm}}$$

$$m = t_C / t_F$$

$$n = E_C / E_F$$

$$1 \frac{I}{I^*} = \frac{1 - \frac{\pi}{2} \cos \phi_0}{\sin \phi_0 - \phi_0 \cos \phi_0}$$

ここに、 $E_F$  : 外殻管の弾性係数

$E_C$  : モルタルの弾性係数

$t_F$  : 外殻管の管厚

$t_C$  : モルタルライニング厚さ

$I$  : モルタルライニングのない場合の慣性モーメント

$I^*$  : モルタルライニングのある場合の慣性モーメント

$\phi_0$  : モルタルライニングのある場合、曲げモーメントが0になる位置(水平軸基準)

従って、モルタルライニングのない場合に外圧によって発生する応力を $\sigma_0$ 、たわみを $\delta_0$ とすると、同一条件下でライニングのある場合の応力 $\sigma$ 、たわみ $\delta$ は次のようになる。

$$\sigma = f \sigma_0$$

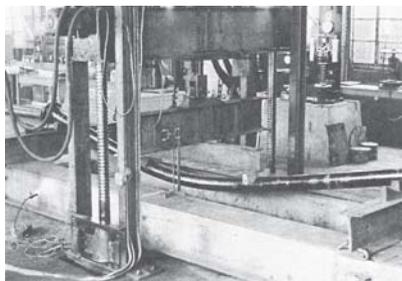
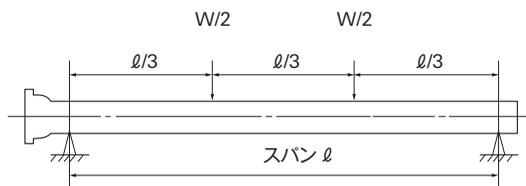
$$\delta = g \delta_0$$

規定厚さのモルタルライニングを施した場合、管の応力は1～2割減少し、たわみは2～3割減少する。

### 3 曲げに対する強度

管体を曲げた場合、高級铸铁管はある程度までたわむと破壊するが、ダクタイル鉄管は破壊しなかった。

#### ●図表2-2-2-7 管体曲げ試験方法 呼び径100～400

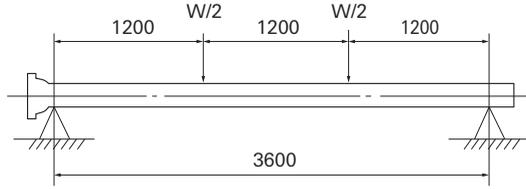


#### ●図表2-2-2-8 管体曲げ試験結果 呼び径100～400

呼び径	管種	管厚 (mm)	最大荷重 (kN)	最大たわみ (mm)	スパン (m)	備考
100	ダクタイル鉄管	6.0	> 39.2	> 400	3.6	破壊せず
	高級铸铁管	7.5	34.3	135	3.6	破壊
150	ダクタイル鉄管	6.0	> 68.6	> 450	4.8	破壊せず
	高級铸铁管	8.0	64.7	150	4.8	破壊
200	ダクタイル鉄管	6.0	> 137.3	> 450	4.8	破壊せず
	高級铸铁管	8.8	124.5	125	4.8	破壊
250	ダクタイル鉄管	6.0	> 235.4	> 400	4.8	破壊せず
	高級铸铁管	9.5	205.9	100	4.8	破壊
300	ダクタイル鉄管	6.5	> 313.8	> 450	5.8	破壊せず
	高級铸铁管	10.0	227.5	130	5.8	破壊
400	ダクタイル鉄管	7.0	> 490.4	> 130	5.8	破壊せず <sup>注1</sup>
	高級铸铁管	11.5	459.9	100	5.8	破壊

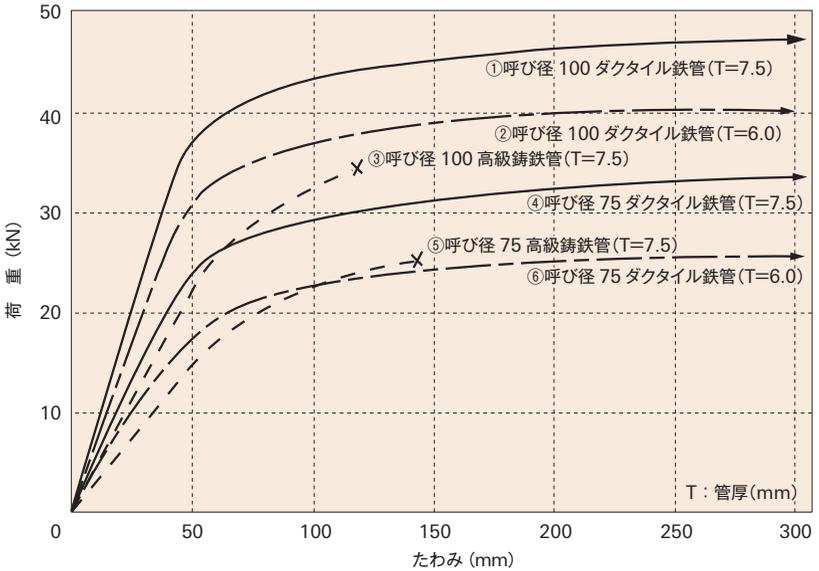
注1 試験機能力490.4kNまで負荷。

●図表2-2-2-9 管体曲げ試験方法 呼び径75・100



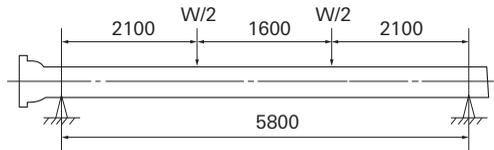
(単位：mm)

●図表2-2-2-10 管体曲げ試験結果 呼び径75・100



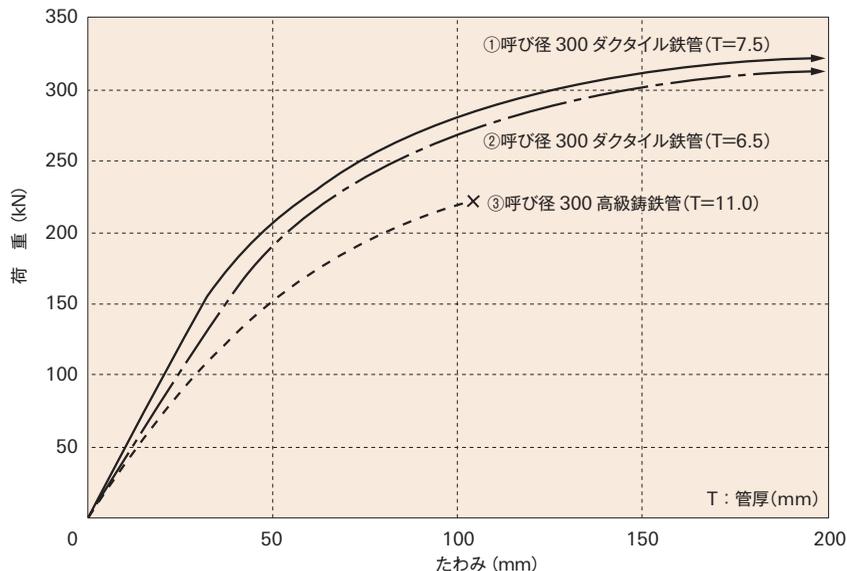
備考 図中の×は環状試験片の破壊を示す。

●図表2-2-2-11 管体曲げ試験方法 呼び径300



(単位：mm)

●図表2-2-2-12 管体曲げ試験結果 呼び径300



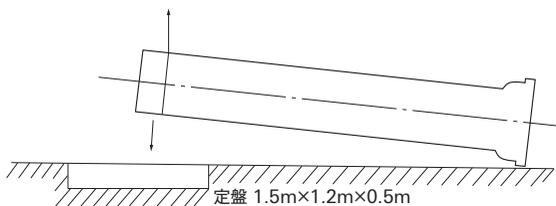
備考 図中の×は環状試験片の破壊を示す。

## 4 衝撃に対する強度

### 1 挿し口部耐衝撃試験

●図表2-2-2-13 挿し口部落下衝撃試験方法

管の挿し口のみを持ち上げ、初め0.25mの高さから、0.25mずつ高くしながら挿し口を鑄鉄製定盤上に落下させる。



●図表2-2-2-14 挿し口部落下衝撃試験結果

管種	呼び径900×6m遠心力鑄造管	
	ダクタイル鉄管	高級铸铁管
質量(kg)	1836	2410
管厚(mm)	14.0	18.2
試験結果	落下高さ3mで挿し口にクラック	落下高さ0.25mで挿し口破壊

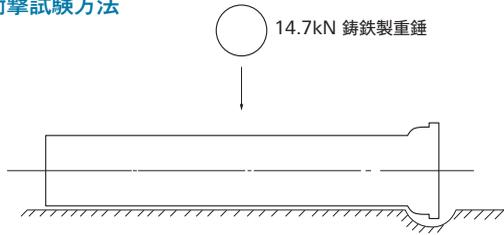


ダクタイル鉄管

## ② 管体耐衝撃試験

### ● 図表2-2-2-15 重錘落下衝撃試験方法

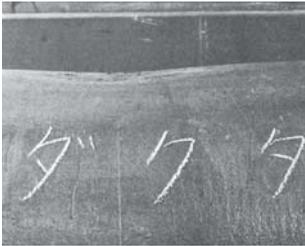
地面に水平に置いた管の直上から14.7kNの铸铁製重錘を落下させる。



### ● 図表2-2-2-16 重錘落下衝撃試験結果

管種	呼び径900×6m遠心力铸造管	
	ダクタイル鉄管	高級铸铁管
管厚(mm)	14.0	18.2
試験結果	落下高さ3mで管体にクラック	落下高さ25cmで管体破壊

#### ダクタイル鉄管



ダクタイル鉄管は、衝撃点で管が凹むが、破壊せずにクラックが生じるのみ。

#### 高級铸铁管



## 5 破裂水圧

ダクタイル鉄管の破裂水圧を図表2-2-2-17に示す。破裂水圧の値は次式より求めた計算値である。なお、製品検査に用いる試験水圧はJDPA G 3000-2017などに定められており、この破裂水圧とは異なる。

$$P = \frac{2tS}{D}$$

ここに、P : 破裂水圧 (MPa)

S : 管材の引張強さ (420N/mm<sup>2</sup>)

t : 規定管厚から铸造公差10%(管厚10mm以下の場合1mm)を差し引いた管厚 (mm)

D : 管内径 (mm)

●図表2-2-2-17 破裂水圧(計算値)

呼び径	1種管		2種管		3種管		4種管		5種管		S種管		P種管	
	管厚 (mm)	破裂水圧 (MPa)												
50	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6.0	72.4	—	—
75	7.5	88.2	—	—	6.0	50.6	—	—	—	—	6.0	50.6	—	—
100	7.5	52.0	—	—	6.0	38.8	—	—	—	—	6.0	38.8	—	—
150	7.5	35.0	—	—	6.0	26.4	—	—	—	—	6.5	29.2	—	—
200	7.5	26.3	—	—	6.0	20.0	—	—	—	—	6.5	22.1	—	—
250	7.5	21.1	—	—	6.0	16.0	—	—	—	—	6.5	17.7	—	—
300	7.5	17.6	—	—	6.5	14.8	—	—	—	—	7.0	16.2	—	—
350	7.5	15.1	—	—	6.5	12.7	—	—	—	—	—	—	—	—
400	8.5	15.3	7.5	13.2	7.0	12.1	—	—	—	—	7.0	12.1	—	—
450	9.0	14.5	8.0	12.7	7.5	11.7	—	—	—	—	—	—	—	—
500	9.5	13.9	8.5	12.2	8.0	11.4	—	—	—	—	8.5	12.2	—	—
600	11.0	13.6	10.0	12.3	9.0	10.9	8.5	10.2	7.5	8.8	10.0	12.3	—	—
700	12.0	12.7	11.0	11.6	10.0	10.5	9.0	9.3	8.0	8.1	11.0	11.6	10.0	10.5
800	13.5	12.5	12.0	11.1	11.0	10.1	10.0	9.2	9.0	8.1	12.0	11.1	11.0	10.1
900	15.0	12.4	13.0	10.7	12.0	9.8	11.0	9.0	9.5	7.7	13.0	10.7	11.0	9.0
1000	16.5	12.3	14.5	10.8	13.0	9.6	12.0	8.8	10.5	7.7	14.5	10.8	12.0	8.8
1100	18.0	12.2	15.5	10.4	14.0	9.4	13.0	8.7	11.0	7.3	—	—	13.0	8.7
1200	19.5	12.1	17.0	10.5	15.0	9.3	13.5	8.3	11.5	7.0	—	—	13.5	8.3
1300	21.5	11.9	18.5	10.2	16.5	9.1	15.0	8.2	12.5	6.8	—	—	15.0	8.2
1500	23.5	11.7	20.5	10.2	18.0	8.9	16.5	8.1	14.0	6.9	—	—	16.5	8.1
1600	25.0	11.7	22.0	10.3	19.0	8.8	17.5	8.1	14.5	6.7	—	—	—	—
1650	25.5	11.6	22.5	10.2	19.5	8.8	18.0	8.1	15.0	6.7	—	—	—	—
1800	28.0	11.7	24.0	10.0	21.0	8.7	19.5	8.1	16.0	6.6	—	—	—	—
2000	30.5	11.4	26.5	9.9	23.0	8.8	21.0	7.8	18.0	6.7	—	—	—	—
2100	32.0	11.4	28.0	10.0	24.5	8.7	22.0	7.8	18.5	6.5	—	—	—	—
2200	33.5	11.4	29.0	9.8	25.5	8.6	23.0	7.7	19.5	6.5	—	—	—	—
2400	36.5	11.5	31.5	9.9	27.5	8.6	25.0	7.8	21.0	6.5	—	—	—	—
2600	39.5	11.4	34.0	9.8	29.5	8.4	27.0	7.7	23.0	6.5	—	—	—	—

備考 切り捨てによって小数第一位までの数値として表示したものである。

## 2-2-3 耐食性

### 1 長期使用の実績

鑄鉄が長期間にわたって使用されてきたことは内外の多数の文献・実績が示している。特に鑄鉄管は多くの実績(図表2-2-3-1)があり、これらの内のいくつかは現在もなお使用されている。

ダクタイル鉄管は約60年の歴史があり、上水道をはじめとして、下水道、工業用水道、農業用水、ガス管などに広く用いられている。

#### ●図表2-2-3-1 古くから使用されている鑄鉄管の例

国名	地名	埋設年
フランス	ベルサイユ	1664
	ウイルバーク	1703
	エーレン・ベレット	1727
	クリアモンド	1748
英国	ロンドン	1810
米国	フィラデルフィア	1822
	ボストン	1830
	セントルイス	1831
	リッチモンド	1832
	ニューヨーク	1833
	ランカスタ	1844
	メインランド	1848
日本	横浜	1885
	長崎	1887
	東京	1888
	大阪	1889
	神戸	1894

## 2 各種耐食性試験結果

鑄鉄は黒鉛とフェライト(純鉄に近い)の混合物であり、腐食作用においては、この黒鉛が腐食生成物と固着し、新たな腐食を抑制する方向に働く。この作用は「黒鉛化」と呼ばれ、これが鑄鉄材料の耐久性が優れている要因ともいわれている。

ダクタイル鉄管の耐食性は、種々の試験により確認されている。

### ① 水道水・蒸留水による耐食性試験結果

●図表2-2-3-2 水道水スプレーによる腐食量

(単位: g/cm<sup>2</sup>)

試料	45日間腐食後	90日間腐食後
ダクタイル鉄管	0.0060	0.0090
高級鑄鉄管	0.0060	0.0103
引抜鋼管	0.0170	0.0273
溶接鋼管	0.0294	0.0396

備考 スプレーガンにて水道水を霧化し、10時間吹き付け14時間休止し、乾湿を繰り返す試験を行った。

●図表2-2-3-3 水道水中浸漬試験における腐食量

(単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試料	196時間浸漬
ダクタイル鑄鉄(鑄放し)	32.4
高級鑄鉄	34.9

備考 空気を吹き込み、加熱(90~95℃)40時間、総浸漬時間196時間。

〔第17回ダクタイル技術委員会資料〕(1958年)より

●図表2-2-3-4 蒸留水中浸漬試験における腐食量

(単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試料	静置水中380日間浸漬	圧搾空気を吹き込み380日間浸漬
ダクタイル鑄鉄	6.1	19.1
高級鑄鉄管	6.2	19.3
鋼	7.5	24.5

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

### ② 海水・人工海水・食塩水等による耐食性試験結果

●図表2-2-3-5 海水中浸漬(連続)試験における腐食量

試料	mg/dm <sup>2</sup> /day			mm/year		
	90日間浸漬	180日間浸漬	360日間浸漬	90日間浸漬	180日間浸漬	360日間浸漬
ダクタイル鉄管	24.0	16.1	13.2	0.122	0.081	0.066
高級鑄鉄管	24.9	16.4	14.5	0.127	0.083	0.073
鋼管	30.2	20.7	27.3	0.140	0.097	0.130

備考 海水中に浸漬し、機械的に攪拌して、腐食量を測定した。長期にわたるに従って、腐食量が減少しているのは腐食生成物の影響で、鋼管ではこの影響はほとんど見られない。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

## ●図表2-2-3-6 海水・人工海水・蒸留水中浸漬試験における腐食量(380日後)

試料	mg/dm <sup>2</sup> /day				mm/year			
	加圧して空気を絶えず吹き込んだ場合			静置	加圧して空気を絶えず吹き込んだ場合			静置
	海水	人工海水 <sup>注1</sup>	蒸留水	蒸留水	海水	人工海水 <sup>注1</sup>	蒸留水	蒸留水
ダクタイル鉄管	15.3	15.8	19.1	6.1	0.076	0.081	0.097	0.030
ねずみ鑄鉄管	17.0	19.4	19.3	6.2	0.086	0.097	0.097	0.030
低炭素鋼	23.5	25.4	24.5	7.5	0.109	0.119	0.114	0.036

注1 人工海水の組成は、NaCl : 30g、MgSO<sub>4</sub> · 7H<sub>2</sub>O : 5g、MgCl<sub>2</sub> · 6H<sub>2</sub>O : 6g、CaSO<sub>4</sub> · 2H<sub>2</sub>O : 1.5g、KHCO<sub>3</sub> : 0.2g、蒸留水 : 1L

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

## ●図表2-2-3-7 海水中浸漬(繰返し)試験における腐食量

試料	mg/dm <sup>2</sup> /day			mm/year		
	3カ月間浸漬	6カ月間浸漬	12カ月間浸漬	3カ月間浸漬	6カ月間浸漬	12カ月間浸漬
ダクタイル鉄管	44.5	43.9	43.0	0.226	0.234	0.218
ねずみ鑄鉄管	45.5	43.7	43.0	0.231	0.211	0.218
鋼管	62.5	64.0	64.0	0.292	0.300	0.300
低炭素鋼板	82.5	69.2	67.0	0.384	0.300	0.316

備考 海水中に20分ごとに浸漬と引上げの乾湿を繰り返し、腐食量を測定した。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

●図表2-2-3-8 人工海水中浸漬試験における腐食量 (単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試料	380日間浸漬
ダクタイル鑄鉄	15.8
高級鑄鉄	19.4
鋼	25.4

備考 圧搾空気を吹き込み、380日間浸漬し、腐食量を測定した。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

●図表2-2-3-9 食塩水中浸漬試験における腐食量 (単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試料	165時間浸漬
ダクタイル鑄鉄(鑄放し)	22.1
高級鑄鉄	36.2

備考 3%食塩水に165時間浸漬し、腐食量を測定した。

「第17回ダクタイル技術委員会資料」(1958年)より

## ③ 酸・アルカリによる耐食性試験結果

●図表2-2-3-10 塩酸溶液中浸漬試験における腐食量

(単位: g/cm<sup>2</sup>)

試料	0.2%塩酸			1%塩酸			5%塩酸		
	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr
ダクタイル鉄管	0.0257	0.0284	0.0328	0.0300	0.0429	0.0515	0.0404	0.0609	0.0821
高級铸铁管	0.0256	0.0331	0.0331	0.1062	0.1396	0.1516	0.1849	0.5113	0.6899

●図表2-2-3-11 硝酸溶液中浸漬試験における腐食量

(単位: g/cm<sup>2</sup>)

試料	0.2%硝酸			1%硝酸			5%硝酸		
	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr
ダクタイル鉄管	0.0164	0.0179	0.0196	0.0594	0.0779	0.0814	0.3112	0.3959	0.4342
高級铸铁管	0.0156	0.0175	0.0204	0.0771	0.0812	0.0902	0.3286	0.3927	0.3997

●図表2-2-3-12 硫酸溶液中浸漬試験における腐食量

(単位: g/cm<sup>2</sup>)

試料	0.2%硫酸			1%硫酸			5%硫酸		
	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr	24Hr	48Hr	72Hr
ダクタイル鉄管	0.0244	0.0322	0.0336	0.0272	0.0367	0.0437	0.0311	0.0711	0.1162
高級铸铁管	0.0290	0.0366	0.0369	0.0818	0.1716	0.1812	0.1747	0.3553	0.4693

●図表2-2-3-13 苛性ソーダ溶液中浸漬試験における腐食量

(単位: g/cm<sup>2</sup>)

試料	5%苛性ソーダ	30%苛性ソーダ
	180日	180日
ダクタイル鉄管	0.0075	0.0029
高級铸铁管	0.0076	0.0030

●図表2-2-3-14 酸溶液・アルカリ溶液・海水中浸漬試験における腐食量

(単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試料および組織 <sup>注1</sup> F.G: 片状黒鉛 N.G: 球状黒鉛 P: パーライト F: フェライト	10%苛性ソーダ		海水		10%硫酸アンモニア		1%塩酸		5%硫酸	
	50℃		20℃		20℃		20℃		50℃	
	730Hr	736Hr	480Hr	454Hr	121Hr	120Hr	46Hr	49Hr	65min	3Hr
	F.G+P	3.3	3.7	55	48.0	167	124	5950	5600	300800
N.G+P(鑄放し)	1.3	2.5	69	49.5	145	85	820	1087	186500	246700
N.G+F(焼鈍)	1.9	2.0	70	49.6	101	76	413	704	22930	38600

注1 各試料の化学成分

(単位: %)

試料	C	Si	Mn	S	Ni	Mg
F.G+P	3.5	2.55	0.49	0.009	0.73	—
N.G+P(鑄放し)	3.5	2.38	0.49	0.009	0.71	0.078
N.G+F(焼鈍)	3.5	2.38	0.49	0.009	0.71	0.078

A.B.Everst "Foundry Tr. Jr "1950

## ●図表2-2-3-15 硫酸中浸漬試験における腐食量

(単位: mg/cm<sup>2</sup>/hour)

試料	硫酸濃度(20℃)				硫酸濃度(100℃)			
	0.5%	5%	10%	33%	0.5%	5%	10%	33%
ダクタイル鉄管	2.7	6.3	12.0	9.4	127	308	415	620
ねずみ鑄鉄管	3.4	6.6	14.6	13.5	92	276	370	470
鋼板	3.9	9.6	16.0	16.0	189	334	515	1250

M.Paris &amp; B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

## ●図表2-2-3-16 各種酸溶液中浸漬試験における腐食量

(単位: mg/cm<sup>2</sup>/hour)

試料	20℃			100℃	
	50%塩酸	30%硝酸	30%醋酸	50%塩酸	30%醋酸
ダクタイル鉄管	13	229	0.7	750	34
ねずみ鑄鉄管	25	222	0.7	522	48

M.Paris &amp; B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

## ●図表2-2-3-17 硫酸溶液中浸漬試験における腐食量

試料		mg/dm <sup>2</sup> /day	mm/year
ダクタイル鑄鉄	(鑄放し・パーライト組織)	27000	137
	(焼鈍・フェライト組織)	16000	81
ねずみ鑄鉄	(鑄放し・パーライト組織)	30000	168
	(焼鈍・フェライト組織)	40000	203

備考 空気で飽和させた5% 30℃の硫酸中に浸漬し、24時間4.8m/minで試験片を動かして、腐食量を測定した。

F.L.LaQue "Corrosion"Oct.1958

## ●図表2-2-3-18 各種溶液中の浸漬試験における腐食量

(単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試料	溶液		
	5% FeSO <sub>4</sub>	5% FeCl <sub>3</sub>	5% NaCl
ダクタイル鉄管	5.41	88.2	4.91
高級鑄鉄管	8.81	87.0	6.84

備考 各種溶液に6カ月間浸漬し、腐食量を測定した。

## 4 大気中の耐食性試験結果

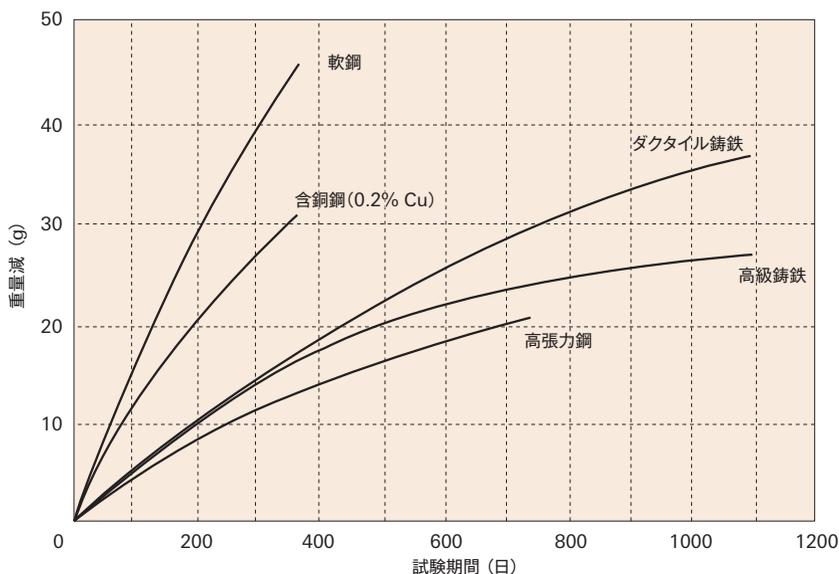
●図表2-2-3-19 各種铸铁材・鋼材の大気腐食試験における腐食量 (単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試料	大気暴露試験地						
	御前崎	枕崎	輪島	高山	帯広	川崎	東京
キルド鋼	4.18	3.17	2.60	1.97	1.72	17.45	8.03
リムド鋼	4.50	3.48	3.01	2.09	1.85	17.05	7.69
ねずみ铸铁	2.54	2.83	3.80	2.85	3.30	9.69	4.95
ダクタイル铸铁	2.96	1.87	1.99	1.66	2.05	9.22	5.88

備考 全国7か所(海岸地域、内陸地域、工業地域)において5年間大気中に曝露し、腐食量を測定した。

堀川一男、瀧口周一郎、石津善雄、金指元計「各種金属材料および防錆被覆の大気腐食に関する研究(第5報)」『防蝕技術』Vol.16、No.4(1967年)より

●図表2-2-3-20 大気中の鋼・高級铸铁・ダクタイル铸铁の腐食試験結果



備考 米国クーパーの沖80フィートの海洋にて、4×6インチ試験片を用いて腐食量を測定した。

F.L.La Que "Corrosion" Oct.1958

●図表2-2-3-21 ダクタイル鋳鉄・鋼の大気腐食試験における腐食量 (単位: mg/dm<sup>2</sup>/day)

試験片種類	試験片表面 状況	地域名		農業地域				工業地域			
		試験地名		Point Keyes, Calif.		Kure Beach, N.C.		New York N.J.		E.Chicago Ind.	
		1年	3年	1年	3年	1年	3年	1年	3年	1年	3年
ダクタイル鋳鉄 (フェライト)	as cast	9.0	1.0	18.8	5.1	15.1	4.8	12.9	1.2	11.2	2.2
ダクタイル鋳鉄 (フェライト)	machined	5.6	1.8	7.3	2.2	9.0	5.0	8.8	1.0	13.5	1.7
ダクタイル鋳鉄 (パーライト)	as cast	6.2	1.4	11.3	2.0	9.6	3.2	11.4	7.0	14.3	2.3
ダクタイル鋳鉄 (パーライト)	machined	5.0	0.9	6.8	2.2	8.2	3.0	7.0	0.9	9.3	1.4
軟鋼	Rolled	9.7	3.0	24.4	21.7	30.2	15.1	17.6	3.4	14.7	3.8

備考 ASTM (American Society for Testing Materials) が米国の農業地域、海岸地域、工業地域の5カ所において腐食量を測定した。

Proceedings of ASTM vol.61.1961、vol.62.1962

## 5 Beach Soil中の耐食性試験結果

●図表2-2-3-22 Beach Soil中埋設試験における腐食量 (単位: mm/year)

試料	試験地	
	Le Touquet	Mont St. Michel
ダクタイル鋳鉄	1.19	1.14
ねずみ鋳鉄	1.75	1.09

備考 埋立地は潮の干満の影響を受け、腐食性の強い土壌である。この土壌中に試験片を3年間埋設し、腐食を測定した。

F.L.La Que "Corrosion" Oct.1958

●図表2-2-3-23 臨海地帯に埋設したダクタイル鉄管の外面状況



瀬戸内海地方の臨海地帯において、海水面以下に埋設されている呼び径1350ダクタイル鉄管の4年後の外面状況を調査した結果、塗料は全面に顕在であり、発錆はほとんどなく良好な状態であった。

## 6 海水中の鑄鉄管の耐久性

●図表2-2-3-24 海水中の鑄鉄管の耐久性の事例

使用地方名	埋設年	調査年	使用期間	状 況
Venice. Italy	1884	1952	68	管は湖の底に敷設され、68年後においても良好な状態にあった。
Cannes. France	1890	1949	59	現在これらの管は他の地方で使用に供されている。
	1901	1949	48	
Beyrouth. Lebanon	1875	1953	78	同上。
Calais, France	1906	1952	46	管は良好な状態にあった。
Barcelona, Spain	1912	—	—	管は現在まだ使用しており、非常に良好な状態にある。
Boulogne, France	1884	—	—	管は1952年まで(68年間)使用されていた。
Trouville, France	1890	—	—	管は現在まだ使用しており、非常に良好な状態にある。
Antibes, France	1902	—	—	管はまだ使用されている。同じ場所に埋設された鋼管は、12年後に腐食した。
	1935	—	—	
Nice, France	1904	—	—	管はまだ使用されており、良好な状態にある。1934年6%銅合金鋼管の新設管の一部が同じ場所に敷設された。これらの管は、10年後、鑄鉄管と置き換えられることとなった。

M.Paris & B.Bruniere "Corrosion"May, 1957

## 3 管路の耐食性とその実績

埋設された管路の腐食には、まず土壤側の物理的・化学的性質などが大きな影響を及ぼす。これに対し管路側は、管が管路として長距離にわたって電氣的につながっているかどうか腐食に対し大きな因子となる。土壤は埋設管路に沿って、一様な組成・性状を示すものではなく、その差異に基づき、酸素濃淡などの局部電池を形成する可能性が高い。従って、それらの土壤を貫いて電氣的連続体となった場合は、長大電流(Long Line Current)が生じ、それが流出する部分において非常に激しい腐食を生じることがある。このような現象は、継手部が溶接などで接合された鋼管管路で認められる場合が多い。

一方、ダクタイル鉄管管路の継手部は、ゴム輪を介して接合されているため、管路として電氣的な抵抗体となっており、長大電流が発生しにくい構造である。また、この特性により、土壤中に迷走電流が存在する場合でもダクタイル鉄管管路は影響

を受けにくい。

ダクタイル鉄管管路の耐食性は、実管路における過去の腐食による漏水事故の統計などに示されている。図表2-2-3-25～27に参考データを示す。

●図表2-2-3-25 各管種の平常時事故率

管種	継手 <sup>注1</sup>		管路数	延長 (km)	事故数 (件) (3年間)	事故率 (件/km) (3年間)	事故の種類別事故数					管種別 事故率 (件/km) (3年間)	管種別 事故率 (件/km/年)
							継手の 緩み <sup>注2</sup>			亀裂	腐食		
							(1)	(2)	(3)				
石綿 セメント管	直管	異形管	283	39.62	37	0.934	1	1	—	35	0	1.21	0.40
		CA							G				
	CS	CS	14	1.49	3	2.013	0	0	—	3	0		
	CS	G	1	0.07	0	0	0	0	—	0	0		
	G	G	515	80.33	107	1.332	24	2	—	81	0		
鋳鉄管	SO		2701	439.22	416	0.947	—	—	62	338	16	0.74	0.25
	M		1280	200.09	54	0.270	—	—	3	47	4		
ダクタイル 鉄管	SO		6	1.07	0	0	—	—	0	0	0	0.05	0.02
	M		5026	740.06	37	0.050	—	—	4	32	1		
鋼管	SO		57	10.32	15	1.453	—	—	1	1	13	0.83	0.28
	W		79	11.67	0	0	—	—	0	0	0		
	SC		164	12.29	14	1.067	—	—	2	6	6		
硬質塩化 ビニル管	TS		184	30.75	45	1.463	—	—	40	5	0	1.48	0.49
	RR		3	0.36	1	2.777	—	—	0	1	0		

注1 継手の記号

管種	継手	
石綿セメント管	CA	石綿セメント継手
	CS	鋼板製継手
	G	鋳鉄製継手(ギボルト)
鋳鉄管	SO	ソケット継手(印籠)
	M	メカニカル継手
ダクタイル鉄管	SO	ソケット継手(印籠)
	M	メカニカル継手
鋼管	SO	ソケット継手(印籠)
	W	溶接継手
	SC	ねじ込み式継手
硬質塩化ビニル管	TS	接着継手
	RR	ゴム輪型継手

注2 継手の緩み

- (1) 石綿セメント管直管部
- (2) 石綿セメント管異形管部
- (3) 石綿セメント管以外

備考 1983～1985年度の全国20事業者の集計である。

「水道管路更新システム開発調査報告書」(厚生労働省)より

●図表2-2-3-26 各管種の平常時事故率(東京都水道局)

(単位: 件/km/年)

事故内容		昭和56年度		昭和57年度		昭和58年度		3力年平均	
		件数	事故率	件数	事故率	件数	事故率	件数	事故率
自然漏水管体事故 (破損・腐食・継手)	铸铁管	1101	0.0874	933	0.0730	1207	0.0934	1080.4	0.0846
	内FCC、FCM	1058	0.2067	896	0.1842	1165	0.2544	1039.7	0.2142
	内FCD	43	0.0057	37	0.0047	42	0.0050	40.7	0.0051
	鋼管	63	0.2704	53	0.2284	50	0.2174	55.3	0.2387
	石綿管	188	0.3118	146	0.2561	165	0.3107	166.3	0.2928
小計		1352	0.1006	1132	0.0834	1422	0.1039	1302.0	0.0959
その他	弁類・消火栓等	2636	0.1961	2199	0.1620	1861	0.1360	2232.0	0.1645
	他企業関連事故等	712	(0.0530)	639	(0.0471)	548	(0.0400)	633.0	(0.0467)
合計		4700	0.3497	3970	(0.2924)	3831	0.2799	4167.0	(0.3071)

備考 事故率については、それぞれの年度末管路延長で計算した。他企業関連事故はそのときの他企業の工事量、東京という都市の特殊性によるところが多いため、関連するものを( )内に参考値として示した。

FCC: ソケット継手铸铁管

FCM: メカニカル継手铸铁管

FCD: ダクタイル铸铁管(メカニカル継手およびT形継手)

川北和徳「配水管破損事故における季節変動の実態とその分析」『水道協会雑誌』(1986年5月)より

●図表2-2-3-27 铸铁管および鋼管の腐食事故総件数総括表(東京ガス・大阪ガス)

管種	東京ガス 7年間(昭和30年4月～38年4月(32年は除く))			大阪ガス 10年間(昭和30年4月～42年3月(31、36年は除く))		
	配管延長	事故総件数	配管1km当たり 事故件数	配管延長	事故総件数	配管1km当たり 事故件数
铸铁管	7162km	84件	0.012件/km/7年	5968km	61 <sup>(3)</sup> 件 <sup>注1</sup>	0.010件/km/10年 (0.0005) <sup>注1</sup>
鋼管	492km	119件	0.242件/km/7年	1364km	360 <sup>(67)</sup> 件 <sup>注1</sup>	0.264件/km/10年 (0.049) <sup>注1</sup>

注1 ( )内の数字は電食事故件数を示す。

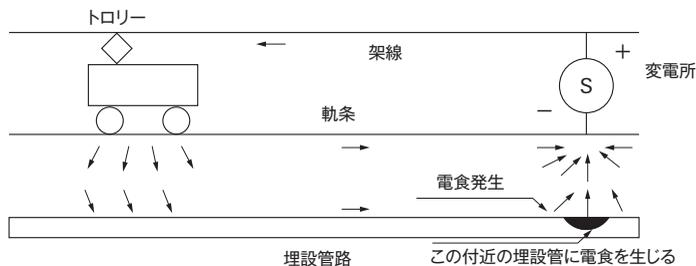
「埋設管路の腐食原因とその防食について J D P A T11」(日本ダクタイル鉄管協会)より

## 2-2-4 耐電食性

### 1 電食の原理

一般に埋設された金属体に測定し得る程度の電流が流れ、これにより金属体が腐食される現象を電解腐食、略して電食という。電食は主に電鉄軌条からの漏洩電流により発生する(図2-2-4-1)。

●図表2-2-4-1 電鉄による電食概念図



電食防止対策としては、以下のような種々の方法がある。

- ・ 絶縁物による遮蔽<sup>しやへい</sup>
  - 遮蔽物の設置
  - 絶縁物の被覆 (プラスチック被覆: ポリエチレンスリーブ法、ポリエチレンコーティングなど)
- ・ 電気伝導体による遮蔽
- ・ 排流法 (選択排流法、強制排流法)

## 2 耐電食性

ダクタイル鋳鉄は図表2-2-4-2のように鋼に比べて比抵抗が比較的大きく、さらに、ダクタイル鉄管はゴムを介して接続されるため、管路として電気的な抵抗体となるので電食の影響を受けにくい。

●図表2-2-4-2 ダクタイル鋳鉄と鋼の比抵抗

(単位:  $\mu\Omega \cdot m$ )

材 質	比抵抗
ダクタイル鋳鉄	0.5~0.7
鋼	0.1~0.2

## 3 継手部の電気抵抗値

ダクタイル鉄管管路の継手部は、管1本ごとにゴム輪を介して接合されているため、いずれの継手部も高い電気的接触抵抗を持っている。従って、管路は1本ごとに電気的に不連続となり、迷走電流の帰路になりにくく電食を受けにくい。代表的な接合形式における継手部の電気抵抗値を図表2-2-4-3に示す。

●図表2-2-4-3 継手部の電気抵抗値

(単位：Ω)

接合形式	継手部の電気抵抗値
GX形	3000以上 <sup>注1</sup>
NS形	3000以上 <sup>注2</sup>
S形	100～300 <sup>注2</sup>
US形	100～200 <sup>注2</sup>
K形	1000以上 <sup>注2</sup>
T形	1000以上 <sup>注2</sup>
U形	100～300 <sup>注2</sup>

注1 JDPA調べによる。

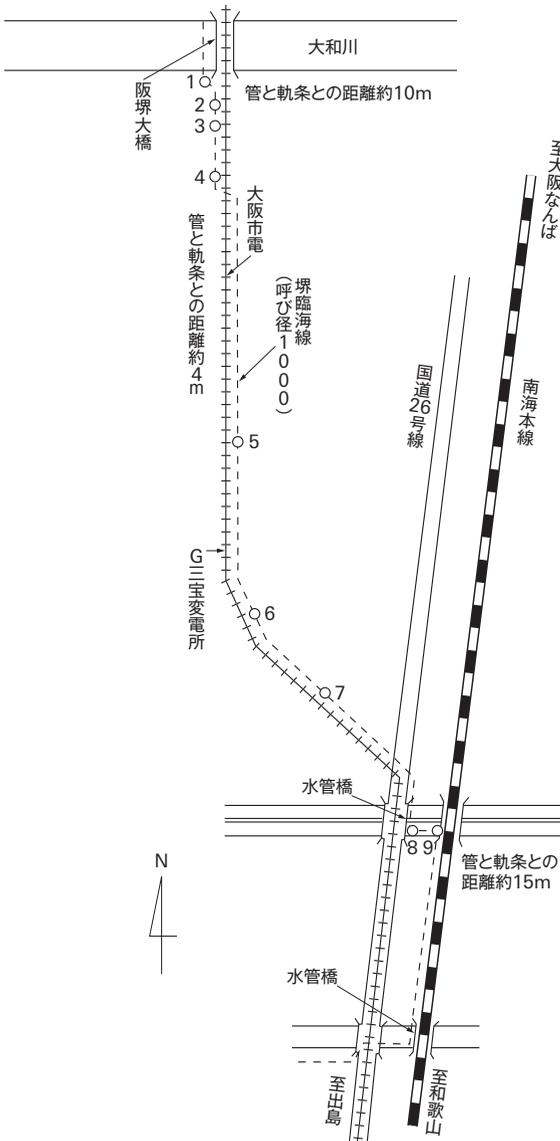
注2 関西電食防止対策委員会『電食防止対策のてびき(第6版)』(文献社、2009年)による。

## 4 耐電食性調査結果

関西電食防止対策委員会水道管小委員会は、大阪府営工業用水道(現大阪広域水道企業団工業用水道)堺臨海線の最も電食の可能性が高いと思われる地域について、電氣的測定を行った結果を次のように報告している。

- ①測定地点No.1、5、6、7、9の各地点における自然状態での対地電位は、-500～-580mV(対硫酸銅標準電極)であり、ほぼ鉄鋼材料の自然電位を示している。
- ②各地点における管路の自然状態での対地電位は変動を示さず一定の値で安定している。
- ③朝夕のラッシュ時と昼間の閑散時とで、管路の自然状態での対地電位は変化しない。
- ④変電所のすぐ近くと変電所から若干離れた地点における管路の自然状態での対地電位には特別目立った差異はない。
- ⑤以上①～④から、この管路は電車軌条と並行して埋設されているのにもかかわらず、そのレールからの迷走電流の影響を受けることはなく、この調査に含まれる範囲では電食の危険性はほとんどないものといえる。これは、この管路を形成している鑄鉄管がメカニカル継手で接続されており、一本の完全なLong Lineを形成していないことが原因と考えられる。
- ⑥管路と軌条をボンドすると、流れる電流に応じて管の対地電位は変動するが、これは軌条の電位がほぼそのまま鉄管の対地電位に現れてきたものと考えられる。

● 図表2-2-4-4 大阪府営工業用水道堺臨海線(呼び径1000)堺付近管路図



備考 図内の1～9は管路のマンホール的位置を示す。

「大阪府営工業用水道堺臨海線電食調査結果報告書」(関西電食防止対策委員会水道管小委員会、1954年2月)より

## 2-2-5 耐震性

## 1 耐震継手管路の特徴

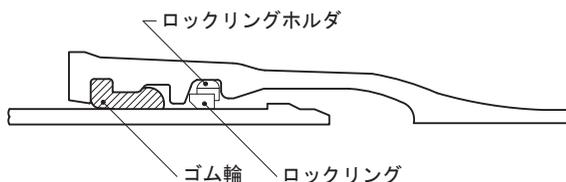
## ① 継手部の機能と管路の挙動

K形やT形などの管路では、大きな地震や他の埋設物工事など埋設環境の大きな変化を受けた場合などに継手が離脱する被害が発生してきた。いつでも安定した水供給を可能とするためには、伸縮離脱防止継手を有するダクタイル鉄管の布設が有効である。

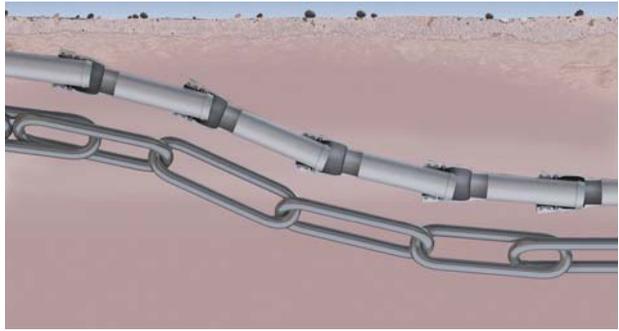
伸縮離脱防止継手の例として、最も多く使用されているGX形の継手構造を図表2-2-5-1に示す。継手部は伸縮・屈曲でき最終的に受口内面にセットされたロックリングが挿し口突部に引っ掛かることによって継手の離脱を防止する構造となっている。

このように伸縮・屈曲、離脱防止機構を有する継手を使用した管路は、図表2-2-5-2のように地盤沈下や地盤亀裂などの大きな地盤の動きに対しても柔軟に順応でき、あたかも地中に埋められた鎖のように挙動することから、「鎖構造管路」と呼ばれている。図表2-2-5-3には管路の吊上げ試験状況を示す。管路は地盤の大きな変位を吸収できることが分かる。

## ●図表2-2-5-1 GX形の継手構造



●図表2-2-5-2  
鎖構造管路の概念図



●図表2-2-5-3  
GX形の  
吊上げ試験状況



## ② 接合形式と継手性能

伸縮離脱防止継手および離脱防止継手の接合形式と継手性能を図表2-2-5-4に示す。離脱防止力は、いずれも3DkN(D:呼び径)であり、例えば呼び径500の場合は $3 \times 500 = 1500\text{kN}$ の引張力(乗用車1台分の重さを約6.86kN(約700kg)とすると、約218台分を吊り上げる力に相当)に耐える。なお、UF形や耐震継手にライナを装着した直管は異形管部で水圧による不平均力によって管路が動かないように一体化する用途に用いられ、継手部は伸縮できない。

●図表2-2-5-4 伸縮離脱防止継手および離脱防止継手の接合形式と継手性能の例

接合形式	一般的な用途	離脱防止力 (kN)	伸縮量 (mm)
GX形、NS形、 NS形(E種管)、S50形、S形	開削工法	3D	±L/100
UF形	異形管防護	3D	0
US形	開削工法、推進工法、 トンネル内配管工法	3D	+L/100
PⅡ形、PN形、 PN形(JP方式及びCP方式)	PIP工法、 トンネル内配管工法	3D (PⅡ形は1.5D)	+L/100

備考 D:呼び径 L:管長(mm)

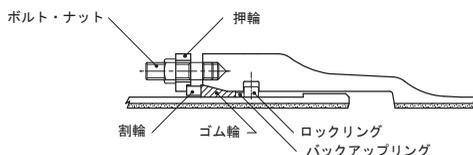
## 2 地震時の管路挙動観測による耐震性の検証

## 1 地震時の管路挙動観測

青森県八戸市はメーカー（製造業者）と共同で1975（昭和50）年5月から耐震設計に基づいて布設された白山浄水場系S形管路の安全性の確認、耐震研究の資料収集を目的として地震時の地盤および管路の挙動観測を行っている。S形は、図表2-2-5-5に示すように継手部で引張り、圧縮、曲げ方向に対して広い範囲にわたって自由に動き、挿し口突部とロックリングとの掛かり合いによる離脱防止機能を有している。

観測所は、幹線、白山浄水場内、下長の3カ所に設置されている（図表2-2-5-6）。1977（昭和52）年7月より観測を始めた下長観測所（S形呼び径1000の管路）の測定計器を図表2-2-5-7に示す。地盤については管路位置で60mの正三角形各頂点の3カ所に地震計（加速度、速度、変位：X・Y方向）、60m間隔の2カ所に地盤ひずみ計（2点）と地表面下約45mに地震計（加速度：X・Y方向）を設置し、管路については60m間隔の2カ所に管体加速度計（X・Y方向）、管体ひずみ計（左・右）、継手部伸縮計（4点）を設置しており、総数42チャンネルを同時測定できる。

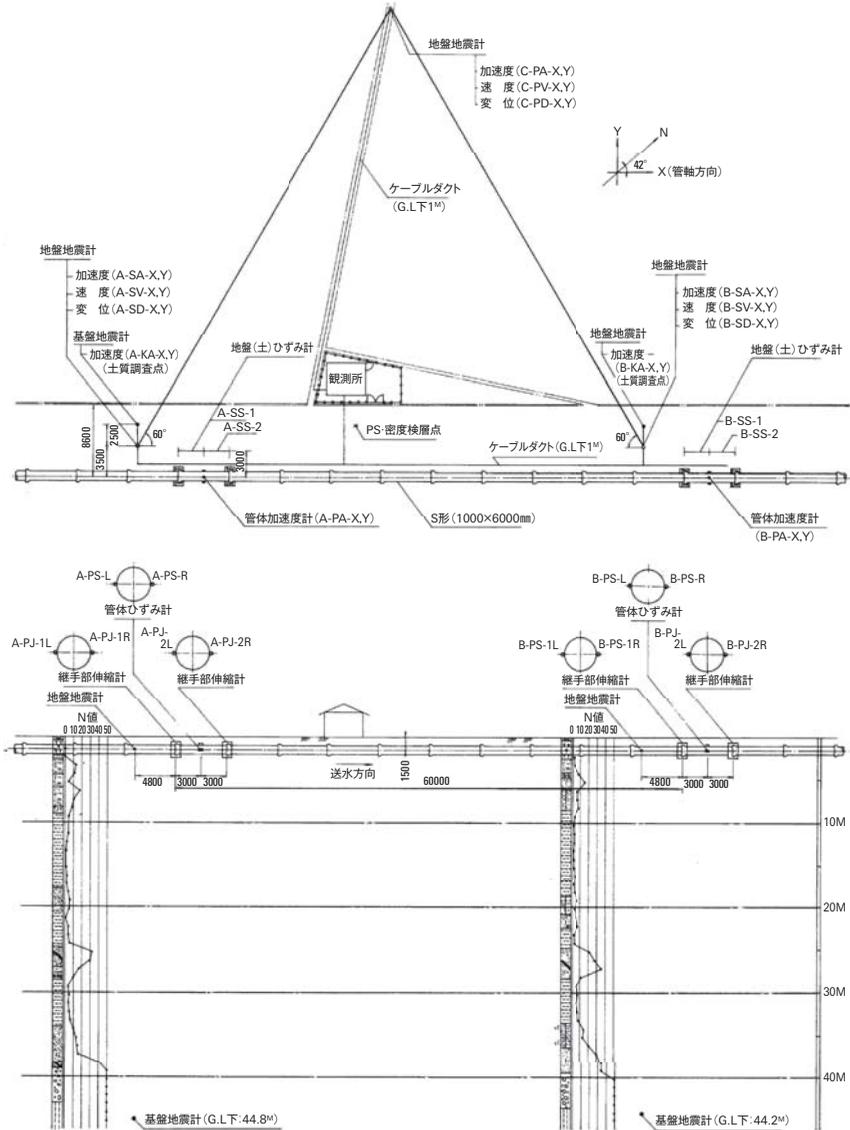
●図表2-2-5-5 S形の構造



●図表2-2-5-6 八戸市の観測所位置図



●図表2-2-5-7 下長観測所の測定計器



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

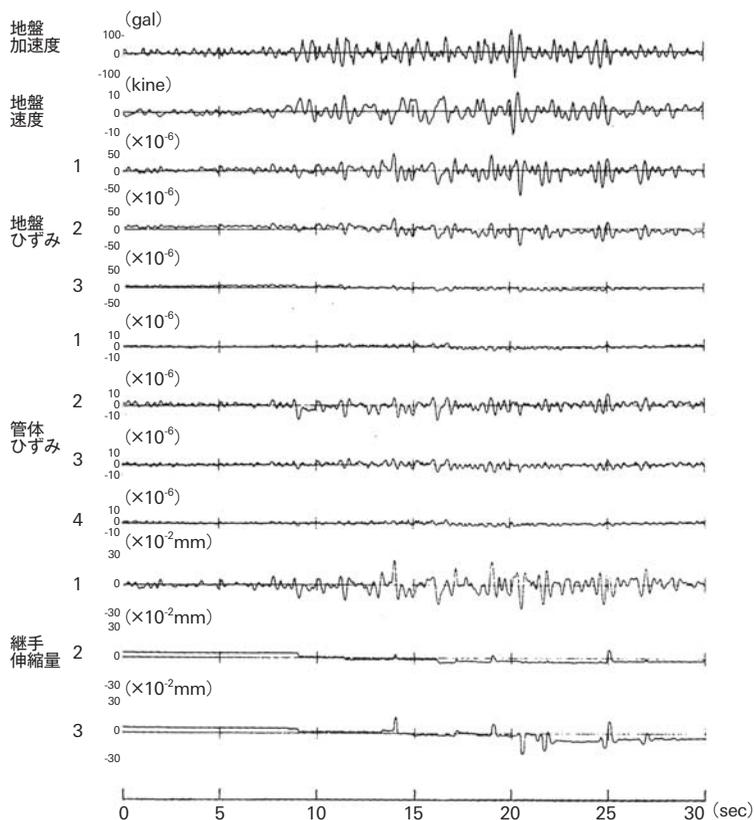
## ② 地震時の地盤および管路の挙動

宮城県沖地震(1978<昭和53>年6月12日17時14分)時に幹線観測所で得られた波形の一部を図表2-2-5-8に示す。

波形は上より地盤加速度、地盤速度、地盤ひずみ、管体ひずみ、継手伸縮量を示しており、次のことが分かる。

- ・ 地盤ひずみの波形から地盤が伸縮する変形挙動が分かる。
- ・ 管体ひずみ、継手部の伸縮は地盤ひずみと同一の位相、挙動を示している。
- ・ 管体ひずみの波形より、管体は引張り、圧縮力を受け、同一時刻で継手部も伸縮している。
- ・ すなわち、地盤のひずみが管体にひずみを発生させ、また、管体に発生したひずみ(力)を継手部の伸縮で逃がしていることが分かる。

●図表2-2-5-8 記録波形の一例(宮城県沖地震：1978<昭和53>年6月12日17時14分、M7.4)

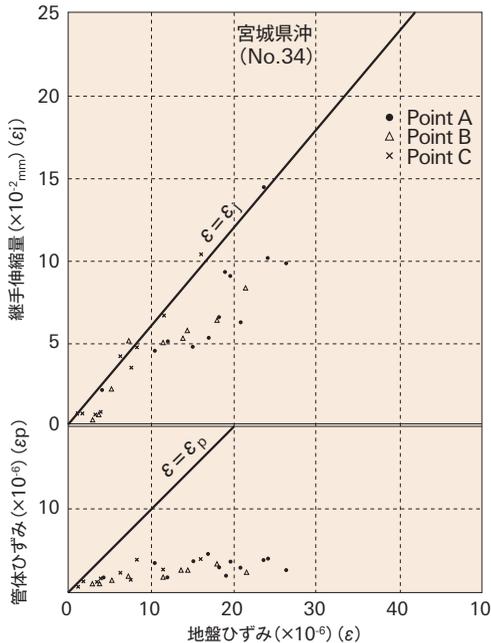


また、地盤ひずみと管体ひずみ、継手伸縮量の関係を見るために、宮城県沖地震の波形で同一時刻に読み取ったものを図表2-2-5-9に示す。図中で、 $\varepsilon = \varepsilon_p$ の線は地盤ひずみを全て管体で受け持ったと仮定した場合、 $\varepsilon = \varepsilon_j$ の線は地盤ひずみを全て継手部で受け持ったと仮定した場合を示す。この図より、次のことが分かる。

- ・ 地盤のひずみが大きくなると、継手伸縮量が大きくなる。
- ・ 一方、管体ひずみはある一定値以上大きくならない。
- ・ すなわち、管路に発生するひずみ(力)をほとんど全て継手部で逃がしていることが分かる。

宮城県沖地震などにおいて、地盤と管路の挙動関係が明確になり、伸縮離脱防止継手は地盤の変形を継手部で逃がすので、地震に対して非常に有効であることが分かった。

● 図表2-2-5-9 地盤ひずみによる管体のひずみと継手部の伸縮

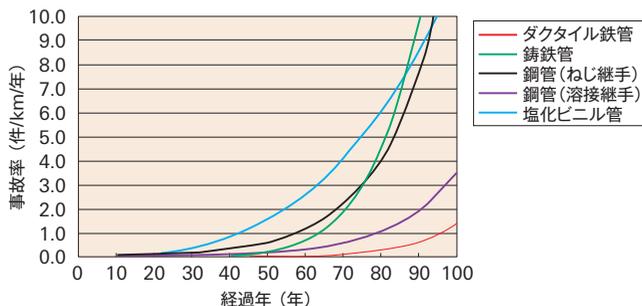


## 2-2-6 長期耐久性

## 1 経年管の事故率（他管種との比較）

経年管の事故率を図表2-2-6-1に示す。ダクタイル鉄管（一般継手）の平常時の事故率は他管種に比べて非常に小さい値である。

## ●図表2-2-6-1 管種別布設年数と事故率



管種	基準状態（呼び径区分）
ダクタイル鉄管	ポリエチレンスリーブなしおよび良い地盤（呼び径50～250）
铸铁管	良い地盤（呼び径75～250）
鋼管	ねじ継手および良い地盤（呼び径50～150）
	溶接継手および良い地盤（呼び径200～450）
塩化ビニル管	TS継手および良い地盤（呼び径100～150）

水道技術研究センター「持続可能な水道サービスのための管路技術に関する研究（e-pipeプロジェクト）報告書」（2011年）より

## 2 経年管の機械的性質

長期間使用後（115年・45年間）の铸铁管、ダクタイル鉄管の機械的性質の試験結果（テストピース採取）を図表2-2-6-2、3に示す。長期間使用後も、引張強さおよび伸びとも当時の仕様書の規定値を十分満足している。これらから分かるように、材質そのものが劣化することはない。

## ●図表2-2-6-2 長期間使用後(115年後)の鑄鉄管の引張試験結果

No.	直径 (mm)	面積 (mm <sup>2</sup> )	最大荷重 (kgf)	引張強さ (kgf/mm <sup>2</sup> )
No.1	4.02	12.7	178.6	14.1
No.2	4.02	12.7	214.3	16.9
No.3	4.02	12.7	183.7	14.5

備考 (参考規格) 大正3年 上水協議会 鑄鉄管仕様標準より

「抗張試験 1平方インチに付1万8千ポンドよりも少なからずを要す」(換算すると12.7kgf/mm<sup>2</sup>となる)

谷賢二他(横浜市水道局)「日本最古の水道管調査—普通鑄鉄管(15.5インチ管印籠継手)の管体調査報告—」『工業用水』第537号(2003年6月)より

●図表2-2-6-3 長期間使用後(45年後)のダクタイル鉄管<sup>注1</sup>の引張試験結果

試験片 採取位置	試験片	引張強さ (N/mm <sup>2</sup> )	伸び (%)	ブリネル硬さ <sup>注2</sup> (HB)
受口側	No.1	404	7.1	152
	No.2	399	7.1	163
	No.3	429	7.8	156
	平均	411	7.3	157
中央部	No.1	413	9.5	137
	No.2	427	11.5	143
	No.3	418	10.5	140
	平均	419	10.5	140
挿し口部	No.1	397	8.5	149
	No.2	425	8.8	156
	No.3	433	10.2	146
	平均	418	9.2	150
当時の規定値 <sup>注3</sup>		353以上	5以上	230以下



注1 国内最初の遠心力鑄造法によるもの(呼び径700)。

注2 仕様書では、ブリネル硬さについての規定をしていなかったため、JIS G 5526-1998(ダクタイル鑄鉄管)に照らして試験を行った。

注3 仕様書では、「1溶解に試験片を3個とり、そのうち2個以上の抗張力が36kg/mm<sup>2</sup>(353N/mm<sup>2</sup>)以上、伸び5%以上でなければならぬ」と規定していた。

横田明他(桂沢水道企業団)「国内最初の遠心力鑄造法によるダクタイル鑄鉄管の調査」『水道協会雑誌』Vol.73, No.9(2004年9月)より

### 3 経年管の継手性能

53年間使用されたダクタイル鉄管（A形呼び径700）の継手部に地震時の揺れや地盤沈下を想定した実験を行った。継手に管軸方向の変位ならびに曲げ変位を、おのおの繰り返し与えた状態で水圧を負荷し、水密性能を調査した。その結果、図表2-2-6-4に示す通り、いずれの場合も漏水を生じず、高い水密性能を保持していることを確認した。

#### ●図表2-2-6-4 水密性能試験結果（A形呼び径700）

条 件	繰返し回数	負荷水圧、時間	結 果
繰返し伸縮 ±32.5mm <sup>注1</sup>	10回	水圧0.85MPaを負荷し5分間保持	漏水なし
繰返し屈曲 ±2° 30' <sup>注2</sup>	10回	水圧0.85MPaを負荷し5分間保持	漏水なし

注1 32.5mmは、A形呼び径700の真直配管時最大伸び幅65mmの1/2に相当する。

注2 2° 30' は、A形呼び径700の許容曲げ角度

宮崎俊之、丹羽真一（桂沢水道企業団）「国内最初の遠心力鑄造法によるダクタイル鑄鉄管の調査 - 53年間埋設後の調査結果 -」『全国会議（水道研究発表会）講演集』（日本水道協会、2013年）より

38年間使用されたダクタイル鉄管（S形呼び径1000）の離脱防止性能を調査した。このダクタイル鉄管は過去に震度6以上の地震を2回経験している。

#### ●図表2-2-6-5 供用期間中に発生した地震の回数（八戸市）

震 度	発生回数
4	35
5	7
6	2

備考 1975年以降に発生した震度4以上のもの。

継手に3DkN（D：呼び径）相当の引張力3000kNを19回負荷し、20回目に4DkN相当の引張力4000kNを与えたが、図表2-2-6-6に示す通り、引張力を繰り返し負荷しても継手に異常はなく、埋設当時と同じ性能を保持していることを確認した。

#### ●図表2-2-6-6 繰返し離脱防止試験結果

負荷条件	結 果
引張力3000kNを19回負荷	異常なし
引張力4000kNを1回負荷	異常なし

内宮靖隆、古川勲（八戸圏域水道企業団）「耐震管S形ダクタイル鉄管φ1000（38年間埋設）の調査結果」『全国会議（水道研究発表会）講演集』（日本水道協会、2013年）より

## 2-3

## ゴム輪

## 2-3-1 ゴム輪の物性

ゴム輪は、「JIS K 6353-1997 水道用ゴム」「JIS G 5526 ダクタイル鋳鉄管」「JIS G 5527 ダクタイル鋳鉄異形管」「JCPA A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」により規定されている(図表2-3-1-1、2)。

一般的に「JIS K 6353 水道用ゴム」においては水道用のゴム輪の材質をSBR(スチレンブタジエンゴム)、NBR(アクリロニトリルブタジエンゴム)、BR(ブタジエンゴム)、CR(クロロプレンゴム)、EPR(エチレンプロピレンゴム)などの合成ゴムまたはNR(天然ゴム)としているが、ダクタイル鉄管のゴム輪の材質には、通常、SBRを用い、下水道などで油、薬品、熱などの影響のある場合は、EPDM(エチレンプロピレンゴムと第3成分との共重合体)またはNBRを用いる。この場合、EPDMは、GX形、NS形、S形、PN形、PⅡ形、T形およびフランジ形に適用する。

## ●図表2-3-1-1 ゴム輪などの物性

接合形式	名称		種類の記号 <sup>注1</sup>	圧縮永久ひずみ(%以下)	浸漬試験による質量変化率(%以内)	静的オゾン劣化試験	
GX形	ゴム輪 (直管用、P-Link用)	バルブ部	呼び径 75～250	60	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
			呼び径 300・400	I A・55	20	+7 0	
		ヒール部	Ⅲ・80	—	+15 0	—	
	ゴム輪 (異形管用)	丸部	I A・55	7	—	—	
角部		I A・70	20	—	—		
NS形	ゴム輪 <sup>注2</sup>	バルブ部	呼び径 75～450	I B・50	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
			呼び径 75～250	Ⅲ・80	—	+15 0	
		ヒール部	呼び径 300～450	90	—	+15 0	—

接合形式	名称		種類の記号 <sup>注1</sup>	圧縮永久ひずみ (%以下)	浸漬試験による質量 変化率(%以内)	静的オゾン 劣化試験	
NS形	ゴム輪 <sup>注3</sup>	丸部	呼び径 75~450	I A・55	7	—	—
			呼び径 500~1000	I A・50	7	—	—
		角部	呼び径 75~1000	I A・70	20	—	—
	ロックリング心出し 用ゴム <sup>注4</sup>	突部		I B・50	—	—	—
		リング部		Ⅲ・80	—	—	—
	ロックリング心出し用ゴム <sup>注5</sup>			Ⅲ・80	—	—	—
	ライナ心出し用ゴム		I B・50	—	—	—	
S形、 US形、 UF形、 K形、 U形	ゴム輪	丸部		I A・55	7	—	—
		角部		I A・70	20	—	—
US形	ロックリング絞り用ゴム			Ⅲ・60	—	—	—
PN形、 PⅡ形	ゴム輪	バルブ部		I B・50	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
		ヒール部		Ⅲ・80	—	+15 0	—
T形	ゴム輪	バルブ部	呼び径 75~600	I B・50	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
		ヒール部	呼び径 75~600	Ⅲ・80	—	+15 0	—
		呼び径700~2000		I B・65	20	+7 0	目視で確認できる亀裂などの異常があつてはならない
フランジ形	ガスケット	RF形		Ⅲ・60	—	—	—
		GF形		I A・55	20	—	—

注1 種類の記号は、図表2-3-1-2による。

注2 呼び径75~250の直管及び異形管、呼び径300~450の直管に適用する。

注3 呼び径75~250の継ぎ輪及び帽、呼び径300~450の異形管、  
呼び径500~1000の直管及び異形管に適用する。

注4 呼び径75~250の直管及び異形管、呼び径300~450の直管に適用する。

注5 呼び径300~450の異形管に適用する。

〔JDP A 3000-2017 ダクタイル鑄鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—〕より

●図表2-3-1-2 種類の記号と物性

種類の記号	デュロメータ硬さ (HA (タイプA))	引張試験					促進老化試験		
		7.0MPa 荷重時の伸び (% (以下))	引張強さ (MPa (以上))			伸び (% (以上))	引張強さ変化率 (% (以内))	伸び変化率 (% (以内))	デュロメータ硬さの変化 (HA (以内))
			SBR	EPDM	NBR				
IA・50	50±5	400	18	14	16	400	-20	+10 -30	+7 0
IA・55	55±5	350 <sup>注1</sup>	18	14	16	400	-20	+10 -30	+7 0
IA・70	70±5	200	18	14	16	300	-20	+10 -20	+7 0
IB・50	50±5	400 <sup>注2</sup>	18	14	16	450	-40 <sup>注3</sup>	+10 <sup>注3</sup> -40 <sup>注3</sup>	+5 0
60	60±5	—	18	14	16	450	-40	+10 -40	+5 0
IB・65	65±5	—	18	14	16	450	-40	+10 -40	+5 0
Ⅲ・60	60±5	300	12	12 <sup>注4</sup>	12	300	-25 <sup>注4</sup>	—	+7 <sup>注5</sup> 0 <sup>注5</sup>
Ⅲ・80	80±5	150 <sup>注6</sup>	12	12	12	280	—	—	+5 0
90	90±5	—	12	12	12	280	—	—	+5 0

注1 GX形ゴム輪呼び径300・400 (直管用及びP-Link用) のバルブ部には適用しない

注2 NS形、PN形、PⅡ形及びT形ゴム輪のバルブ部には適用しない。

注3 NS形ロックリング心出し用ゴム及びライナ心出し用ゴムには適用しない。

注4 US形ロックリング絞り用ゴムには適用しない。

注5 RF形ガasketには適用しない。

注6 GX形ゴム輪 (直管用及びP-Link用)、NS形、PN形、PⅡ形及びT形ゴム輪のヒール部には適用しない。

「JDP A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」より

## 2-3-2 ゴム材料の種類

### 1 SBR (スチレンブタジエンゴム)

天然ゴムの性質の大略を受け継ぎ、天然ゴムの欠点である耐候性、耐老化性を改善した合成ゴムの一種で、次のような特性がある。

- ・ 加硫されたゴム弾性体としての機械的性質は優れており、耐候性、耐老化性は天然ゴムより良好である。
- ・ 耐油性は天然ゴムに比べると良い。

- ・耐寒性は良好で、耐熱性も天然ゴムより優れている。
- ・バクテリアの侵食がない。

## 2 EPR (EPM、EPDM) (エチレンプロピレンゴム)

耐オゾン性、耐候性に優れていて、化学的にはエチレンとプロピレンのゴム状共重合体 (EPM) またはエチレンとプロピレンと第3成分の共重合体 (EPDM) がある。この両者を称してEPRという。

- ・耐オゾン性に優れている (CRより良好)。
- ・耐候性、耐熱老化性、耐熱性、耐寒性、耐薬品性、電気絶縁性に優れている。
- ・加工性は汎用ゴムに比べてやや難点があるといわれている。

## 3 NBR (アクリロニトリルブタジエンゴム)

CRと同様に比較的古くから開発されたゴムである。アクリロニトリルとブタジエンの共重合体で下記の性質を持つ。

- ・耐油性に優れている。
- ・耐熱老化性に優れている。
- ・耐候性はあまり良くない。

## 4 CR (クロロプレンゴム)

物理的性質、化学的性質のバランスが良いといわれるゴムで下記の性質を持つ。化学構造的には、天然ゴムのイソプレンによく似た化学構造を持つクロロプレンの重合体である。

- ・耐候性、耐オゾン性、耐熱老化性に優れている。
- ・耐油性、耐薬品性が良好である。
- ・長時間低温に曝すと、ゴムが結晶化して固くなる性質がある。

## 5 NR (天然ゴム)

代表的なゴム弾性体であり、下記のような性質を備えている。

- ・ 引張強さ、伸び、永久変形などの性質は適当な配合、加硫を行えば優れたものが得られる。
- ・ 耐候性はあまり良くないが、埋設された場合の耐久性は良好である。
- ・ 耐老化性も一般にはあまり良くないが、配合によって改善することができる。
- ・ 耐油性はあまり良くない。特に鉱物油に対しては弱い。しかし、水溶性の物質や無機質に対する抵抗力は優れている。
- ・ 耐寒性は良いが、耐熱性はあまり良くない。
- ・ 微生物によって侵食されることがある。

●図表2-3-2-1 ゴム材料の物性および特性

物性および特性		SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
加硫ゴム	硬度 (JISA)	35～100	40～90	20～100	20～90	20～100
	引張強さ MPa (kgf/cm <sup>2</sup> )	18～21 (180～210)	3～20 (30～200)	18～25 (180～250)	18～25 (180～250)	25～32 (250～320)
	伸び (%)	500～600	50～500	500～600	500～600	550～660
耐摩耗性		○	○	○	◎	◎
耐圧縮性		◎	◎	◎	◎	◎
耐屈曲性		○	○	○	◎	○
耐候性		△	◎	△	◎	△
耐引張性		○	○	○	○	◎
耐オゾン性		△	◎	○	○	△
耐ガス透過性		○	○	◎	◎	○
耐熱性		○	◎	◎	◎	△
耐寒性		○	◎	○	○	◎
比重		0.93	0.86	1.00	1.23	0.98

## 2-3-3 ゴム材料の耐薬品性

●図表2-3-3-1 ゴム材料の耐薬品性

凡例 ◎：優秀

○：実用上差支えない

?：使用時の条件により異なるため、実用に際しては検討を要す

×：使用不可

対象物名		SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
水	海水	◎	◎	◎	?	◎
	水(凝集回収)	◎	◎	◎	?	◎
	水(冷泉、酸化性物質含有)	◎	◎	◎	?	◎
	水(冷泉、酸化性物質無)	◎	◎	◎	?	◎
	下水汚物	?	?	◎	○	?
	蒸溜水	◎	◎	◎	?	◎
ガス体	空気	◎	◎	◎	◎	◎
	硫化水素(乾冷)	?	◎	?	○	?
	硫化水素(乾熱)	?	◎	?	○	?
	硫化水素(湿冷)	?	◎	?	○	?
	硫化水素(湿熱)	?	◎	?	○	?
	炭酸ガス(乾)	◎	◎	◎	◎	◎
	炭酸ガス(湿)	◎	◎	◎	◎	◎
	一酸化炭素	?	?	?	?	?
	水素(冷熱共)	○	◎	◎	◎	○
	アンモニアガス(冷)	◎	◎	◎	◎	◎
	アンモニアガス(熱)	?	◎	?	◎	?
	水蒸気(260℃以下)	◎	◎	◎	?	?
	水蒸気(260℃以上)	×	×	×	×	×
	発生炉ガス	×		◎	○	
	溶鉱炉ガス	?		?	?	?
ークス炉ガス	?	?	?	?	?	
天然ガス	○	×	◎	◎	○	

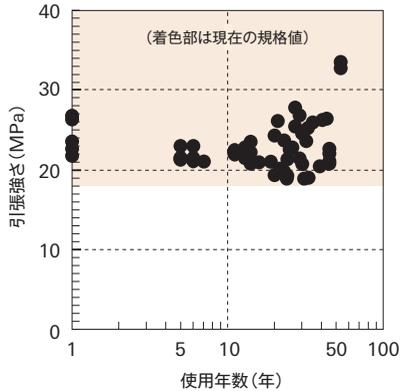
対象物名		SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
ガス体	アセチレン	◎	◎	◎	○	◎
	酸素(冷)	?	◎	?	◎	?
	酸素(260℃以下)	?	?	?	○	?
	酸素(260℃以上)	×	×	×	×	×
	亜硫酸ガス	?	?	?	?	?
酸 アルカリおよび塩類	塩酸(65℃以下)	○	◎	◎	○	◎
	塩酸(65℃以上)	×	◎	×	○	○
	硝酸(稀)	×	○	×	×	×
	硝酸(濃)	×	?	×	×	×
	磷酸(濃稀共)	○	◎ (50% RT)	?	?	?
	硫酸(10%以下)	◎	◎	◎	◎	◎
	硫酸(10~75%)	?	◎	?	?	?
	硫酸(75~95%冷)	?	◎	?	?	?
	硫酸(75~95%熱)	×	?	×	×	×
	発煙硫酸	×	×	×	×	×
	亜硫酸	?	?	?	?	◎
	酢酸	?	◎ (50% RT)	○	○	?
	フッ化水素酸(65%以上冷)	×	×	×	×	×
	アンモニア水	?	◎	?	?	?
	消石灰	◎	◎	◎	◎	◎
	苛性カリウム	◎	◎	◎	◎	◎
	塩化アンモン	◎	◎	◎	◎	
	硫酸アンモン	◎	◎	◎	◎	◎
	塩化カルシウム	◎	◎	◎	◎	◎
	食塩	◎	◎	◎	◎	◎
	芒硝	◎	◎	◎	◎	◎
	苛性ソーダ	?	◎	?	?	?
	ソーダ灰	◎	◎	◎	◎	◎
塩化マグネシア	◎	◎	◎	◎	◎	

対象物名	SBR	EPR EPM EPDM	NBR	CR	NR
ベンゾール	×	×	×	×	×
トリオール	×	×	◎	○	×
ベンジン、ナフサ、 石油、エーテル	×	?	×	×	×
ガソリン	×	×	◎	◎	×
灯油	?	×	◎	○	?
潤滑油	○	×	◎	◎	○
原油 (260℃以下)	?	×	◎	◎	?
原油 (260℃以上)	×	×	×	×	×
有機溶剤並びに油類 四塩化炭素	×	×	×	×	×
エーテル	?	○	?	?	?
アセトン	◎	○	×	?	○
メタノール	◎	◎	◎	◎	◎
石炭酸	×	×	×	?	×
二硫化炭素	×	×	×	×	×
アマニ油	?	×	◎	○	?
大豆油	?	×	◎	◎	?
クレオソートコールタール	×	×	◎	○	×
タール	?	×	?	?	?
アスファルト	×	×	○	○	×

## 2-3-4 長期耐久性

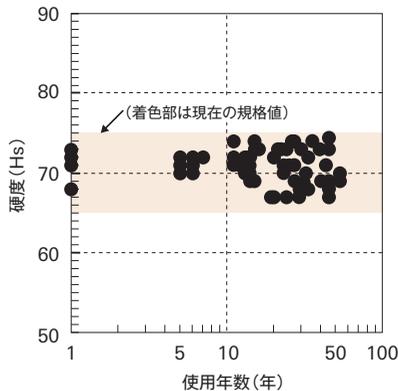
実際に使用されていた水道用ゴム輪（最大で53年間使用）の引張強さを図表2-3-4-1に、硬さを図表2-3-4-2に示す。引張強さおよび硬度は新品と変わらず、経年による大きな変化は認められない。

### ●図表2-3-4-1 ゴム輪の引張強さの経時変化



「ダクタイル鉄管の耐震性および長期耐久性」(日本ダクタイル鉄管協会)より

### ●図表2-3-4-2 ゴム輪の硬さの経時変化



「ダクタイル鉄管の耐震性および長期耐久性」(日本ダクタイル鉄管協会)より

## 2-3-5 水質衛生性

水道用ゴム輪の水質に及ぼす影響は「JIS K 6353-1997 水道用ゴム」「JWWA K 156 水道用ゴム」「JDP A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」で規定されている。

## ●図表2-3-5-1 水道用ゴム輪の浸出性

項目		基準
共通	味	異常でないこと <sup>注1</sup>
	臭気	異常でないこと <sup>注1</sup>
	色度	0.5度以下 <sup>注1</sup>
	濁度	0.2度以下 <sup>注1</sup>
SBR	亜鉛及びその他の化合物	亜鉛の量に関して0.1mg/L以下 <sup>注1</sup>
	有機物(全有機炭素(TOC)の量)	0.5mg/L以下 <sup>注1</sup>
	残留塩素の減量	0.7mg/L以下
EPDM	亜鉛及びその他の化合物	亜鉛の量に関して0.1mg/L以下 <sup>注1</sup>
	フェノール類	フェノールの量に換算して0.0005mg/L以下 <sup>注1</sup>
	有機物(全有機炭素(TOC)の量)	0.5mg/L以下 <sup>注1</sup>
	残留塩素の減量	0.7mg/L以下

1. フェノール類の基準については、水道施設の技術的基準を定める省令の附則(平成16年1月26日厚生省令第5号)抄 第3条による。
2. 新規に製造する場合、または原料ゴム及び配合剤を変更する場合に、水道施設の技術的基準を定める省令の別表二の全ての事項及び残留塩素の減量について、基準(図表2-3-5-1)に適合しなければならない。ただし、別表二の全ての事項及び残留塩素の減量も基準に合格することが確認できた材料、また減量ゴム及び配合剤が同一で、配合だけを変更する場合は、図表2-3-5-1で規定する項目の基準に適合すればよい。

注1 「水道施設の技術的基準を定める省令」(平成12年2月23日厚生省令第15号、平成26年2月28日改正)の別表第二による値を参考までに記載したものである。

「JDP A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」より

## 2-4

## ボルト・ナット

## 2-4-1 材料の種類

特殊で腐食性の強い地域に布設された管路のボルト・ナットにおいて、特異な腐食が生じる場合がある。これは、管体および押輪とボルト・ナットが局部電池を形成して犠牲的に侵食される現象に基づくものである。

この対策として、米国では「ANSI A21.11-90 Rubber-Gasket Joints for Ductile-Iron Pressure Pipe and Fittings」の中で、メカニカル継手用ボルト・ナットとして0.5%銅の鋳鉄ボルトまたは高張力の低合金鋼(0.25%ニッケル、0.20%銅、1.25%銅+ニッケル+クロム)を含むボルト)を使用するように規定している。

これに対し、日本では、この局部電池の形成を防止するため、ねじ山の機械加工を行った後、加熱酸化処理を実施し、黒皮を再生させた酸化被膜付ボルト・ナットが開発され、1976(昭和51)年にメカニカル継手(K形、KF形)に関するJCPA(日本鋳鉄管協会(現日本ダクタイル鉄管協会))規格の中で規定された。

その後、耐食合金として一般的に普及していたステンレス鋼(SUS304)製のボルト・ナットがダクタイル鉄管の接合用として普及したことを受け、1993(平成5)年に「JCPA G 1040 ダクタイル鋳鉄管用ステンレス鋼(SUS304)製ボルト・ナット」が制定され、翌年のSUS403の同規格への追加などを経て、2017(平成29)年の「JCPA A 3000 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品—共通仕様—」の制定に至っている。

## ●図表2-4-1-1 ボルト・ナットの材料

材 料	接合形式	接合部品
JIS G 4303、JIS G 4308、 JIS G 4309のSUS304、 SUS304J3、SUSXM7、 SUS304N1、SUS304N2 (以下、SUS304系という)	GX形、NS形、K形 <sup>注1</sup>	T頭ボルト・ナット
	S形	ボルト・ナット
	PN形、PⅡ形	ボルト
	NS形、US形、UF形、PN形、PⅡ形	セットボルト
	フランジ形	六角ボルト・ナット

材 料	接合形式	接合部品
本体のFCD (420-10) (以下、FCD (420-10) という)	US形、UF形、U形	ボルト・継ぎ棒
	K形	T頭ボルト・ナット
JIS G 3101のSS400、 JIS G 3505のSWRM材、 JIS G 3506のSWRH材または JIS G 3507-1の SWRCH材 (以下、SS400系という)	フランジ形	六角ボルト・ナット

注1 SUS304系のK形T頭ボルト・ナットは、JDPA G 1040による。

「JDPA A 3000-2017 ダクタイル鋳鉄管、異形管及び接合部品－共通仕様－」より

## 2-4-2 耐食性

腐食性埋設環境における各種ボルト・ナットの耐食性を比較すると、ステンレス鋼製ボルト・ナットは、図表2-4-2-1に示すように酸化被膜処理ボルト・ナットや合金ボルト・ナットなどに比べ優れている。

このため、ダクタイル鉄管の継手では、図表2-4-1-1のように多くの接合形式でステンレス鋼製ボルト・ナットを使用するように規定されている。

### ●図表2-4-2-1 腐食性埋設環境における腐食量

(単位：g)

種 類	埋設1年後		埋設3年後	
	ポリエチレンスリーブ		ポリエチレンスリーブ	
	なし	あり	なし	あり
酸化被膜処理ボルト・ナット	2.13	0.59	7.21	1.54
合金ボルト・ナット	2.40	0.52	7.52	1.46
ナイロン被覆ボルト・ナット	0.14	0.10	0.28	0.23
ステンレスボルト・ナット (SUS403)	0.07	0.06	0.58	0.47
ステンレスボルト・ナット (SUS304)	0.03	—	0.22	—

なお、管路の布設現場においてボルト・ナットの塗装を使用前に溶剤で溶かしたり、燃やして除去したりするなどの処置は、ボルト・ナットの腐食を促進することになるので、厳に慎まなければならない。

特に、腐食性の強い土壤地域にダクタイル鉄管を布設する際、土壤調査を実施した後、危険性が高いと判断された場合は、ポリエチレンスリーブ法を適用するか、さらにはナイロン被覆ボルト・ナットやステンレスボルト・ナットを使用するなどの対策を取ることが望ましい。