

地震と管路について

JDPA T 05



日本ダクティル鉄管協会



目次

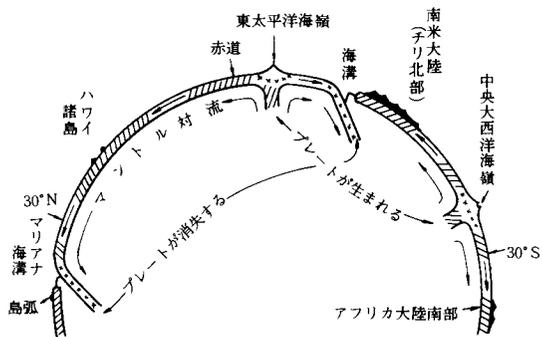
1. 地震について	1
1. 1. 地震の発生	1
1. 2. 地震の分類	2
1. 3. 地震の規模	2
1. 4. 地震の強さ	3
1. 5. 最近の主な被害地震	4
1. 6. 地震の起こる場所	7
1. 7. 地震現象	10
2. 地震と管路概要	11
2. 1. あらまし	11
2. 2. 地震時の管路挙動について	11
3. 振動実験および地震観測	13
3. 1. 振動実験について	13
3. 2. 八戸市における地震観測について	20
4. 耐震管路について	25
4. 1. 剛構造管路(主にねずみ铸铁管を用いた印ろう継手管路)	25
4. 2. 柔構造管路(主にダクタイル铸铁管を用いたメカニカル継手管路)	26
4. 3. 鎖構造管路	27
5. 耐震継手	29
5. 1. S 形	29
5. 2. S II 形	30
5. 3. NS 形	31
5. 4. US 形	32
5. 5. P II 形	33
5. 6. ボール式ダクタイル铸铁可とう管ユニット	35
6. 液状化対策	37
6. 1. はじめに	37
6. 2. 地盤の液状化とは	37
6. 3. 地下埋設管路の被害の状況	37
6. 4. 液状化対策管路	43
7. 兵庫県南部地震における管路被害事例	46
7. 1. はじめに	46
7. 2. 阪神・淡路大震災の上水道管路被害と地盤変状との関係	46
参考資料「水道の地震対策マニュアル(改訂版)」(抜粋)	52

1. 地震について

1. 1. 地震の発生

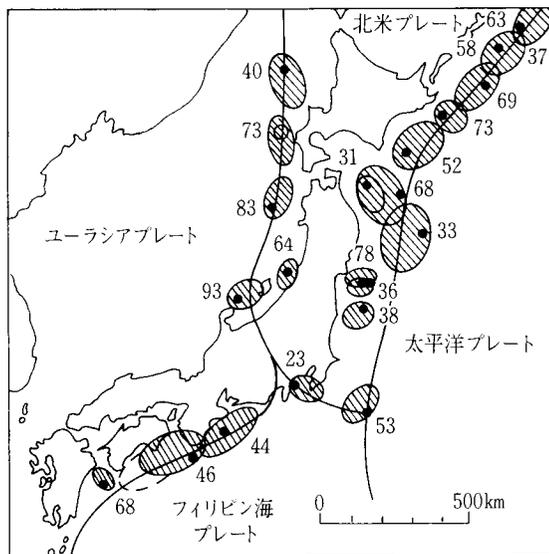
(1)プレートテクトニクス論⁽¹⁾

図-1-1 マントル対流とプレート



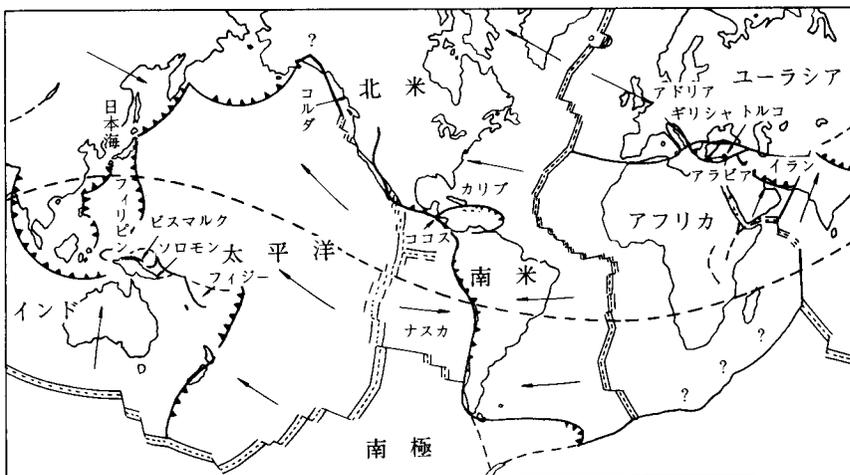
地球を切った断面上でのプレートの運動を示したもの。×印は地震の起こっている場所。

図-1-2 近年の地震活動⁽²⁾



図中の数字は発生年(西暦)の下2桁

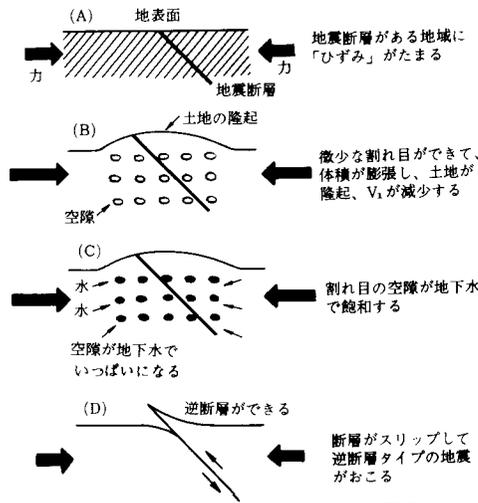
図-1-3 プレートの移動



地球上に想定されているプレートとその動き。アフリカプレートを不動にしてある。各海嶺の軸(点線)とその両側の実線との距離は、100万年間でのプレートの移動距離を示す。のこぎり印の線に沿ってプレートは沈み込んでゆく。

(2) ショルトツの理論⁽³⁾

図-1-4 ディラタンシイ・モデル



1. 2. 地震の分類

(1) 規模(M)による分類

- 大地震: $M \geq 7$ の地震
- 中地震: $7 > M \geq 5$ の地震
- 小地震: $5 > M \geq 3$ の地震
- 微小地震: $3 > M \geq 1$ の地震
- 極微小地震: $M < 1$ の地震

(2) 経過時間による分類

- 前震: 本震に先行して起こる地震
- 本震(主震): 最大の規模の地震が他に比して際立って大きい地震
- 余震: 本震後に引き続き発生する多数の地震

1. 3. 地震の規模

(1) マグニチュード(M)とは

I) リヒタ-による最初の定義

地震のマグニチュード M は震央距離 100 km の地点における Wood Anderson 型地震計 (固有周期 0.8 秒、減衰係数 $h=0.8$ 、倍率 2800 倍) の、記録紙上の最大振幅 (μm 単位) A の常用対数で表わす。

$$M = \log A$$

II) 気象庁

日本付近の地震(坪井)

$$M = \log A + 1.73 \log \Delta - 0.83$$

ただし、A: 最大地動振動(水平 2 成分を合成したもの、単位 μm)

Δ : 震央距離(単位 km)

III) 地震計の記録を用いないで推定する方法

震央距離 100 km の所における日本式震度階を用いて表わした平均震度をもって規模 M_k とする。

$$M = 0.5M_k + 4.85 \text{ (河角)}$$

$$M = 0.46M_k + 4.42 \text{ (宇佐美)}$$

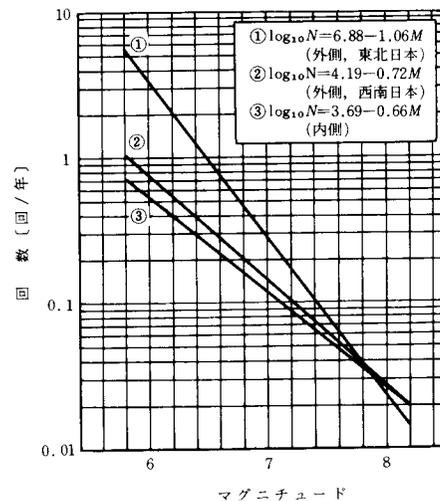
(2) エネルギーとの関係

$$\log E = 11.8 + 1.5M$$

ただし、E: 地震波として出されたエネルギー(単位エルグ = $10^{-7} J$)

(3) 発生頻度との関係

図-1-5 地震帯別地震発生頻度⁽⁴⁾



1. 4. 地震の強さ

(1) 震度階

表-1-1 震度階

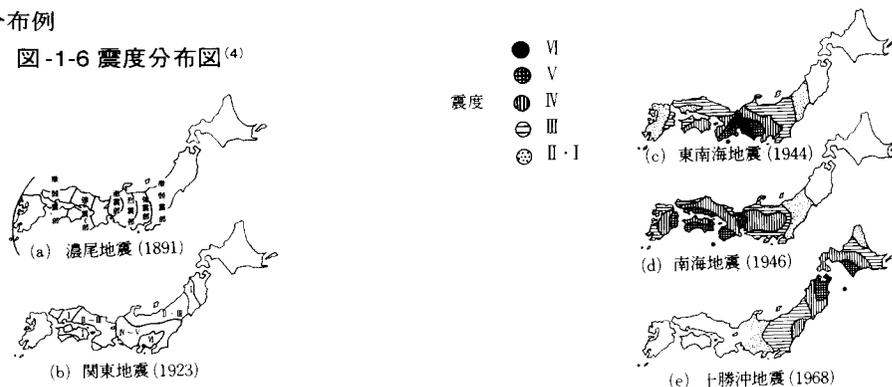
気象庁震度階級(1996年2月) ⁽¹⁾				気象庁震度階級(1949年) ⁽⁵⁾			
計測震度	震度階級	人間	屋内の状況	屋外の状況	震度	名称	説明
0.5	0	人は揺れを感じない。			0	無感	人体に感じないで地震計に記録される程度。 0.8以下
	1	屋内にいる人の一部がわずかな揺れを感じる。			I	微震	静止している人や、特に地震に注意深い人だけに感ずる程度の地震。 0.8~2.5
1.5	2	屋内にいる人の多くが揺れを感じる。眠っている人の一部が、目を覚ます。	電灯などのつり下げ物が、わずかに揺れる。				
2.5	3	屋内にいる人のほとんどが、揺れを感じる。恐怖感を覚える人もいる。	棚にある食器類が、音を立てることがある。	電線が少し揺れる。	II	軽震	大勢の人に感ずる程度のもので、戸障子がわずかに動くのがわかるぐらいの地震。 2.5~8.0
3.5	4	かなりの恐怖感があり一部の人、身の安全を図ろうとする。眠っている人のほとんどが目覚ます。	つり下げ物は大きく揺れ、棚にある食器類は音を立てる。座りの悪い置物が、倒れることがある。	電線が大きく揺れる。歩いている人も揺れを感じる。自転車を運転していて、揺れに気付く人がいる。	III	弱震	家屋がゆれ、戸障子がガタガタと鳴動し、電燈のようなつり下げ物は相当ゆれ、器内の水面の動くのがわかる程度の地震。 8~25
4.5							
5.0	5強	非常な恐怖を感じる。多くの人が、行動に支障を感じる。	棚にある食器類、書棚の本の多くが落ちる。テレビが台から落ちることがある。タンスなど重い家具が倒れることがある。変形によりドアが開かなくなることがある。一部の戸が外れる。	補強されていないブロック塀の多くが崩れる。据付けが不十分な自動販売機が倒れることがある。多くの墓石が倒れる。自動車の運転が困難となり、停止する車が多い。	IV	中震	家屋の動揺が激しく、すわりの悪い花びんなどは倒れ、器内の水はあふれ出る。また歩いている人にも感じられ、多くの人々は戸外に飛び出す程度の地震。 25~80
5.5							
6.0	6強	立っていることができず、はわないと動くことができない。	固定していない重い家具のほとんどが移動、転倒する。戸が外れて飛ぶことがある。	かなりの建物で、壁のタイルや窓ガラスが破損、落下する。	VI	烈震	家屋の倒壊は30%以下で山くずれがおき、地割れを生じ、多くの人々は立っていることができない程度の地震。 250~400
6.5							

説明欄の数字は地動の加速度で、単位は cm/s^2 (ガル)

計測震度：地震計で測定した波形にフィルター等の処理を施し、継続時間などを考慮して求めた計算式に入力して求めた値

(2) 震度分布例

図-1-6 震度分布図⁽⁴⁾



1. 5. 最近の主な被害地震

表 -1-2 最近の主な被害地震⁽⁵⁾

地震名	日本暦 西 暦	北緯 東経	M	地 域 ・ 被 害 摘 要
濃尾地震	明治24年10月28日 1891	35.6° 136.6°	8.4 (7.9)	岐阜、愛知：仙台以南で地震を感じた。建物全壊142177、半壊80184、死7273人、山くずれ1万余。根尾谷を通る大断層を生じ、水鳥(みどり)で、上下に6m、水平に2mずれた。25年1月3日、9月7日、27年1月10日の余震で家屋破損などの被害があった。
関東大震災	大正12年9月1日 1923	35.2° 139.3°	7.9 (7.8)*	関東南部：東京で観測した最大振幅14～20cm。地震後火災が発生し、被害を増大した。死99331人、行方不明43476人、家屋全壊128266、半壊126233、焼失447128、山くずれ、崖くずれが多い。房総方面(木更津32cm、北条157cm)、神奈川南部(大磯182cm、藤沢75cm)は隆起し、東京付近以西神奈川北方は沈下した。また、相模湾では、小田原一布良線以北は隆起、南は沈下した。関東沿岸に津波が襲来し、波高は三崎で6m、洲の崎で8.1m・〔2〕
北丹後地震	昭和2年3月7日 1927	35.6° 135.1°	7.5	京都府北西部：被害は淡路、福井、岡山、米子、徳島、三重、香川、大阪に及ぶ。死2925人、家屋全壊12584、焼失3711、郷村断層(長さ18km、水平ずれ最大2.7m)と、それに直交する山田断層(長さ7km)を生じた。〔-1〕
北伊豆地震	昭和5年11月26日 1930	35.1° 139.0°	7.0	伊豆北部：2～5月伊東地震群。11日より前震があった。余震多く、死272人、家屋全壊2165、山くずれ、崖くずれが多く、丹那断層(長さ35km、横ずれ最大2～3m)と、直交する姫之湯断層を生じた。
鳥取地震	昭和18年9月10日 1943	35.5° 134.2°	7.4	鳥取市付近：死1083人、家屋全壊7485、半壊6158、鹿野断層(長さ8km、横ずれ最大150cm)、吉岡断層(長さ4.5km)を生じた。地割れ、地変が多かった。
東南海地震	昭和19年12月7日 1944	33.7° 136.2°	8.0	熊野灘：静岡、愛知、三重、岐阜、奈良、滋賀各県、特に名古屋重工業地区に被害が大きかった。死998人、住家全壊26130、半壊46950、流失3059、津波が各地に襲来した。波高は熊野灘沿岸8～10m、木ノ本、新宮間3m、御前崎、下田2m、紀伊半島東岸で30～40cm、地盤沈降。〔3〕
三河地震	昭和20年1月13日 1945	34.7° 137.0°	7.1	愛知県南部：規模の割には被害は大きく、死1961人、住家全壊5539、半壊11706、非住家全壊6603。深溝断層(途中で直角に折曲り、延長9km、上下ずれ最大2m)を生じた。津波は蒲郡で波高1m。〔-1〕
南海地震	昭和21年12月21日 1946	33.0° 135.6°	8.1	潮ノ岬沖：被害は、中部以西日本各地にわたり、死1330人、行方不明102、家屋全壊11591、半壊23487、流失1451、浸水33093、焼失2598、船舶破損流失2991、津波は静岡県より九州に至る海岸に来襲し、高知、三重、徳島沿岸で4～6mに達した。室戸、紀伊半島は南上がりの傾動を示し、室戸で1.27m、潮ノ岬で0.7m上昇、須崎、甲浦で1.0m沈下、高知付近で田園15km ² が海面下に没した。〔3〕
福井地震	昭和23年6月28日 1948	36.1° 136.2°	7.3	福井平野：被害は福井平野およびその付近に限られ、死3895人、家屋倒壊35420、半壊11449、焼失3691、南北に地割れの連続としての断層(延長約25km)が生じた。
十勝沖地震	昭和27年3月4日 1952	42.2° 143.9°	8.1	十勝沖：北海道南部、東北地方北部に被害があり、津波が関東地方に及ぶ。波高は厚岸湾3～4m、八戸2m、死28人、不明5人、家屋全壊815、半壊1324、流失91。〔2〕

地震名	日本暦 西暦	北緯 東経	M	地域・被害摘要
新潟地震	昭和39年6月16日 1964	38.4° 139.2°	7.5	新潟県沖粟島付近：新潟、秋田、山形の各県に被害があり、死26人、家屋全壊1960、半壊6640、浸水15297、船舶、道路の被害が多かった。新潟市内で地盤の流動、不同沈下による被害が著しかった。津波が日本海沿岸一帯を襲い、波高大島崎で5m、両津3m、粟島で0.8～1.5m隆起した。〔2〕
松代群発地震	昭和40年8月3日～ 1965～			長野市松代周辺：40年8月3日に松代皆神山付近に始まり、順次、須坂、東村、若穂、更北、篠井、川中島、更埴、戸倉、上山田、坂井、坂城、真田などに広がる。1969年末までに松代で有感地震62621回、震度Ⅴを9回、Ⅳを50回、地震数は1966年4月と8月が最大。被害を伴った地震は50回、全体で傷者15人、全壊家屋10、半壊4、地すべり64件、総エネルギーM=6.3に相当。この間に皆神山1m隆起した。
えびの地震	昭和43年2月21日 1968	32.0° 130.7°	5.7	宮城県えびの町：同日再震、翌日再々震、死3人、傷42人、建物全壊368、半壊636、山くずれが多かった。3月25日に2回地震、建物全壊18、半壊147。
十勝沖地震	昭和43年5月16日 1968	40.7° 143.6°	7.9	十勝沖：青森を中心に北海道南部、東北地方に被害、死49人、不明3人、傷330人、建物全壊673、半壊3004、青森県下山くずれ多く、津波あり、三陸沿岸3～5m、襟裳岬3m。
八丈島東方沖地震	昭和47年7月4日 1972	33.2° 141.1°	7.2	八丈島近海：八丈島と青ヶ島で落石、土砂くずれ、道路破損などの小被害。〔-1〕
根室半島沖地震	昭和48年6月17日 1973	43.0° 146.0°	7.4	根室半島南島沖：被害は根室に集中、全体で傷26人、家屋全壊2、一部破損1。小津波あり、波高は根室で約1.5m、浸水275、船舶流失沈没10。〔1〕。また6月24日の規模7.1の余震で傷1人、家屋一部破損2、小津波あり。〔0〕
伊豆半島沖地震	昭和49年5月9日 1974	34.6° 138.8°	6.9	伊豆半島沖：伊豆半島南端に被害。死・不明29人、傷78人、家屋全壊46、同半壊125、同一部破損711、同全半壊7、御前崎に最大波高22cmの津波。〔-1〕
伊豆大島近海の地震	昭和53年1月14日 12時24分 1978	34.7° 139.3°	7.0	東伊豆町、河津町の上水道、簡易水道の施設は多大の被害を受け、被害施設は上水道8、簡易水道9など。
宮城県沖地震	昭和53年6月12日 17時14分 1978	38.2° 142.2°	7.4	宮城県下64市町村の95施設に被害を生じ、上水道49、簡易水道44、用水供給事業2ヵ所などであり、管路の被害のみならず、PC配水池の倒壊もあった。
浦河沖地震	昭和57年3月21日 11時32分 1982	42.1° 142.6°	7.3	日高地方の浦河町、三石町、静内町で水道施設は被害を受けた。特に、浦河町は震度Ⅵを受けたため、管路に多くの被害が発生した。
日本海中部地震	昭和58年5月26日 12時00分 1983	39.9° 138.1°	7.7	秋田県下で29市町村、青森県下で39市町村1企業団で水道施設に多くの被害が発生した。特に、能代市内、車力村では液状化に伴う被害が多数発生した。
長野県西部地震	昭和59年9月14日 8時48分 1984	38.1° 137.5°	6.8	木曾郡御岳山付近を震源とした直下型地震で、震源地である王滝村は震度Ⅵと推定され、土石流などの土砂崩壊などによる被害が多く発生した。
千葉県東方沖地震	昭和62年12月17日 11時08分 1987	35.4° 140.5°	6.7	震源に近い九十九里地域の山武支庁管内、長生支庁管内で多くの被害が発生し、千葉県下で61水道事業者で管路などの施設に被害が発生した。
釧路沖地震	平成5年1月15日 20時06分 1993	42.9° 144.4°	7.8	釧路沖30kmを震源とした地震で釧路は震度Ⅵであった。北海道及び青森県の41市町村の約240ヵ所において水道施設が破損し、約2万戸に断水等の被害が発生した。
能登沖地震	平成5年2月7日 22時27分 1993	37.7° 137.3°	6.6	震源地に近い珠州市で上水道、簡易水道に被害が発生した。なお、隣の輪島市では震度Ⅴであった。
北海道南西沖地震	平成5年7月12日 22時17分 1993	42.8° 139.2°	7.8	奥尻島沖：奥尻島では最大30mの津波に襲われ、200名以上の死者を出した。水道施設では液状化に伴う被害が多く、31市町村で被害が発生した。

地震名	日本暦 西 暦	北緯 東経	M	地 域 ・ 被 害 摘 要
三陸はるか沖 地 震	平成 6 年 12 月 28 日 21 時 19 分 1994	40.5° 143.7°	7.5	三陸はるか沖：八戸市を中心に被害が発生し、死者 2 名、負傷者 285 名を出した。水道施設では、約 3 万戸で低水圧・断水となった。
兵庫 県 南 部 地 震	平成 7 年 1 月 17 日 5 時 46 分 1995	34.6° 135.0°	7.2	兵庫 県 淡 路 島 北 淡：兵庫 県 南 東 部 で 死 者 5,000 名 以 上、全 壊 家 屋 90,000 戸 以 上、7,000 戸 以 上 が 全 焼 と な っ た。水 道 施 設 は 68 市 町 村 の 71 事 業 体 が 被 害 を 受 け。約 120 万 戸 の 断 水 と な っ た。

(注)〔 〕内数値は津波の規模で次の通り。

〔- 1〕波高 50cm 以下で無被害

〔0〕波高 1m 前後

〔1〕波高 2m 前後

〔2〕波高 4～6m

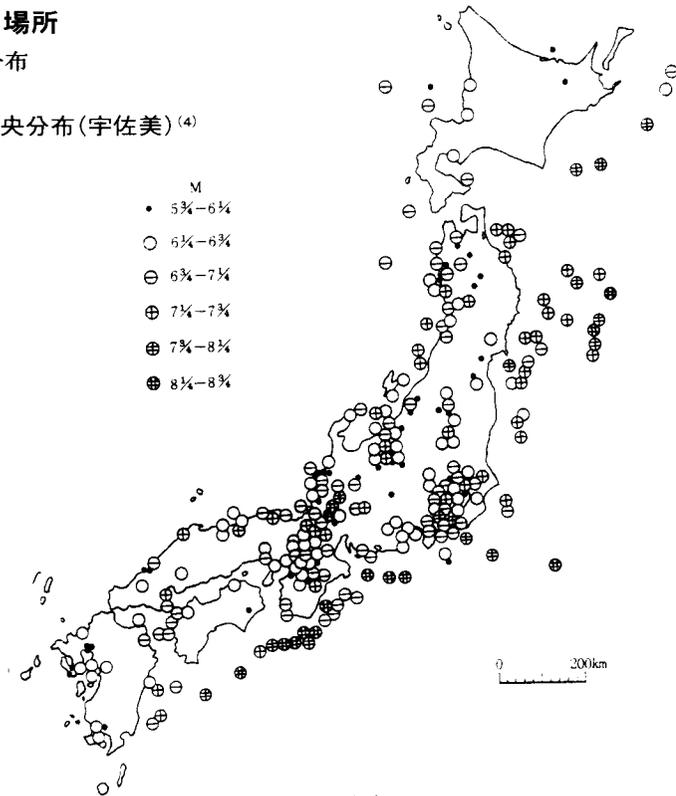
〔3〕波高 10～20m

〔4〕最大波高 30m 以上

1. 6. 地震の起こる場所

(1) 有史以来の震央分布

図-1-7 有史以来の震央分布(宇佐美)⁽⁴⁾

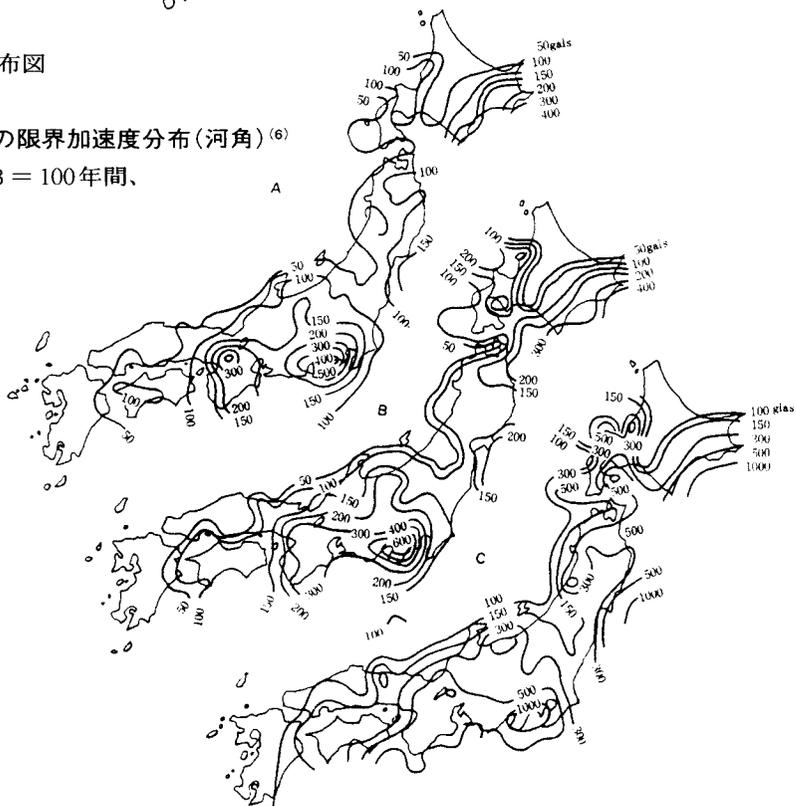


(2) 震度期待分布図

図-1-8 地震動の限界加速度分布(河角)⁽⁶⁾

A = 75年間、B = 100年間、

C = 200年間

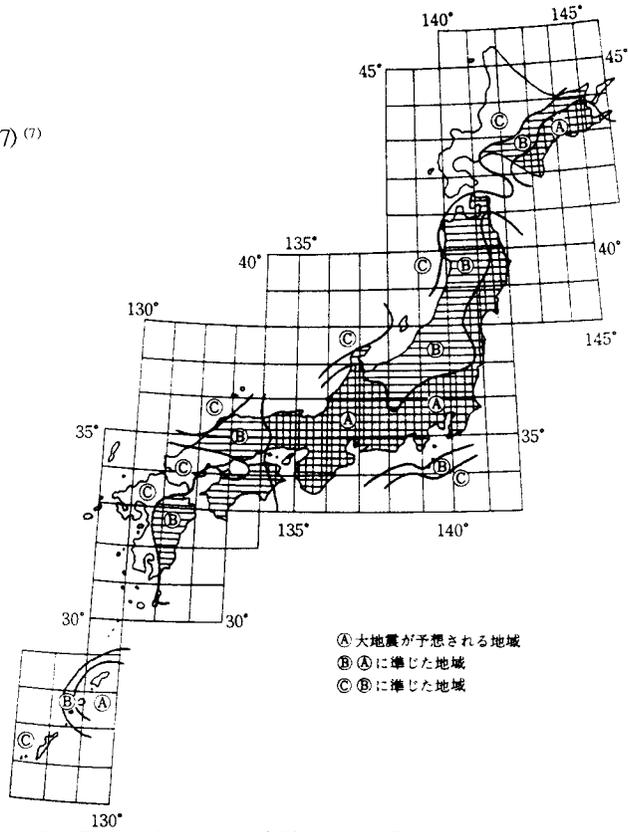


(3) 新耐震設計法(案) (建設省)

図-1-9 地域区分
(新耐震設計法(案)、建設省、1977)⁽⁷⁾

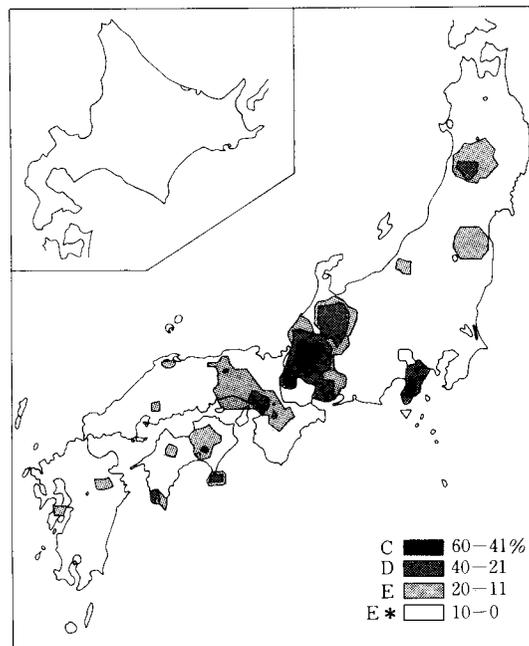
地域係数

地域区分	地域係数
A	1.0
B	0.85
C	0.7



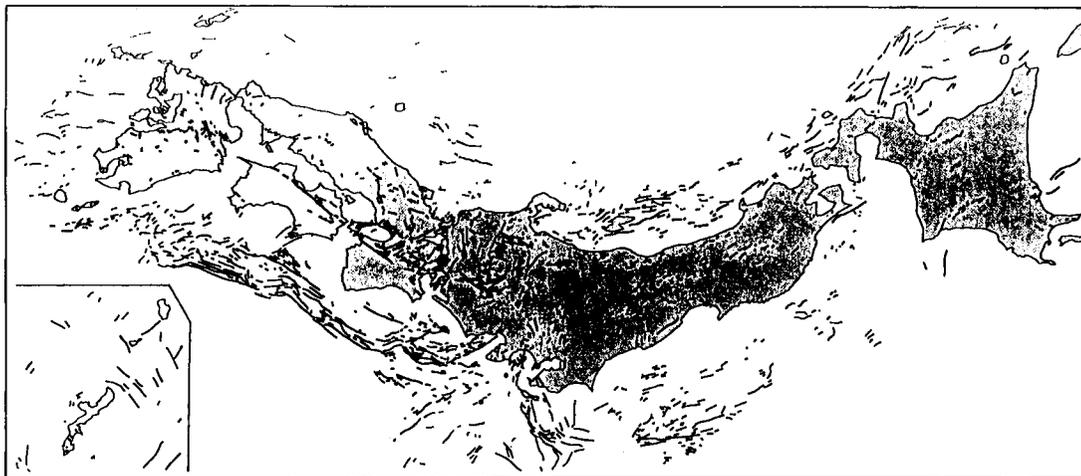
(4) 西暦 2001 年から 10 年以内に、内陸活断層の活動による地震によって、平均水平加速度の最大値が 300cm/s^2 (ガル) を超える確率⁽⁹⁾ (力武)

図-1-10



(5) 日本と周辺の活断層⁽¹⁰⁾

図-1-11 全国活断層分布図



1. 7. 地震現象

(1) 地震記録波形

図-1-12 台湾地震の東京における記録⁽⁶⁾



実体波 P波(縦波、疎密波)
S波(横波、剪断波)
表面波 L波(ラブ波)
M波(レーラー波)

(2) 土の変化

表-1-3 歪の大きさによる土の性質の変化⁽⁸⁾

地震の大きさ	土の歪	現象	力学的特性
小地震	10^{-4} 以下	波動、振動	弾性
中地震	$10^{-4} \sim 10^{-2}$	亀裂(地割れ) 不等沈下、隆起	弾塑性
大地震	10^{-2} 以上	地すべり 締固め(乾燥砂) 液状化(飽和砂) 断層の移動	破壊

(3) 断層

表-1-4 明治以来の地震断層⁽⁴⁾

地震名	年代	断層名	位置	延長 [km]	最大変位 [m]	
					水平	垂直
濃尾	1891	根尾谷	可兒郡帷子一本巢郡水鳥	50	4	6
嘉義	1906	梅仔坑	民雄街一小梅街		2.5	2
関東	1923	下浦 延命寺	三浦半島 房総半島			1.0
北丹後	1927	郷村 山田	網野一峰山 四辻一岩滝	15 10	2.3 0.8	0.5 0.7
北伊豆	1930	丹那	田代一浮橋	23	2.4	0.6
台湾中部	1935	屯子脚 紙子	大安駅一新庄子 獅潭庄大東勢一峨眉庄		0.7	12 3
鳥取	1943	吉岡 鹿野	吉岡一野坂 鷲峰山北一口細見	4.5 8.0	0.9 1.5	0.5 0.25
三河	1944	深溝	宮迫一渥美湾	9	0.5	2.0
福井	1948	福井	福井平野	25	2.0	0.75

(参考文献)

- (1) 三東啓夫「土と基礎」Vol 12-6 1973年
6月「東洋拡大説について」土質工学会
- (2) 萩原尊禮監修「地震の辞典」三省堂
- (3) 力武常次、山崎良雄「地震を深る」
東海大学出版会
- (4) 岡本舜三「耐震工学」オーム社
- (5) 東京天文台編纂、「理科年表」第49冊
昭和51年丸善

- (6) 金井清「地震工学」共立出版
- (7) 建設省「新耐震設計法(案)」1977年
- (8) 土木学会編「地震応答解析と実例」土木学会
- (9) 力武常次「日本の危険地帯-地震と津波」
新潮選書
- (10) 活断層研究会編「新編 日本の活断層」
東京大学出版会
- (11) JSEEP NEWS NO.147, Mar. 1996

2. 地震と管路概要

2. 1. あらまし

都市の巨大化、生活の高度化、産業規模の大型化などに伴い、上下水道、工業用水道、ガス、電気、電信電話などに使用される管路はますますライフラインとしての重要性を加えられながら、施工延長を増大しており、地震、軟弱地盤などの地盤変動に対する管路の安全性がよく論議されるようになってきた。特に地震については、大きな災害の可能性が考えられ、政府各省（建設省、通産省、厚生省等）も積極的に調査、検討を行い、耐震設計法あるいは技術基準などが確立されてきた。

われわれも、この問題について無関心でいたわけではなく、古くは新潟地震、十勝沖地震などや宮城県沖地震、北海道南西沖地震などの実際に発生した地震とその管路被害などの調査を行ってきたが、併行して調査より一歩進めて地震時の管路挙動把握のための振動実験、計算機による管路挙動計算法の検討、地震時の地下埋設管路挙動の現地計測、大地震に対応する耐震管路構想および耐震継手の開発などの多面的な研究を行ってきた。さらに、これらの耐震管路構想に基づく管路の大地震下における機能を検証する調査などを行ってきた。

これらの研究は今後も継続して強力に推進していくものであるが、ここでは、現状の研究概要、われわれの基本的な考え方などについて述べ、次章以降で個々の実験、調査結果などについて報告する。

2. 2. 地震時の管路挙動について

(1) 概要

地震時の管路の挙動に触れる前に、地震時の地盤の動きをまず注目する必要がある。地下埋設された管路は、その地盤の動きに左右されるものであることは間違いない。

この土の動きについては、ある限度内、すなわち土が崩壊しない範囲と、断層の亀裂、液状化現象などを生ずる場合が考えられる。

土が崩壊しない範囲での土の歪は地震の強さ

(土に与えられる加速度)、その地盤の固有振動周期、その地盤での地震波の伝播速度などから算出することができるとされている。

たとえば、波動論では加速度 400cm/s^2 地震波の伝播速度 100m/s 、軟弱地盤で固有振動周期 0.8s とすれば、この地震での土の歪は 5×10^{-3} 程度となる。今、仮にこの 5×10^{-3} の土の歪を例にとって、このような条件下に管路が埋設されている場合を想定して考察してみる。 5×10^{-3} 、すなわち 0.5% の土の歪は、 100m で $\pm 50\text{cm}$ の土の伸縮を示しており、この伸縮が管路への影響を及ぼすことになる。地下埋設管路は大きく分けて剛構造形（鋳鉄管の印ろう形継手管路、鋼管の溶接形継手管路、ヒューム管のモルタルコンポ継手管路など）と柔構造形（ダクタイル管のメカニカル継手管路、P. Sコンクリート管のプッシュオン継手管路など）があるが、剛構造形管路には、管および継手に大きい応力発生をもたらせ柔構造管路には、主として継手に相当分の変位をもたらせる。

今、土と管路が同一の動きをすると仮定すれば、 $\pm 0.5\%$ の歪みは、計算上鋳鉄管印ろう形管路では（継手が動かないと仮定すれば）約 490N/mm^2 （約 50kgf/mm^2 ）、鋼管溶接継手管路では約 980N/mm^2 （約 100kgf/mm^2 ）、ヒューム管のコンポ継手管路では（これも継手が動かないと仮定すれば）、約 150N/mm^2 （約 15kgf/mm^2 ）の応力発生となり、鋳鉄管、ヒューム管は切損、鋼管は弾性限を超えた塑性域に入り、場合によると座屈という現象を生ずることになる。現実には、土と管路がどこまでも同じ動きをするのではなく、ある点で土と管路との摩擦限界でスリップをきたし、応力発生は、上記の数値より小さくなることが予想されるが、管路構成上、分岐、曲がり、弁室、アンカーなど、管路拘束は避け得ないことを考え合わせれば、かなりの応力発生をみておく必要がある。一方、柔構造管路では、 $\pm 0.5\%$ の歪は継手のところに集中する。たとえば、管長 2m のものなら $\pm 10\text{mm}$ 、 4m なら $\pm 20\text{mm}$ 、 6m なら $\pm 30\text{mm}$ の変位を継手に生ずる。

柔構造管路の継手の余裕は、2m管で20mm、4m管で40mm、6m管で60mm程度必要であり、継手部の曲がりを考え合わせれば、その余裕をさらに見込む必要がある。以上は、土の歪を中心に論じてきたが、現実には土の歪が均一ではなく、局部的な大小を示すということになる恐れがあり、こういう条件下では、剛構造管路では、局部的応力集中による引きちぎれ、柔構造管路では局部的変位集中による継手の抜け出しという事態が懸念される。

以上の数値例は 5×10^{-3} という土の歪を前提として論じてきたものであるが、同じ 400 cm/s^2 の加速度の地震でも地盤がよければ、土の歪は小さくなる(固有振動周期0.3s、伝播速度300m/sでおよそ 0.6×10^{-3} 即ち $\pm 0.06\%$)こと、また、 400 cm/s^2 級の地震がどの程度の確率で起きるのか、多発している通常の地震の加速度はずっと小さいことなどを考えれば、現実の管路は、耐震性能にそれぞれ甲乙があるが、ただちに耐震的でないとは断定し難い。

ダクタイト管 K形継手の継手余裕

呼び径(mm)	継手の余裕(mm)
500	64
1000	72
1500	72
2000	105

しかしながら一方では、断層亀裂、液状化現象を生ずるような場合など、土の動きを理論から数値的に捉え難いような場合もあり、また、条件によっては、大地震時の土の歪は 10^{-2} のオーダーであるという説もある。現状の管路の中には、ある程度耐震的なものはあるとしても、過酷な条件に出会えば、どれひとつとして万全というものはないともいえる。昨今の地震被害の調査では、波動的な捉え方だけでなく、地盤変状によると考えられる被害が多数散見される。今後、管路の耐震性の評価にあたっては、波動的な捉え方に加え、地盤変状に見られる塑性論的な研究が重要である。

(2) 地震時の管路挙動把握のための振動実験

地震時の管路挙動把握のための振動実験では、加速度、周期、振幅、波長などを種々変えて装置中の土に入力し、埋設されている管路の挙動を知ろうとするものである。

およそ調査項目は、

1. 長尺管路と短尺管路の相違点
2. 管路と土の摩擦の問題
3. 管路中の構築物の影響
4. 管体発生応力と継手の変位
5. 地震波の管路軸方向への影響と管路横方向への影響
6. 土圧の影響
7. 管路曲がり部の状況調査
8. 複雑な地震波を与えた場合の挙動
9. 極端に軟弱な液状化現象的な条件を与えた時の挙動

などであった。もちろんこれは装置の中の実験であるから、現実との対比が検討対象として残される。

(3) 耐震設計計算プログラム

また、一方地震時の管路挙動の把握という点から、現在、有限要素法を利用した多質点系応答計算法の適用がある。従来、この方法は地震時の建築物などの安全性確認や、耐震設計に用いられたものであるが、沈埋トンネルなどへの適用、さらに地下埋設管路への適用が可能だといわれており、地下埋設管路の地震時の挙動の把握および耐震管路設計の一助となすことができる。しかし、これとてもこのソフトウェアが、現実の地下埋設管路の挙動との対比という面で、問題点が残される。

3. 振動実験および地震観測

3. 1. 振動実験について

3. 1. 1. 振動実験装置

(1) 概要

地震時の管路挙動を調べる振動実験は、以前からいろいろ試みられているが、いずれも小規模地震クラスの振動実験、もしくはミニチュア試験であった。実際に、大地震を再現させるということは困難が伴い、不可能に近いのが実状である。

野外で、地盤を振動させる方法には、ダイナマイト爆発や板叩き法などが考えられる。しかし、これらの方法によって得られる地盤の変位は小さく、地盤特性を知るには十分であるが、地盤に埋まっている管路の挙動について調べようとする場合、非常に小さな地震の再現にしかならない。振動の減衰などからも、広がりを持つ管路の挙動実験には、この種の試験方法ではかなり困難であることが予想される。一方、室内実験では、振動台に対象物を乗せ振動させる方法が考えられ、建物などのような単体構造物ならば十分であるが、管路のような二次元、三次元に広がりを持つ地中構造物に対しては適正でない。なぜならば、地震では、離れた2点間の地盤が相対運動するために、その2点間に埋設されている管路が引張り、圧縮、曲げ、振りなどを受け問題となるのに、先の振動台による実験で

は、この2点間の相対変位が得られないという欠点がある。そこで、図-3-1に示すように、2点間に相対変位を生じさせるような振動実験装置を考案した。わかりやすくいえば、小さな振動台を多数並べた構造で、各振動台を往復運動させ、かつ位相をずらして運動させ、振動台同士に相対変位を与える。

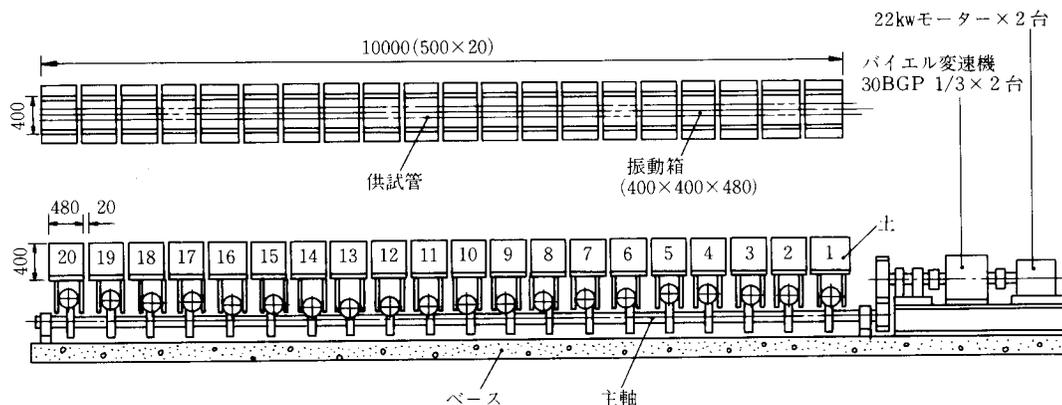
こうすることにより、振動台に乗っている土砂は、往復運動と圧縮、膨張、剪断を受け、実際の地震の地盤の動きに近似した動きが再現できる。この人工地震地盤の中に管を入れ挙動を解明しようとするものである。この装置は機械的なものなので、各種条件下での再現実験ができるというのが大きな特長である。

(2) 諸元

- ・ 振動する地盤の大きさ
 - 幅 0.8m
 - 高さ 0.5m
 - 長さ 10m
- ・ 振動条件

波と進行方向	装置長手方向に正弦疎密波
波長	0 ~ 100m
設定加速度	0 ~ 400cm/s ²
周期	0.4 ~ 1.2s
振幅	0 ~ ± 76mm
地盤の発生歪	0 ~ ± 4500 × 10 ⁻⁶

図-3-1 振動装置(単位構造)



土質 砂、粘土など任意
 土圧 0 ~ 0.4kgf/cm²
 供試管 φ 50 ~ φ 100 × 10m
 材質は任意

3. 1. 2. 地震時の管路挙動把握のための振動実験

以上のような振動実験装置で、波長、周期、振幅、土圧、土質、供試管などの条件を種々に変え、地震時の管路挙動把握のため、次のような調査項目をあげ、実験した。

- (a) 地震の大きさと管体発生応力、ならびに継手の変位などの関係
- (b) 長尺管と短尺管の発生応力の違い
- (c) 管路と土の摩擦の問題
- (d) 土圧の影響
- (e) フランジの影響
- (f) 土質の影響
- (g) 管路が拘束された場合の挙動
- (h) 曲がり、立上がり、分岐部などの挙動
- (i) 地震波の管路軸方向への影響と横方向への影響
- (j) 複雑な地震波を与えた場合の挙動
- (k) 液状化現象時の挙動 等々

ここではそのうちから、(a) ~ (d) についての結果を一部述べる。

(1) 管体発生歪について

I) 実験1: 地震動が波長100mの疎密波と仮定した時の振動実験

管長、土圧、および加速度と管体発生歪との関係を求めるため、次の実験を行った。

(イ) 実験方法

供試管 0.6t × φ 50 × 2m と 6.7m

振幅 ± 76mm

土の発生歪 ± 4500 × 10⁻⁶

土質 山砂(表-3-1)

実験条件の組み合わせ(表-3-2)

表-3-1 実験に用いた砂の粒度分布

メッシュ	20	35	48	70	100	280	PAN
%	4.6	39.9	31.6	15.9	5.9	1.8	0.3

(ロ) 実験結果

管体歪、管体加速度および土の歪の実測波形の一部を図-3-2 ~ 4に示す。

表-3-2 実験条件の組み合わせ

試験 No.	管長 (m)	設定加速度 (cm/s ²)	設定土圧 (kgf/cm ²)
1	2	300	0.09
2			0.18
3			0.09
4	6.7	220	0.18
5			0.09
6		300	0.18
7			0.09
8	220	0.18	

図-3-2 No.-6の管体歪

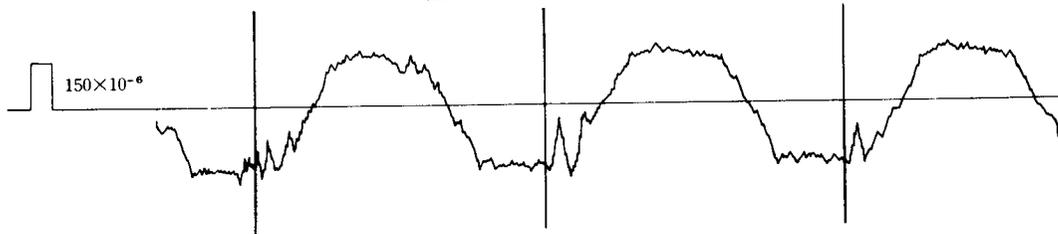


図-3-3 No.-6の管体加速度

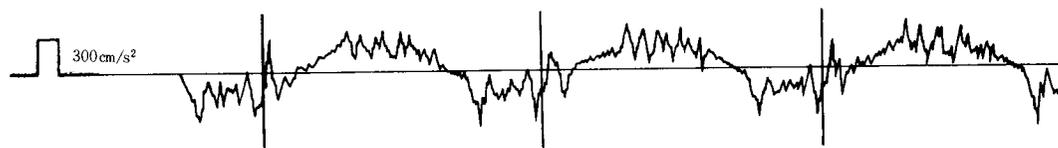
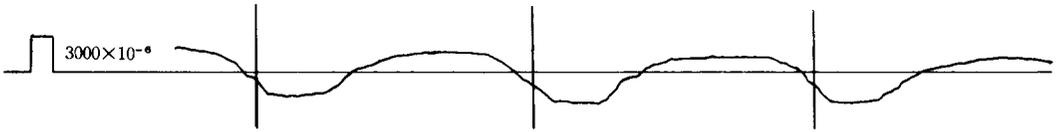


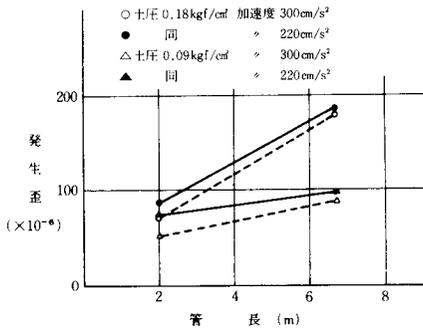
図-3-4 No.-6の土歪



管体歪について、管長ならびに土圧との関係を図-3-5に示す。

る場合、土圧が大きい場合などの関係を求めるため次の条件で実験した。

図-3-5 管長、土圧、加速度と発生歪



(イ) 実験方法

- 供試管 0.6t × φ 50 × 2m, 3.9m, 10m
- 半波長 9m
- 振幅 ± 5mm
- 加速度 20 cm/s²
- 周期 1s
- 土の発生歪 ± 1700 × 10⁻⁶
- 土質 実験1と同じ
- 実験条件の組み合わせ(表-3-3)
- 歪ゲージの位置(図-3-6)

この結果、次のことがわかった。

- (a) 管体加速度は、ほぼ設定加速度が得られた。
- (b) 土歪は圧縮、引張りが交互に繰り返された。
- (c) 管体歪は図-3-5から、加速度の違いにあまり関係しないが、管長ならびに土圧にほぼ比例することがわかった。

さらに検討するため次の実験を行った。

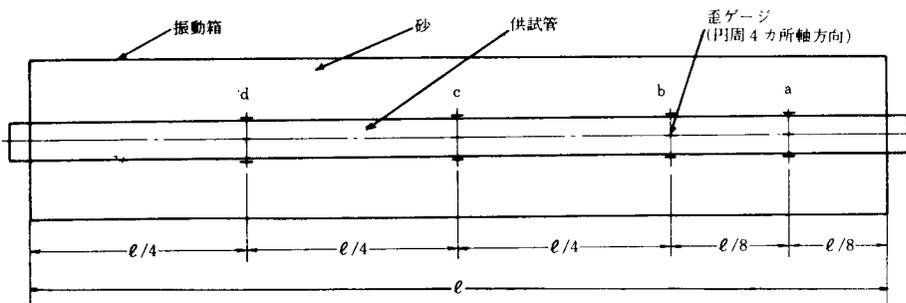
II) 実験2: 同じく波長18mでの振動実験

発生歪の軸方向分布、管長が半波長を越え

表-3-3 実験条件の組み合わせ

試験No.	管長 (m)	土圧 (kgf/cm ²)
1	2	0.18
2		0.27
3		0.36
4	3.9	0.18
5		0.27
6		0.36
7	10	0.18
8		0.27
9		0.36

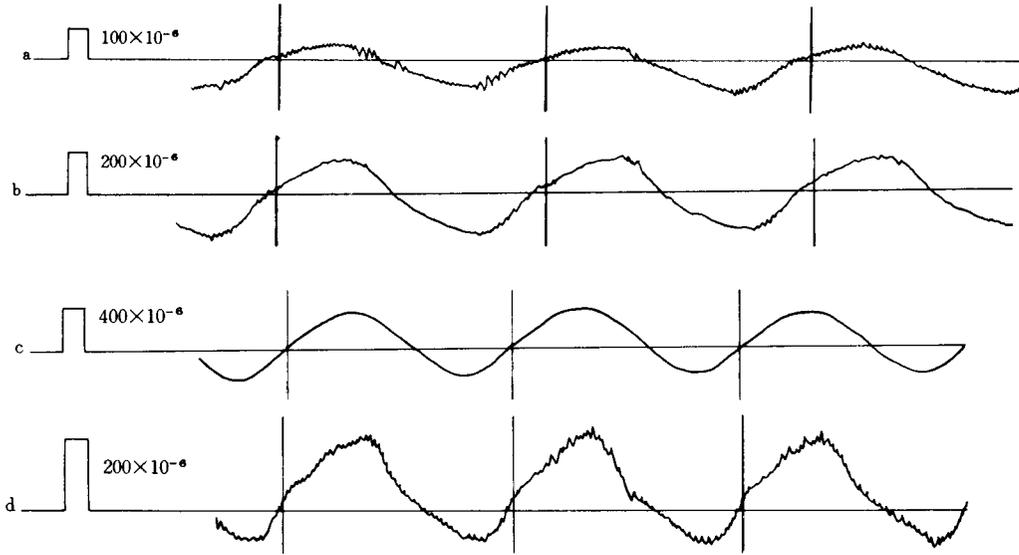
図-3-6 管体歪ゲージの位置



(ロ) 実験結果

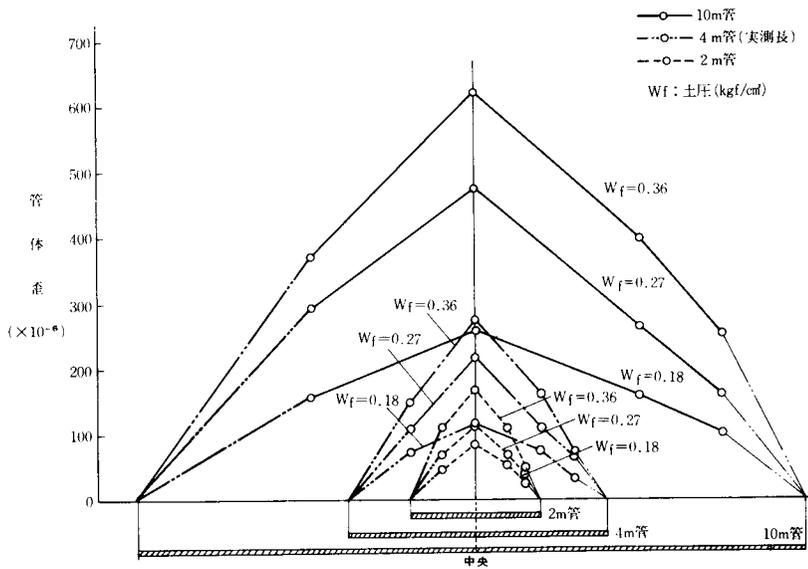
管体歪の実測波形の一部を図-3-7に示す。

図-3-7 No.-6の各位置での管体歪



管長、土圧と各位置での最大歪との関係を示すと図-3-8になった。

図-3-8 最大歪の軸方向分布



これより次のようなことがわかった。

- (a) 管長が長いほど、土圧が大きいほど、管体歪は大きくなるのが再確認された。
- (b) 管体歪の分布は、中央部が最大となる二等辺三角形であった。これは、管と土との摩擦力を考慮したときの理論形状に一致する。
- (c) 管体歪の波形は、中央部できれいな正弦波を示しているが、中央部から離れるに従って波形のくずれがひどくなっている。さらに注意深く見ると、山形が横に削られたようになっており、小刻みに変化している。すなわち、土は管の中央付近を境いに、左右に滑っているといえよう。

Ⅲ) 考 察

実験の結果、今回のように管体歪に比べて土歪が大きい場合、管と周囲の土は滑りを生じ、管体歪は管と土との摩擦力に支配されると思われる。管長は l 、管単位長さ当たりの摩擦力は f_0 、管材の縦弾性係数は E 、管の鉄部断面積は A_0 、波長は L としたとき、軸方向最大管体歪は ϵ_p は次式で示される。

- (a) 管1本の長さが半波長より短い場合

$$\epsilon_p = \frac{f_0 l}{2EA_0} \dots\dots\dots (1)$$

- (b) 同じく半波長より長い場合

$$\epsilon_p = \frac{f_0 L}{2EA_0} \dots\dots\dots (2)$$

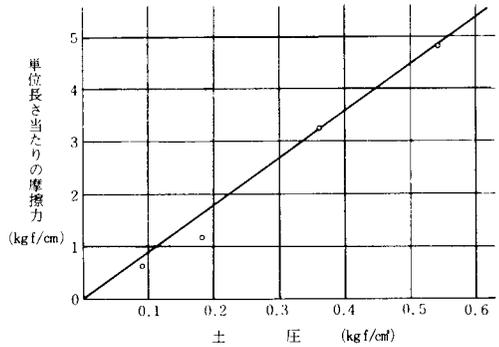
ただし $f_0 = m f$

L は伝播速度と卓越周期から求められるが、 $m f$ は土質、土圧、管径、管の表面状態などによって異なる値をとる。ここで f は管と土の摩擦力、 m は地盤の動きと管の動きによって決定される摩擦力を補正する係数で、これら f 、 m は測定方法によって異なる。 m の値については、実際の地震時に地盤が相対運動する中で埋設管の摩擦抵抗に対して、地盤に相対変位がない中で外力が作用して埋設管が滑る場合、あるいは地盤が相対変位する中で外力が作用して埋設管が滑る場合などの摩擦抵抗の比で表わされ、前者の場合、 m は1より

小さく、後者の場合、1前後の値と推定される。

f を静的実験で求めると図-3-9のようであった。

図-3-9 砂の中での埋設管の摩擦力



以上の数値を用いて計算した値と実測値を比較したのが図-3-10(実験1)、図-3-11(実験2)である。直線が計算値を、点を実測値を示しているが、両者はよく合致しているといえよう。

なお、 m の値は別の摩擦実験から0.8とした。

図-3-10 発生歪の計算値と実測値(実験1)

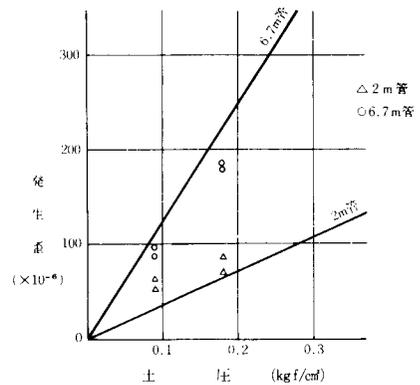
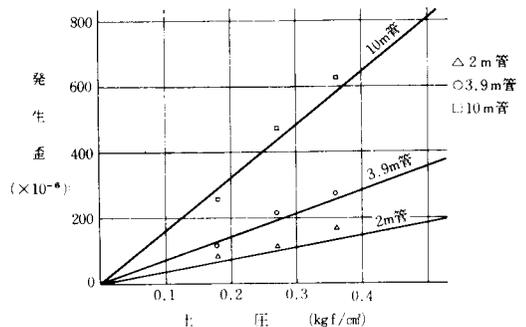


図-3-11 発生歪の計算値と実測値(実験2)



(2) 継手の伸縮量について

I) 実験3: 地震動が波長100mの疎密波と仮定したときの振動実験

先の実験1と同時に、継手の伸縮量を計測

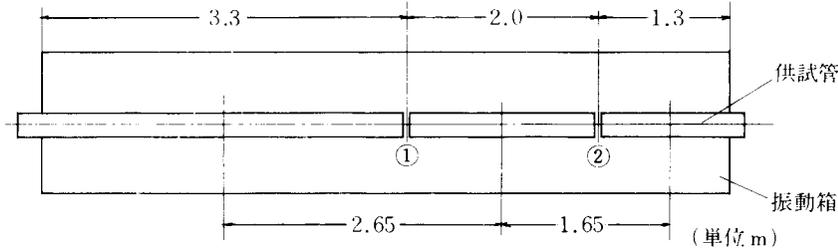
した。

(イ) 実験方法

実験条件 すべて実験1と同じ。

管の配置 (図-3-12)

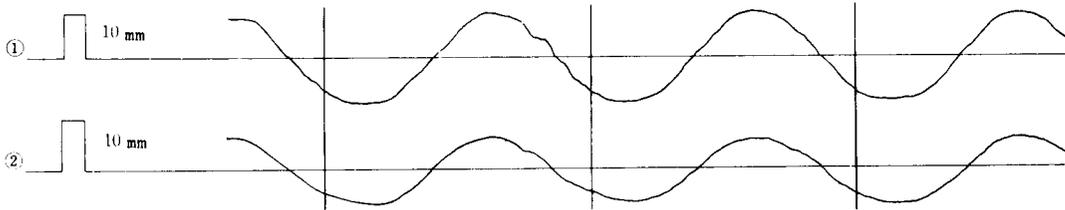
図-3-12 供試管の配置(実験3)



(ロ) 実験結果

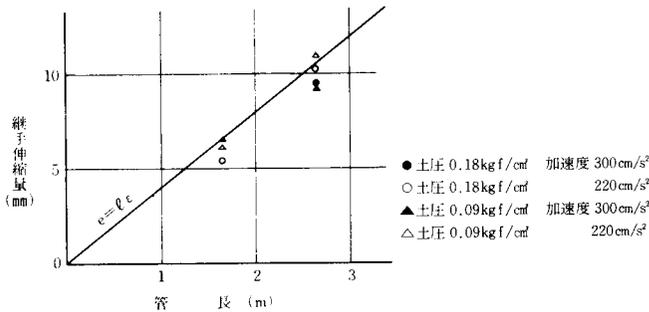
継手伸縮量の実測波形の一部を図-3-13に示す。

図-3-13 継手の伸縮量(実験3)



管長ならびに土圧との関係を図-3-14に示す。

図-3-14 管長、土圧、加速度と継手伸縮量(実験3)



この結果、次のことがわかった。

(a) 継手伸縮量の波形はきれいな正弦波を示した。

(b) 土圧、加速度にはあまり関係なく、管長に比例していた。

さらに長尺管の場合を検討するため、次の実験を行った。

II) 実験4: 同じく波長18mでの振動実験

管が半波長に近い長さの場合の継手の伸縮量を求めるため、実験2と同時に、継手の伸縮量を計測した。

(イ) 実験方法

実験条件 実験2と同じ。

管の配置 2m管の場合(図-3-15)

3.9m管の場合(図-3-16)

図-3-15 2m管の場合の供試管の配置(実験4-1)

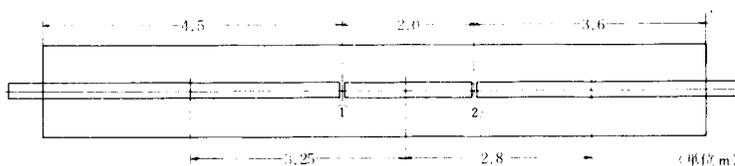
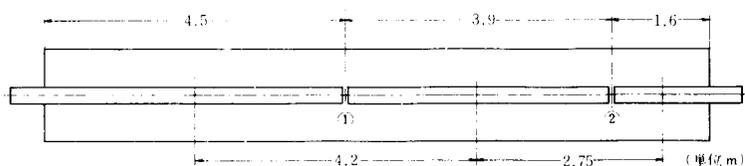


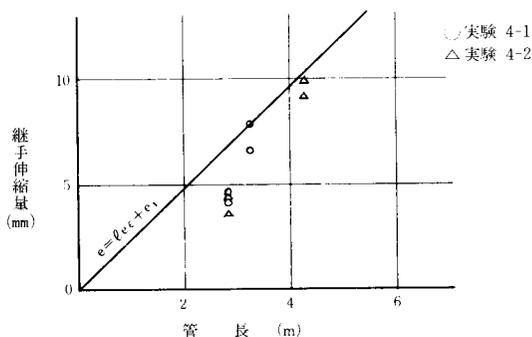
図-3-16 3.9m管の場合の供試管の配置(実験4-2)



(口)実験結果

管長と継手伸縮量の関係を図-3-17に示す。

図-3-17 管長と継手伸縮量(実験4)



これから、実験3と同様に、管長が長くなれば継手伸縮量が増加することが確認された。

Ⅲ) 考 察

実験の結果、直管の継手伸縮量はほぼ管長に比例することがわかった。継手部の伸縮は、土の歪が継手に集中したと見てよいので、波長に対し比較的短い管は、次式を満足すると推定される。

$$e = l(\varepsilon - \varepsilon_p) \dots\dots\dots (3)$$

ただし e は継手の伸縮量、 l は管長、 ε は土歪、 ε_p は管体歪とする。

一般に管は剛性が大きく、管の歪は土歪に比べはるかに小さい。 ε_p を無視して(3)式は次の通りとしてよい。

$$e = \varepsilon l \dots\dots\dots (4)$$

(4)式を用いて求めた値を図-3-14の実線で示

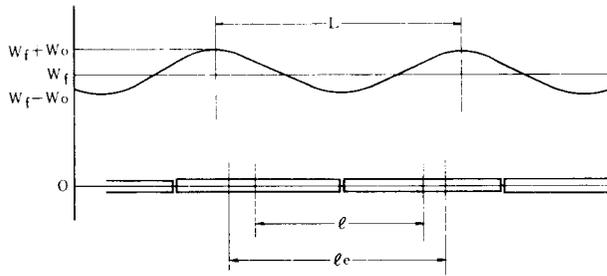
したが、よく合致しているといえよう。この場合の l は継手をはさむ管の中心間距離 ε は振動箱の平均歪とした。

長尺管については装置の関係上波長を18mと短くし、相対的に長尺になるようにして実験4を行ったが、(4)式を必ずしも満足せず、次のように補正する必要があることがわかった。

$$e = \varepsilon l_0 \dots\dots\dots (5)$$

ここに l_0 は相当管長で管と土との相対的な不動点間距離に相当する。管長が半波長に近い長尺管の場合、管の土に対する不動点が管の中央でなく、疎密波の密の部分、いい換えると土圧の高い部分(ここは表面摩擦力が大きい)に移動するものと考えられる。図-3-18は土圧の分布と相当管長 l_0 が最大のときを示す説明図である。

図-3-18 土圧分布と相当管長



管単位長さ l の埋設管が土圧 W_f で埋設された状態で、土圧の変化 W_o の地震を受けたときの l_e を理論的に求めると、(6)式のようなになる。

$$l_e = \frac{2\pi L l \cos 2\pi h + L^2 \sin 2\pi h + L^2 + 2\pi^2 l^2 i}{\pi L \cos 2\pi h + 2\pi l i}$$

..... (6)

ただし、 $h = -\frac{1}{4} - \frac{l}{L}$

$$i = \frac{W_f}{W_o}$$

確認はされていないが、震度 K とすると、

$$i = \frac{1}{K} \text{程度になると推定される。}$$

今、 $i = 1$ と仮定し、さらに土の密から疎に移動による管の相対変位 e_l を考慮して計算したのが、図-3-17の直線である。よく合致しているといえよう。

3. 1. 3. まとめ

今まで述べた4つの振動実験の結果から、次のようなことがいえよう。

(1) 管体発生歪について

(a) 管体発生歪は、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土の歪量、管長、土との摩擦力などによって決まるといえる。

(b) 摩擦力は土圧にほぼ比例する。

(c) 最大発生歪の計算は、管が軸方向に滑るとした場合、次式で求められる。

①地震動の半波長より短い管

$$\varepsilon_p = \frac{f_o l}{2EA_o}$$

②地震時の半波長より長い管

$$\varepsilon_p = \frac{f_o l}{4EA_o}$$

ただし $f_o = m f$

ε_p は管の軸方向歪、 l は管長、 L は波長、 f は管単位長さ当たりの管との摩擦力、 m は摩擦力を補正する係数、 E は管体の縦弾性係数、 A_o は管の鉄部断面積とする。

(2) 継手の伸縮量について

(a) 継手の伸縮量は、管体歪と同じように地震の加速度、周期にはあまり関係なく、土歪、管長などによって決まるといえよう。

(b) 最大伸縮量の計算は次式で求められる。

①地震動の半波長よりかなり短い管

$$e = \varepsilon l$$

②地震動の半波長前後の長い管

$$e = \varepsilon l_e$$

ただし、 e は継手の最大伸縮量、 ε は土歪、 l は管長、 l_e は相当管長。

3. 2. 八戸市における地震観測について

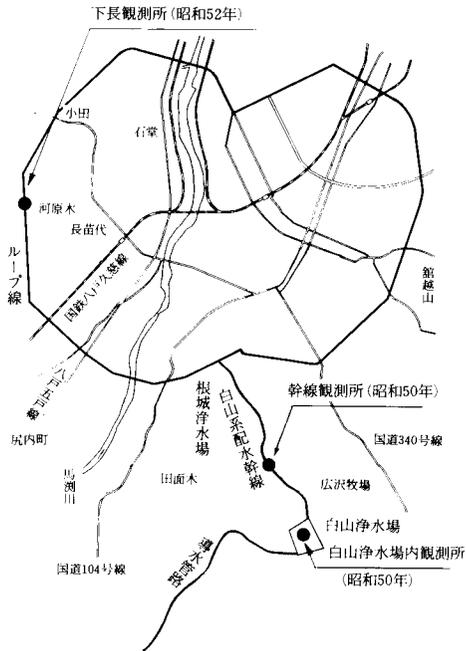
3. 2. 1 はじめに

八戸市の発案のもとに、同市と共同で昭和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耐震S形ダクタイトル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。

図-3-19



(八戸市内)



3. 2. 2 地震観測所について

図-3-19に観測所の位置を示す。

下長観測所(呼び径1000mm耐震S形ダクタイル管路)

当観測所は昭和52年7月より観測に入り、測定計器は図-3-20に示すように、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カ所に地盤歪計(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)、管体歪計(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。

幹線、白山浄水場内、下長の3カ所における測定対象管路である耐震S形ダクタイル管は、図-3-21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、また、ロックリングによって拔出し阻止力のある離脱防止形継手構造となっている。

図-3-20 下長地震観測所

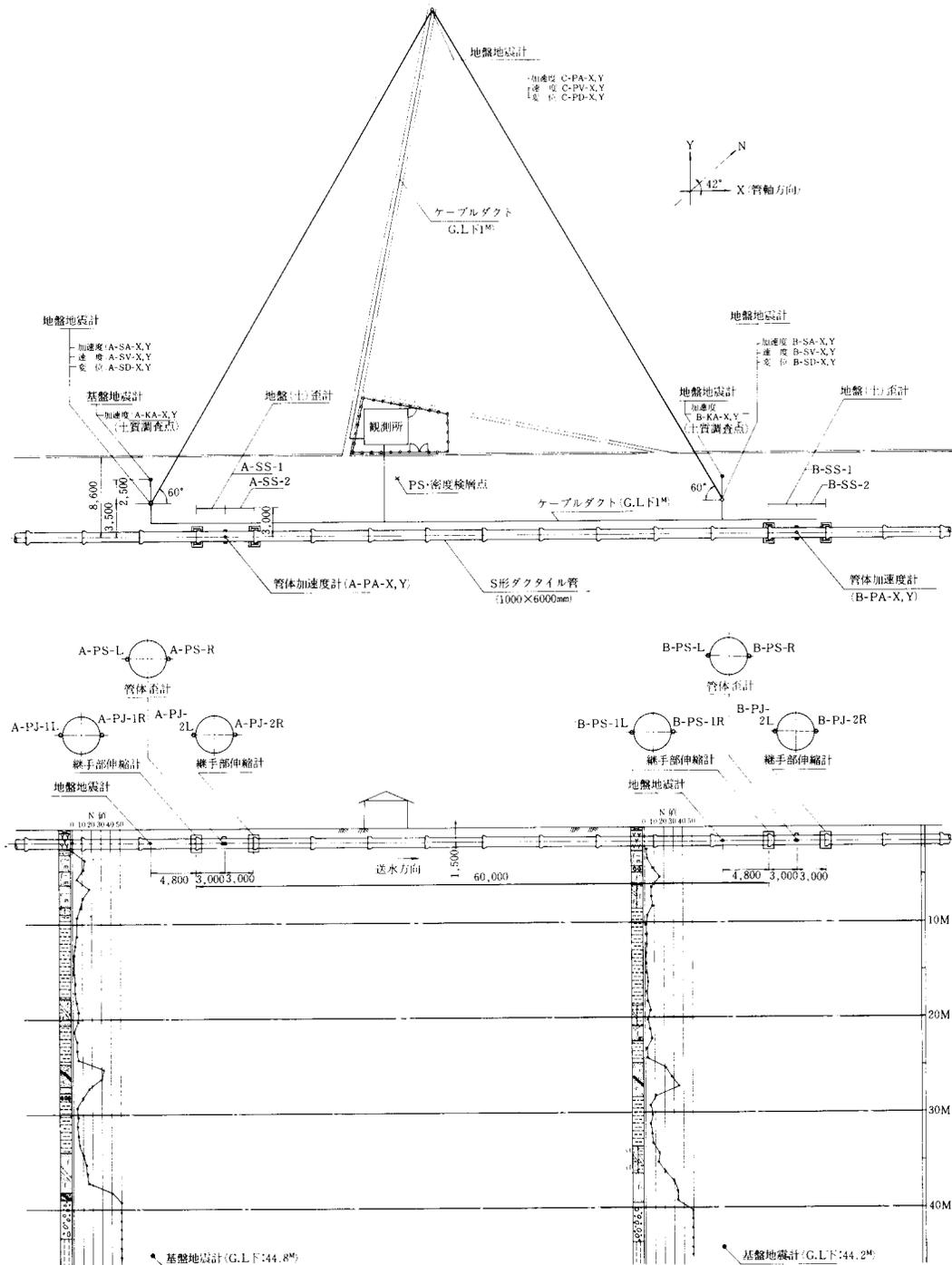
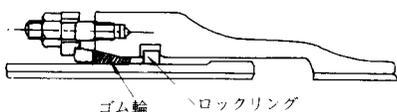


図-3-21 S形継手



3. 2. 3 地震時の地盤・管路の挙動について

図-3-22に、宮城県沖地震(昭和53年6月12日17時14分)時の幹線観測所で得られた波形の一部を示す。

波形は上より地盤加速度(SA-X)、地盤速度(SV-X)、地盤歪(SS)、管体歪(PS)、継手部の伸縮(PJ)を示している。この図より次のことがわかる。

- ①地盤歪の波形から明らかに地盤が伸びたり、縮んだりしている変形挙動がわかる。
- ②管体歪、継手部の伸縮は地盤歪と同一の位相、挙動を示している。
- ③管体歪の波形より、管体は引張り、圧縮力を受けており、同一時間で継手部も伸縮している。
- ④すなわち、地盤の歪が管体に歪を発生させ、また、管体に発生した歪(力)を継手部の伸縮で逃がしていることがわかる。また、地盤歪と管体歪、継手部の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とったものを図-3-23に示す。図中で、 $\varepsilon = \varepsilon_p$ の線は地盤歪をすべて管体で受持ったと仮定した場合、 $\varepsilon = \varepsilon_j$ の線は地盤歪をすべ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、次のことがわかる。

- ⑤地盤の歪が大きくなると、継手部の伸縮量が大きくなる。
- ⑥一方、管体歪はある一定値以上大きくならない。
- ⑦すなわち、地盤の歪により管路に発生する歪(力)をほとんどすべて継手部で逃がしていることがわかる。

3. 2. 4 おわりに

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つかめ、フレキシブルなメカニカル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わかった。

(参考文献)

- 1) 小軽米、北条、岩本：八戸市白山浄水場系配水幹線の耐震ダクタイトイル管路の地震時挙動観測、第32回土木学会年次学術講演会、1977。
- 2) 小軽米、北条、岩本：八戸市白山浄水場系配水幹線の耐震ダクタイトイル管路の地震時挙動観測、第5回日本地震工学シンポジウム、1978。

図-3-22 記録波形の一例(宮城県沖地震：昭和53年6月12日17時14分、M：7.4)

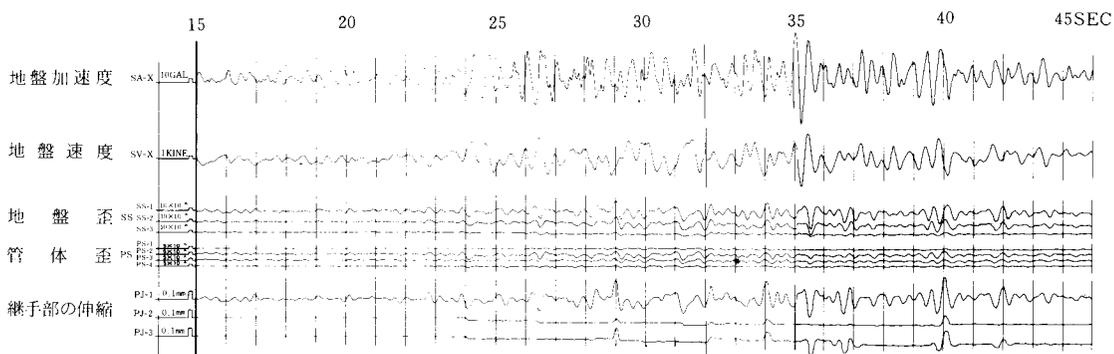
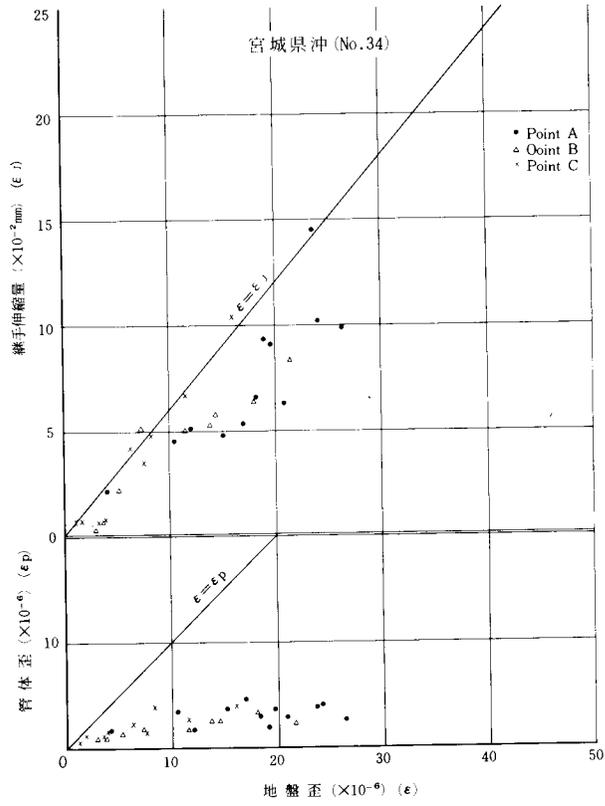


図-3-23



4. 耐震管路について

4. 1. 剛構造管路(主にねずみ鑄鉄管を用いた印ろう継手管路)

まず、鑄鉄管管路を歴史的に振り返り、それが耐震的にどうかという角度から考察を加えてみたい。鑄鉄管の歴史は古く、数百年前からのものであるが、現在までの変遷を技術的に眺めると大きくは管の材質の変遷と継手の変遷の2つの分野に分けることができる。当初の管の材質はねずみ鑄鉄と呼ばれるもので、この間、材料の品質向上もはかれたが、最終的なものは高級鑄鉄、すなわち今のJISの規格でいうFC250に相当する品物であった。

表-4-1 高級鑄鉄の機械的性質

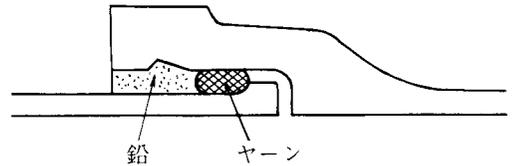
引張強さ	245N/mm ² (25kgf/mm ²)以上
伸び	—(ほとんどなし)
衝撃値	3.9~5.9J/cm ² (0.4~0.6kgf・m/cm ²)

この材料は、コンクリート系、セメント系の管に比べ強度も大で、金属材料の中では腐食に強いということで広く用いられた。

一方、この時期の継手は、主として印ろう形で、約200年前、使用され始め全世界に広がっ

た。わが国でも明治初期から使われ(初期の管はイギリスなどから輸入していた)その後、昭和30年頃まで生産された。

図-4-1 印ろう形継手の構造と性能

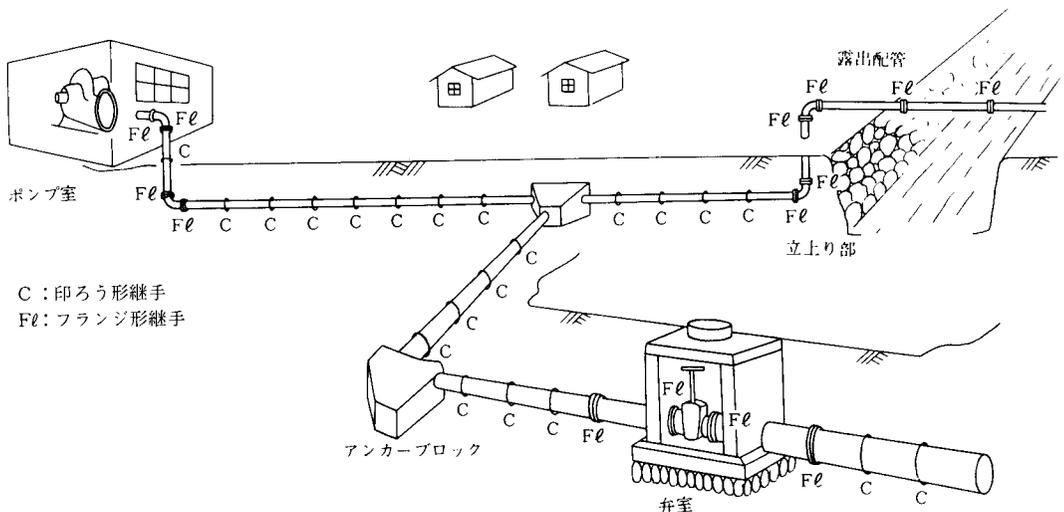


φ 600の例	
水密性	0.9MPa(10kgf/cm ²)
伸縮性	2~4 mm
屈曲性	10' ~ 20'

この継手は、受口と挿し口の間にヤーン(麻)を詰め、これが水を吸収し膨潤して止水しようとするもので、受口、挿し口を一体に保つべく、溶融鉛をヤーンの後部に流し込み、コーキングする構造である。わが国では小口径75mmから大口徑1800mm管まで使用された。

鑄鉄管の歴史の初期の年代の管路は、ねずみ鑄鉄の材質の管、印ろう形継手、フランジ継手で代表される。

図-4-2 剛構造管路(鑄鉄管の初期の管路例)



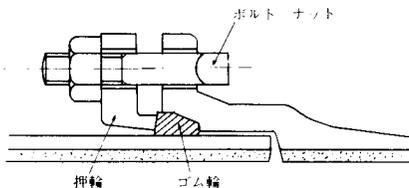
この管路は、管材料に伸び、靱性が少なく、継手も順応性の少ない剛構造管路の一例とみなすことができる。サンフェルナンド地震、北海道南西沖地震、十勝沖地震など、国の内外を問わず、大地震が発生したとき、铸铁管管路のうちもっとも多く被害を受けているのがこの管路である。ひとつには長年月の埋設で老朽化していること、さらに管路構成上、地震に対する配慮がなされていない点に原因があったと思われる。

4. 2. 柔構造管路(主にダクタイル铸铁管を用いたメカニカル継手管路)

先に述べた铸铁管の歴史の初期の年代の管路に生じた種々の問題が、次の段階への動機になったといえる。

交通量の増大と重量化、地盤沈下地帯への配管の増大などにより、まず印ろう形継手に無理を生じた。剛な継手であるが故に、引張り、圧縮、曲げに対しその方向を問わず、ある程度の荷重までは耐え得るが、限度を越える荷重あるいは変位を余儀なくされると、受口、挿し口間の一体化が壊され漏洩を生ずる。また、この継手には、変位を吸収する能力がないために、たとえ荷重、変位が元に戻っても漏洩は止まらないなどである。そこで考え出されたのがゴムパッキングを用いて、これらの問題点を解決しようという継手である。

図-4-3 メカニカル継手とその性能例



A形φ300の場合

水密性	2.4MPa(25kgf/cm ²) : 実験例
伸縮性	± 38mm (伸び余裕量)
屈曲性	± 3° 20' (許容曲げ角度)

メカニカル継手もそのひとつであり、受口と挿し口の隙間にゴムパッキングを挿入し、押輪を介してボルト・ナットで締め付ける。この構造は、プランジャーポンプ、シリンダーピスト

ンの例のように、水密性を損なわずに伸縮が可能で、かつ曲がりにも十分耐え、従来の印ろう形に代わって全世界に広く用いられてきた。

この継手が生まれた当時は、まだ管の材料は高級铸铁であり、その意味からは、継手は地盤変動に手足の関節のように自由に無理なく順応するものの、管体そのものはどちらかといえば脆い剛構造形であった。

しかし、これでも従来の印ろう形、フランジ形の継手管路に比べ、管路として柔構造形に近づいたことから、交通量の増大と重量化、地盤沈下などに対してもよく耐え、水密性を含む管路性能を格段に飛躍させた。新潟地震、十勝沖地震においても経験したように、初期の年代の管路構成では管体、継手ともに事故が多いのに比べ、このメカニカル継手管路では同条件下において事故が少なく、柔構造形管路の特性が明確であった。このメカニカル継手管路でも、管体がねずみ铸铁の場合、損傷も見られているが、継手部においては特殊な所(バンド部、T字部、弁室付近など)を除いて健全であったことは、記憶に残っているところである。この継手の出現のあと、間を置くことなく今度は管体そのものに画期的な発明がなされた。ダクタイル铸铁、ダクタイル管の出現である。

表-4-2 ダクタイル管の機械的性質

引張強さ	420N/mm ² 以上
伸び	10%以上
ブリネル硬さ	230HB以下

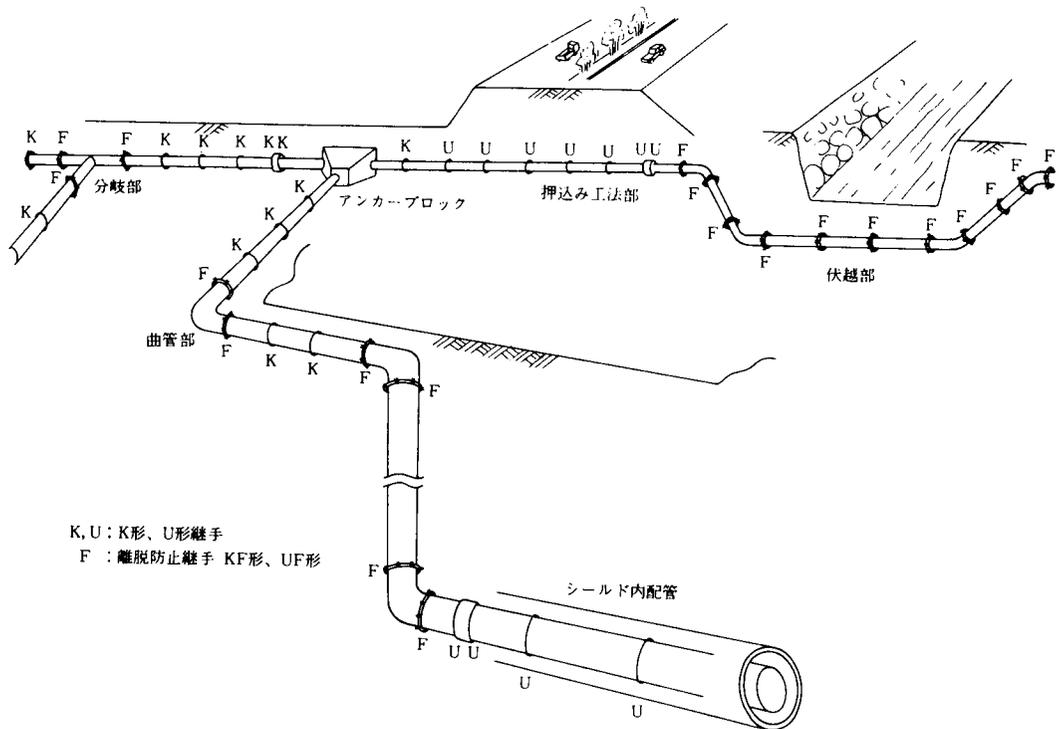
この結果、管体の破損の問題はほとんど解決したとみなすことができる。継手もその後、K形、U形、T形など管路直線部用のものが相次いで開発されて、その性能は向上した。また、管路曲線部分には、アンカーブロックなどを用いなくてもよい抜き出し防止継手などの登場により、ここに管体、継手ともに柔構造になった。

地震、軟弱地盤での沈下などの地盤変動に対して管および継手に大きい応力を生ずることなく、その変位に順応する管路構成になったとい

える。この管路は、継手の伸縮余裕量が、ある程度見込まれていることから、中程度の地震、

大地震でも地盤のよいところでは、その機能を発揮するものといえる。

図-4-4 柔構造管路の一例



4. 3. 鎖構造管路

メカニカル継手で構成されたダクタイト管路は、前にも述べたようにある程度までは耐震的である。

しかし、大きい地震で地盤も悪く、断層、亀裂、液状化現象など、土の動きも予想し難いような場合、これで十分かどうか疑問が残る。また、ダクタイト管路が一応耐震的であっても、消火用水、飲料水などの緊急用水だけは完全に確保したいという意図で、さらに耐震的に安全性の高いものを得たい。場合によっては、主要幹線だけでも適用したいという声が最近強くなってきている。これらの声に応じて、われわれは鎖構造管路とでもいうべき管路を構成でき

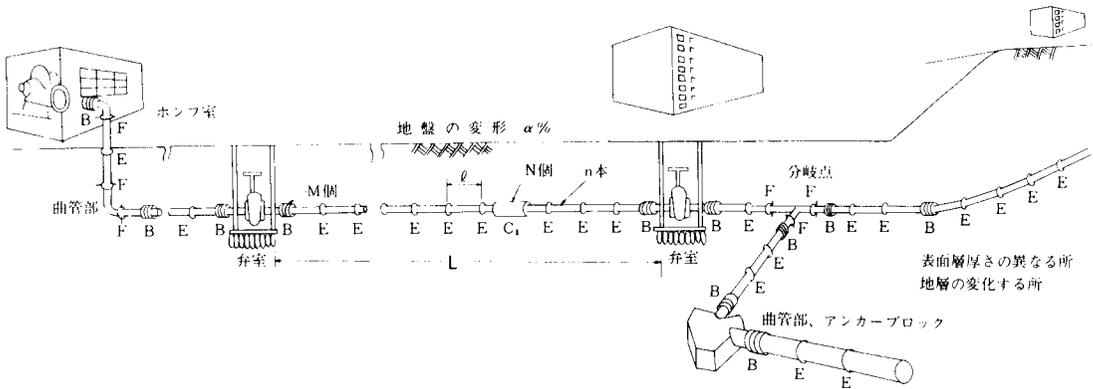
る耐震継手を開発・実用化した。

これは地震時、管路がちょうど地下に埋められている鎖のように、自由に伸縮、屈曲して地盤の変位に順応し、かつ最終的には、継手の受口と挿し口が引っかかって抜け出さない(離脱防止機構)ような機能を持つ継手構造である。柔構造管路の特長を生かし、管路に発生する応力を最小限にとどめ、地震時の土の動きに順応していくと同時に、予想し得ない不均一な土の動きによる大きな変位を1カ所の継手の伸縮で吸収できない場合には継手の離脱防止機構によってとなりの管を引張ってその継手の伸縮と合わせて吸収する。

また、鎖構造管路構想に沿って開発された大きな屈曲や伸縮を吸収できる可とう管や耐震継輪なども合わせて実用化されている。

(参考文献) (1) 厚生省: 南関東大震災対策調査報告書、昭和48年3月。

図-4-5 鎖構造管路の一例



- B: 大屈曲形管(BJ形可とう管)
- C: 大伸縮可とう管(S, S II, NS, US形継輪など)
- E: 耐震継手管(S, S II, NS, US形管など)
- F: 離脱防止継手(KF, UF形管)

5. 耐震継手

5. 1. S 形

5. 1. 1. 概要

(1) 呼び径

φ 500～φ 2600

(2) 管種および管厚

直 管：1、1.5、2、2.5、3 種管(切管は
1 種管)

異形管：長尺継ぎ輪、継ぎ輪など管厚は
1 種類

(3) 従来の管との接合

K 形、U 形、UF 形管と接合可能

(4) 直管の有効長

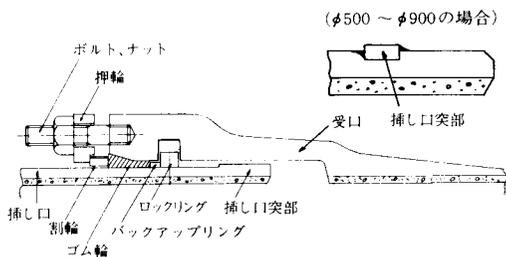
φ 500～φ 1500 : 6m

φ 1600～φ 2600 : 4m

5. 1. 2. 継手構造

図-5-1 に示す通りである。

図-5-1 S 形継手構造



この継手の機構を分類すると、次のようになる。

① 伸縮機構

受口底部と挿し口先端、挿し口突部とロックリングの間に隙間があるため、受口・挿し口の入り込み、抜け出しが可能である。したがって屈曲も可能である。

② 離脱防止機構

ロックリングと挿し口突部の掛け合わせにより、受口・挿し口の離脱を防止する。

③ 水密機構

水密機構はK形のそれとほぼ同じである。

5. 1. 3. 継手性能

(1) 継手伸縮量

直管の継手 管長の±1%

(2) 離脱防止力

呼び径(mm)	離脱防止力 kN(tf)
500	1,470(150)
600	1,770(180)
700	2,060(210)
800	2,350(240)
900	2,650(270)
1000	2,940(300)
1100	3,240(330)
1200	3,530(360)
1350	3,970(405)
1500	4,410(450)
1600	4,710(480)
1650	4,850(495)
1800	5,300(540)
2000	5,880(600)
2100	6,180(630)
2200	6,470(660)
2400	7,060(720)
2600	7,650(780)

(注) 継手の離脱防止力 F(tf) は

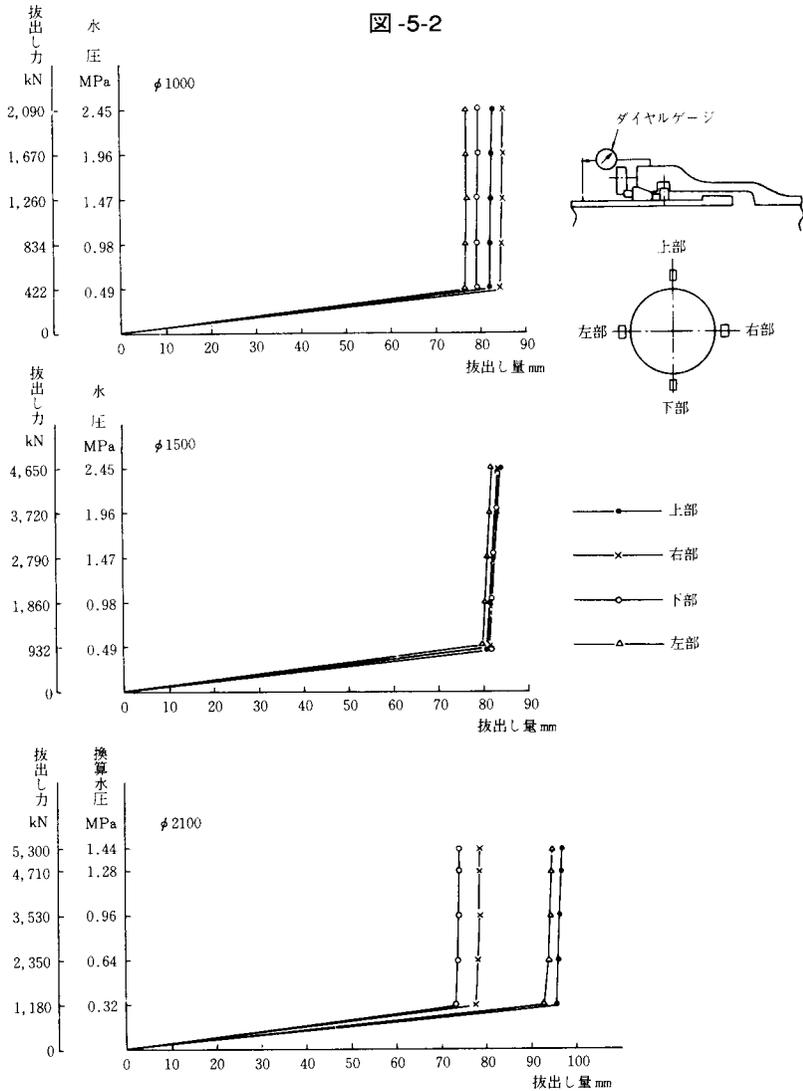
以下で計算できる。

$$F = 0.3D(\text{呼び径mm})$$

(3) 最大屈曲角

呼び径 (mm)	地震時に曲がり 得る最大屈曲角
500	7°
600	7°
700	7°
800	7°
900	7°
1000	7°
1100	7°
1200	7°
1350	6° 30'
1500	5° 50'
1600	5°
1650	4° 50'
1800	4° 40'
2000	4° 20'
2100	4° 10'
2200	4°
2400	3° 50'
2600	3° 40'

5. 1. 4. 機能試験例(抜出し試験結果)



5. 2. S II 形

5. 2. 1. 概要

(1) 呼び径

φ 75 ~ φ 450

(2) 管種および管厚

直 管 : 1, 2, 3 種管 (切管は 1 種管)

異形管 : 長尺継ぎ輪、継ぎ輪、曲管、

二受 T 字管、片落管、短管

など、管厚は 1 種類

(3) 従米の管との接合

T 形、K 形、KF 形、NS 形管と接合可能

(4) 直管の有効長

φ 75、φ 100 : 4m

φ 150 ~ φ 250 : 5m

φ 250 ~ φ 450 : 6m

5. 2. 2. 継手構造

図-5-3 に示す通りである。

この継手の機構を分類すると次のようになる。

① 伸縮機構

受口底部と挿し口先端、挿し口突部とロックリングの間に隙間があるため、受口・挿し口の入り込み、抜け出しが可能

である。したがって屈曲も可能である。

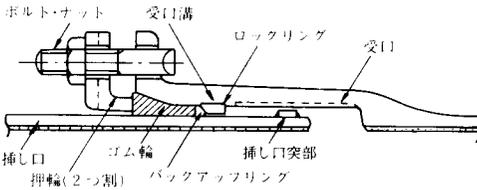
② 離脱防止機構

ロックリングと挿し口突部の掛け合わせにより、受口・挿し口の離脱を防止する。

③ 水密機構

水密機構はK形のそれとほぼ同じである。

図-5-3 S II形継手構造



5. 2. 3. 継手性能

(1) 継手伸縮量

直管の継手 管長の±1%

(2) 離脱防止力

呼び径 (mm)	離脱防止力 kN(tf)
75	221(22.5)
100	294(30)
150	441(45)
200	588(60)
250	735(75)
300	883(90)
350	1,030(105)
400	1,180(120)
450	1,320(135)

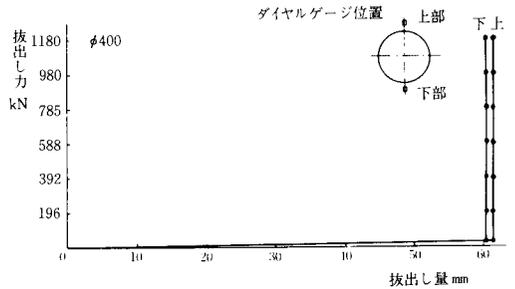
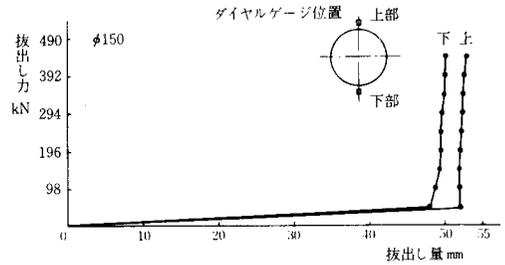
(注) 継手の離脱防止力 F(tf) は以下で計算できる。F = 0.3D(呼び径mm)

(3) 最大屈曲角

呼び径 (mm)	地震時に曲がり 得る最大屈曲角
75	8°
100	8°
150	8°
200	8°
250	8°
300	6°
350	6°
400	6°
450	6°

5. 2. 4. 機能試験例(拔出し試験結果)

図-5-4



5. 3. NS形

5. 3. 1 概要

(1) 呼び径

φ 75 ~ φ 250

(2) 管種及び管厚

直管：1、3種管(切管は1種管)

異形管：継ぎ輪、曲管、二受T字管、片落管、短管など管厚は1種類

(3) 従来の管との接合

K形、T形、S II形と接合可能

(4) 直管の有効長

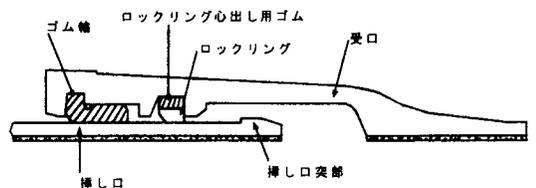
φ 75、φ 100 : 4m

φ 150 ~ φ 250 : 5m

5. 3. 2 継手構造

図-5-5に示す通りである。

図-5-5 NS形継手構造



この継手の機構を分類すると次のようになる。

① 伸縮機構

受口底部と挿し口先端、挿し口突部とロックリングの間に隙間があるため、受口・挿し口の入り込み、抜け出しが可能である。したがって屈曲も可能である。

② 離脱防止機構

ロックリングと挿し口突部の掛け合わせにより、受口・挿し口の離脱を防止する。

③ 水密機構

水密機構はT形のそれとほぼ同じである。

5. 3. 3 配管設計のための基準性能

(1) 継手伸縮量

直管の継手 管長の±1%

(2) 離脱防止力

呼び径(mm)	離脱防止力 kN(tf)
75	221(22.5)
100	294(30)
150	441(45)
200	588(60)
250	735(75)

(注) 継手の離脱防止力 F(tf) は以下で計算できる。F = 0.3D(呼び径mm)

(3) 最大屈曲角

呼び径(mm)	地震時に曲がり得る最大屈曲角
75	8°
100	8°
150	8°
200	8°
250	8°

5. 4. US形

5. 4. 1. 概要

(1) 呼び径

φ 700～φ 2600

(2) 管種および管厚

直 管：1、1.5、2、2.5、3、3.5、4種管

異形管：継ぎ輪、長尺継ぎ輪など

管厚は1種類

(3) 従来の管との接合

K形、U形、UF形、S形管と接合可能

(4) 直管の有効長

φ 700～φ 1500：4m、6m

φ 1600～φ 2600：4m

5. 4. 2. 継手構造

図-5-6に示す通りである。

この継手の機構を分類すると、次のようになる。

① 伸縮機構

ロックリングと挿し口突部の間に隙間があるため、その間で受口・挿し口の入り込み、抜け出しが可能である。したがって屈曲も可能である。

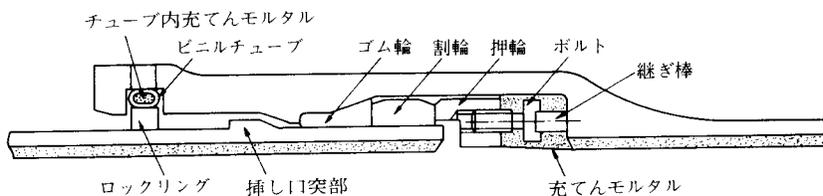
② 離脱防止機構

ロックリングと挿し口突部の掛け合わせにより、受口・挿し口の離脱を防止する。

③ 水密機構

U形と同じである。

図-5-6 US形継手構造



5. 4. 3. 継手性能

(1) 継手伸縮量

直管の継手 管長の+1%

(2) 離脱防止力

呼び径 (mm)	離脱防止力 kN(tf)
700	2,060(210)
800	2,350(240)
900	2,650(270)
1000	2,940(300)
1100	3,240(330)
1200	3,530(360)
1350	3,970(405)
1500	4,410(450)
1600	4,710(480)
1650	4,850(495)
1800	5,300(540)
2000	5,880(600)
2100	6,180(630)
2200	6,470(660)
2400	7,060(720)
2600	7,650(780)

(注) 継手の離脱防止力 F(tf) は以下で計算できる。

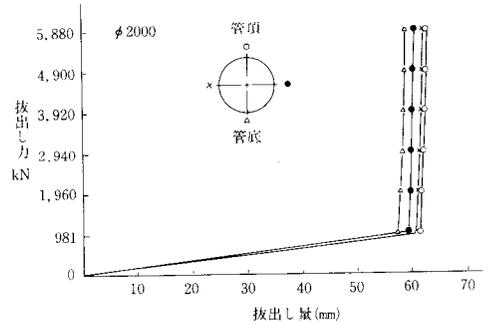
$$F = 0.3D(\text{呼び径 mm})$$

(3) 最大屈曲角

呼び径 (mm)	地震時に曲がり得る最大屈曲角
700	5°
800	4° 20′
900	3° 50′
1000	3° 50′
1100	3° 30′
1200	3° 10′
1350	3° 10′
1500	3°
1600	2°
1650	2°
1800	1° 50′
2000	1° 50′
2100	1° 50′
2200	1° 50′
2400	1° 50′
2600	1° 50′

5. 4. 4. 機能試験例 (抜出試験結果)

図-5-7



5. 5. P II 形

5. 5. 1. 概要

(1) 呼び径

φ 300～φ 1350

(2) 管種および管厚

直管：1、1.5、2、2.5、3、3.5、4種管

異形管：受挿し短管、継ぎ輪、フランジ

付きT字管

管厚は1種類

(3) 従来の管との接合

K形、U形、UF形管と接合可能

注) φ 300～φ 1100は、受挿し短管を用いる必要あり

(4) 直管の有効長

4m

5. 5. 2. 継手構造

図-5-8に示す通りである。

この継手の機構を分類すると、次のようになる。

① 伸縮機構

挿口溝の長さがロックリングより十分に長いので、受口・挿し口の抜け出しが可能である。

② 離脱防止機構

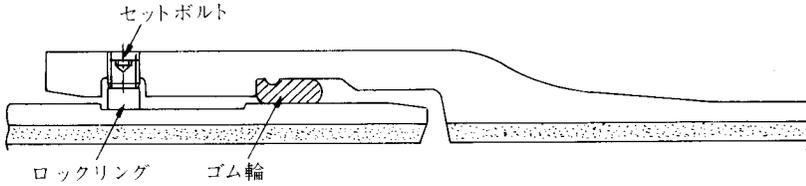
挿口溝とロックリングの掛け合わせにより、受口・挿し口の離脱を防止する。

③ 水密機構

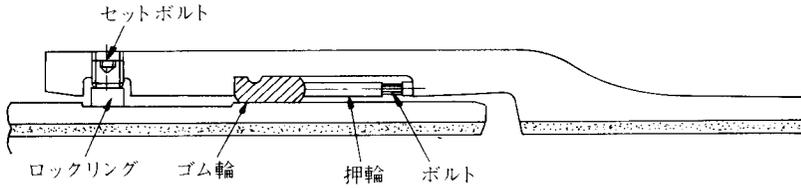
水密機構はT形のそれとほぼ同じである。

図-5-8 P II形継手構造

(呼び径 300～600mmの場合)



(呼び径 700～1350mmの場合)



5. 5. 3. 継手性能

(1) 継手伸縮量

直管の継手 管長の+1%

(2) 離脱防止力

呼び径(mm)	離脱防止力 kN(tf)
300	441(45)
350	515(52.5)
400	588(60)
500	735(75)
600	883(90)
700	1,030(105)
800	1,180(120)
900	1,320(135)
1000	1,470(150)
1100	1,620(165)
1200	1,770(180)
1350	1,990(202.5)

(注) 継手の離脱防止力 F(tf) は以下で計算できる。

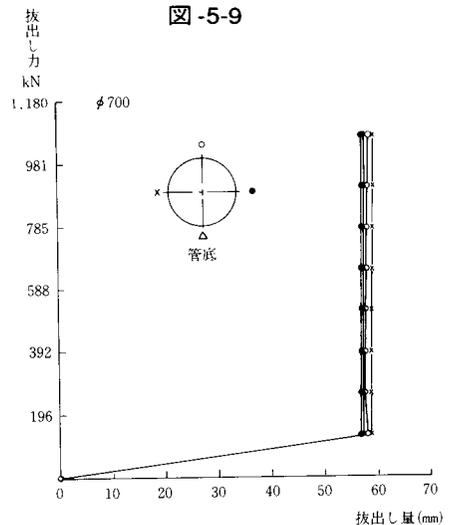
$$F = 0.15D(\text{呼び径mm})$$

(3) 最大屈曲角

呼び径(mm)	地震時に曲がり得る最大屈曲角
300	8° 50′
350	8°
400	7°
500	5° 30′
600	4° 40′
700	4° 20′
800	3° 20′
900	3° 40′
1000	3° 20′
1100	3°
1200	2° 50′
1350	2° 30′

5. 5. 4. 機能試験例(抜出し試験結果)

図-5-9



5. 6. ボール式ダクタイル鋳鉄可とう管ユニット

5. 6. 1. 概要

(1) 名称

ボール式ダクタイル鋳鉄可とう管ユニット

(略称：BJ形)

(以下、BJ形可とう管と記す)

(2) 呼び径

φ75～φ1200

(3) 管厚

1種類

(4) 従来の管との接合

φ75～φ450

SⅡ形管(受口)・フランジ形と接合可能

φ500～φ1200

KF形、UF形と同等の挿し口溝加工することで接合可能

5. 6. 2. 構造

図-5-10に示す通りである。

この継手の機構を分類すると、次のようになる。

① 屈曲機構

球体で形成された挿し口外面を受口が摺動することによって、継手が大きく屈曲できる。この継手を2組図のように用いて大きな変位を吸収することができる。

② 離脱防止機構

球面とストップの掛け合わせによって離脱を防止する。

③ 水密機構

水密機構はT形のそれとほぼ同じである。

5. 6. 3. 継手性能

(1) 離脱防止力

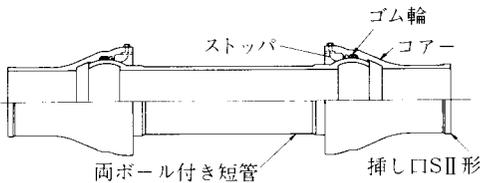
呼び径(mm)	離脱防止力 kN(tf)
75	221(22.5)
100	294(30)
150	441(45)
200	588(60)
250	735(75)
300	883(90)
350	1,030(105)
400	1,180(120)
450	1,320(135)
500	1,470(150)
600	1,770(180)
700	2,060(210)
800	2,350(240)
900	2,650(270)
1000	2,940(300)
1100	3,240(330)
1200	3,530(360)

(注)継手の離脱防止力F(tf)は以下で計算できる。

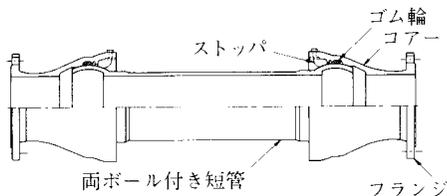
$$F = 0.3D(\text{呼び径mm})$$

図-5-10 BJ形可とう管の構造

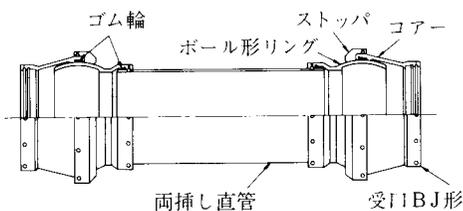
(呼び径75～450mmのSⅡ両挿しユニット)



(呼び径75～450mmのフランジユニット)



(呼び径500～1200mm両受ユニット)



(2) 曲げ余裕量

呼び径(mm)	許容曲げ角度
75	15°
100	15°
150	15°
200	15°
250	15°
300	15°
350	15°
400	15°
450	15°
500	15°
600	15°
700	15°
800	15°
900	15°
1000	15°
1100	15°
1200	15°

(3) 限界曲げモーメント

呼び径(mm)	限界曲げモーメント(kN・m)
75	3.92(0.40)
100	8.34(0.85)
150	16.7 (1.7)
200	29.4 (3.0)
250	44.1 (4.5)
300	63.7 (6.5)
350	81.4 (8.3)
400	108 (11.0)
450	142 (14.5)
500	181 (18.5)
600	270 (27.5)
700	410 (41.8)
800	588 (60.0)
900	814 (83.0)
1000	1.000 (102)
1100	1.290 (132)
1200	1.570 (160)

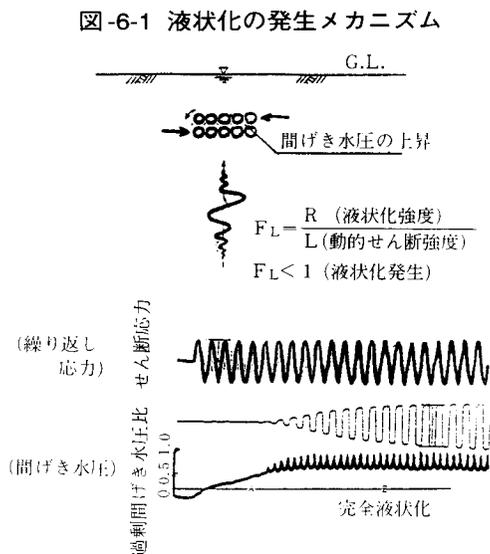
(注) カッコ内の数字は、tf・m

6. 液状化対策

6. 1. はじめに

都市の機能の多様化、規模の拡大や高度化によって“ライフライン”と呼ばれる上下水道・工業用水・ガス・電力・電信電話などの地下埋設管路は飛躍的に拡大し、その重要性が増している。

近年、これらの埋設管路に、地震時の地盤の液状化による多くの被害が発生している。ここでは、現地被害調査などのデータをもとに、地震時に発生する液状化現象による地下埋設管路の挙動とその対策について述べたものである。



6. 2. 地盤の液状化とは

(1) 液状化発生メカニズムの概要

図-6-1に液状化の発生メカニズムの概要を示す。

- ①地震などの振動を受けると、地盤にはせん断歪が発生する。
- ②地盤がゆる締め状態の場合、ダイレイタンスー効果により地盤は体積減少を示す。また、地盤が地下水などの水で飽和されていると、体積減少に伴って間げき水圧は増加する。

- ③地震により、地盤が繰り返しせん断力を受けると、上記の理由で間げき水圧は徐々に増加してゆき、最終的には土かぶりなどの拘束力(有効応力)と同等になり、地盤の土粒子は浮遊状態を示し、地盤の液状化に至る。

(2) 液状化の判定

①下記の条件を全て満足する土層について液状化の判定を行うものとする。¹⁾

- (a) 地表面より25m以浅の飽和土層。
- (b) 平均粒径 D_{50} が10mm以下。
- (c) 細粒分(0.075mm以下の粒径をもつ土粒子)重量含有率が30%以下。

②液状化の判定方法

一般的には、FL法がよく用いられている。FL法は、地盤の液状化抵抗せん断応力と地震時に作用するせん断応力の比較から液状化を判定するものである。^{1)・2)}

6. 3. 地下埋設管路の被害の状況

(1) 国内の被害事例

①主な地震による液状化被害事例

写真-6-1～16に現地調査による被害状況を示す。

- (a) 新潟地震(1964年6月16日13時1分)
 - 写真-6-1 引張りにより継手が離脱した呼び径200mmメカニカル形高級铸铁管。
 - 写真-6-2 圧縮により座屈破損した呼び径150mm鋼管。
 - 写真-6-3 圧縮により破損した高級铸铁製呼び径400mm×150mm T字管。
 - 写真-6-4 液状化により浮き上がり、曲げ、引張りを受け、破損した呼び径150mm鋼管。
 - 写真-6-5 液状化により浮き上がったヒューム管管路。
 - 写真-6-6 曲げを受け管体で破損したヒューム管。
- (b) 十勝沖地震(1968年5月16日9時49分)
 - 写真-6-7～9 液状化により浮き上がり、継手部で抜け、漏水した呼び径1100mm PC管とその継手部。

写真 -6-1 新潟市内



写真 -6-4 新潟市内

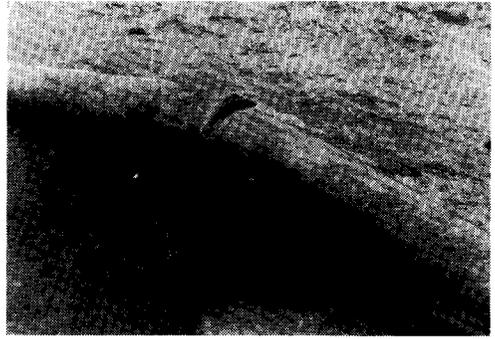


写真 -6-2 新潟市内



写真 -6-5 新潟市内



写真 -6-3 新潟市内



写真 -6-6 新潟市内

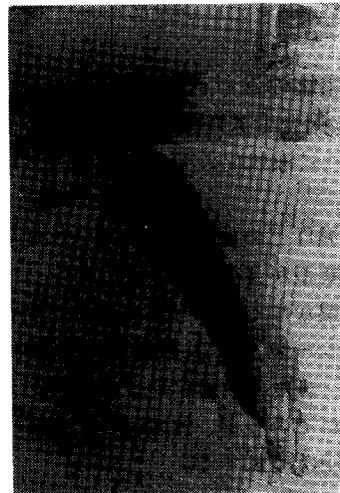


写真-6-7 八戸市内



写真-6-8 八戸市内

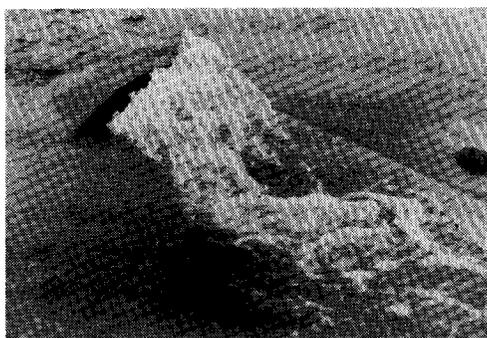


写真-6-9 八戸市内



写真-6-10 車力村付近

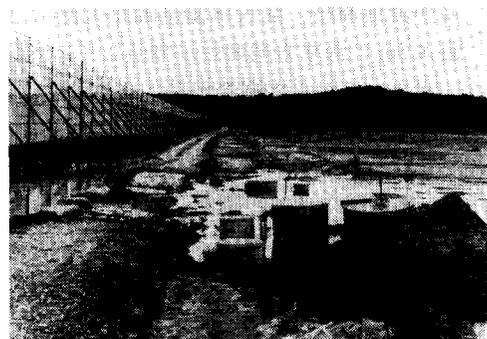


写真-6-11 車力村付近



写真-6-12 男鹿市内

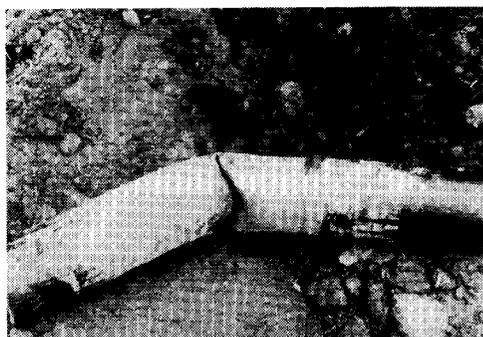


写真-6-13 車力村付近

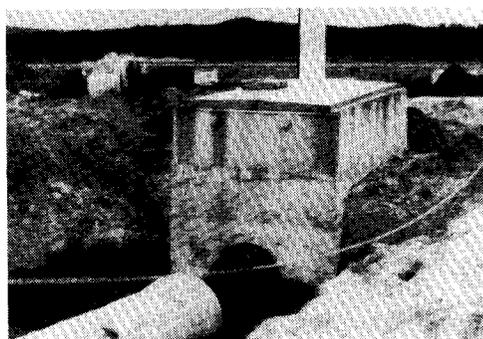


写真-6-14 車力村付近

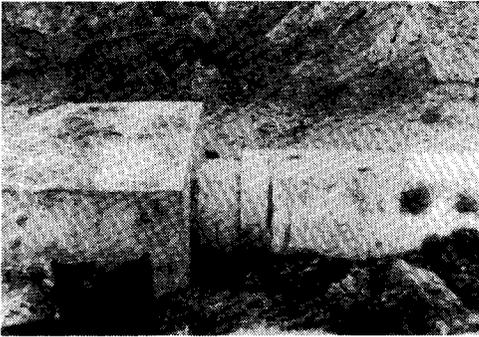
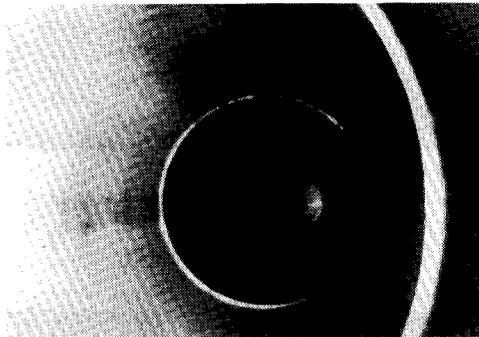


写真-6-15 能代市内



写真-6-16 能代市内



(c) 日本海中部地震(1983年5月26日12時0分)

写真-6-10、11 液状化により浮上したマンホールと、その取合部で抜け出し、破損した塩化ビニル管。

写真-6-12 曲げにより座屈した鋼管。

写真-6-13 マンホールとの取合部で抜け出したヒューム管。

写真-6-14 アンカーブロックとの取合部で抜け出したヒューム管。

写真-6-15、16 呼び径1650mmK形ダクタイル管が埋設されている道路わきの水田での噴砂状況と管内調査の結果、継手の抜け出しなどがなんら見られなかった上記ダクタイル管路。(この例のように、液状化が発生しても、その程度によっては被害に至っていない場合もある)

②被害パターン

地盤の液状化による地下埋設管路の被害事例から、被害のパターン分けを行うと以下のように考えられる。

(a) 地盤の液状化により管路は浮き上がることがある。この浮き上がり大きい所では管体の座屈、破断や継手の離脱などが発生する。

(b) 液状化によって、後述する地盤の永久変位が発生し、管路は引張り、圧縮、曲げを受け、管体の座屈、破断や継手の離脱などが発生する。

③液状化による地盤の永久変位

液状化時に地下埋設管路が被害を受ける大きな要因のひとつに“地盤の永久変位”がある。これについては、浜田ら³⁻⁵⁾によって精力的な研究がなされており、多くのデータが得られている。ここでは、すでに学会などで報告されたデータの一例を図-6-2に示す。測定方法は、地震発生前後に撮影された航空写真より、地盤の動きを確認するというものである。浜田によると、1964年新潟地震時、新潟市の信濃川沿岸で最大8mもの水平方向変位が発生し、1983年日本海中部地震時、能代市南部前山北側では、最大5mの水平方向変位が発生している。

また、これらの調査結果から、各変位の推定式も検討されている。

これらのことをもとに、地盤の土層、地形、地震動などとの関係についての研究が行われている。

図-6-2 能代市南部地域における地盤の永久変位⁵⁾



(2) 国外の被害事例

① 1989年ロマ・プリエタ地震⁶⁾

1989年10月17日、米国サンフランシスコ市の南約100kmのサントクルズ郡の山中を震源としたマグニチュードM=7.1の地震が発生し、北約100kmのサンフランシスコ市から南約50kmのモンテレーに至る広い範囲にわたって、建築物・ライフラインなどに多くの被害が発生した。表-6-1に主な都市での管路の被害率を示すが、震源地付近では平均被害率0.18件/km、震源から約100km離れたサンフランシスコ市では、0.06件/kmであった。

表-6-1 主な都市の水道管路の平均被害率

事業体	被害率 (件/km)	(参考) 震源地からの距離
サンフランシスコ市	0.06	約100km
EBMUD ^(注)	0.02	約100km
ワトソンビル市	0.17	約17km
サントクルズ市	0.19	約19km

(注) : EBMUD(East Bay Municipal Utility District)オークランド、パークレー、リッチモンドなど、12市1町で構成される公共事業体

図-6-3に液状化発生地点、図-6-4にサンフランシスコ市マリナーナ地区(埋め立て地)での被害分布を示すが、埋め立て地帯で液状化に伴う多くの管路の被害が発生した。被害の大部分は1930年代布設の古い管(普通鉄管、鋼管)などであり、鉄管では継手の抜け、鋼管では溶接部のクラックによる漏水が発生した。図-6-5に観測された地震動の大きさを示すが、震源地付近では最大加速度627cm/s²、サンフランシスコ市では、埋め立て地での記録ではないが、59~118cm/s²であった。

図-6-3 1989年ロマ・プリエタ地震による液状化発生地点⁶⁾



当地震による被害の特徴的なことは、地震動の大きさがさほど大きくないにもかかわらず、マリナーナ地区のように地盤の液状化によって管路に多くの被害が発生したことである。

② 1990年フィリピン地震⁷⁾

1990年7月16日、フィリピン共和国ルソン島北部を震源とするマグニチュードM=7.8の地震が発生した。この地震によって、震源から約100km離れた、図-6-6に示すリングエン湾に面する広い地域に液状化が発生し、特にダグバン市内では建築物・ライフラインなどに甚大な被害が発生した。図-6-7に被害管路と液状

図-6-4 サンフランシスコ市(マリーナ地区)における水道管路被害地点⁶⁾

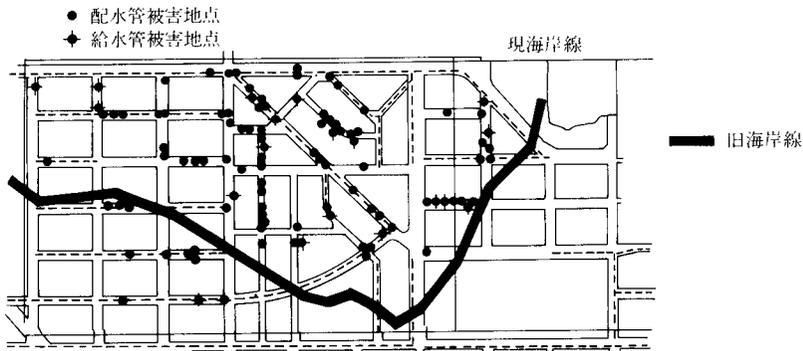
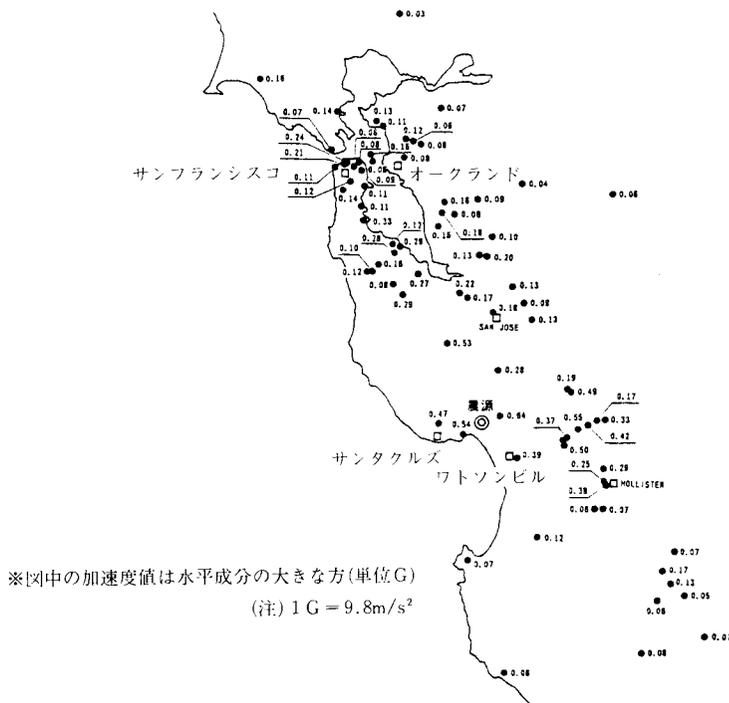


図-6-5 観測された地震動の強さ(最大加速度)⁶⁾



化発生地域および図-6-8に中心街の側方流動発生地点を示す。配水管の呼び径は75～200mmで、その布設延長は普通鑄鉄管(1935～37年布設)が約20%、石綿セメント管が約50%、塩化ビニル管が約30%と推定されている。

被害を受けた埋設管路はすべて掘削せず放棄し、新しい管を布設したため被害形態は不明であるが、被害発生地点は液状化地帯とほぼ一致しており、これは前述のロマ・プリエタ地震でのマリーナ地区と同様の被害形態であった。

図-6-6 ダグバン市と震央



図-6-7 ダグバン市の配水管路網被害⁷⁾

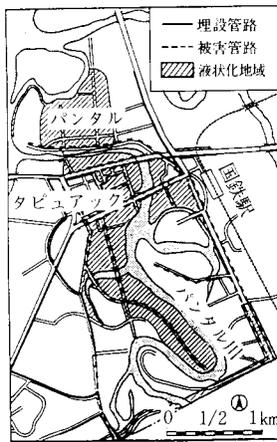
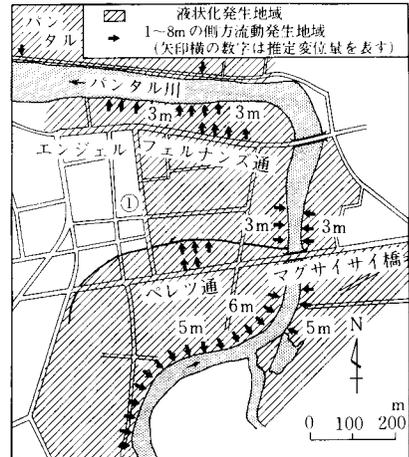


図-6-8 ダグバン市における液状化発生地域と側方流動による地盤の永久変位の発生地点⁷⁾



6. 4. 液状化対策管路

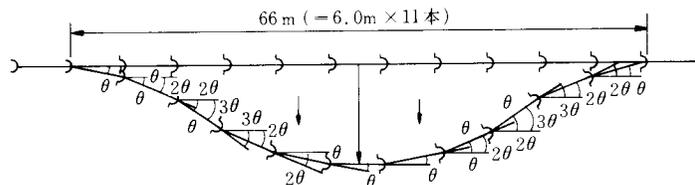
以上の状況を踏まえて、地震時の液状化に対する埋設管路の対策を以下に示す。

- ①液状化の発生が予想される地帯に布設する管路には、管体強度が高く、継手が伸縮性・可とう性を有する“柔構造管路”とするこ

とが望ましい。〔図-4-4(27ページ)参照〕

- ②さらに、液状化の発生する可能性が非常に高い地帯に布設する管路には、継手が伸縮性・可とう性を有し、かつ、離脱防止機能を備えた“鎖構造管路”とすることが望ましい。“鎖構造管路”は、地震時、管路がちよ

図-6-9 S形ダクタイル管路による地盤の相対変位吸収量の試算例



S形呼び径1000mmの場合：

管路の吸収し得る最大変位量：Hmaxを次式より算出する。

$$H_{max} = L \times (\tan \theta + \tan 2\theta + \tan 3\theta + \tan 2\theta + \tan \theta)$$

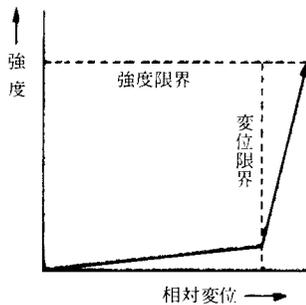
ここで、L：管長(=6.0m)

θ：継手部最大屈曲角度(=7°)

$$= 6.0 \times \{\tan(7^\circ) + \tan(14^\circ) + \tan(21^\circ) + \tan(14^\circ) + \tan(7^\circ)\}$$

$$= 7.0(\text{m})$$

図-6-10 鎖構造継手特性

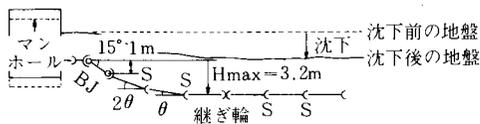


うど地中に埋められている鎖のように、自由に伸縮、屈曲に対応し、かつ最終的には引っかかって抜け出さない機能を持つ構造の管路である。〔図-4-5(28ページ)参照〕

なお、S形ダクティル管路による地盤の相対変位吸収量の試算例を図-6-9に示す。また、図-6-10にこの継手特性を示す。これらの継手の選定については、表-6-2に示す(財)国土開発技術研究センターによる「地下埋設管路耐震継手の技術基準(案)」の中に、継手の評価基準が示されており、参考になるものと思われる。

- ③また、マンホール、アンカーブロックなどの構造物との取合部においても、一般管路部と同様に伸縮性・可とう性および離脱防止機能があることが望ましい。図-6-11に配管例を示す。

図-6-11 マンホールとの取合部の配管例



BJ:BJ形可とう管
S:S形ダクティル管

表-6-2 継手の評価基準⁸⁾

継手区分

耐震継手はその継手性能から伸縮形と屈曲形に大別し、それぞれの継手性能から次のように分類、区分する。

(1) 伸縮形耐震継手

区分は以下の通りとし、伸縮性能区分と離脱防止性能区分との組み合わせとする。ただし離脱防止性能がなくてもここに示す離脱防止性能に相当する余裕長を持つものは、それぞれの類、級に該当させることができる。

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	" $\pm 0.005\ell$ mm以上 $\pm 0.01\ell$ mm未満
	S-3類	" $\pm 0.005\ell$ mm未満
離脱防止性能	A級	離脱防止抵抗 力 $0.3d$ tf 以上 $0.15d$ tf 以上
	B級	" $0.3d$ tf 未満 $0.075d$ tf 以上
	C級	" $0.15d$ tf 未満
	D級	" $0.075d$ tf 未満

(注) ℓ : 管1本の有効長(mm)。

d: 管外径(mm)。一般には呼び径とする。

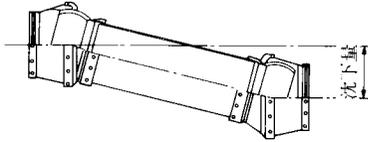
(2) 屈曲形耐震継手

区分は以下の通りとし、屈曲性能区分と離脱防止性能区分との組み合わせとする。ただし離脱防止性能がなくてもここに示す離脱防止性能に相当する余裕長を持つものは、それぞれの類、級に該当させることができる。

項目	区分	継手の性能
屈曲性能	M-1類	屈曲角度 $\pm 15^\circ$ 以上
	M-2類	" $\pm 7.5^\circ$ 以上 $\pm 15^\circ$ 未満
	M-3類	" $\pm 7.5^\circ$ 未満
離脱防止性能	A級	離脱防止抵抗 力 $0.3d$ tf 以上 $0.15d$ tf 以上
	B級	" $0.3d$ tf 未満 $0.075d$ tf 以上
	C級	" $0.15d$ tf 未満
	D級	" $0.075d$ tf 未満

(注) d: 管外径(mm)。一般には呼び径とする。

図-6-12 BJ形可とう管を用いた管路による地盤の沈下吸収量の試算例



呼び径1000mmの場合：

管路の吸収し得る最大変位量：Hmaxを次式により算出する

$$H_{\max} = \delta + L \times (\tan \theta + \tan 2\theta)$$

ここで、 δ ：BJ形可とう管変位吸収量(=1.0m)

L：S形ダクタイル直管長(=6.0m)

$$= 1.0 + 6.0 \times (\tan 7^\circ + \tan 14^\circ)$$

$$= 3.2(\text{m})$$

(参考文献)

1. (社)日本水道協会：「水道施設耐震工法指針・解説」(1997)P. 21～23
2. 吉見：「砂地盤の液状化」技報堂出版(株)(1981)
3. 浜田他：「新潟地震による阿賀野川左岸地域の地盤の永久変位(その1)」第19回地震工学研究発表会(1987)
4. 浜田他：「液状化による鉛直方向の地盤の永久変位」第19回地震工学研究発表会(1987)
5. 浜田：「液状化による地盤の側方移動」地震予知総合研究振興会地震ジャーナル(1988)
6. 1989年ロマ・ブリエタ地震被害調査報告書、(財)地震予知総合研究振興会(1990)
7. 1990年フィリピン・ルソン島地震被害調査報告書、(財)地震予知総合研究振興会(1991)
8. (財)国土開発技術研究センター：「地下埋設管路耐震継手の技術基準(案)」(1977)

7. 兵庫県南部地震における管路被害事例

7. 1. はじめに

兵庫県南部地震(以下、阪神・淡路大震災)による管路被害は、兵庫県、大阪府など9府県68市町村の水道事業および3水道水供給事業に及んだ。断水戸数は地震直後には兵庫県内の約121万戸、大阪府内の約2万戸の合計約123万戸にのぼり、神戸市では復旧に約3ヵ月を要した。

7. 2. 阪神・淡路大震災の上水道管路被害と地盤変状との関係

7. 2. 1. 管路の被害件数および被害形態

(1) 管路の被害件数および被害率

表-7-1に配水管、給水管の被害件数を、図7-1には配水管の各管種の被害率を示す。(SGPは布設距離がわずかであるためここでは割愛した)

表-7-1 配水管、給水管の被害件数¹⁾

都市	被害件数		
	配水管	給水管	
		公道下	宅地内
神戸	1,757	11,823	50,695
西宮	824	4,820	36,417
芦屋	362	382	2,846

図-7-1 配水管の各管種の被害率

DIP: ダクタイル管(A, K, T形)

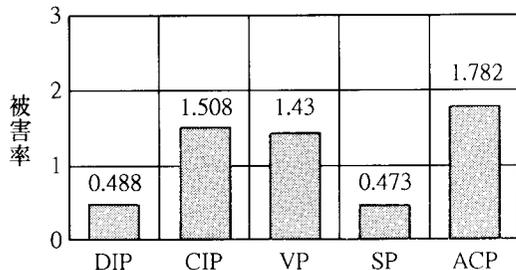
CIP: 铸铁管(印ろう, A形)

VP: 硬質塩化ビニル管(TS形)

SP: 鋼管(溶接継手)

ACP: 石綿セメント管(ゴム継手)

(件/km)



(2) 管路の被害形態

表-7-2に各管種の主な被害形態を示す。また、主な状況は以下の通りであった。

①ダクタイル管の一般継手(A, K, T形)のほ

とんどは、過去の地震と同様、継手の抜けによる漏水であった。

②耐震継手であるS, S II形管路は、埋立地や造成地で約270km布設されていた(このうち埋立地には約100km布設されていた)が、被害は発生しなかった。

③铸铁管と硬質塩化ビニル管は、過去の地震と同様、継手の抜けや管体破損が見られた。

④鋼管は、溶接継手の破損および管体の破損であった。なお、水管橋橋台の破損にともなって管体破損したものが数ヵ所見られた。

表-7-2 各管種の主な被害形態¹⁾

管種	継手形式	主な被害状況
ダクタイル鉄管 DIP	一般継手 (A, K, T形)	継手の抜け
	耐震継手 (S, S II形)	被害なし
铸铁管 CIP	印ろう形	継手の緩み・抜け 管体損傷
	A形	継手の抜け 管体損傷
鋼管	SP	溶接継手 溶接部の破損
	SGP	ネジ継手 管体破損 継手の抜け・破損
硬質塩化ビニル管 VP	TS形	管体破損 継手の抜け・破損
石綿セメント管 ACP	ゴム継手	管体破損 継手の抜け・破損

7. 2. 2. 地盤変状と管路被害

(1) 管内TVカメラ調査による継手の挙動と地表面の地盤亀裂の調査結果例

傾斜地盤(坂道)に埋設されていた呼び径450mmの铸铁管のA形継手の動きと、その地表面上の地盤亀裂の関係を調査できる機会があったので、その結果例を図-7-2に示す。写真-7-1, 2は現地風景および地盤亀裂の例を示す。なお、この管路では管体破損は発生していない。

これより、次のことがわかった。

- ①地盤亀裂のある所では、継手の抜けが発生していたが、亀裂のない所では、継手の抜けは発生していない。
- ②継手の最終的な抜け出し量は、継手の位置の地表面の地盤亀裂量と同等以下であるか、または、継手をはさんだ両サイドの管路上の地盤亀裂量の合計とほぼ同等以下の値であった。

図-7-2 TVカメラによる調査箇所の地表面の亀裂

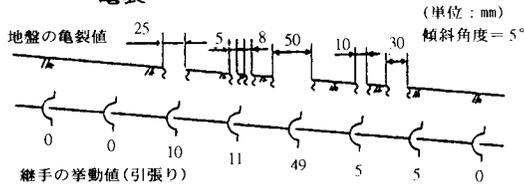


写真-7-1 現地風景



写真-7-2 地盤亀裂



また、神戸市水道局では液状化により地盤が水平方向に移動するなどの大きな地盤変状が発生したポートアイランド、六甲アイランドに埋設されていた耐震継手であるSⅡ形管路の地震による挙動を見るために、管内にTVカメラを入れた調査が行われた。

この調査で得られた主な知見を以下に示す。²⁾

- ①耐震管路は当地震による地盤変状(地盤クラックを含む)を継手の伸縮・離脱防止機能で吸収しており、耐震継手の機能を十分に発揮しているといえる。
- ②管路の管軸方向の伸び率は、地震により発生した地盤歪みに比べ、約1/2～1/3の値であった。

(2)地盤変状と管路被害の状況

現地調査の中で、管路の被害は主に次の所で見られた。

- ①液状化地盤、軟弱地盤
- ②造成地(地盤急変部)
- ③傾斜地(坂道)
- ④護岸(海、河川)近傍(護岸のはらみ出しに伴うもの)
- ⑤盛土部(盛土崩壊に伴うもの)
- ⑥配水池等の構造物との取り合い部

以下に代表的な地盤変状と管路被害の状況例を図と写真で示す。

a. 造成地での例(写真-7-3、4、図-7-3参照)

呼び径 450 mm 鋳鉄管(A形継手)

写真-7-3

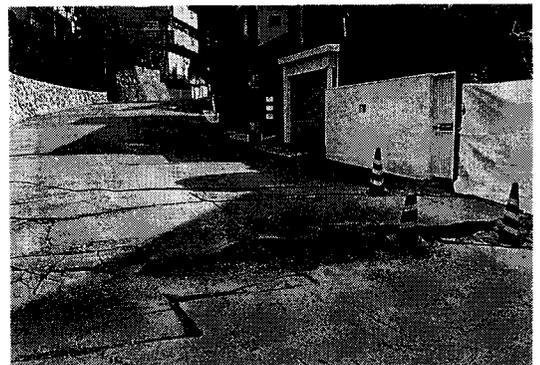


写真-7-4



写真-7-6



図-7-3

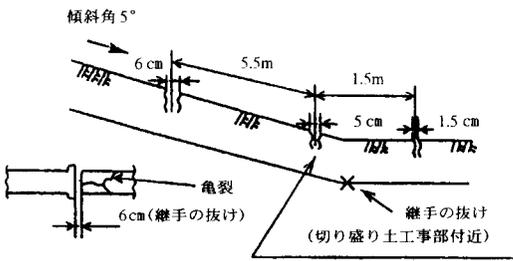
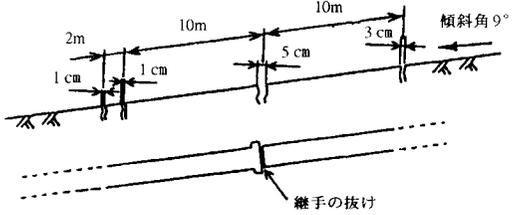


図-7-4



c. 護岸のはらみ出しに伴う例(写真-7-7、8、図-7-5 参照)

b. 傾斜地(坂道)での例(写真-7-5、6、図-7-4 参照)

呼び径 300 mm ダクタイト管(K形)

写真-7-7



呼び径 200 mm ダクタイト管

写真-7-5

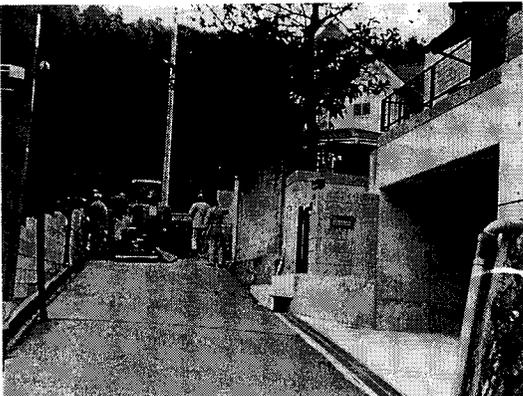


図-7-5

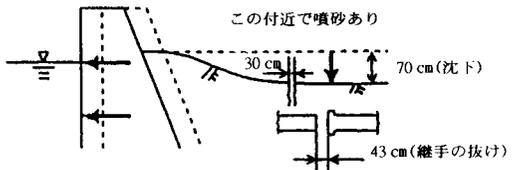


写真-7-8



d. 盛土の崩壊に伴う例(写真-7-9、10、図-7-6参照)

呼び径 450 mm 鑄鉄管(印ろう継手)

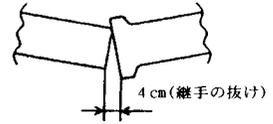
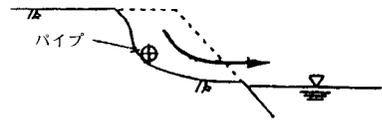
写真-7-9



写真-7-10



図-7-6



e. 構造物での取り合い部での地盤沈下に伴う例(写真-7-11、12、図-7-7参照)

呼び径 200 mm 鑄鉄管

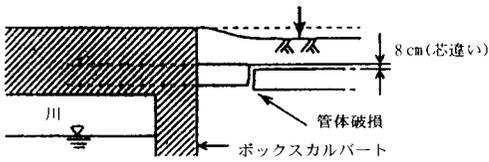
写真-7-11



写真-7-12



図-7-7



以上、当調査の中で、代表的と思われるものを示したが、鑄鉄管の印ろう継手と硬質塩化ビニル管のTS継手に関しては、地表面に地盤亀裂がなくても、継手のゆるみや抜けおよび管体破損による漏水が発生するケースが見られた。

7. 2. 3. 耐震継手が埋設されていた場所

神戸、芦屋、西宮市で約270kmのS形、SⅡ形の耐震継手管が布設されていたが、被害は発生しておらず、その有効性が確認された。この中には、神戸市東灘区などの震度Ⅶ地帯にも布設されていたものもあった。また、埋立地であるポートアイランド(神戸)、六甲アイランド(神戸)、芦屋浜、西宮浜、鳴尾浜(西宮)では計約100

km埋設されていた。当埋立地地区では液状化が発生し、また、護岸の側方移動に伴って管路上に地盤亀裂等の大きな地盤変状がかなり発生した。震災直後、現地調査を行った芦屋浜付近での地盤亀裂の大きさの例を図-7-8に、地盤亀裂状況例を写真-7-13に示す。なお、図-7-8の特に護岸位置の移動量は地割れ値から推定したものである。

写真-7-13 地盤亀裂状況写真

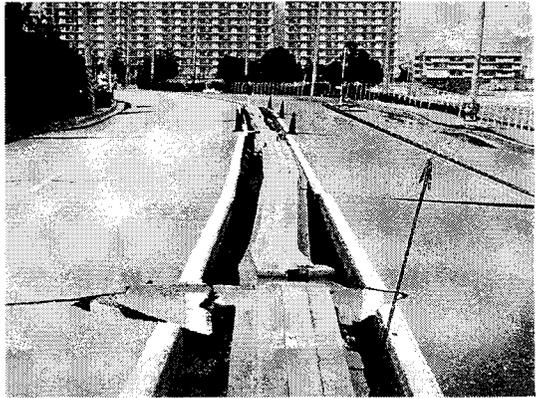
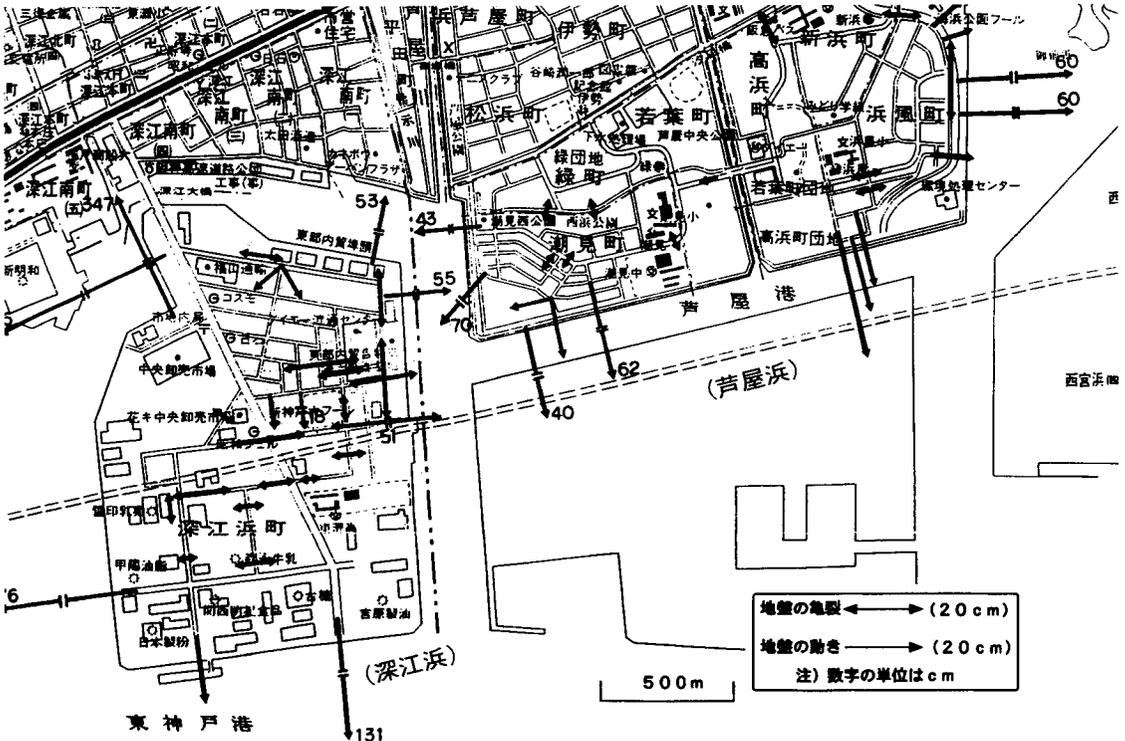


図-7-8 地盤亀裂状況



(参考文献)

- 1) (社)日本水道協会：1995年兵庫県南部地震による水道管路の被害と分析、平成8年5月。
- 2) 三浦久人：阪神・淡路大震災による耐震形ダクタイル鋳鉄管路の挙動調査(ポートアイランド、六甲アイランド)、ダクタイル鉄管 No.61号 平成8年10月

参考資料

(厚生省生活衛生局水道環境部監修)

「水道の地震対策マニュアル(改訂版)」(抜粋)

((財)水道管路技術センター、平成8年9月)

1. 施設耐震性整備方策のチェックシート(管路)

参考表-1～3によって、各管種の耐震性診断(1次的な抽出)を行います。

2. 施設耐震性整備方策の具体例(管路)

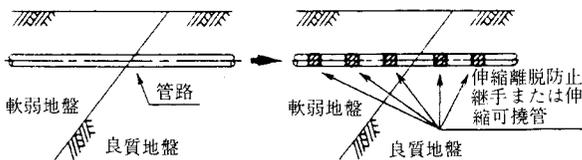
地盤急変部、軟弱地盤、液状化地盤に関する対策例を下記に示します。

(1) 地盤急変部

地盤急変部では、それぞれの地盤の変動の違いにより発生する応力を吸収させる必要があります。

地盤の性質の急変する場所では、それぞれの地盤の変動の違いにより管路に大きな応力が発生することが考えられます。このような場所においては、地盤の変化点をはさんで伸縮離脱防止継手(継手構造管路に対して)や伸縮可とう管(一体構造管路に対して)を数カ所設置し、発生する応力を吸収させる必要があります。

参考図-1 地盤急変部の対策例



(2) 軟弱地盤

軟弱地盤に対しては、強度がより大きな管種を使用したり、伸縮可とう管などを使用する必要があります。

軟弱地盤・盛土地盤などの地盤の不安定な箇所に布設された管路では、地震時に発生する変動も大きく、これにより管路に大きな応力が発生することが考えられます。このような場所においては管体強度がより大きなものを使用したり(一体構造管路に対して)、伸縮離脱防止継手(継手構造管路に対して)を使用する必要があります。

(3) 液状化地盤

液状化地盤への管路の布設は望ましくありませんが、布設する場合には基礎工や地盤改良などを講じる必要があります。

砂質地盤で地下水位の高い場合には、地震動により砂粒子が水に浮き、一時的にその地盤が液体のように変質することがあります。このような状況が発生する恐れのある地盤を液状化地盤と呼び、液状化が発生した場合には、構造物の沈下や地下埋設物の浮上などの被害が生じます。液状化地盤に布設される管路は、地盤の大きな変形に対して十分追従できる管種を用いることとし、既設の管路は他の地盤の良い場所に布設替えることが望ましいのですが、それが不可能な場合には、基礎工・地盤改良・浮き上がり防止対策などを施す必要があります。

以上

上記の各地盤の具体的な対策として耐震形継手(S, S II, NS, US, P II, BJ形など)を用いて配管設計を行うのが望ましいと考えます。

参考表-1 ダクタイル鋳鉄管(鋳鉄管)の耐震性チェックシート

調査項目		詳細な診断と対策が必要となる項目
<p>布設年度 昭和 50年代</p> <p>以前</p> <p>以降</p> <p>フランジ (構造物内は除く)</p>	<p>継手形式</p> <p>メカニカル プッシュオン</p> <p>地盤および 周辺の状況</p> <p>悪い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の変動による継手部抜け出し
	<p>構造物との 取合部又は 地盤急変部</p> <p>良い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・幹線以外は早急な対策の必要なし
	<p>印ろう</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・変位の違いによる継手部抜け出し ・早急な対策が必要
	<p>地盤および 周辺の状況</p> <p>悪い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の変動による管体および継手部の破損
	<p>構造物との 取合部又は 地盤急変部</p> <p>良い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・継手部の破損 ・変位の違いによる破損
	<p>継手形式</p> <p>非耐震形</p> <p>地盤および 周辺の状況</p> <p>悪い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の変動による継手部抜け出し
<p>耐震形</p> <p>構造物との 取合部又は 地盤急変部</p>	<p>良い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・幹線以外は早急な対策の必要なし
	<p>地盤および 周辺の状況</p> <p>悪い</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・変位の違いによる継手部抜け出し
	<p>対策の必要なし</p>	<ul style="list-style-type: none"> ・対策の必要なし

参考表-2 鋼管の耐震性チェックシート

調査項目	詳細な診断と対策が必要となる項目
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 20%;"> <p>布設年度 昭和30年代 後半</p> </div> <div style="width: 60%;"> <p>以前 → 継手形式</p> <p>溶接 → 地盤および周辺の状況</p> <p>悪い →</p> <p>良い →</p> <p>ネジ</p> <p>構造物との取合部又は地盤急変部</p> <p>適切な伸縮可とう継手の併用</p> </div> <div style="width: 20%;"> <p>以降 → 継手形式</p> <p>溶接 → 地盤および周辺の状況</p> <p>悪い →</p> <p>良い →</p> <p>ネジ</p> <p>構造物との取合部又は地盤急変部</p> </div> </div>	<ul style="list-style-type: none"> ・地盤の変動による管体および継手部の破損 ・幹線以外は早急な対策の必要なし ・変位の違いによる破損 ・早急な対策が必要 ・対策の必要なし ・地盤の変動による管変形 ・幹線以外に対策の必要なし ・変位の違いによる管変形 ・早急な対策が必要

日本ダクタイル鉄管協会

東京事務所	東京都千代田区九段南4丁目8番9号（日本水道会館） 電話03（3264）6655（代） FAX03（3264）5075
大阪事務所	大阪市北区中之島2丁目3番18号（新朝日ビル） 電話06（6203）4712～3 FAX06（6203）1860
北海道支部	札幌市中央区北一条西1丁目5番1号（安田生命札幌ビル） 電話011（251）8710 FAX011（251）8710
東北支部	仙台市青葉区本町2丁目16番3号（小西ビル） 電話022（261）0462 FAX022（261）0462
中部支部	名古屋市中村区名駅3丁目22番8号（大東海ビル） 電話052（561）3075 FAX052（561）3075
中国四国支部	広島市中区基町5番44号（広島商工会議所ビル） 電話082（221）8358 FAX082（221）8358
九州支部	福岡市中央区天神2丁目14番2号（福岡証券ビル） 電話092（771）8928 FAX092（771）8928