

地震時地盤不等沈下を受ける 耐震性硬質塩化ビニル管路の挙動実験

高田至郎¹・中野雅弘²・片桐 信³・谷 和弘⁴・小柳 悟⁴

¹フェロー・工博 神戸大学教授 工学部建設学科 (〒657-0013 神戸市灘区六甲台町1-1)

²フェロー・工博 NTT西日本 法人本部 (〒530-6691 大阪市北区中之島6-2-27)

³正会員 塩化ビニル管・継手協会 (〒107-0051 東京都港区元赤坂1-5-26)

⁴正会員 (株)建設技術研究所 (〒103-0023 東京都中央区日本橋本町4-9-11)

本稿は、近年の大地震において被害を受けた配水用硬質塩化ビニル管を対象として、特に接合部の耐震性向上に関する調査・研究を行った中の、地震時地盤不等沈下に対する挙動実験と、そのシミュレーション解析についてとりまとめたものである。地盤沈下実験では、最大 50cm の段差的な地盤沈下を埋設した硬質塩化ビニル管路に作用させ、接合部の屈曲・伸縮挙動と管体の変形挙動を把握した。

その結果、接合部の伸びにより管路に発生する軸ひずみが軽減されること及び接合部の離脱阻止機能が土中でも良好に作用することが確認された。また、弾性床上の梁理論にもとづくシミュレーション解析では、段差沈下箇所付近に過渡的領域を想定した場合の管路応答について考察を加えた。

Key Words : U-PVC pipe, rubber ring joint, ground settlement, experiment, beam theory

1. はじめに

配水用ゴム輪型硬質塩化ビニル管（以下「RR管」と略す）は、接合部に伸縮・曲げ可とう性を有するため、地震時における弾性領域での地盤ひずみには追従するものと考えられる。しかし、阪神淡路大震災をはじめとする近年の大地震においては、地盤の側方流動や地割れ及び地盤沈下といった地盤の永久変形が原因と考えられる接合部の離脱被害が発生している^{1), 2)}。そこで、このようなRR管の被害を軽減するため、その接合部の耐震性向上に関する調査・研究を行った。本稿は、そのうちから、特に地震時地盤不等沈下に対する管路の挙動実験と、そのシミュレーション解析の結果についてとりまとめたものである。

新しく提案する耐震性硬質塩化ビニル管（以下「耐震RR管」と略す）は、図-1に示すように、接合部に±75mm（5m直管長さの1.5%分）の伸縮余裕と、接合部離脱阻止機能を備えている。接合部伸縮余裕は、側方流動等に伴う一様な地盤ひずみを吸収することを目的としており、また離脱阻止機能は、地割れや地盤の不等沈下に伴う接

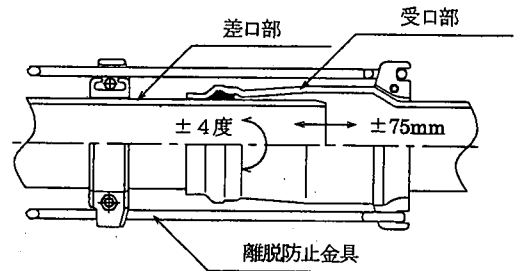


図-1 耐震RR管の接合部構造

合部の離脱を阻止し、一箇所の接合部に集中した伸縮変位を隣り合う接合部へと分散して吸収することを目的としている。

一方、従来から、地盤沈下を受ける管路挙動に関する研究として、大規模地盤沈下装置を用いた管路挙動観測実験及び数値解析が、精力的に進められてきた。RR管を対象とした研究例も多く、その結果としては、①RR管が良好な沈下追従性を示すこと³⁾、②段差沈下地点から1.5m～2mまでの範囲で管路が変形すること⁴⁾及び③接合部の屈曲性による応力緩和効果があること⁵⁾などが

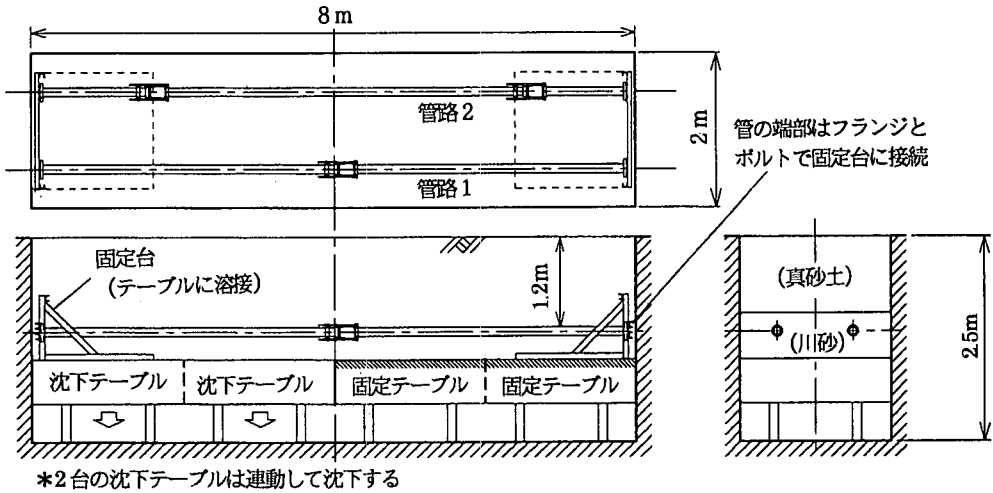


図-2 模擬地盤沈下装置の概要

得られている。また、その数値解析も行われており、弾性床上の梁理論に基づく解析において、非線形地盤ばねを考慮すると、実験値を精度良く近似できるとの結果が得られている⁵⁾。

しかし、地震時におけるR R管の主要な被害形態である接合部の離脱とその対策に関する研究は少なく、不等沈下に起因する接合部の離脱挙動については十分に把握されていない。

また、これらの実験で想定されている段差的な不等沈下が生じることは、剛な地下構造物上を横断する場合を除いては希であり、実際には沈下部と非沈下部との間には過渡的な沈下領域が存在するものと考えられる。

そのため本研究では、まず、耐震R R管に対する沈下挙動実験により、接合部の拔出し、屈曲挙動及びそれによる管体ひずみの低減効果と、離脱阻止機能の有効性について検証した。また、弾性床上の梁理論に基づく数値解析によって、段差沈下箇所付近に過渡的な沈下領域を想定して、管路応答との関係について考察を加えた。

なお、数値解析には、地盤ばねと管接合部の伸縮・曲げ特性の非線形性を考慮して管路挙動をシミュレートすることができる「ERAULプログラム」⁵⁾を用いた。

2. 耐震R R管の段差沈下実験

(1) 実験方法

a) 実験装置

実験は、図-2に概要を示す「模擬地盤沈下装置」を用いた。本装置は、幅2m×深さ2.5m×長さ

表-1 管の諸元

| | |
|-----------------------------|-------|
| 呼び径 (mm) | φ100 |
| 外径 (mm) | 114 |
| 肉厚 (mm) | 7.1 |
| 有効長* (mm) | 5,000 |
| 弾性係数 (N/mm ²) | 2,942 |
| ポアソン比 | 0.38 |
| 引張り強度 (N/mm ²) | 49.0 |
| 管体曲げ強度 (N/mm ²) | 53.9 |
| 離脱阻止力 (kN) | 35.1 |

*: 管の全長から接合部の挿入長を引いた長さ

8mの埋設ピット底部に設置された4台の2m×2mのテーブルを降下させることにより、ピット内の地盤に沈下を発生させる装置である。

テーブルとピット壁面との間は、ゴムスポンジによりシールされ、埋め戻し土の流出を防いでいる。またピット壁面は、滑らかなプラスチック板と軟質塩化ビニルシートの2重構造で覆われ、ピット壁面と埋戻し土との摩擦抵抗を低減している。

全長8mのピット内で、片側4m分のテーブルを降下させ、段差的な地盤の不等沈下を再現した。

b) 供試管の諸元・設置方法

実験に使用した管路は、図-1に示す接合部を有するφ100mmの耐震R R管である。管の諸元を表-1に示す。定尺管の有効長は5mである。

また、接合部の伸縮・曲げ特性を図-3に示す。伸縮方向には±75mmまで低い抵抗力で伸縮し、その後離脱阻止具の作用により急激に抵抗力が増加する。φ100mmでの設計離脱阻止力は、35.1kNである。この値は、管に作用する地盤の周面摩擦力を1.96N/cm²{ガス導管耐震設計指針⁶⁾(以下「ガス指針」と略す)の基準値の2倍}と

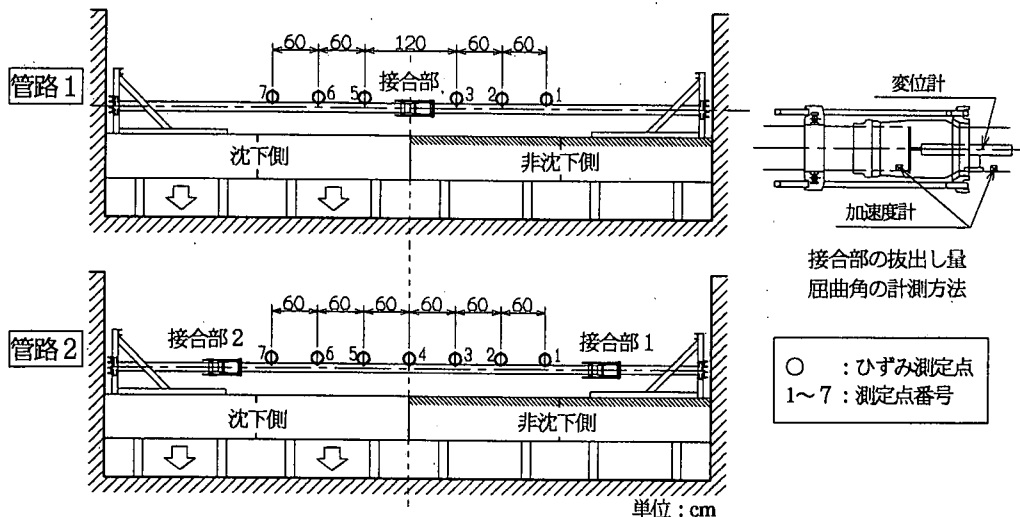


図-4 管路の布設状況と計測器の配置

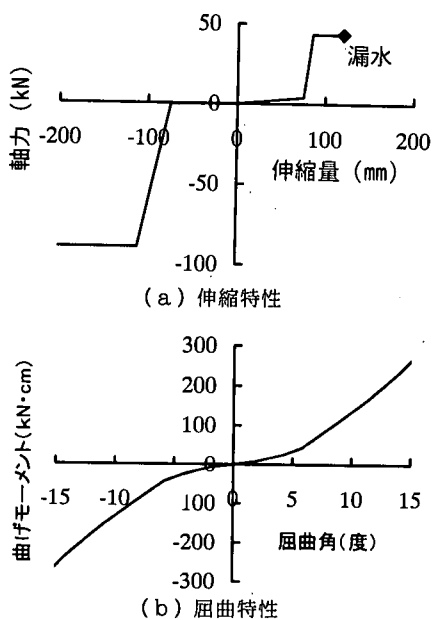


図-3 接合部の伸縮・屈曲特性

した場合、隣り合う左右の管の接合部へ軸力を伝達することができる力に相当する。

供試管は、図-2に示すように2本を並列で埋設した。管路1は、その接合部を段差沈下箇所配置し、管路2は逆に管の中央部を段差沈下箇所に配置した。

管路の両端は、沈下テーブルに溶接により固定された固定台に、フランジとボルトを用いて固定されており、たわみ角及び軸方向変位は発生しな

表-2 実験土の物性値

| | 川砂 | 真砂土 |
|----------------------------|------|------|
| 平均粒径(mm) | 0.9 | 1.0 |
| 最適含水比(%) | 12.7 | 11.1 |
| 最大乾燥密度(g/cm ³) | 1.69 | 1.89 |
| 自然含水比(%) | 6.1 | 7.3 |
| 締固め度(%) | 91.2 | 94.1 |

い。

埋め戻し土は川砂とし、管路床・管周辺及び管頂から20cmまでは突き棒と振動コンパクターにより締固めた。その上部については、真砂土を用い、埋め戻し厚さ30cm毎にランマー転圧機により、十分に締固めた。実験土の物性値を表-2に示す。

c) 計測項目と計測方法

図-4中には、管体ひずみの測定点及び接合部の抜出し量と屈曲角の計測方法を示している。

ひずみゲージは、管軸方向1軸ゲージとし、各測定点の管頂部と管底部に貼付して、軸ひずみと曲げひずみが、それぞれの測定点で求められるようにした。

また、接合部の抜出し量は、接合部内に設置した変位計により計測した。屈曲角は差管と受管に加速度計を設置し、加速度計の感度方向と重力方向との関係から差管と受管の傾斜角を求め、その差を屈曲角として換算した⁵⁾。

沈下は最大50cmまで、1ステップあたり1cmとして段階的に与え、各ステップ毎に計測を行った。なお、沈下テーブルの降下速度は、実験地盤がテーブルの沈下に追従し沈下するように、1cm/minとした。

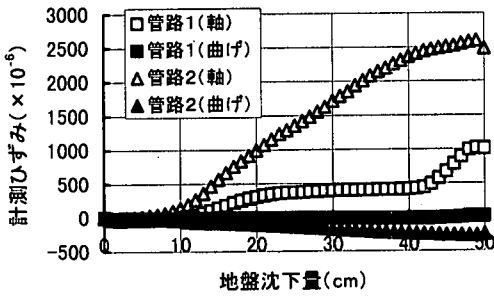


図-5 軸ひずみ・曲げひずみの変化(測定点1)

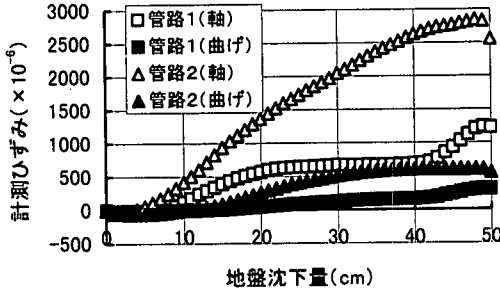


図-6 軸ひずみ・曲げひずみの変化(測定点2)

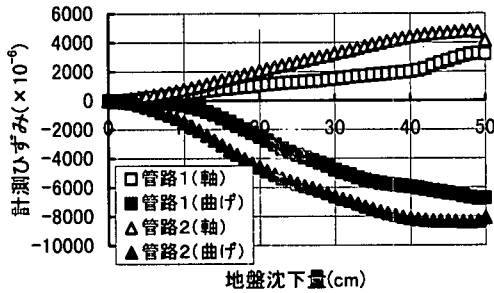


図-7 軸ひずみ・曲げひずみの変化(測定点3)

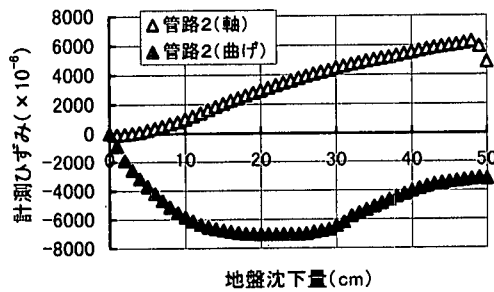


図-8 軸ひずみ・曲げひずみの変化(測定点4)

(2) 実験結果

a) 管体ひずみの発生状況

各ひずみ測定点での軸ひずみ及び曲げひずみの変化を、図-5～図-11に示す。尚、管路1及び管路2の測定点5と、管路2の測定点7については、断線のため最大沈下量までのデータを得ることができなかった。また、管路1では管路中央部に接

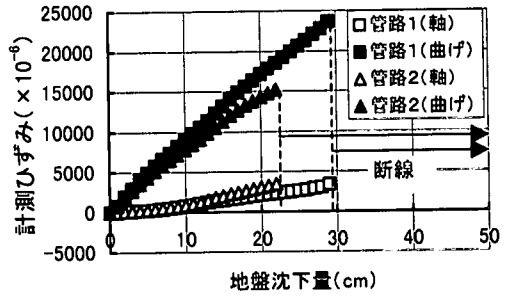


図-9 軸ひずみ・曲げひずみの変化(測定点5)

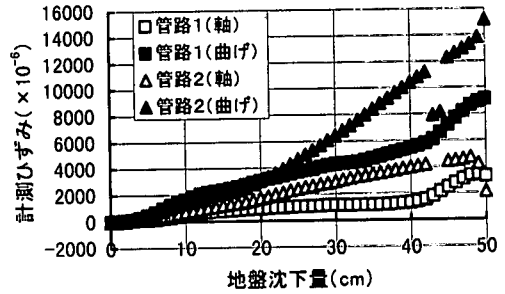


図-10 軸ひずみ・曲げひずみの変化(測定点6)

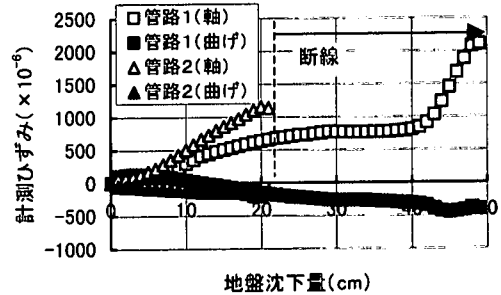
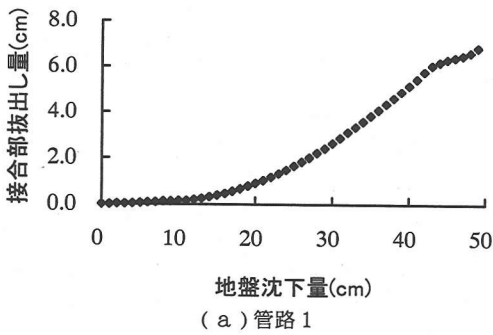


図-11 軸ひずみ・曲げひずみの変化(測定点7)

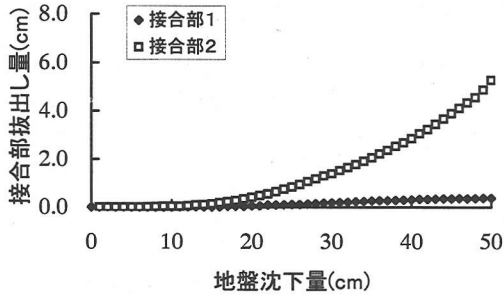
合部を配置しているため、測定点4は存在しない。

管路の軸ひずみ及び曲げひずみの分布と変化には、以下のような特徴が見られる。

- ① 図-5、図-11に示すように、管路1・管路2とも測定点1及び7では軸ひずみが卓越し、曲げ変形はほとんど生じていない。
- ② 図-7、図-9及び図-10に示すように、非沈下側では測定点3付近で、沈下側では測定点5及び6付近で、曲げひずみが卓越している。
- ③ 図-5、図-6及び図-11に示すように、管路1では、両固定端部に近い測定点である1、2、6及び7の軸ひずみが、沈下量=45cm程度を境に急増傾向にある。これは後述するように、接合部の離脱阻止力が作用することによる軸力の増加に対応している。管路2でこのような軸ひずみの増加が見られないのは、接合部の抜き出し量が、離脱阻止力が作用するまでには至っていないためである。



(a) 管路1



(b) 管路2

図-12 接合部拔出し量計測値

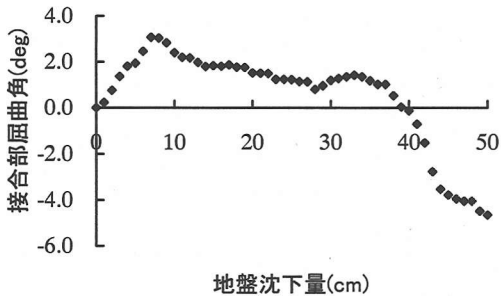


図-13 接合部屈曲角計測値 (管路1)
(*管路2は何れの接合部も屈曲角=0)

④曲げひずみが卓越する測定点5を除けば、いずれの測定点においても管路1の発生ひずみが管路2の発生ひずみを下回っている。段差沈下箇所近傍に接合部を配置することで、接合部の拔出し・屈曲による管体ひずみの低減効果が高まるものと考えられる。

b) 接合部の挙動

接合部拔出し量と接合部屈曲角の変化を、それぞれ図-12、図-13に示す。

接合部の挙動に関しては、以下のような特徴が見られる。

①図-12に示すように、管路1では拔出し量が6cm程度から拔出し量の増加割合が低下している。離脱防止金具は7.5cmの拔出し量で阻止力が作用するように設計されているが、土中においては金具への砂かみ等の影響で、6cm程度から阻止力が発

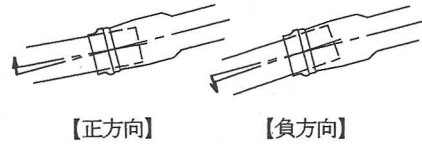


図-14 接合部屈曲角の正負の方向

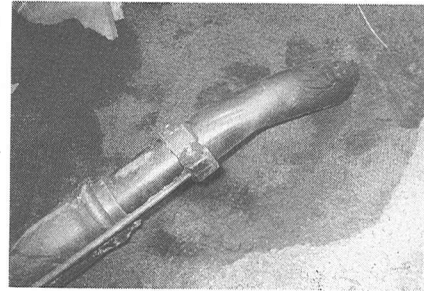


写真-1 供試管の曲げ変形

現しているものと考えられる。

②また管路2では、沈下側に位置する接合部2が主に拔出しているものの、離脱阻止力が作用するまでには至っていない。接合部1と接合部2の拔出し量を合計しても、管路1の接合部の拔出し量を下回っており、その分、管体軸ひずみへの負担割合が高くなっているものと考えられる。

③図-13に示すように、管路1での接合部の屈曲角は、沈下に応じてプラスからマイナスへと変化している。屈曲角の正負の方向は、図-14に示すように定義している。こうした挙動は、地盤抵抗力と接合部屈曲可とう性の非線型性によるものであり、構造物接続部での硬質塩化ビニル管路の沈下実験⁵⁾においても、同様の挙動が確認されている。

c) 掘削後の供試管の状況

掘削後に管の変形状況を観察し、また最も変形の大きかった部分に対して耐水圧試験を行った。その結果を以下に述べる。

①管の変形を観察すると、最大の曲げ変形の発生点は、段差境界近傍の非沈下側であり、写真-1に示すように、管の曲げに伴う局所的な偏平変形が生じていた。この最大曲げ変形の発生位置は、次章に詳述するシミュレーション解析で得られた最大曲げモーメントの発生位置に概ね一致している。

②実験後大きく偏平変形した部分に対して耐水圧試験を実施したところ、内水圧 = 3.92MPa (=40kgf/cm²)を与えても破壊することはなかった。水道配水管としての最大常用水圧が1.0MPaであることから、短期的な耐水圧は十分に保持しているものと考えられる。

表-3 鉛直方向地盤ばね特性に関する既往の研究

| | 文献 | 地盤ばね定数:k | 滑り限界変位:δ |
|------|----------------------------|---|---|
| 沈下側 | ① 高田ら ⁵⁾ | $k = 1.96\text{N/cm}^3$ | $\delta = 4.0\text{cm}$ |
| | ② ガス協会 ⁶⁾ | 非沈下側と同じ | |
| | ③ Trautmannら ⁷⁾ | $k = 65.0\text{N/cm}^3$ $k = 500 \cdot N_v \cdot \gamma, \gamma = 20\text{kN/m}^3$ $N_v = 6.5$ (at $H/D = 10.5$) | $\delta = 0.24\text{cm}$ $\delta = 0.002H$ $H = 120\text{cm}$ |
| 非沈下側 | ④ 高田ら ⁵⁾ | 沈下側の3倍 | 記述無し |
| | ⑤ ガス協会 ⁶⁾ | $k = 219.7\text{N/cm}^3$ $k = K_{30}(D/17)^{-0.75}, K_{30} = 162.8\text{N/cm}^2$ | $\delta = 0.5\text{cm}$ |

記号の説明

k : 地盤ばね定数 (N/cm^3)

K : 地盤ばね係数 (N/cm^2) 【高田は $K = \pi \cdot k \cdot D$, ガス協会・Trautmannは $K = k \cdot D$ 】

D : 管外径 (cm)

N_v : 無次元化最大地盤抵抗力 【最大地盤拘束力を $\gamma \cdot H \cdot D$ で除した無次元化量】

H : 埋設深さ (= 地表面から管の中心軸までの深さ)

γ : 土の単位体積重量

K_{30} : 平板載荷試験での30cm平板による地盤反力係数 (N/cm^2) 【実験地盤での実測値を使用】

3. 段差沈下実験のシミュレーション解析

(1) 解析手法

神戸大学耐震工学研究室で開発された PC 版の ERAUL プログラムによって、段差沈下実験でのモデル管路の挙動をシミュレートした。ERAUL は弾性床上の梁理論をもとに伝達マトリクス法を用いてプログラムされており、地盤ばね特性及び接合部特性の非線形性を取り扱うことができる。

しかし、梁理論であるので、軸方向と軸直角方向の物理量は別々に解析される。また、微小変形の理論に基づいているので、管路の大きな曲げ変形によって生じる軸方向変形を取り扱うことはできない。

そこで、実験で得られた管路の曲げ変形挙動についてのみシミュレーションを行い、管路の曲げ変形曲線から算出した管路全体伸び量をもとに、接合部の伸縮挙動について考察した。

(2) 地盤ばね定数

本実験のような段差沈下を与えた場合、沈下側と非沈下側では管路と地盤との相対的な挙動が異なる。すなわち、沈下側では管路は上載地盤を持ち上げ、非沈下側では管路は逆に下方の地盤に押し付けられる。したがって、沈下側と非沈下側では、異なる地盤ばね特性を適用する必要がある。

鉛直方向の地盤ばね特性に関しては、これまでに種々の実験的な研究がなされている。既往の研

表-4 地盤ばね特性の組合せ

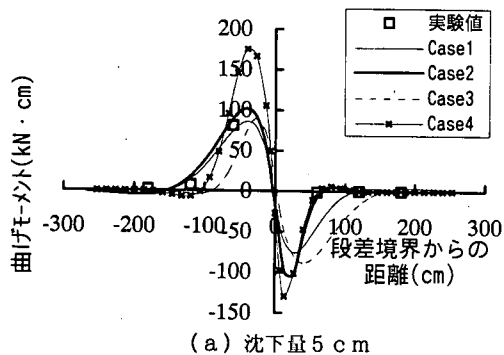
| | 沈下側 | 非沈下側 |
|--------|-----|------|
| Case 1 | ① | ④ |
| Case 2 | ① | ⑤ |
| Case 3 | ③ | ④ |
| Case 4 | ③ | ⑤ |

究成果^{5), 6), 7)}を表-3に比較する。これらの内、②ガス協会⁶⁾の地盤ばね特性は、平板載荷試験と同様の方法で、管を地盤に押付けることによって地盤抵抗力を求めており、沈下側の地盤ばね特性としては不適切であると考えられる。そこで、表-4に示す4ケースの地盤ばね特性の組み合わせ選択し、これらを用いた段差沈下実験のシミュレーション解析を行い、管路に発生する曲げモーメントの分布を最も良くシミュレートする地盤ばね特性の組み合わせについて検討した。

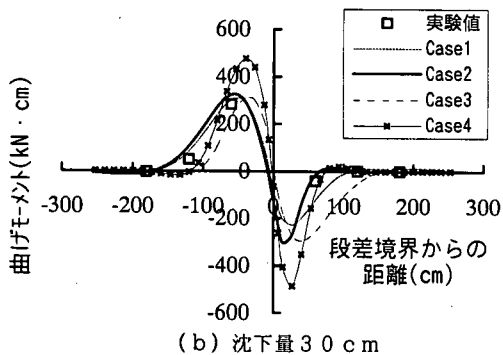
(3) シミュレーション解析の結果

a) 地盤ばね特性の検討

表-3及び表-4に示す地盤ばね特性を用いた場合の管路曲げモーメントの解析結果と、曲げひずみの実験値から換算した曲げモーメントを図-15、図-16に比較する。尚、ひずみゲージの断線により、沈下量の大きい領域での実験データが不足しているので、ここではいずれも沈下量=5cmと20cmについて比較している。

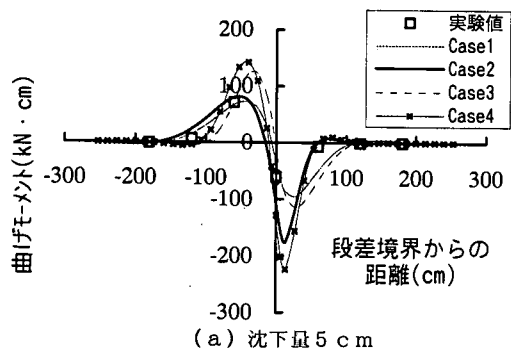


(a) 沈下量 5 cm

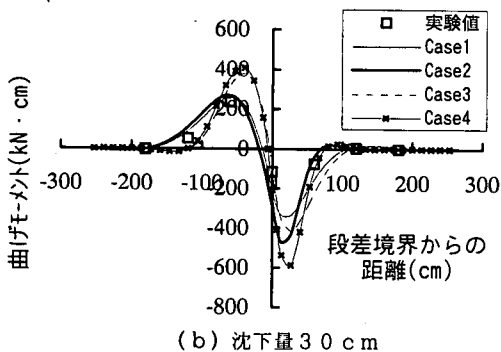


(b) 沈下量 30 cm

図-15 管路1・曲げモーメント分布の比較



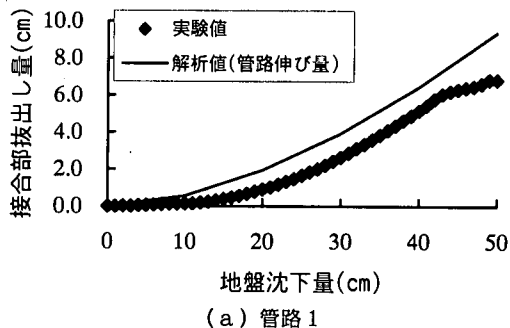
(a) 沈下量 5 cm



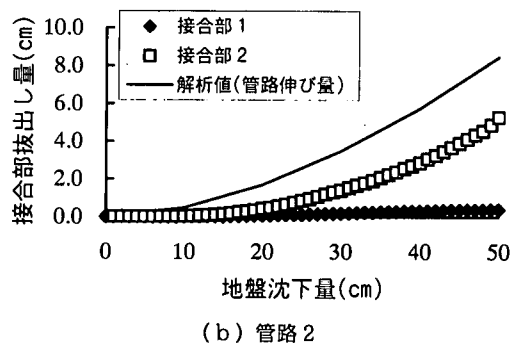
(b) 沈下量 30 cm

図-16 管路2・曲げモーメント分布の比較

図-15、図-16に示すように、Case 2の地盤ばね特性の組み合わせを適用した場合、解析値と実験値が最も良く一致している。Case 2の沈下側の地盤



(a) 管路1



(b) 管路2

図-17 管路伸び量と接合部抜出し量の関係

ばね特性は、構造物接続部における管路沈下実験のシミュレーション解析に採用されており、またCase 2の非沈下側の地盤ばね特性は、管を地盤に押し付けることにより求められた特性値である。したがって、段差沈下を受ける管路の沈下側・非沈下側の地盤ばね特性としては、Case 2の組み合わせが適切であるものと判断した。

しかし、前述のように、本解析法では大変形の条件を考慮できないために、沈下量が増加するにしたがって解析値と実験値との間に齟齬が生じており、20cmの地盤沈下に対する解析では、いずれの管路でも、解析値が実験値を上回っている。

b) 管路の曲げモーメント分布の特徴

段差境界に接合部が位置する管路1では、段差境界部の曲げモーメントが管路2と比較して小さくなっており、接合部の屈曲性による曲げモーメントの低減効果が見られる。

c) 管路の変形曲線と接合部抜出し量の関係

前述のように、梁理論に基づく解析では、管路の大きな曲げ変形に伴う軸方向挙動を同時に解析することができない。そこで、地盤沈下に伴う管路の変形曲線の解析値から、管路全長の伸び量を算出し、接合部の抜出し量の実験データとの比較検討を行った。

図-17は、管路1・管路2の管路変形曲線の解析

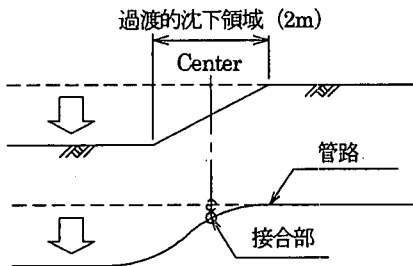


図-18 過渡領域を持った沈下モデル

結果から算出される管路全体の伸び量と、実験から得られた接合部拔出し量とを比較している。

管路1の接合部伸び量は、解析から得られた管路伸び量に近く、管路2ではその差が大きい。管路伸び量と接合部拔出し量との差が、管本体の軸ひずみに対応することから、管路1では管路2と比較して、軸ひずみの低減効果が高いものと考えられる。

また、解析から得られる管路伸び量は、接合部拔出し量の上限值であると考えられる。したがって、軸方向と軸直角方向の物理量が別々に取り扱われる梁理論による解析では、曲げ変形によって求められる管路全体の伸縮量が一箇所の接合部に集中すると仮定して、接合部の最大伸縮量として扱うことができるものと考えられる。

4. 過渡的沈下領域の影響

前述のように、50cmの段差沈下を受けた場合、段差境界に近い非沈下側で管に大きな曲げ変形が生じ、軸ひずみについては、接合部の伸びにより軽減される。

一方、実際の地震時における地盤沈下は、沈下部と非沈下部との間に緩やかな過渡的沈下領域を持っており、本実験のような段差的な沈下は、地中に強固な構造物が埋設されている場合など、特殊な条件でのみ発生するものと考えられる。そこで、過渡領域を考慮した解析を行い、管路応答への影響について検討した。

(1) 過渡領域を考慮した解析モデル

解析モデルを図-18に示す。段差沈下箇所付近からある一定区間の沈下量に勾配を与える。勾配をどの程度にするかは、地震時の沈下量分布等から求めるのが適切であると考えられるが、詳細な観測例がないため、ここでは過渡領域を2mとして、段差沈下時との応答値の比較を行った。

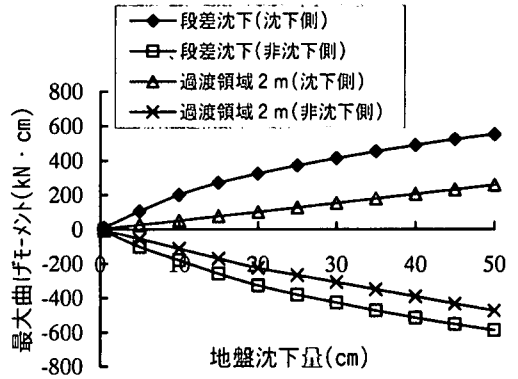


図-19 過渡領域と最大曲げモーメントの関係

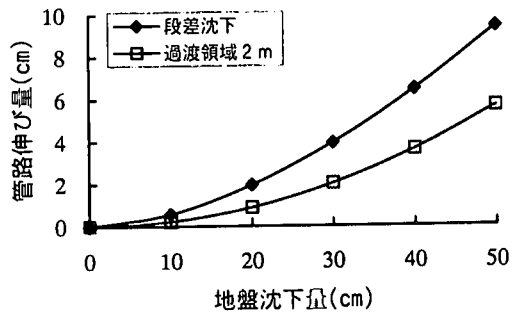


図-20 過渡領域と管路伸び量の関係

(2) 過渡的沈下領域と管路応答の考察

50cm沈下時において、段差沈下を想定した場合と2mの過渡的沈下領域を想定した場合の管路応答を比較した。

図-19は、沈下側・非沈下側での最大曲げモーメントを比較している。2m程度の過渡領域を考慮するだけで、最大曲げモーメントは沈下側において段差沈下の約5割に、非沈下側でも約8割に低下している。また、図-20は、管路伸び量(=接合部拔出し量の上限值)を比較しているが、段差沈下に対して約6割に低下しており、接合部の挙動も地盤変形のパターンに敏感に応答している。これは、硬質塩化ビニル管の曲げ剛性が低く、管路の変形が段差沈下箇所付近に集中するためであり、プラスチック管路に特有の性質である。

管路の耐震設計においては、管路にとって厳しい条件を与えるために、段差沈下を想定した応答計算が行われている場合と⁸⁾、下水道管路のようにマンホール間での放物線状の沈下パターンを想定する場合⁹⁾がある。

しかし、上述のように硬質塩化ビニル管などの曲げ剛性の低い管路を対象とする場合には、こうした地盤沈下のパターンによって管路応答値が敏

感に変化する。今後は、耐震設計上適切と考えられる地盤沈下の発生パターンに関して、詳細な検討を行うことが重要であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、新しく提案する耐震性硬質塩化ビニル管（耐震RR管）の地震時沈下挙動を、埋設沈下実験と数値シミュレーションにより把握し、その有効性を検証した。また、これらの検討を通じて、沈下に伴う接合部の拔出し挙動と、段差沈下箇所付近における過渡的な沈下領域が管路挙動に与える影響について調べた。

得られた結果を以下にまとめる。

- ①耐震RR管の段差沈下実験及びそのシミュレーション解析の結果、曲げひずみが卓越した領域は、沈下側では段差境界から約1.2m、非沈下側では約0.6mの範囲内であり、その他の部分では逆に軸ひずみが卓越していた。
- ②最大曲げひずみの発生点は、段差沈下境界付近の非沈下側で生じる。
- ③管路に発生する軸ひずみは、耐震RR管の接合部の伸び出しによって緩和されており、この効果は段差沈下箇所付近に接合部が配置された場合に、より顕著に現れる。
- ④地盤沈下が進行し、接合部の離脱防止機能が作用すると、軸力の増加に対応して管体の軸ひずみが急激に増加する傾向を示した。
- ⑤段差沈下実験のシミュレーションを行ったところ、沈下側に高田ら⁵⁾の提案する地盤ばねを、非沈下側にガス指針⁶⁾に示される地盤ばねを用いれば、解析値と実験値は概ね良好に一致した。
- ⑥また、段差沈下箇所付近に過渡的な沈下領域を考慮したところ、2mの過渡領域を考慮すれば、最大曲げモーメントは段差沈下の場合の5割から8割まで、また接合部伸び量の上限值と考えられる管路伸び量は6割まで低下した。硬質塩化ビニル管などの曲げ剛性の低い管路については、段差沈下箇所付近に変形が集中するために、地盤沈下の発生パターンに大きく影響を受けるものと考えられる。

したがって、埋設プラスチック管路の耐震設計を行う際には、地盤変状の発生量とともに地盤変状の発生パターンに関して、より詳細な検討を行うことが重要であると考えられる。

謝辞：本研究の内容は、「地中管路の耐震性評価に関する研究委員会」（委員長：岩崎敏男（財）建設技術研究所理事長）の指導の下に行ったものをまとめたものであり、委員長はじめ各委員の方々及び関係者の皆様に深く感謝する次第である。

参考文献

- 1) 北淡町水道課：兵庫県津名郡北淡町水道管路調査報告書，1995.7.
- 2) 氏家禎男，磯山龍二，後藤 誠：北海道南西沖地震・後志利別川流域における地盤の永久変位と埋設管等の被害，第23回地震工学研究発表会・講演概要，pp.561～564，1995.7.
- 3) 菊池征也，安延信一，伊原陽二：地中管路の強制沈下実験について，第36回土木学会年次学術講演会・講演概要，pp.466～467，1981.10.
- 4) 水道用塩ビ管の技術研究会：ゴム輪型硬質塩化ビニル管の埋設試験等に関する研究報告書，1984.6.
- 5) 高田至郎，田邊揮司良，狭間祐二，入岡博明：マンホール際管路の沈下挙動実験と対策管路の開発，土木学会論文報告集，第374号，pp.575～582，1986.10.
- 6) 日本ガス協会：ガス導管耐震設計指針，1982.3.
- 7) Trautmann, C.H., O'Rourke, T.D. and Kuihaw, F.H.: Uplift Force-Displacement Response of Buried Pipe, J. Geo. Eng., ASCE, Vol.111, No.9, pp.1061～1076, 1984.9.
- 8) 又木慎治，出口大志，中野雅弘，鈴木崇伸，友永則雄：通信用中口径管路設備の耐震設計方法の検討，構造工学論文集，Vol.42A，pp.685～696，1996.3.
- 9) 日本下水道協会：下水道施設の耐震対策指針と解説，1997.8.

(1998.7.2受付)

EXPERIMENTAL STUDY ON EARTHQUAKE-PROOF U-PVC PIPELINE SUBJECTED TO UNEVEN GROUND SETTLEMENT DURING EARTHQUAKES

Shiro TAKADA, Masahiro NAKANO , Shin KATAGIRI , Kazuhiro TANI
and Satoru KOYANAGI

This paper summarizes results of both an experiment for earthquake-proof U-PVC pipeline subjected to uneven ground settlement and its numerical simulation. Through the ground settlement experiment, in which 50cm uneven ground settlement was acted on buried U-PVC pipelines, pipeline deformation and joint expansion behavior were observed. As a result, it was clarified that axial strain of the pipeline was reduced due to sliding of the rubber ring type joints and slip-out preventer of the joint worked well. Furthermore, in the numerical simulation based on beam theory, relationship between transient settlement zone and pipeline response was examined.