

## マンホール際管路の沈下挙動実験と対策管路の開発

## AN EXPERIMENT OF MANHOLE-FITTING PIPES SUBJECT TO LARGE GROUND SETTLEMENT AND DEVELOPMENT OF COUNTERMEASURE PIPELINES

高田至郎\*・田邊揮司良\*\*・狭間祐二\*\*\*・入岡博明\*\*\*\*

By Shiro TAKADA, Kishiro TANABE, Yuji HAZAMA and Hiroaki IRIOKA

Damages on buried pipelines connected to structures such as manholes and buildings are not uncommon due to differential ground settlement along the direction of pipeline stretches. First, we obtained fundamental data of the mechanical behavior of a buried UPVC (Unplasticized Poly Vinyl Chloride) pipeline jointed to a manhole when it was subjected to uneven ground settlement using Sinking Soil Box. Experimental results were then compared with the theoretical ones obtained by non-linear analyses using transfer matrix method. Both results were in good agreements. Next, the same experiments were carried out for a developed pipeline as a countermeasure for large ground settlements. The developed UPVC pipeline system may stand up to 45 cm of ground settlement, while ordinary pipeline system may yield to not less than 15 cm of ground settlement.

*Keywords*: ground settlement, polyvinyl chloride pipeline, countermeasure pipeline, response analysis

## 1. はじめに

従来より地震時や地盤の圧密による地盤沈下を想定した大規模な管路沈下実験が種々行われており、地盤沈下による管路の被害機構も徐々に明らかとなってきている。

菊池ら<sup>1)</sup>は、山砂と硫安の混合土を用い、硫安の溶解性を利用して沈下を引き起こし、端部固定の有継手鋼管(口径75 mm)・硬質塩化ビニル管(口径75 mm)の沈下実験を行っている。その結果、硬質塩化ビニル管が良好な沈下追従性を示すこと、また継手屈曲性による応力緩和効果があることなどを示している。

高田ら<sup>2)</sup>は、大型沈下土槽を用い、ラバーリング(RR)継手を有する硬質塩化ビニル管(PVP)(口径100 mm)に対し不同沈下実験を行っている。その結果、沈下土槽は地盤大変形を受ける埋設管の挙動計測として有用な手段であることを示し、さらに弾性地盤ばねを考慮した弾性床の上のり理論および著者ら<sup>3)</sup>の開発した伝達マトリックス法を用いた非線形地震応答解析プログラム

(ERAUL)により解析を用い、RR継手を有するPVPは60 mm程度の沈下まで耐え得ること、継手は沈下境界部の近傍に密に配置することにより応力緩和効果が期待できることを示している。また、沈下を受ける管路の管体応力・継手変位の近似式を提示している。

東京ガス<sup>4)</sup>では、油圧式沈下土槽を用い、有継手铸铁管(DIP)・鋼管(ST)(口径150~600 mm)に対し不同沈下実験を行っている。その結果、地盤の締め固め度が大きいほど管体ひずみは大きくなること、管体ひずみは沈下土槽変位が100 mm前後で最大となり、その後は増加しないことなどを示している。また、せん断を考慮したはりの曲げ解析プログラムを用い、バイリニアでモデル化した地盤および管体の剛性低下で考慮した継手に対し沈下解析を行い、沈下側の地盤ばね定数を固定側より小さめに見積もることで、実験値とよく対応することを示している。

水道用塩ビ管の技術研究会<sup>5)</sup>では、東京ガスの実験装置を用い、有継手硬質塩化ビニル管(口径300 mm)に対して不同沈下実験を行っている。その結果、20 cmの沈下では沈下境界部から1.5~2.0 mまでの範囲の応力に影響があること、継手部の屈曲性は地盤の沈下に従い有効に機能すること、さらに接合部の抜けについては、最大抜け量が10 mm以内で、沈下のみでは大きな抜け

\* 正会員 工博 神戸大学助教授 工学部土木工学科  
(〒657 神戸市灘区六甲台町)

\*\* 学生会員 工修 神戸大学大学院自然科学研究科(同上)

\*\*\* 工修 久保田鉄工合成管研究部(〒592 堺市石津西町14-2)

\*\*\*\* 正会員 久保田鉄工合成管研究部(同上)

にならないことを示している。

大石<sup>9)</sup>は菊池<sup>11)</sup>と同様の沈下原理を用い、端部固定の亚克力製丸棒（口径 20 mm）および端部近傍に沈下防止板を設けた場合について沈下実験を行っている。その結果、沈下防止板を用いた方が管体応力が低下することを示している。また、弾性床土のはり理論を用いた結果と実験値の比較により、中小口径管路の地盤沈下解析には等価地盤ばねを用いた線形解析の適用で十分であることを示している。

管路が最も被害を受けると考えられるのは、埋設管と基礎のしっかりしたマンホールなどの構造物の接合部および継手部である。しかし、実験の大半は直線管路部の不等沈下現象を対象にしており、沈下土槽を用いた端部固定管の実験はまだまだ行われていない。

そこで本論文では、地盤沈下を受けた際に被害を受けやすい、マンホールに取り付けられた管路の沈下挙動を明らかにする。また、対象とした管路は RR 継手を有する塩化ビニル管（UPVP）で特に、電力管を対象としている。

まず現在使用されている管路（従来型管路）を用いて実験を行い、次に、管路の沈下挙動を踏まえたうえでなるべく大きな地盤沈下に耐え得る対策管路を開発し、その管路を用いて同様の実験を実施して耐沈下性能を検討している。

なお、実験結果の検討には、論文 2)、5) でも管路の沈下挙動をシミュレートしている ERAUL プログラムを用いている。

## 2. 従来型マンホール取付管路の沈下挙動実験

### (1) 実験手法

#### a) 沈下土槽

図-1 は、長さ 800 cm、幅 100 cm、深さ 150 cm の沈下土槽を示している。沈下土槽は 8 つのボルトでコンクリート製のピット内に吊り下げられており、その鉛直方向の最大沈下量は 50 cm までとなっている。マンホールと管路部の不等沈下は、ボルトナットを緩めることにより与えられる。沈下土槽の一端はゴム板を介してコンクリートと接触しており、沈下時の土槽からの土塊の崩

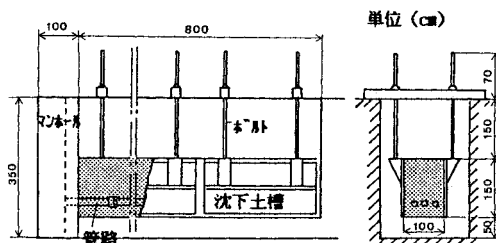


図-1 沈下土槽概要図

落を防いでいる。また、このコンクリート壁はマンホールとみためており不動である。ここで、管体に作用する土圧への土槽側壁の影響は、地盤沈下量が小さい段階では存在すると思われる。しかし、本研究で対象としている管体または継手の許容値に達するときの比較的大きい地盤沈下量ではすでに地盤破壊が進んでおり、そのときはその影響はほとんどないと考え、無視して取り扱っている。

#### b) 埋設管路

実験に使用した管路は、φ150 UPVC 管で RR 継手を有している。管路諸元を表-1 に示す。一般的な管長は 5.0 m であるが、地盤急変部などでは継手効果を生かし管体応力の低減を計るために短管を用いる場合が多く、本実験でも 2.0 m の短管を使用している。図-2 は実験に用いた UPVC 管の RR 継手の概要図を示している。図-3 に RR 継手の回転特性および伸縮特性を示している。管路は電気ケーブル用を想定しており、構造上

表-1 塩化ビニル（UPVC）管路諸元

管種 諸元	従来型管路			開発管路	
	従来型管路	増肉1段目	増肉2段目	増肉1段目	増肉2段目
呼径(mm)	150				
外径(mm)	170.5	190.1	209.7		
内径(mm)		150.9			
肉厚(mm)	9.8	19.6	29.4		
断面2次モーメント(cm <sup>4</sup> )	1600	3865	6947		
ポアソン比		0.37			
弾性係数(kgf/cm <sup>2</sup> ) (MPa)	30000 (2940)	22500 (2205)	15000 (1470)		
許容応力(kgf/cm <sup>2</sup> ) (MPa)		330 (32.34)			
継手の名称		RR			
許容回転角(deg)		2.5			

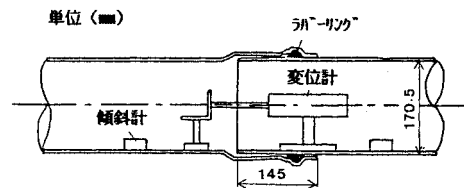
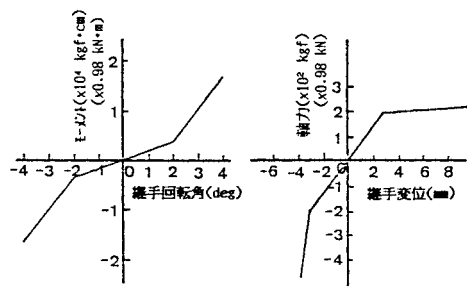


図-2 RR 継手概要図



(A) 回転特性

(B) 伸縮特性

図-3 RR 継手特性

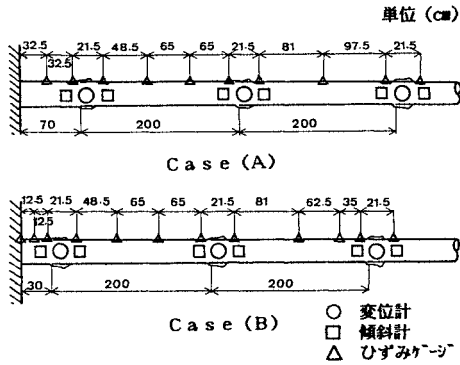


図-4 従来型管路概要図

表-2 測定計器および項目

測定計器	測定項目	
ひずみゲージ	共和電業KFW-5-D16-11	管軸・周方向ひずみ
回転計	// AS-2GA	継手回転角
変位計	// DA-50A	継手伸縮量
変位計	// DT-10D	管偏平率
土圧計	// BE-5KC, 2KM	管体表面の土圧
ひずみ測定器	// UCAM-5A	

の許容継手回転角は4°であるが、管路内のケーブル防護のため許容継手回転角を2.5°で取り扱う。

図-4には、従来型のUPVC管路の形状を示しているが、Case (A)では、マンホール取付管路（以下、取付管路と略す）の長さが70 cmのもの、またCase (B)では、その長さが30 cmのものである。このように取付管路長さを違えた実験を行っているのは、この長さが管体応力、継手回転角に大きな影響を与えており、最大地盤沈下量に耐えられる長さを検討するためである。

c) 測定計器

測定項目および用いた計器を表-2に示す。主な測定内容は管体ひずみ（軸方向および円周方向）、継手回転量・伸縮量、管路沈下量であり、各測定点の位置は図-4に併記してある。さらに、継手付近の計器取付けは図-2に詳細に記している。ひずみゲージ以外のリード線は管内を通して両端部から取り出し、ひずみ計測器に接続している。管路変位量は、土を被せる前に管頂に目盛り付きのピアノ線を取り付け、各沈下量ごとにその変位量を読むことで測定している。

d) 地盤特性

実験に用いた土は真砂土：山砂＝1：1の混合砂である。その土質特性および粒径過積曲線を図-5に示す。

e) 管路の敷設

沈下土槽底面から20 cmまで土を敷いて締め固めた地盤上に管路を設置した。次いで所定の位置に測定計器を取り付け、その後管を接続した。次に管頂より20 cmごとに土を埋め戻し、締め固めを行い1.0 mの土被り厚

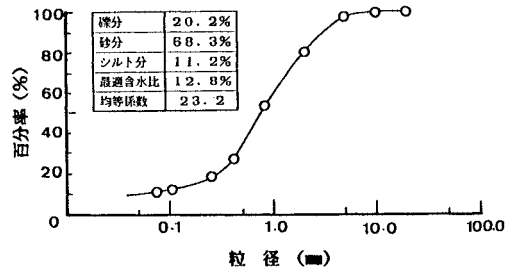


図-5 実験に用いた土の粒径過積曲線

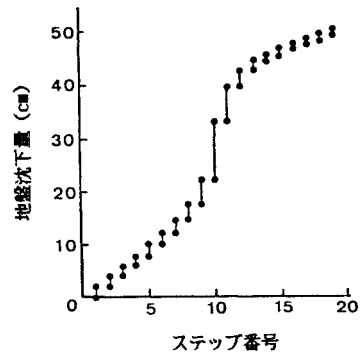


図-6 地盤沈下ステップ

さとした。また、各層に石灰層を約3 cmの厚みで敷き詰め地盤の変形状態を実験後確認できるようにした。地盤の締め固めには、木だこ（自重10 kg、φ200）を用いており、締め固め度はJIS A 1210の第1法を基準として、平均90.5%である。

f) 地盤沈下量とその測定

土槽の沈下量は、将来的に管路が敷設される可能性がある埋立地の野外圧密沈下観測データをもとに、全沈下量50 cmを19ステップに分けて沈下させた（図-6）。種々の測定は各ステップ沈下5分後に行っている。

(2) 実験結果

a) 管体応力

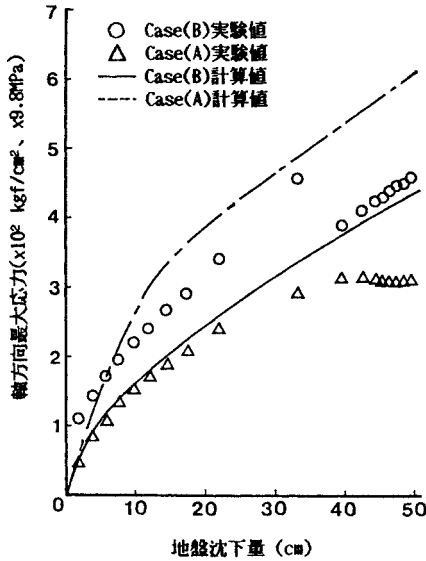
実験では、管路の軸方向および円周方向のひずみを測定し、次式を用いて管体応力を算定している。

$$\sigma_x = E \frac{\epsilon_x + \nu \epsilon_y}{1 - \nu^2} \dots \dots \dots (1)$$

$$\sigma_y = E \frac{\nu \epsilon_x + \epsilon_y}{1 - \nu^2} \dots \dots \dots (2)$$

ここに、 $\sigma_x, \sigma_y$ ：軸方向および円周方向応力 (Pa),  $\epsilon_x, \epsilon_y$ ：計測軸ひずみおよび円周方向ひずみ ( $\mu$ ),  $E$ ：管体の弾性係数 (Pa),  $\nu$ ：管体のポアソン比, である。

図-7にCase (A), (B)の各沈下ステップにおける管頂軸方向最大応力と地盤沈下量の関係を示している。Case (A), (B)とも最大応力はマンホール取付部付近の管路に生じている。この値は、従来実施されたφ100

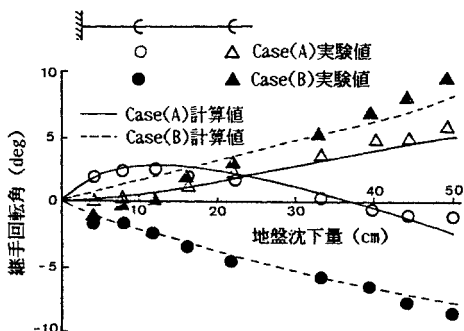


図一七 地盤沈下量と軸方向最大応力の関係 (従来型管路)

の塩化ビニル管の直線管路部で地盤沈下を受ける実験<sup>2)</sup>の約2倍程度である。管径が大きくなると曲げ応力が低下することを考え合わせると、マンホール取付部での沈下は、直線管路部における沈下よりも大きな応力を発生させることがわかる。また、取付管路長さの短いCase (B)の方が最大応力が大きくなっているが、Case (A)ではマンホール取付部付近での測定点が、端部より32.5 cm 離れており、もっと端部側で測定していればさらに大きな応力が発生していたとも考えられる。また、地盤沈下量の増大に伴い管体応力の増加割合が徐々に小さくなっているが、これは地盤破壊に伴う地盤反力の低下が原因と考えられる。さらに地盤沈下量が大きくなった時点で、最大応力がかえって低下する現象が起きているが、これは沈下量の増大に伴い土塊の崩落が起こり、土圧が管路の取付部にさほど作用しなくなったためと考えられる。

b) 継手回転角

図一八に継手回転角と地盤沈下量の関係を示してい



図一八 地盤沈下量と継手回転角の関係 (従来型管路)

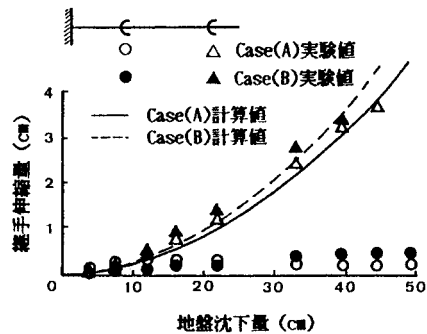
る。継手回転角は、マンホール端から1番目と2番目の継手について示しており、3番目の継手回転角は他の継手に比べ非常に小さい値であり、無視して取り扱う。Case (A)での1番目の継手は、いったんは正の回転角(下に凸)を示すが、地盤沈下が増大するにつれて負の回転角(上に凸)になってきている。これは、マンホール取付管の長さが比較的長い場合、沈下量の小さい段階では取付管が主に変形するが、逆にCase (B)のように取付管の長さが比較的短いときは、沈下量の小さい段階から継手の回転で応力を逃がしているためと考えられる。

c) 継手伸縮量

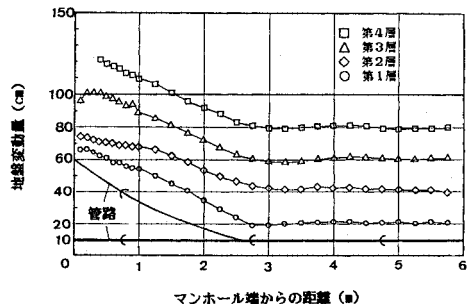
図一九に地盤沈下量と継手伸縮量の関係を示している。いずれも2番目の継手の引抜量が大きく、地盤沈下量45 cmのところで約4 cmであった。このことより変形による軸応力はかなり低減されていると考えられ、測定された管頂軸方向応力は、曲げ応力によるところが大きいのと思われる。後述する数値解析では、曲げ応力について実験値と比較している。

d) 地盤変形およびクラック

図一十にCase (A)の実験における地盤の最終変形状態を示す。管路と地盤の変形状態は似ており、管路上載土が沈下に伴い上方に押し上げられている様子が伺われる。ただし、マンホール近傍の土塊は、地盤の沈下とともに生ずるマンホールと地盤間の亀裂のために崩落し



図一九 地盤沈下量と継手伸縮量の関係 (従来型管路)



図一十 地盤沈下最終状態図

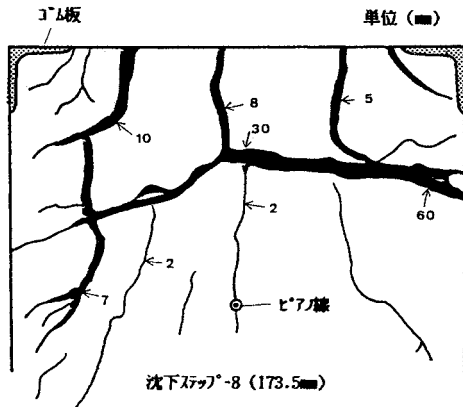


図-11 地表面クラックの状態図

ている部分もある。

また、図-11に地盤表面で観測されたクラックの状態を示している。地表面のクラックは沈下量40mmの時点から目にとらえることができ、173.5mm沈下時には大きいところでは幅60mmにも達し、地盤が破壊されている。このことより、管路鉛直方向の地盤と管路とのすべり限界を約40mmとみなし、後述する数値解析にもその値を採用している。

### 3. 従来型管路沈下挙動シミュレーション

#### (1) 解析手法

著者らによって開発された ERAUL プログラムによって地盤沈下を受ける管路の挙動をシミュレートした。ERAUL は弾性床の上のはり理論をもとに伝達マトリックス法を用いてプログラムされている。また、非線形性は荷重増分法を用いて考慮できるようになっている。さらに、継手特性をも考慮できる。しかし、はり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。本論文では、実験結果より軸方向の応力は継手により緩和されたとして管軸直角方向のみで取り扱っている。また、管体の変形による管軸方向変位は、すべて1つの継手の抜け出しで受け持たれるとして継手伸縮量を算定している。

#### (2) 解析モデル

##### a) 管路モデル

解析に用いた管路モデルは、図-4に、またその特性値に関しては表-1にすでに示してある。さらに、実験では沈下量が増大するとマンホール端付近の管体に白化した筋がみられたことより、管体は塑性域に入っていたものと思われる。しかし、解析では管体材料特性を線形として取り扱っているため、その非線形特性を導入するため、マンホール端から30cmの区間の管体弾性係数を1/4に低下させている。この低下率と範囲は、解析値

が実験値に近づく最適解を繰り返し計算で求め、そのときの値を採用している。

##### b) 継手モデル

解析に用いた継手モデルは、図-4に示すRR継手である。

##### c) 地盤ばね係数

地盤ばね係数は次式で与えた。

$$K = k \cdot \pi \cdot D \dots\dots\dots (3)$$

ここに、 $K$ ：地盤ばね係数、 $k$ ：地盤ばね定数、 $D$ ：管路の外径、である。ここで、ガス導管耐震設計指針<sup>8)</sup>では管軸直角方向の地盤と管の相対変位量のすべりを考慮せず弾性地盤としているが、本論文では実験での地盤破壊を考慮してクラックの発生し始めた4cmをすべり限界として、パイリニアで地盤ばね定数をモデル化している。また、特にマンホール近傍の地盤は管体の押し上げ作用により他の地盤に比べ地盤破壊(図-11参照)が進んでおり、解析にはマンホール近傍の地盤ばね定数を他の部分より低下させることで考慮している。図-12に地盤ばね定数の管軸方向分布を示す。なお、地盤ばね定数値についても解析値と実験値の比較からその最適解を用いている。

#### (3) 数値シミュレーション結果

以下に、従来型UPVC管路の実験結果と数値解析結果の比較を行う。図-13は15cm沈下時の実験値と解析値を比較した管体応力分布を示している。また、図-8に地盤沈下量と継手回転角の関係を、さらに図-9に地盤沈下量と継手伸縮量の関係を併記している。これらも、全体的によい一致を示している。

本論文で用いた地盤条件、端部管路の剛性に関してはすでに述べたように実験値と解析値が一致するように定めたものであるが、両ケースとも同一の解析条件で実験値とのよい一致を示していることを考えると、他のタイ

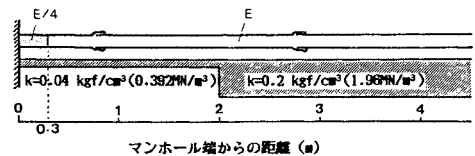


図-12 地盤ばね定数分布および管体弾性係数分布

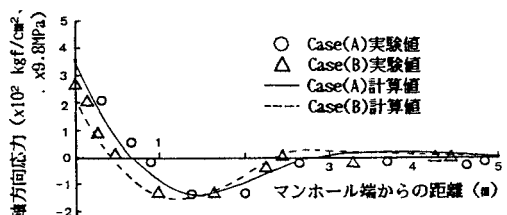
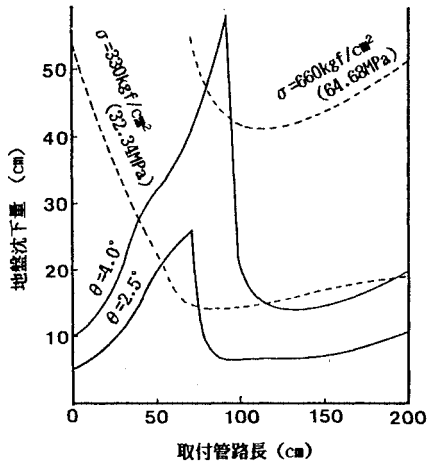


図-13 15cm沈下時の軸方向応力分布(従来型管路)



図一14 地盤沈下量と取付管路長の関係(従来型管路)

プのUPVC 管路が地盤沈下を受けたときの挙動を同一条件の解析で十分予測できることを示唆していると思われる。

(4) 最適継手位置

Case (A), (B) の最大曲げ応力と継手回転角のうち、取付管路長が短いと継手回転角が、また長いと端部の応力が先にそれぞれの許容値に達する。すなわち、両制限を満たし最大の地盤沈下量に耐える最適継手位置があると考えられる<sup>9)</sup>。そこで、数値シミュレーションでその最適位置を求める。

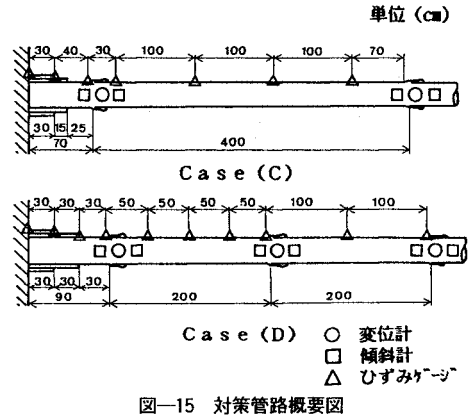
図一14に取付管路長を変えてそれぞれの許容値に達するときの地盤沈下量を示している。図より許容継手回転角による制限で、許容地盤沈下量が急激に低下しているが、これは図一8ですでに示したように、取付管路長が短いと負の回転角の制限であるが、長くなると沈下量の小さい段階で正の回転角により制限されるためである。すると、継手位置50~75cmが従来型管路で最適の設計といえよう。

4. 地盤沈下対策管路の実験および解析

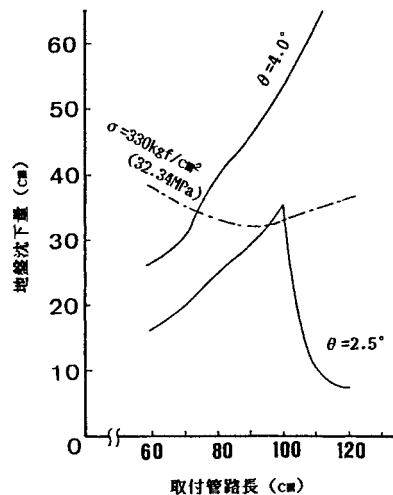
(1) 対策管路の概要

より大きな地盤沈下に耐え得る管路にするためには、管体に発生する応力を低下させることと、継手回転角を許容値以下にすることである。そこで、管体曲げ剛性を高め端部での応力を低減するよう管厚を増肉する方式(以下、対策管路と略す)を考えた。これは、大石<sup>9)</sup>が提案している管路の下に沈下防止板を設け、地盤の変形を拘束するのと等価な意味を有しており、さらに施工しやすさのうえでは従来と変わらない点で有利と思われる。

図一15には、対策管路の形状を示しているが、これ



図一15 対策管路概要図



図一16 地盤沈下量と取付管路長の関係(対策管路)

らはマンホール取付管路が3つの異なった径より作られたもので、Case (C)では、取付管路長が70cmであり、2番目の管径までが30cm、3番目までが45cmとなっている。また、Case (D)では取付管路長が90cmで、2番目の管径までが30cm、3番目までが60cmとなっている。ここで、マンホール端からの継手の位置の決定は、図一14と同様の手法を用いあらかじめ数値解析より最適継手位置を推定している(図一16参照)。また、管径の変化している増肉部では次式により管体剛性が変化する。

$$E_z = E \left( -0.25 \frac{t_z}{t} + 1.25 \right) \dots \dots \dots (4)$$

ここに、 $E_z$ ：対策管路の弾性係数、 $t_z$ ：対策管路の肉厚、 $t$ ：従来型管路の肉厚、である。表一1にUPVC管の増肉部での特性値を併記してある。

(2) 実験および数値解析結果

図一17, 18に実験値と解析値の応力分布および継手回転角を示している。マンホール近傍の応力は複雑で十

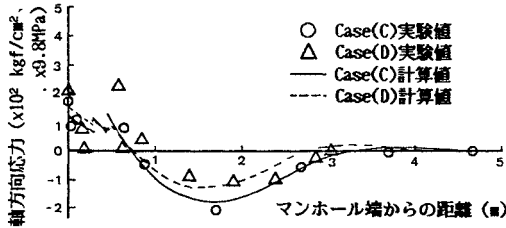


図-17 15 cm 沈下時の軸方向応力分布 (対策管路)

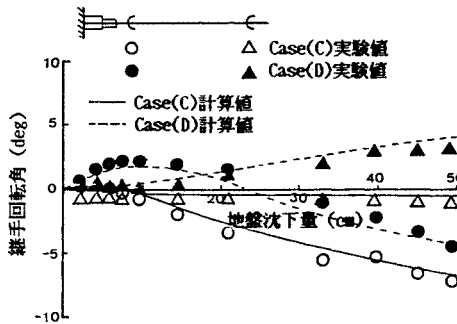


図-18 地盤沈下量と継手回転角の関係 (対策管路)

分には一致していない。この原因として、対策管路は従来管に管径の大きくした管を接着することで作られており、変形に伴い接着部に多少のすべりが生じ、データがばらついたのではないと思われるが、全体的には実験値と解析値はよい一致を示している。さらに、対策管路では最大応力がマンホールから2本目の管路中央付近に発生しているのが特徴である。また、継手回転角は従来管のときと同様にはば実験値と解析値は一致している。この実験結果より対策管路においても従来型と同じ条件下の数値解析で十分な精度が得られることが知られた。図-16より対策管路の取付管路最適長さはほぼ90~100 cmの範囲にあれば、約30 cmの地盤沈下には耐え得ると考えられる。

これらの事実を踏まえたうえで、さらに数値解析により最適な沈下対策を考える。

(3) 耐沈下最適管路

発生応力が大きい部位は管路の増肉で曲げ剛性を高めるとの考えより、2本目の管路に対しても増肉を施した種々の管路モデルに対し数値解析を行った。そのなかで、最大の沈下量に耐える耐沈下最適管路モデルおよび許容応力に達する45 cm沈下時の応力分布、さらに地盤沈下量と継手回転角の関係を図-19, 20に示している。この場合、通常の対策管路で最大30 cm程度しか地盤沈下に耐えられないのに対し、2本目の管路を増肉するだけで約45 cmまでの沈下に耐え得ることを示している。

上記の結果より、地盤沈下を受ける管路の管体自体の

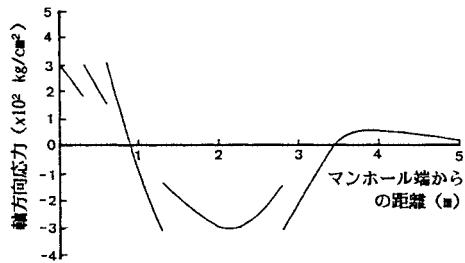
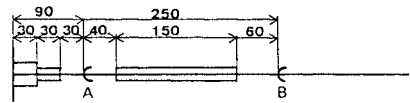


図-19 45 cm 沈下時の軸方向応力分布 (耐沈下最適管路)

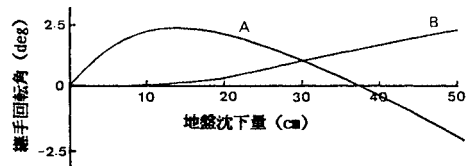


図-20 地盤沈下量と継手回転角の関係 (耐沈下最適管路)

対策は、応力集中部に対しては管体に高い剛性をもたせ、継手を有する場合は、マンホール端からの継手の配置を最適化することが肝要である。

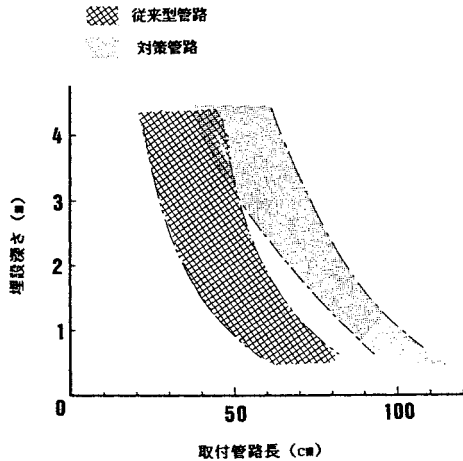
(4) 埋設深さに対する従来型および対策管路の取付管路長

本研究での管路埋設深さは1 mであるが、実施工時には地形や他の管路との関係より必ずしも1 mに埋設されるとは限らない。また、埋設深さの違いにより管路に作用する土圧も異なってくるため、本研究で得られた結果がそのまま適用できるものではない。一方、地盤種類の違いについては、実際に沈下現象が発生する地盤はほぼ同様の地盤条件を有していると考えられ、かつ埋設管路敷設時には管路周辺土は砂質土で置き換えられることを考え合わせると、その影響は無視して取り扱っても差し支えないと思われる。ここで、埋設深さの変化に対する取付管路長を求めることを次に考える。

埋設深さの影響は、本解析手法において地盤ばね定数に直接的に関係する。そこで、本論文では以下の仮定に基づいて埋設深さの影響を考慮した。まず、地盤と管路のすべり限界相対変位量は、土質が一定であれば変化しないととして4 cmとし、一方、地盤ばね定数  $k$  と埋設深さ  $H$  との間には次式の関係が成り立つとしている<sup>11)</sup>。

$$k = \alpha(C + \gamma_t \cdot H \cdot \tan \phi) \dots \dots \dots (5)$$

ここに、 $\alpha$  : 比例定数、 $C$  : 地盤の粘着力、 $\gamma_t$  : 地盤の単位体積重量、 $H$  : 埋設深さ、 $\phi$  : 地盤の内部摩擦角、である。また、 $H = 100$  cm で  $k = 0.2$  kgf/cm<sup>3</sup> (1.96 MN/m<sup>3</sup>)、 $\gamma_t = 1.7$  gf/cm<sup>3</sup> (1.67 kN/m<sup>3</sup>)、 $\phi = 37^\circ$ 、 $C =$



図—21 埋設深さと取付管路長の関係

0, として  $\alpha=0.00165$  と求めた。これより、任意の埋設深さに対して地盤ばね定数を定め、前述と同様に従来型管路に対して最適取付管路長を求めるための数値計算を行った。

従来型管路と対策管路における、約 4 m の埋設深さまでに対する最適取付管路長さを図—21 に示している。ここで、すでに図—8 に示したように、取付管路長が長くなると 1 番目の正の継手回転角の最大値が大きくなるが、さらに埋設深さが深くなると地盤による管路変形の拘束が強くなり、その正の最大値がさらに大きくなる。このため、埋設深さが深くなるほど、最適取付管路長が短い段階で許容回転角に達することになる。すなわち、埋設深さが増大すると最適管路長は短い方が有利と考えられる。なお、対策管路の計算においては、各増肉部長さの比率を同じとして取り扱っている。

## 5. 結 論

本研究は、マンホールに取り付けられた RR 継手を有する  $\phi 150$  塩化ビニル管路の沈下挙動を、実験および数値シミュレーションにより明らかにしている。さらに、地盤沈下対策としての管路開発を数値シミュレーションで行い、かつ実験で検証している。以下、得られた知見を要約する。

(1) マンホール際管路の沈下実験より、管軸方向最大応力は管路取付部に集中する。さらに、取付管路長を離れた実験より、取付管路長が短いと最大応力はかなり低減されるが、その分負の継手回転角の増大をきたし、許容継手回転角を越してしまう。また、取付管路長が長いと地盤沈下量が小さい段階で、正の回転角で許容値を越えることが知られた。

(2) 実験結果と ERAUL プログラムを用いた非線形解析結果は、沈下量ごとの応力分布、継手回転角とも

よい一致を示す。

(3) 従来型管路では、許容応力・継手回転角の両制限を満足する最適取付管路長を設定することで、15 cm 程度の地盤沈下に耐え得ることができる。また、応力の集中するマンホール近傍の管体剛性を高めた対策管路に対し最適取付管路長を設定すると、従来型管路に対し約 2 倍の地盤沈下に耐え得ることができる。さらに、対策管路において 2 本目の管体剛性をも高めた耐沈下最適管路を用いると、従来型管路に対し約 3 倍の地盤沈下まで耐えることができる。

(4) 最適取付管路長は、埋設深さが深くなるほど短い方が有利である。

(5) 本研究の手法を用いると、他の管種・管径・継手特性を有する管路に対しても、同様に耐沈下最適管路を開発することが可能である。

謝 辞：本研究において、沈下実験およびデータ整理に携わった関係各位に厚く御礼を申し上げます。

## 参 考 文 献

- 1) 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，pp. 466～467，1981. 10.
- 2) 高田至郎・山部泰男：沈下土槽による埋設管路の大変形挙動実験とその解析，土木学会論文報告集，第 323 号，pp. 55～65，1982. 7.
- 3) 高田至郎・高橋俊二・山部泰男：硬質塩化ビニル管の地震時挙動シミュレーション，水道協会雑誌，第 547 号，pp. 27～32，1980.
- 4) 日本ガス協会：ガス工作物設置基準調査委員会資料（大口径軸直角方向沈下実験），pp. 119～140.
- 5) 水道用塩ビ管の技術研究会：ゴム輪形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.
- 6) 大石 博：地盤沈下を受ける埋設管路の挙動に関する二、三の考察，土木学会論文報告集，第 356 号，pp. 379～386，1985. 4.
- 7) 岡 孝則：地盤変状を受ける埋設管路の動的挙動に関する基礎的研究，神戸大学卒業研究，1983. 2.
- 8) 日本ガス協会：ガス導管耐震設計指針，pp. 350～421，1982. 3.
- 9) 高田至郎・田邊揮司良・中野雅弘・沢橋剛志・梶本俊彦：液状化を受ける通信用管路の挙動解析と地震対策，建設工学研究所報告，第 26 号，1984. 12.
- 10) Hazama, Y., Ito, T., Yamajyo, K., Irioka, H., Takada, S. and Ueno, T.: Development of Manhole Fitting Unplasticized Polyvinyl Chloride Pipeline System Resisting to Ground Subsidence, P.V.P. Conference, Vol. 98-4, pp. 55～60, 1985.
- 11) 西尾宣明：埋設管に加わる荷重と応力について，配管技術，1976. 7.

(1986. 3. 12・受付)