

# 断層変位による地中埋設管の挙動に関する 隆起土槽を用いた実験

宮島昌克<sup>1</sup>・吉藤祐也<sup>2</sup>・北浦 勝<sup>3</sup>

<sup>1</sup>金沢大学工学部教授 (〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20)

E-mail:miyajima@t.kanazawa-u.ac.jp

<sup>2</sup>東京ガス (〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20)

<sup>3</sup>金沢大学工学部教授 (〒920-8667 石川県金沢市小立野2-40-20)

E-mail:kitaoura@t.kanazawa-u.ac.jp

本研究は、断層を横切る地中埋設管の挙動を隆起土槽を用いた実験を通して検討したものである。地中埋設管として硬質塩化ビニル管を用い、表層地盤特性に注目して、縦ずれ断層による地中埋設管の挙動を計測した。その結果、断層を横切る埋設管は下盤側の方が上盤側より断層崖から離れた位置で屈曲することが明らかとなった。また、断層変位に伴う埋設管の挙動には表層地盤特性が大きく影響していることがわかった。

*Key Words* :buried pipe, fault displacement, surface ground property, experiment

## 1. はじめに

1999年に発生したトルコ・コジャエリ地震、台湾・集集地震では地震動のみならず、断層変位によって橋梁をはじめ多くの構造物に被害をもたらした。とくに地中埋設管は断層変位により大変形を受けるなど多くの被害が発生した。台湾・集集地震後に行った著者ら<sup>1)</sup>の調査によると、硬い地盤では断層崖の鉛直変位が大きい場合でも地盤変状の影響範囲は小さく、逆に軟らかい地盤では、断層変位は小さくても断層線が複数に分岐し、地盤変状の影響範囲が大きくなる傾向のあることが明らかにされている。この調査結果から、表層地盤特性の影響が地表面断層の形状に強く関与しており、したがって、地中埋設管の挙動にも多大な影響を与えるのではないかと推察される。地表面断層がどこに現れるのかを予測することは難しいが、断層変位が地表面に現れたときの地中埋設管の被害分布を予測するために、表層地盤特性と地中埋設管挙動の関係を明らかにすることは重要である。

大変位を受ける地中埋設管の挙動に着目した実験は、高田ら<sup>2)</sup>、安田ら<sup>3)</sup>によって行われている。高田ら<sup>2)</sup>は、液状化による不等沈下を想定し、配水用硬質塩化ビニル管を対象とした実験を行っている。特に接合部の屈曲・伸縮挙動に着目し、管体の変形挙動について報告している。安田ら<sup>3)</sup>は、横ずれ断層を想定した装置を用いて、銅管を対象とした実験

を行い、実験結果から地盤拘束力・地盤反力係数の算出を行っている。このようにいくつかの研究事例はあるが、地盤特性の影響を考慮した縦ずれ断層変位による埋設管挙動に関する研究はこれまでに行われていない。

そこで本研究では、表層地盤特性に注目して、隆起土槽を用いた地中埋設管の挙動実験を行った。隆起土槽とは、テーブルリフトによって仮想的な断層変位を与えることのできる装置である。本実験で使用した実験装置は縦ずれ断層を模擬したものである。本実験では、表層地盤特性として、埋設されている地盤の硬軟と埋設管にかかる上載荷重の影響に着目した。地盤の硬軟は埋設土の相対密度を、上載荷重は埋設管の埋設深さを変えることにより、管の挙動に与えるそれらの影響について考察した。

## 2. 実験概要

### (1) 実験装置

図-1に実験装置を示す。実験に用いる土槽の寸法は長さ4,000mm×幅600mm×高さ1,000mmであり、透明なアクリル板と鉄板を組み合わせて作成した。それを半分に切断し、一方を土台に固定し、もう一方をテーブルリフトに設置し、テーブルリフトを上昇させることにより、図-1の下図に示すように模型地盤に断層変位を仮想した鉛直変位を与える。テ

ブルリフトの上昇速度は 28mm/s である。断層変位の速度については、1~2m/s と推測する研究<sup>4)</sup>があるが、本実験では表層地盤特性による影響のみを考察するため、擬似静的な実験を行う目的で、上昇速度は可能な限り小さく設定した。

模型地盤には表乾状態の珪砂 5 号 ( $\rho_s=2.63\text{g/cm}^3$ 、 $D_{50}=0.34\text{mm}$ ) を用いた。繰り返し再現性のよい地盤を作ることが可能なことから、本実験では乾燥砂を用いている。図-2 に本実験で用いた珪砂 5 号の粒径加積曲線を示す。地盤の作成方法には空中落下法を用い、落下高さを変えることにより地盤の相対密度を変化させた。

埋設管には呼び径 13mm(外径 18mm)、長さ 3,800mm の水道用硬質塩化ビニル管(JIS K 6742)を用いた。水道用硬質塩化ビニル管の物性値<sup>5)、6)</sup>を表-1 に示す。

## (2)実験方法

表-2 に実験ケースを示す。本実験で使用している珪砂 5 号を用いて自由落下法で作成できる最も密な地盤は相対密度 80%であった。また、装置の規模と埋設管挙動の測定の制約から埋設深さの下限は 20cm であった。そのため、相対密度 80%、埋設深さ 20cm のケースを基本とし、地盤の硬軟の影響と埋設深さの影響を考察するため、相対密度 20%のケースと埋設深さ 40cm のケースにおいて実験を行った。

まず、土槽底面から高さ 30cm の地盤を作成する。そこに、上述した埋設管を設置し、さらに実験ケースに応じた高さの地盤を作成する。埋設管の両端は自由端としている。その後テーブルリフトの上昇量を 30cm とし、地盤に鉛直変位を与えている。上昇後の実験装置の写真を写真-1 に示す。測定項目は、テーブルリフトの上昇中における埋設管のひずみと上昇後の埋設管の変位量である。変位量は、鉛直方向と管軸方向である。埋設管の管体上面にひずみゲージを設置し、埋設管のひずみを測定した。図-3 にひずみゲージの配置図を示す。測定ポイントは中央部と中央部から上盤側、下盤側それぞれ 10cm、20cm、30cm、50cm、70cm の位置、計 11 点である。ひずみゲージは、東京測器社製の CFLA-3-70-5L(ゲージ率 2.12)を使用し、管体表面に接着剤で接着した。本実験のように管軸方向の曲げひずみを測定する場合には、管の上面と下面の両方にひずみゲージを貼る必要がある。本研究においても上、下面にゲージを貼り付けた実験を予備実験で行い、曲げひずみが卓越していることと上、下面のひずみの関係を把握している。ここでは、管軸方向におけるひずみ分布に注目した実験結果を考察するため、限られたひずみゲージを上面のみに貼り付けて実験を行った。下面にも張り付けなかった理由は、リード線が多くなることによる管の挙動への影響を危惧したためと測定機器の制約からである。埋設管の鉛直方向変位量は、ポイントゲージより上昇前後の埋設管の位置を測定し、算出している。測定ポイントは中央部と

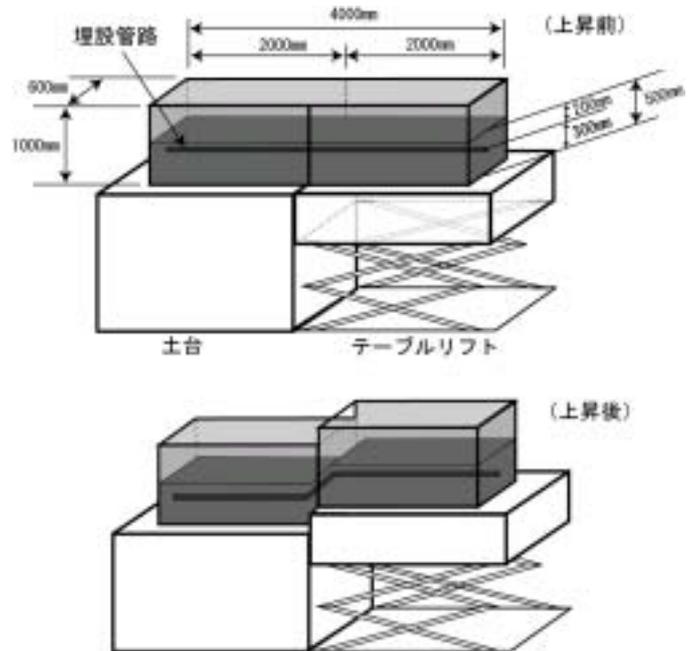


図-1 実験装置概要図

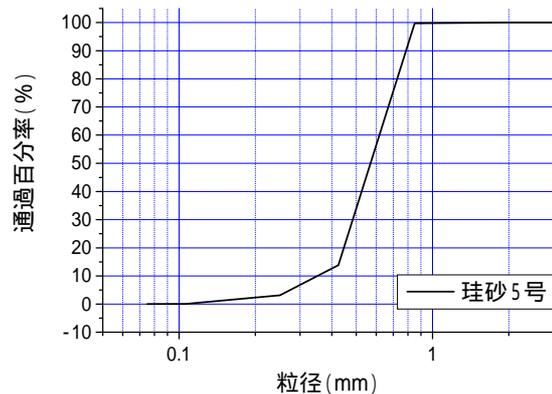


図-2 粒径加積曲線

表-1 硬質塩化ビニル管の物性値

全長(mm)	3800
比重	1.43
縦弾性係数(N/m <sup>2</sup> )	$2.94 \times 10^9$
ポアソン比	0.38
引張強度(N/m <sup>2</sup> )	$4.8 \times 10^7$

表-2 実験ケース

実験ケース	相対密度	埋設深さ
	80%	20cm
	20%	20cm
	80%	40cm

中央部から上盤側、下盤側それぞれ 5cm、10cm、15cm、20cm、25 cm、30 cm、40cm、50cm、60cm、75cm、85cm、100cm の計 25 点である。管軸方向変位量は、埋設管の両端において測定した。

### 3. 実験結果と考察

#### (1) 地盤の硬軟による影響

実験ケース と の比較を行う。埋設管の鉛直方向変位量を図-4 に示す。テーブルリフトの上昇量は 30cm である。どちらのケースにおいても、下盤側の方が上盤側より断層崖から離れた位置で屈曲していることがわかる。これは安田ら<sup>2)</sup>が行った横ずれ断層を模擬した実験では報告されていない現象であるので、縦ずれ断層のときのみが発生する現象であると考えられる。高田ら<sup>3)</sup>が行った沈下土槽を用いた実験においても沈下側の屈曲点の方が固定側よりも離れた位置になっていることが報告されている。これは、下盤側では埋設管は上載地盤を持ち上げ、上盤側では埋設管は逆に下方の地盤に押し付けられるという挙動をすることに起因していると考えられる。断層変位によって地盤に生じるせん断帯は、硬い地盤であるほど下盤側に傾斜するとされている<sup>7)</sup>。そのため、上盤側の埋設管は下方地盤に持ち上げられ、屈曲点が下盤側よりも近くなると考えられる。図-4 より硬い地盤(相対密度 80%)の方が、軟らかい地盤(相対密度 20%)よりも変形が土槽中央に集中する結果となった。埋設管の両端における水平方向変位量を表-3 に示す。上盤側の上昇により、下盤側の埋設管が引っ張られていることがわかる。また、それは地盤が硬い時の方が顕著である。図-5 に上昇量 10cm ごとの各計測ポイントにおけるひずみ量を示す。テーブルリフトが上昇するのにしたがって、どちらの地盤においても最大ひずみ量は増加した。図-6 に上昇量と最大ひずみを計測した位置の関係を示す。相対密度 20%の地盤においては、テーブルリフトの上昇量の増加に伴い、最大ひずみを生ずるポイントが上盤、下盤ともに土槽中央部から離れていくのがわかる。このことから、軟らかい地盤では管体にひずみが集中することなく、屈曲点が断層崖から離れていく挙動をしていることがわかる。また、上盤側においては相対密度 80%に比べ、20%のときの方がひずみの分散が顕著である。一方、相対密度 80%の地盤では、上盤側において中央部から 10cm、20cm の個所にひずみが集中しているのがよくわかる。すなわち、軟らかい地盤では断層変位による管体のひずみの範囲は広がるが、硬い地盤では、局所的に大きなひずみが発生する。これは、管体に働く地盤による拘束力が小さいほど、管体は断層変位によるひずみにより自由に挙動し、ひずみを分散することができる。しかし、拘束力が大きくなると、挙動が制限されるため、ひずみが集中し破壊を生じる危険性が大

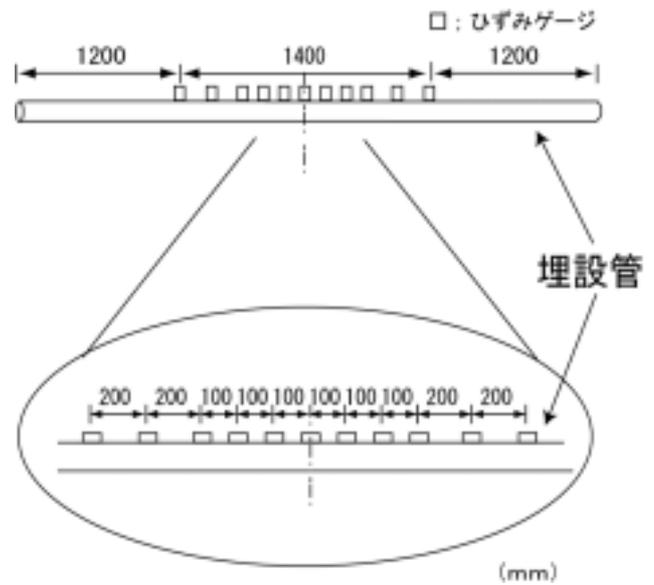


図-3 ひずみゲージの配置図



写真-1 上昇後の実験土槽

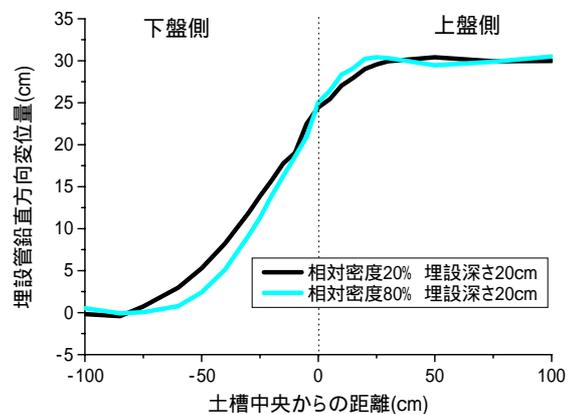


図-4 埋設管の鉛直方向変位量

表-3 埋設管の管軸方向変位量

実験ケース	上盤側(cm)	下盤側(cm)
	-0.4	4.3
	-1.1	2.3

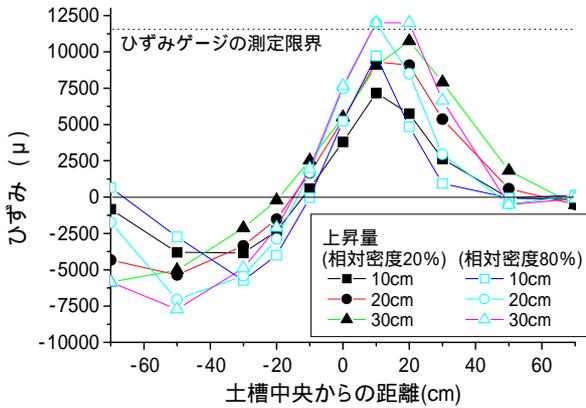


図-5 埋設管のひずみ量

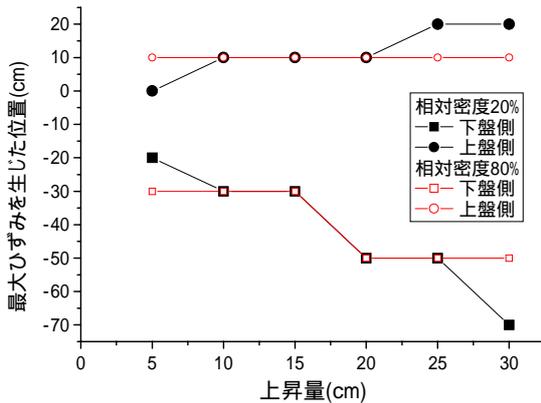


図-6 地盤上昇量と最大ひずみが生じた位置

きくとなると考えられる。

(2)埋設深さによる影響

実験ケース と の比較を行う。埋設管の鉛直方向変位量を図-7 に示す。埋設深さ 40cm のケースの方が 20cm のケースよりも下盤側における屈曲点の位置が土槽中央に近くになった。これは前項で述べたように、下盤側の管体は上載地盤を持ち上げる挙動を示すため、管体にかかる上載荷重の大きさ、すなわち埋設深さによって屈曲点の位置が変わると考えられる。上載荷重が大きいほど下盤側の屈曲点は断層崖に近くなると推測できる。表-4 より、埋設深さ 40cm のケースの方が下盤側の埋設管が引っ張られているのがわかる。図-8 にひずみ量を示す。

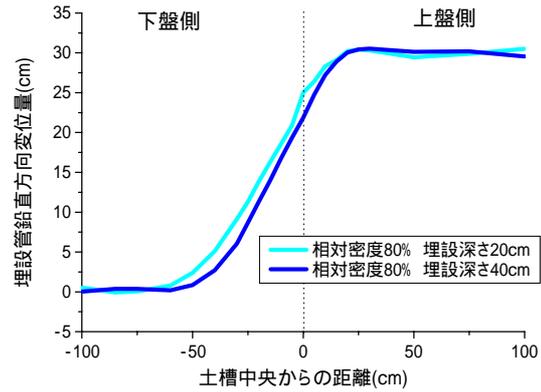


図-7 埋設管の鉛直方向変位量

表-4 埋設管の軸方向変位量

実験ケース	上盤側(cm)	下盤側(cm)
	-0.4	4.3
	-1.1	5.1

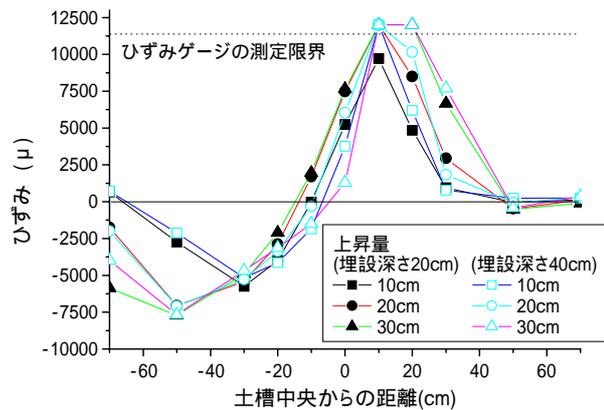


図-8 埋設管のひずみ量

埋設深さ 40cm のケースの方が、上盤側 10cm、20cm において埋設深さ 20cm のケースより大きなひずみが生じている。また、上盤側 10cm においては、上昇量が少ない段階から極めて大きなひずみ量であった。これは、下盤側の屈曲点が断層崖に近くなったため、上盤側におけるひずみが屈曲点に集中するためであると考えられる。

4. 結論

本研究では、地表面断層付近の地中埋設管の挙動を明らかにするために、隆起土槽を用いた実験を行

った。実験結果から、断層を横切る埋設管は下盤側の方が上盤側より断層崖から離れた位置で屈曲することが明らかとなった。また、断層変位に伴う埋設管の挙動には表層地盤特性が大きく影響していることがわかった。すなわち、硬い地盤であるほど、また埋設深さが大きいほど、変形は断層崖付近に集中し、下盤側の埋設管が引っ張られる挙動をする。硬い地盤に埋設した管では、断層近傍の上盤側において、大きな曲げ応力に対する対策が必要であり、下盤側においては抜け被害に対する対策が必要であると考えられる。一方、軟らかい地盤においては、曲げ応力は分散する傾向があるが、断層変位量が極めて大きなものとなった場合、被害が広範囲で発生する可能性が高いと考えられる。埋設深さによっても下盤側の屈曲点の位置や、上盤側のひずみ値などに大きな違いが生じることがわかった。本実験の実験結果から、地盤の硬軟による拘束力と、埋設深さによる上載荷重が、断層変位に伴う埋設管の挙動に影響を与えることがわかった。

なお、本研究では、基礎的で定性的な実験を行ったが、本研究で得られた成果は台湾・集集地震における実被害の傾向と対応が見られる。今後さらに、DEM 解析などを通して定量的な検討を進めていく予定である。

(研究代表者：宮島昌克、No.13680542)の補助により行われた。記して感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 宮島昌克, 橋本隆雄, 北浦 勝: 断層崖近傍の建物被害に関する基礎的研究 - 1999 年台湾・集集地震を例として -, 地域安全学会論文集, No.3, pp.59 ~ 64, 2001 .
- 2) 高田至郎・中野雅弘・片桐信・谷和弘・小柳悟: 地柳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, 土木学会論文集, No.691/I-47, pp.145 ~ 154, 1999.
- 3) 安田進・風見健太郎・井原千恵美・酢谷佳尚・鈴木信久: 断層変位を受ける埋設管の変形特性に関する実験, 第 11 回日本地震工学シンポジウム, pp.1061 ~ 1064, 2002.
- 4) 大内 徹・林 愛明・陳 讚歌・丸山 正: 1999 年台湾集集地震 - 断層と地震災害 -, 921 集集(台湾)地震調査合同報告書, 神戸大学都市安全研究センター, 2000.
- 5) 高田至郎: ライフライン地震工学, 共立出版株式会社, p.101, 1991 .
- 6) 三菱樹脂株式会社: ヒシパイプ便覧, 実業印刷株式会社, p.3, 1982 .
- 7) 武澤永純・宮島昌克・北浦 勝: 表層地盤特性を考慮した断層運動による地表面変状に関する研究, 土木学会地震工学論文集, 2003 (掲載確定) .

謝辞: 本研究の一部は、科学研究費基盤研究 (C)

(2003. 6. 29 受付)

## EXPERIMENTS ON BEHAVIOR OF BURIED PIPE DUE TO SURFACE FAULT RAPTURE BY USING SHEAR SOIL BOX

Masakatsu MIYAJIMA, Yuya YOSHIFUJI and Masaru KITaura

Tests using a shear soil box and table lift were conducted concerning with a behavior of buried pipe. A PVC pipe was used in the experiments. The test results showed that great bending strain was occurred at the pipe buied in the hanging-wall side under hard surface ground condition. The pipe buried in footwall side indicated a possibility of pull out at joints of a segmented pipeline. On the contrary, the bending strain of a buried pipe was dispersed under soft surface ground condition.