

軽量土を用いた埋設管の断層対策に関する実験と解析

安田 進¹・岸野 洋也²・吉崎 浩二³・早川 俊吾⁴

¹東京電機大学理工学部建設環境工学科教授（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂）

E-mail: yasuda@g.dendai.ac.jp

²東京ガス(株)導管部課長（〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20）

E-mail: k-hiro@tokyo-gas.co.jp

³東京ガス(株)パイプライン技術センター（〒105-8527 東京都港区海岸1-5-20）

E-mail: yoshi@tokyo-gas.co.jp

⁴東京電機大学大学院理工学研究科建設工学専攻（〒350-0394 埼玉県比企郡鳩山町石坂）

E-mail: 02smg10@ed.ccs.dendai.ac.jp

筆者らは、千葉県産のガス管の埋戻し土（以下埋戻し土とする）を用いて模型地盤を作製し、横ずれ断層を擬似した実験を行ってきた¹⁾。それに引き続きここでは、細粒分のない豊浦砂や、埋戻し土に軽量地盤材料スーパーソルや発泡ビーズを混ぜた試料を用いて実験を行い、それによる被害を軽減する効果について比較検討を行った。

Keywords : Fault, Model test, Light-weight materials, Sandy soil

1. はじめに

1999年に発生したトルコ・コジャエリ地震や台湾集集地震では、断層による埋設管の被害が報告された。埋設管の中でも強度の大きい鋼管等は、地震時に多少地盤が変状しても、耐震性を有しているため大きな被害は受けないと考えられてきた。ただし、断層のような非常に大きな変位をうけた場合の埋設管に与える影響についての研究は今までにあまりなされてはいなかった。そこで、昨年度筆者達は、千葉県産のガス管の埋戻し土（以下埋戻し土とする）を使って横ずれ断層を擬似した模型実験が行った¹⁾。それに引き続きここでは、細粒分のない豊浦砂を用いて実験を行い、細粒分の違いが埋設管に与える影響について調べた。そして、埋め戻し土に廃ガラス瓶を熔融発泡させて作った軽量地盤材料スーパーソルや発

泡ビーズを混ぜ実験を行い、それによる被害を軽減する効果について比較検討を行った。さらに、実験により求めた管の変形量と計測されたひずみから地盤拘束力および地盤反力係数を求め、各試料における最大地盤拘束力について比較検討を行った。

2. 実験装置および実験方法

図1のような618.0 mm×400.0 mm×520.0 mmの2つの鋼製土槽内に管を埋設した模型地盤を作製した。そして、1個の土槽を固定して、もう一方を動かし横ずれ断層を模擬した実験を行った。試料は、豊浦砂（最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.583\text{g/cm}^3$ ，最適含水比 $\omega_{opt}=14.25\%$ ）と、千葉県産の埋戻し土（最大乾燥密度 $\rho_{dmax}=1.629\text{g/cm}^3$ ，最適含水比 $\omega_{opt}=17.2\%$ ）にスーパーソル（乾燥密度 $\rho_t=0.198\text{g/cm}^3$ ）

や、発泡ビーズ（乾燥密度 $\rho_s=0.016\text{g/cm}^3$ ）を混ぜたもの計 3 種類とした。図 2, 図 3 に千葉県産の埋戻し土と豊浦砂の粒径加積曲線を示す。前者は、細粒分を 4% 含んでいる。また写真 1, 写真 2 にスーパーソルと発泡ビーズを示す。密度は、それぞれ 0.198g/cm^3 、 0.016g/cm^3 である。これらの混合土では、千葉県産の埋戻し土とスーパーソル、発泡ビーズの混合土の密度が 1g/cm^3 となるように混合した。模型地盤の作製方法は最適含水比になるように試料の含水比を調整し、締固め度（以下 D_c とする）95%、100% になるように締め固めた。

実験に用いた埋設管は外径 10.00 mm×肉厚 0.8 mm×長さ 1100 mm の銅管である。管の埋設する位置は $D_c=95\%$ の場合は、深さ 5 cm, 10 cm, 20 cm, $D_c=100\%$ の場合は、深さ 5 cm とした。管の変形量はひずみゲージにより測定をした。図 3 にひずみゲージの貼付位置を示す。図 4 に示すように、銅管にひずみゲージを上下左右に 5 cm 間隔で 20 枚貼付しひずみを計測した。土槽を変位させる速度をなるべく一定の速度になるようにしながら手でウィンチを用い土槽を約 50 秒かけて 10 cm 変位させた。実験後、地表面の盛り上がり量も測定をした。

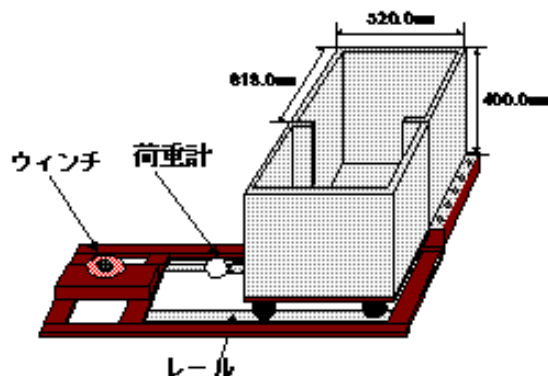


図1.横ずれ断層装置

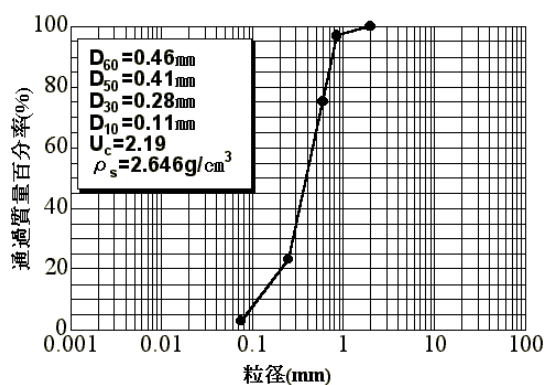


図2.千葉県産の埋戻し土の粒径加積曲線

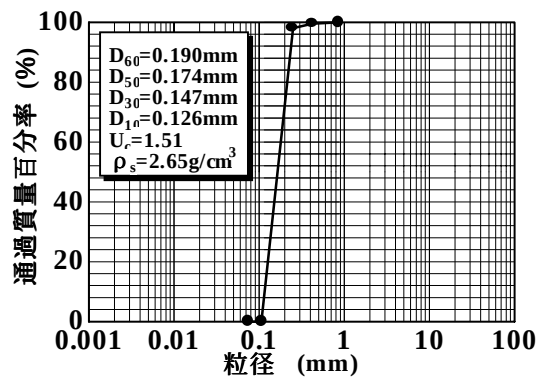


図3.豊浦砂の埋戻し土の粒径加積曲線



写真1.実験に用いたスーパーソル

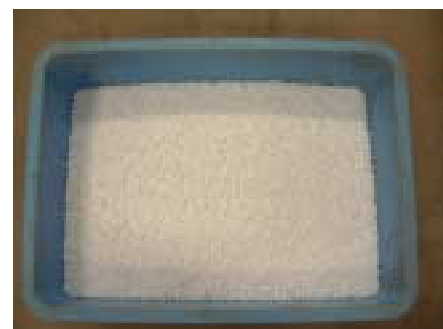


写真2.実験に用いた発泡ビーズ

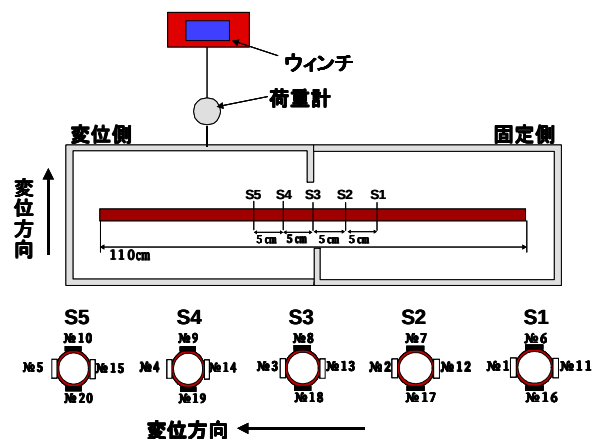


図4.ひずみゲージの貼付位置

3. 実験結果

図5に $D_c=95\%$ 埋設深さ10cmにおける水平ひずみとゲージ位置の関係を示す。豊浦砂と埋戻し土を比較すると豊浦砂の方が管に生じるひずみが小さくなった。また、埋戻し土にスーパーソルを混ぜると管に生じるひずみの値をおよそ半分にまで軽減でき、発泡ビーズを混ぜるとさらにひずみを軽減することができることが分かった。測定した各点のひずみのうち最大値をもとに最大曲げモーメントを算出した。各砂における $D_c=95\%$ の深さと最大曲げモーメントの関係を図6に示す。スーパーソルを混ぜると最大曲げモーメントの値が減少し、発泡ビーズを混ぜるとさらに減少することが分かる。

各砂における $D_c=95\%$ の砂の最大盛上り量を図7に示す。この図より、埋設深さが浅いほど盛上り量が大きくなることが分かる。さらに、発泡ビーズやスーパーソルを混ぜた場合、盛上り量が大きくなることが分かる。これは、埋設深さが浅い場合に管が水平方向に変形すると同時に鉛直上方向にも変形するジャンプアウト現象が発生したためであると考えられる。

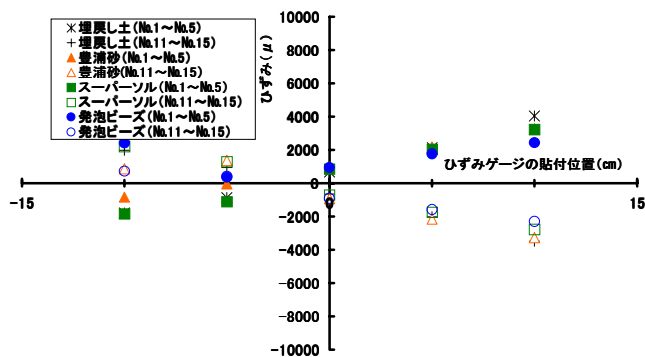


図5.試料ごとの水平ひずみ分布($D_c=95\%$, $Z=10\text{cm}$)

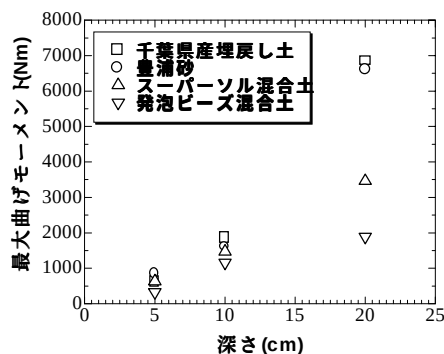


図6.深さと最大曲げモーメントの関係

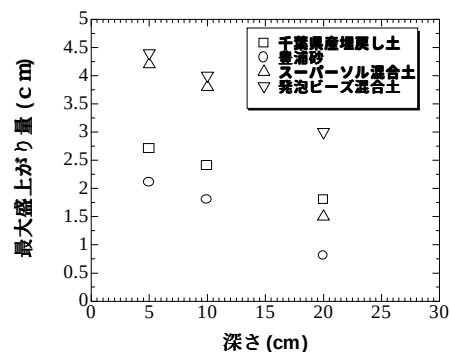


図7.深さと砂の最大盛上がり量の関係

4. 曲げモーメントと受働土圧の関係

前述したようにスーパーソルと発泡ビーズを混ぜた場合、曲げモーメントが小さくまた、地表面の盛上り量が大きい結果となった。このメカニズムを考察するため、圧密排水状態で三軸圧縮試験を行い、各試料のせん断特性を調べた。三軸試験結果をもとに粘着力は0と見なしとせん断抵抗角 ϕ を求め、さらに、5cmの深さにおける受働土圧係数 σ_p を算出した。表1に各砂の ϕ と σ_p の関係を示す。これを見るとスーパーソル混合土が最もせん断抵抗角が大きく、続いて埋戻し土、豊浦砂、発泡ビーズ混合土となった。ただし、発泡ビーズ以外の3つの試料におけるせん断抵抗角は大差ない。受働土圧は単位体積重量 γ に比例してくるのでそれが軽いものが土圧が小さくなり、そこで発泡ビーズ混合土が最も受働土圧が小さく、スーパーソル混合土、豊浦砂、埋戻し土の順で大きくなった。これは曲げモーメントの大きさの順と同じとなり、地表面の盛上り量の大きさの順の逆となった。

表1. 各砂の ϕ と σ_p の関係

	ϕ (°)	σ_p (kN/m ²)
千葉県産埋戻し土	38.7	3.86
豊浦砂	37.5	3.64
スーパーソル混合土	40.3	2.28
発泡ビーズ混合土	21	1.04

5. 地盤拘束力、地盤反力係数の算出

実験では図3に示すように管にゲージを貼付した。そこで実験により計測されたひずみから以下に示すような手順で地盤拘束力、地盤反力係数を算定した。

- ① 水平方向一對のひずみ値より、各点の管の曲げひずみ ε_m を求めた。
- ② 曲げひずみより、各点の水平方向の曲率 ϕ 、曲げモーメント M を求めた。
- ③ 各点の管の変位量を求めた。ただし、固定土槽側の管の端の変位量はゼロとし、可動側の端は土槽の変位量と等しいと仮定した。
- ④ 地盤拘束力 q を算定した。
- ⑤ 求めた地盤拘束力 q と土槽変位量 δg 、管の変位量 y から地盤反力係数 k を算出した。

Dc=95%埋設深さ 5 cmにおける実験後の管の変形量を試料ごとに比較したものを図 8 に示す。埋戻し土、豊浦砂、スーパーソル混合土、発泡ビーズ混合土の順で管の変形が小さくなっていることが分かる。

図 9、図 10 に Dc=95%の条件下の埋設深さ 5 cmにおける埋戻し土と発泡ビーズ混合土の土槽変位量～地盤反力係数の関係を示す。埋戻し土では、1.1cm の変位で地盤拘束力がピークとなったが、発泡ビーズ混合土では、1.2cm の変位で地盤拘束力がピークとなった。これらから最大地盤拘束力を読み取り、埋設深さとの関係を示すと図 11 となる。埋戻し土、豊浦砂、スーパーソル混合土、発泡ビーズ混合土の順で最大地盤拘束力が低下した。

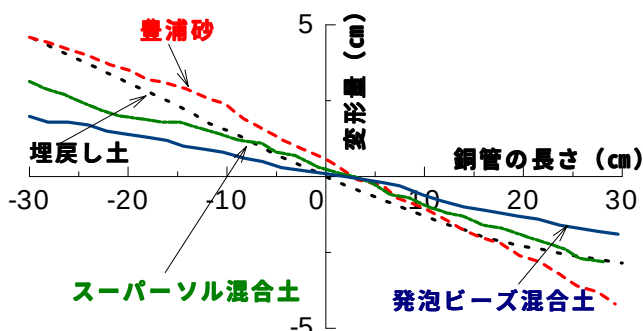


図 8 各試料における管の変形図の比較(Dc=95%, Z=5cm)

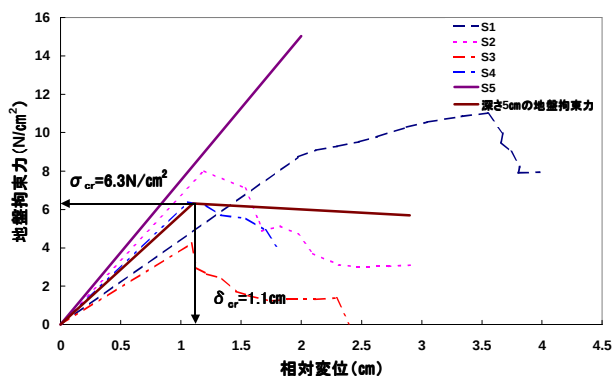


図 9 埋戻し土の地盤拘束力と変位の関係(Dc=95%, Z=5cm)

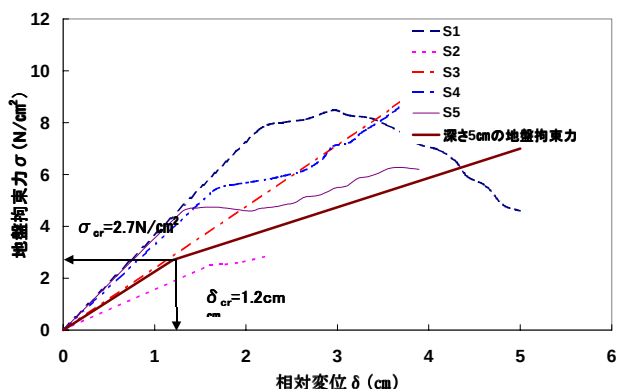


図 10 発泡ビーズ混合土の地盤拘束力と変位の関係(Dc=95%, Z=5cm)

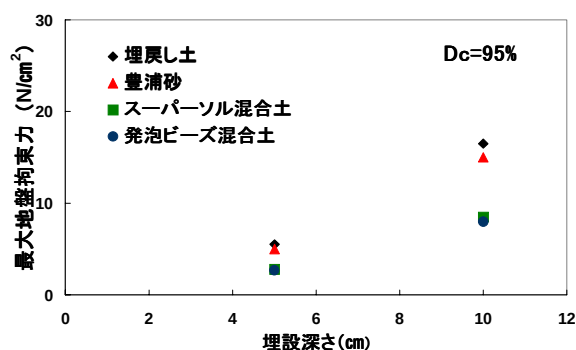


図 11 試料ごとの地盤拘束力の比較(Dc=95%)

6. まとめ

豊浦砂や、埋戻し土に軽量材を混ぜた混合土を用い、横ずれ断層実験を行い、さらに計算を行った結果以下のことが分かった。

- 1) 豊浦砂は埋戻し土に比べると管に生じるひずみや最大曲げモーメントが小さくなった。
- 2) 埋戻し土に軽量材を混ぜると管に生じるひずみや最大曲げモーメントを軽減させる効果が生じた。
- 3) 埋戻し土に軽材料を混ぜると地盤反力係数が小さくなり、地盤拘束力も小さくなった。

謝辞: 本研究は、(財)地震予知総合研究振興会の“地盤の大変形に関する研究”の一環として行ったものである。関係者各位に感謝する次第である。

参考文献

- 1) 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概要集, pp.1061~1064.2002.

(2003.9.10 受付)