

埋設管に作用する地盤拘束力の管周方向分布に関する研究

名古屋大学 正会員 ○北野 哲司 日鉄住金 P&E 株式会社 非会員 小倉 均
東京ガス株式会社 正会員 坂上 貴士 株式会社日本アムスコ 非会員 保井 基良

1. 序論

現行の埋設管耐震設計指針では、埋設管の管軸直角方向の地盤拘束力を管周方向では同一の値に設定している。しかし、実際には管周方向の地盤拘束力は各位置で異なる値を示す。そこで今回、法線方向に作用する土圧を計測することが可能な“触覚センサー (tactile sensors)”を管表面の半周に貼付した鋼管を用いて実規模土槽による鋼管水平方向牽引実験および実験再現数値解析を実施したので、その結果について説明する。

2. 埋設管の軸直角水平方向牽引土槽実験

2.1 実験概要

実験装置を図 1 に示す。実験では、幅 200cm、長さ 300cm の鋼製土槽に高さ 102cm の地盤を作製し、呼び径 150A の STPG370 鋼管 (管厚 11mm) を土被り 60cm の位置に埋設した。実験方法は、鋼管両端部に牽引ワイヤーロープを取り付け、このワイヤーロープをジャッキで約 1mm/s で牽引することによって埋設管を水平方向に移動させた。実験中、鋼管に作用する地盤拘束力をロードセル 2 個および触覚センサーで計測すると共に、鋼管の移動変位を鋼管に直接取り付けたワイヤー変位計 2 個で計測した。また、土槽の壁面と底面に土圧計を 4 個設置した。

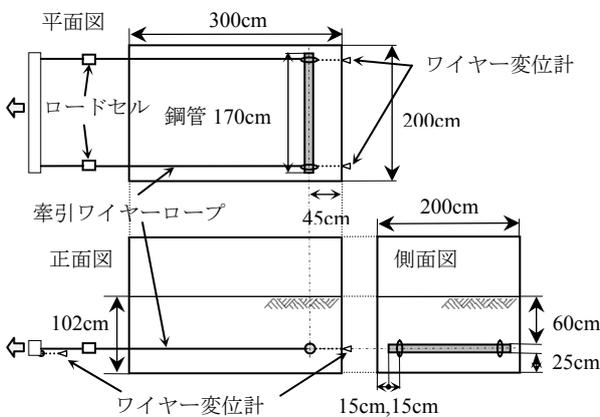


図 1 実験概要

実験に用いた山砂の特性を表 1 に示す。表 2 と図 2 に、触覚センサーの外観と仕様を示す。触覚センサーは、

鋼管中央部の移動方向側の半周に貼付した。

表 1 実験砂の特性

項目	値	設定根拠
湿潤密度	1.52 g/cm ³	原位置試験
乾燥密度	1.41 g/cm ³	原位置試験
内部摩擦角(ϕ)	34.3°	三軸圧縮試験
粘着力(c)	1.2 kN/m ²	三軸圧縮試験

表 2 触覚センサーの仕様

項目	仕様
センサー素子寸法	横 7.5mm×縦 10mm
センサー素子配列	横 32 個×縦 32 個
計測領域寸法	横 240mm×縦 320mm
計測回数	8.5 回/秒
圧力計測範囲	8kPa~800kPa

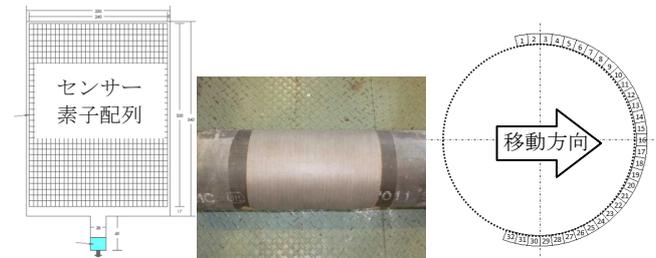


図 2 触覚センサーの外観と貼付位置

2.2 実験結果

図 3 に、実験後の地表面の状況を示す。地表面の隆起と陥没状況が確認できる。管が移動した後方が陥没している。管は 38cm (水平 37.5cm, 上方 5.3cm) 移動させた。図 4 に、実験後の土槽中央断面における管



図 3 実験後の地表面状況 (矢印：管移動方向)

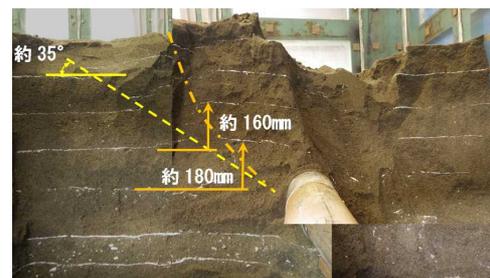


図 4 実験後の管の中央断面の地盤変状

の移動に伴う地盤変状を示す。滑り線が 2 本（黄色破線（変状量：小）と橙色一点鎖線（変状量：大））出現している。また、埋戻し層境の白線の移動から管直近の地盤は約 180mm、従って管の直径よりやや多く隆起したことがわかる。

図 5は、鋼管変位が約 35cm の時に触覚センサーで計測された法線方向の土圧分布（a），および、これから求めた地盤反力の水平方向成分（b）と鉛直方向成分（c）である。地盤からの受圧は両方向とも、管の下半分が大きくなる傾向にあることがわかる。

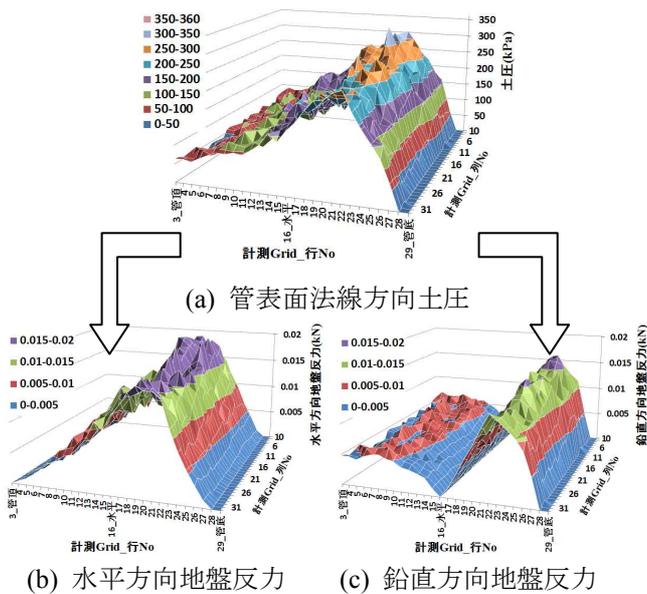


図 5 鋼管変位が約 35cm 時の触覚センサー計測結果

3. 実験の再現解析

3.1 解析条件

図 6に、地盤・鋼管の解析モデルおよび水平変位を作用させた領域を示す。鋼管の材料特性は、ヤング率 206,000N/mm²，ポアソン比 0.3 に設定し，応力-ひずみ関係は規格最小値モデル（最小 0.2%耐力：215N/mm²，最小引張強さ：370N/mm²）とした。また，地盤の材料特性は，表 1以外に，ヤング率 26MN/m²，ポアソン比 0.35，地盤と鋼管表面との摩擦係数 0.3 に設定し，地盤の破壊基準は Mohr-Coulomb の破壊基準を適用した。解析は，陰的静解析と陽的動解析の 2 種類実施した。

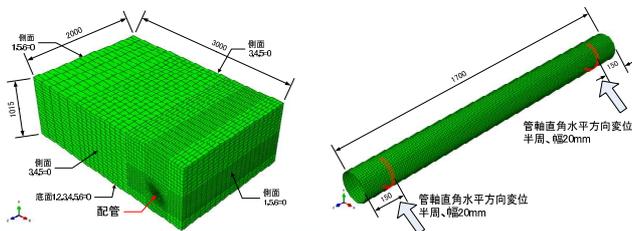


図 6 解析モデル（左：地盤モデル，右：配管モデル）

3.2 解析結果

解析結果を以下に示す。図 7は鋼管変位 70mm における地盤変形図である。図 4に示した主地盤変状である鎖線滑り線は再現できているが，地盤変状量が小さい破線滑り線は作製地盤の固さの不均一性を解析モデルに反映しきれなかったため出現しなかった。例えば，埋戻し層境の内部摩擦角が大きい層の存在もある。

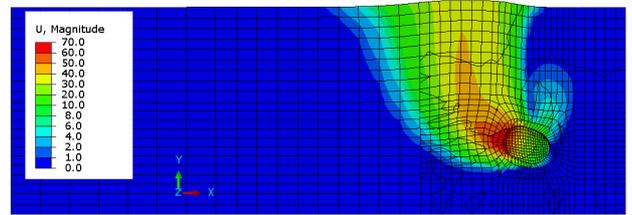


図 7 鋼管変位 70mm 時の地盤変形図

図 8に，触覚センサーでの計測結果および数値解析結果から算出した地盤拘束力と高压ガス導管耐震設計指針で定義されている管軸直角方向の地盤拘束力を比較して示した。解析結果では高压ガス導管耐震設計指針より立ち上がりが早めで，最大地盤拘束力は小さ目となった。触覚センサー算出値の初期段階の立ち上げり挙動は，作製地盤の層境の固い締固め部（石灰散布による固結部）の影響に起因するものと考えている。

図 9は，鋼管変位 70mm 時点における管の移動方向側半周の管周表面法線方向の土圧分布である。解析結果と触覚センサー測定値は概ね合致している。

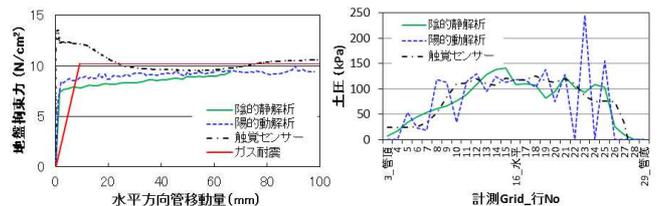


図 8 地盤拘束力

図 9 鋼管変位 70mm 時の管半周土圧分布

4. 結論

実規模実験および解析から下記の事が確認できた。

- 管の移動については，管は水平移動と共に上方にも移動する。また，移動中は管底は浮いた状態となる。
- 管周方向土圧分布については，水平方向成分は水平面より下側で最大値が発生し，鉛直方向成分も管の上半分よりも下半分の方が大きくなる傾向にある。
- 触覚センサーは，作製地盤の埋戻し時の各層境の締固めの硬軟の状況も計測することが可能である。

謝辞：本研究の一部は，JSPS 科研費 JP15K12489 の助成を受けたものである。