

## 動的遠心模型載荷実験による地中構造変化部の耐震性に関する検討

東京都下水道局

清水 紀嗣

日本工営株式会社 正会員

佐久間和弘・津國 典洋

1. はじめに 地中構造物の耐震設計は、一般に地震時の地盤変位を外力とする応答変位法が用いられているものの、その地震時挙動は容易に観察できないことから、周辺地盤との相互作用等多くの技術的課題が残されている。地中構造物の中でもシールド管きょと立坑の接合部のような構造変化部を持つ構造物は、周辺地盤との相互作用のみならず、異種構造物間の相互作用をも精度よく把握し設計に反映させなければならず、この技術的課題も難解である。本報は、現象（挙動、破壊状態等）のすべての過程において相似則が満足する動的遠心載荷装置を用いて、地中構造変化部の地震時挙動を検証し、異種構造物間の相互作用および耐震対策工の効果について検討した。

### 2. 実験概要<sup>1)</sup>

(1) 載荷装置 遠心載荷装置と加振装置の配置状況を図-1に示す。遠心載荷装置は、有効半径  $R=2.6\text{m}$ 、最大遠心加速度  $250\text{G}$ 、容量約  $981\text{G}\cdot\text{kN}$  の中型装置に分類されるものである。加振装置は、電気油圧サーボ制御方式で、油圧源からの加振用高圧油はロータリージョイントを介してアクチュエータに蓄積され、加振テーブルに連結した一対のアクチュエータにより起振力を発生させる機構である。

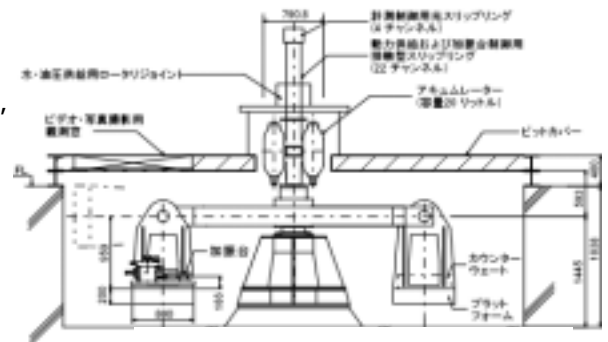


図-1 遠心載荷装置と加振装置

(2) 実験模型 対象とするシールド管きょ-立坑の構造諸元を図-2に、実験模型概要を図-3に示す。対象とした地中構造物は、下水道幹線（シールド）管きょ（外径  $6\text{m}$ ）と立坑（ $15\text{m}\times 15\text{m}\times 深21\text{m}$ ）との接合部である。模型は縮尺  $1/70$  で作製し、 $70\text{G}$  の遠心加速度場で加振実験を行った。シールド管きょは、本来軸方向の圧縮剛性と引張剛性が異なるが、軸引張力が発生するモードの検証が重要と考え、今回は等価引張剛性の相似率に合わせて塩化ビニル製の模型管とした。さらに 模型管断面方向の地盤の上載荷重によるたわみを防止する、管きょの重量に関する相似則を満足させる、等より塩化ビニル模型管の内径に合わせて相似重量を持つアルミ管を挿入した二重管形式のシールド模型管とした。なお、二重管の間の摩擦抵抗を除去するため、テフロンシートを挿入した。立坑は剛体構造として実物と重量の相似則が成り立つようなアルミ製模型とした。地盤は、構造物模型をせん断土層に配置し、乾燥豊浦珪砂を所定の相対密度になるように空中落下させて作製した。

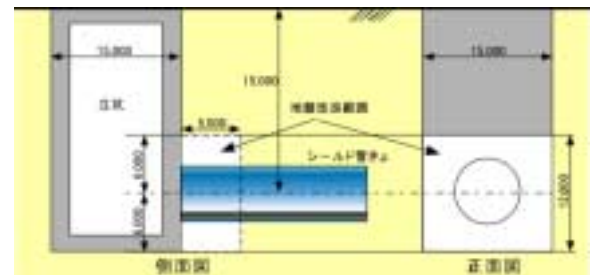


図-2 構造諸元

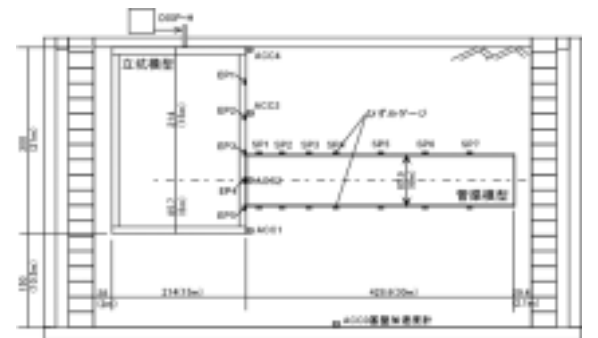


図-3 実験模型概要

(3) 実験ケース 実験ケースを表-1に示す。今回は2種類のせん断剛性の異なる砂質土系地盤を基本ケースとし、接合部に耐震対策工を施したケース（図-4）を加え、シールド管きょ-立坑の相対変位を検証した。なお、本実験に用いた地震波形は、修正開北橋記録を基盤面に最大  $350\text{gal}$  に振幅調整したものを

キーワード 動的遠心模型載荷実験、構造変化部、動的相互作用

連絡先 〒163-8001 東京都新宿区西新宿二丁目8番1号 東京都下水道局施設管理部管路管理課 T E L 03-5320-6615

〒163-8001 東京都千代田区五丁目4番 日本工営株式会社都市基盤部 T E L 03-3238-8353

表-1 実験ケース

Case	地盤条件	耐震対策工	備考
1	乾燥砂：Dr75%	なし	種地盤相当
2	乾燥砂：Dr55%	なし	種地盤相当
3	乾燥砂：Dr55%	接合部地盤改良	
4	乾燥砂：Dr55%	接合部地盤改良（半断面）	
5	乾燥砂：Dr55%	接合部可とう性継手	

用いた（図-5）。

### 3. 実験結果

**（1）立坑天端の相対水平変位** 図-6 に立坑天端の相対水平変位を示す。同図 a)は表層地盤のせん断剛性小の Case2 の方が Case1 より天端の変位が大きいことを示している。一次元地盤の地震応答解析（SHAKE）によると地表面の相対変位の最大値は Case1/Case2=7cm/20cm であった。立坑天端変位=地盤（地表面）変位と考えると、本実験結果は解析結果と概ね整合する。同図 b)はせん断剛性の等価な表層地盤に対して接合部（立坑壁面から 5m 範囲）に 360°地盤改良を施し剛構造化したケース（Case3）、シールド管きょ上部 180°のみを改良したケース（Case4）、可とう性継手を設置したケース（Case5）を無対策（Case2）の立坑天端変位と比較したものである。Case4 は Case2 とほぼ同等な挙動を示し、Case3 は Case2 より小さい変位（ピーク変位比：Case3/Case2=0.84）、逆に Case5 は若干大きい変位（ピーク変位比：Case5/Case2=1.04）が得られたものの、表層地盤のせん断剛性の異なる Case1 を除くと、無対策（Case2）と接合部に対策工を施した Case3～5 は有意な差は見られなかった。

### （2）シールド管きょに発生する引張軸力

図-7 にシールド管きょに発生する引張軸力の最大値を示す。立坑天端の相対変位とは異なり、管きょに発生する断面力（今回はシールド管きょの引張剛性の相似率に合わせたことより軸引張力）は、無対策と耐震対策を施したケースでは明確に差があらわれた。Case3 から Case5 耐震対策工は、いずれも接合部付近の引張軸力を約 1/3 低減させる断面力低減効果が得られた。図-8 に、立坑の管きょ接続深度位置ならびにシールド管きょの立坑近傍（立坑壁面から 1.4m の位置）の双方の加速度計記録から算出した管きょ - 立坑の相対変位を示す。同図の は各ケースの接合部近傍の軸力最大時刻である。同図より Case3 の接合部剛構造化は相対変位最大時刻と管きょ発生軸力最大時刻が一致するが、無対策または可とう性継手設置ケースはそれがずれている。これは接合部が剛構造であれば、管きょに発生する軸力は管きょ - 立坑の相対変位が支配的であることを示している。

**4. まとめ** 本報で得られた結果をまとめる。立坑はそれ自体が地震時の地盤変位を受けて挙動し、接続している管きょの拘束効果は小さい。（実験で用いた構造条件・地盤条件の範囲内では）接合部を剛構造化および柔構造化する耐震対策工は、接合部付近の管きょの地震時断面力低減効果が得られる。参考文献 1) は解析結果が記載されている。

【参考文献】1) 田中弘・李黎明：地中構造物変化部の耐震性に関する動的遠心模型実験，土木技術資料，第 45 巻第 1 号，pp.46～49，2003 年 1 月。

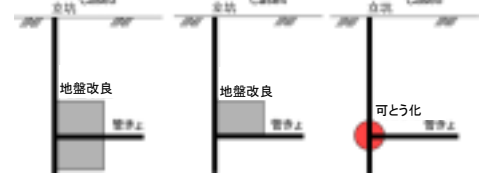


図-4 耐震対策工模式図

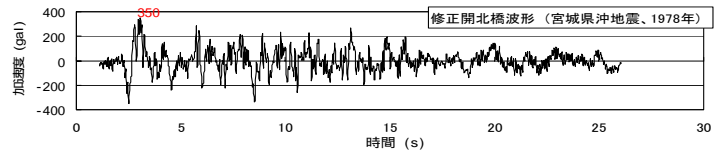


図-5 入力加速度波形

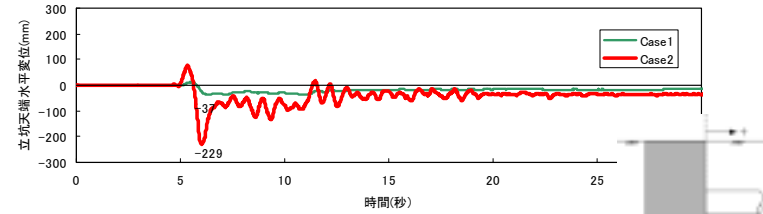


図-6a) 立坑天端相対変位 (Case1, Case2)

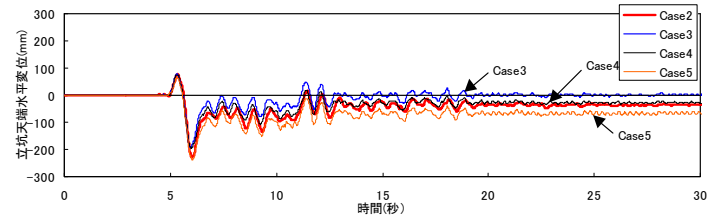


図-6b) 立坑天端相対変位 (Case3～Case5 と Case2)

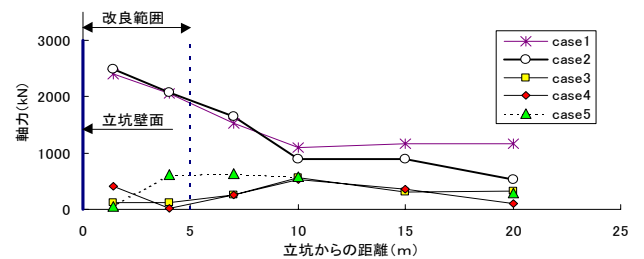


図-7 シールド管きょの引張軸力 (最大値)

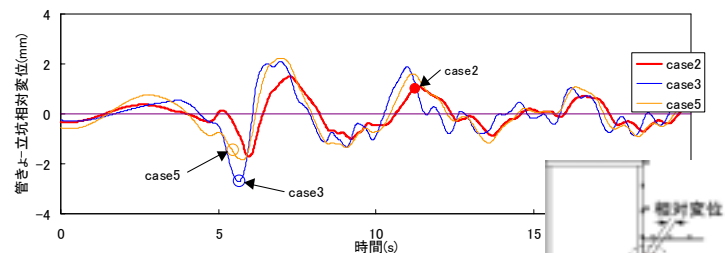


図-8 管きょ-立坑相対変位