

埋戻し材の違いによる下水道管路の 浮上がり特性に関する模型振動実験

小林 寛¹・田村 敬一²・二宮 嘉朗³

¹正会員 工修 建設省土木研究所 振動研究室 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

²正会員 工博 建設省土木研究所 振動研究室 (〒305 茨城県つくば市大字旭1番地)

³正会員 工修 北海道開発局開発土木研究所 構造研究室 (〒062 札幌市豊平区平岸1条3丁目)

既存の下水道管路は、液状化する土層中に埋設されることが多く、地震時に管路の浮上がりが発生することが多い。例えば、釧路沖地震、北海道南西沖地震等において、このような現象が報告されている。こうした現状をふまえ、本研究では、液状化層に埋設されたマンホール及び下水道管渠を対象として、模型振動台実験を行い、碎石による埋戻しの管路の浮上がり抑制効果について検討した。

Key Words: soil liquefaction, floating, shaking table test, crushed stone replacement

1. はじめに

海岸部に人口が集中しているわが国では、下水道施設を現代の市民生活の基盤たる軟弱地盤に埋設することは避けることができない。そこで問題となるのが、地震が生じた場合の液状化による下水道管路の浮上がりである。実際、釧路沖地震、北海道南西沖地震等でも下水道の浮き上がりによる被害が見られ、ライフラインとしての機能が低下し、市民の生活に多大なる影響を及ぼした。現在、下水道施設が普及した地域にとっては、下水道施設は市民生活に必須のものとなっており、下水道施設を震後においても機能させることは、重要である。そのためには、下水道管路被害の主

因たる液状化による浮き上がり特性を把握し、浮き上がりに対する予防策を検討しなければならない。

そこで、本研究では、液状化層に埋設されたマンホール及び下水道管渠を対象として、模型振動台実験を行い、碎石による埋戻しの管路の浮上がり抑制効果について検討した。

2. 実験概要

下水道管渠の液状化時の浮上がりを抑制する方法としては、碎石による埋戻し及び埋戻し部の締固め等が考えられるが、本研究では碎石埋戻しに着目し、浮上がり抑制効果について実験を行った。

模型の概要を図-1に示す。小型の土槽内に厚さ23cmの非液状化層を作成し、緩詰め砂地盤(豊浦砂: 相対密度 $D_r=22\%$)を87cm作成した後、地下水位を地表面から30cmとすることにより、表層に不飽和層を作成した。埋戻し部は、土槽の中央において幅29cm、深さ77cmとし、この中に下水道管渠模型(管渠モデル)もしくは下水道マンホール管渠一体模型(マンホールモデル)を設置し、碎石(6号碎石と7号碎石を1:1の重量比で配合したもの)または砂(豊浦砂)で埋戻した。管渠モデルは直径49mmの塩ビ管とし、また、マンホールモデルは直径200mmの塩ビ管に管渠モデルを貫通させたモデルとした。

実験では、150gal、3Hzの正弦波で30秒間加振することにより、地盤に液状化を発生させ、地盤内の加

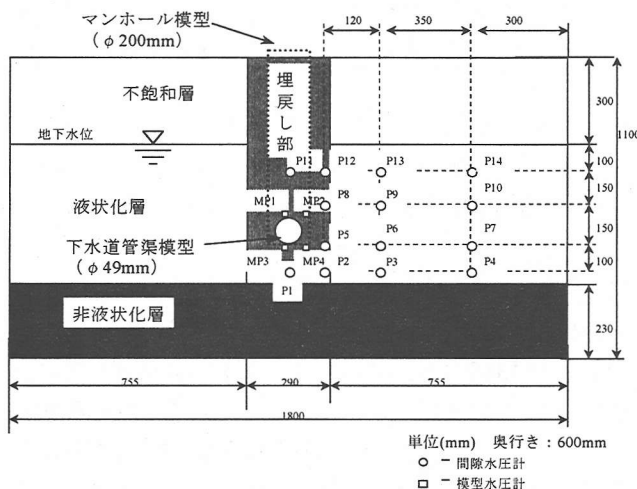


図-1 模型概要

速度、液状化層内の過剰間隙水圧、模型の浮上がり変位を計測した。

実験ケースは、図-2に示すように埋戻し部の碎石位置の違いにより、それぞれ、①マンホールモデルを埋戻し原地盤と同密度の砂により埋め戻したケース（モデル1）、②マンホールモデルですべて碎石により埋め戻したケース（モデル2）、③マンホールモデルで管渠中心部から上方を碎石で埋め戻したケース（モデル3）、④マンホールモデルで管渠中心部から下方を碎石で埋め戻したケース（モデル4）、⑤管渠モデルで管渠中心部から下方を碎石で埋め戻したケース（モデル5）、⑥マンホールモデルで管渠中心部より下方及び管渠中心部より7 cm 上までを碎石で埋め戻したケース（モデル6）とした。

なお、モデル5は、マンホールモデルと管渠モデルの比較を行うために設定したものである。

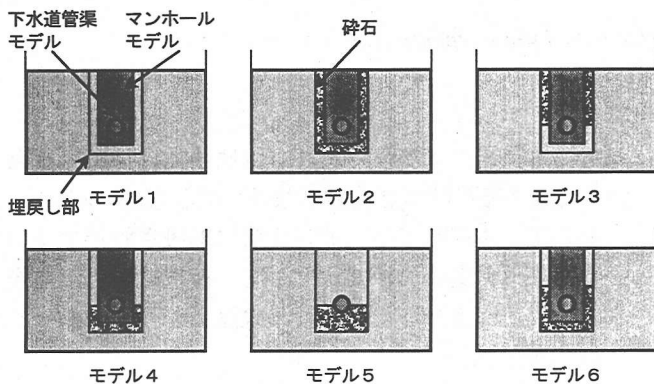


図-2 各実験モデル

3. 実験結果

図-3に、モデル1～6の下水道管渠模型の浮上がり変位、図-4、図-5に埋戻し部および周辺地盤での過剰間隙水圧比の時刻歴を示す。なお、下水道模型の変位は模型の四隅に取り付けた変位計の平均をとった。また、モデル1のP11データに関しては計器不良により削除した。

浮上がり変位を比較すると、モデル1、4、5、6では浮上がりを生じているのに対して、モデル2および3では、浮上がりが生じず、微量ではあるが沈下が生じた。また、埋戻し部における過剰間隙水圧比を比較すると、モデル2およびモデル3のMP3以外においては過剰間隙水圧比が1.0をこえないが、他のモデルについては最終的には過剰間隙水圧比が1.0をこえている。また、周辺地盤の過剰間隙水圧比をみると、全てのモデルにおいて水圧比が1.0をこえている。こ

れは、周辺地盤においては全てのモデルにおいて液状化しているが、埋戻し部においては、ケースにより液状化していないモデルがあること示している。

次に、本実験データをもとに下水道管路模型の浮上がり安全率を次式¹²⁾により算出した。

$$F_s = \frac{W_s + W_b + Q_s + Q_b}{U_s + U_d}$$

F_s : 浮上がり安全率

W_s : 管路模型の上載土の全重量（水の重量を含む）

W_b : 管路模型の全重量

Q_s : 上載土のせん断抵抗

Q_b : 下水道管路側面の摩擦抵抗

U_s : 管路模型底面に作用する静水圧による揚圧力

U_d : 過剰間隙水圧による揚圧力

ここで、浮上がり安全率を算出するにあたっては、次の仮定を設けるものとした。

- ①マンホール模型の上載土重量の算出はマンホール部を除く管渠の鉛直方向投影面積にかかる土の重量とした。また、揚圧力の算出においてマンホール模型では、マンホール底面積と管渠の鉛直方向投影面積を合わせた面積に水圧が作用するものとした。
- ②下水道管路側面の砂地盤については、過剰間隙水圧比の実験データから全て液状化しているものとし、摩擦抵抗(Q_b)は考慮しないこととした。
- ③碎石埋戻し部の下水道管路側面の摩擦抵抗(Q_b)に関しては、下水道管渠上方に碎石埋戻しが存在するモデル2、3、6について考慮することとした。ただし、モデル6については下水道管渠上方の碎石埋戻し層厚分についてのみ考慮することとした。
- ④上載土のせん断抵抗(Q_s)は、管路の浮上がりにより地盤変形が生じているため、考慮しないこととした。
- ⑤下水道管路底面で発生する過剰間隙水圧の値としては、模型水圧計MP-3の値を用いた。これは下水道管路直下の過剰間隙水圧である。

図-6に浮上がり安全率の時刻歴を示す。各モデルケースについて浮上がり安全率を比較すると、浮上がりが生じなかったモデル2及びモデル3では浮上がり安全率が1.0を下回らなかった。モデル5に関しては、加振開始14秒後に1.0を下回っている。他のモデルについてはいずれも加振開始1秒前後で浮上がり安全率が1.0を下回った。これらのモデルでは加振開始後2秒から急激に浮き上がり変位が生じているものに対

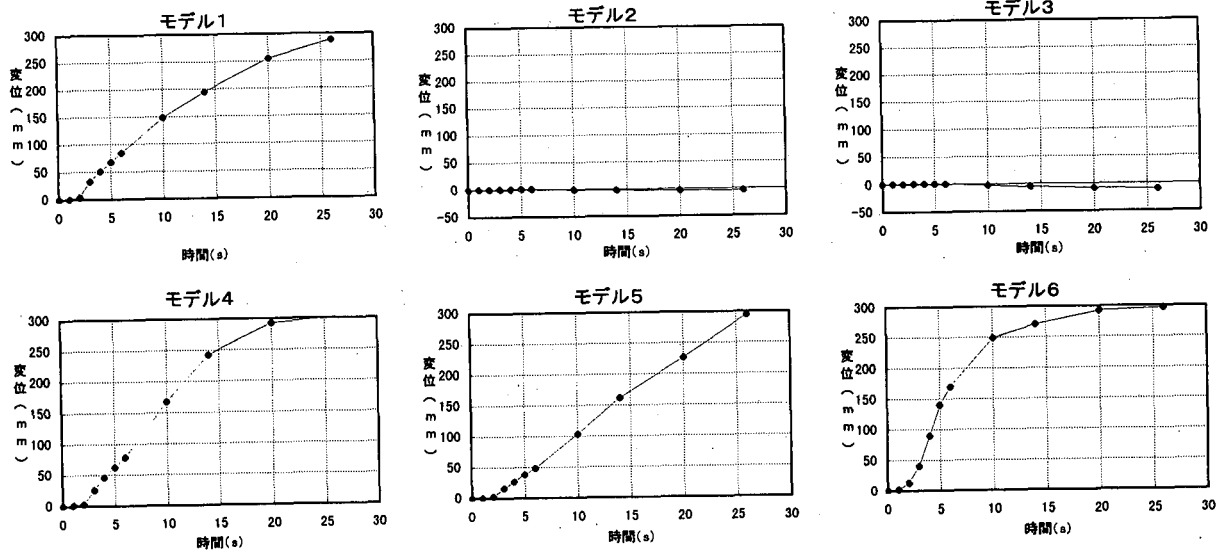


図-3 浮上り変位の時刻歴

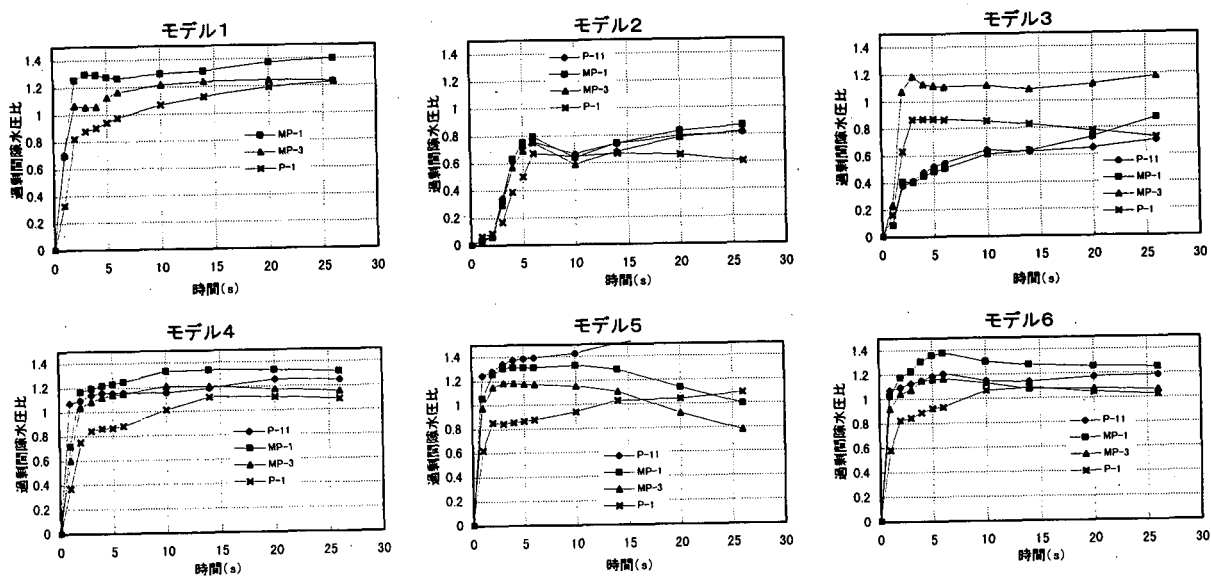


図-4 埋戻し部の過剰間隙水圧比の時刻歴

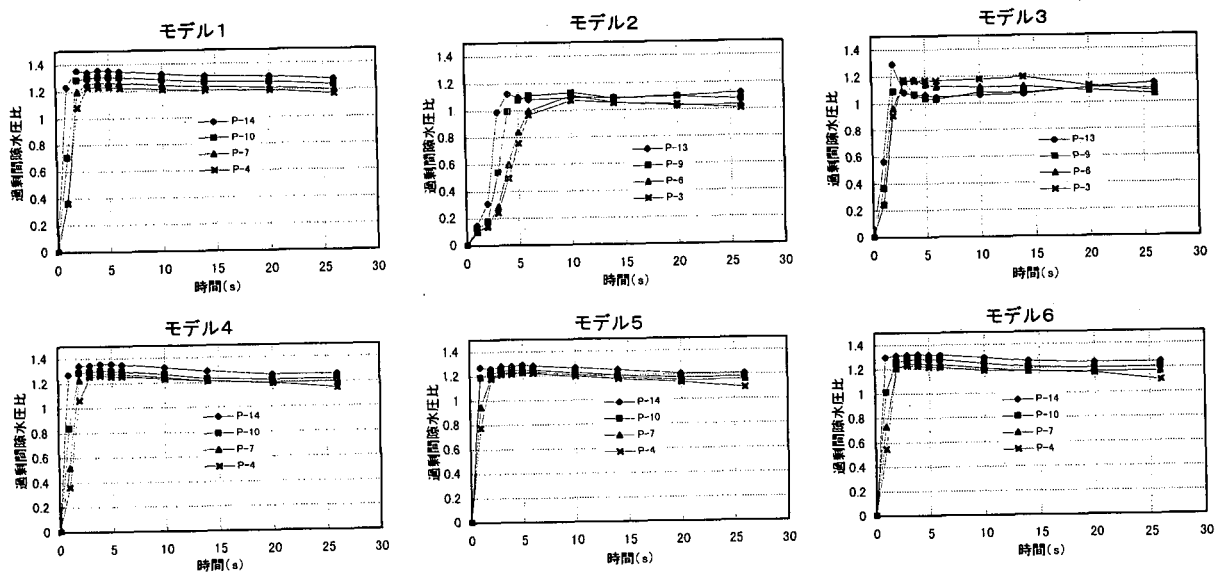


図-5 周辺地盤の過剰間隙水圧比の時刻歴

して、加振時間中ほぼ安全率が 1.0 を下回らなかったモデル5では、なだらかに浮き上がり変位が生じている。これは、埋め戻し条件が同一であるモデル4と比較しても分かるように、下水道管渠部はマンホール接続部よりも浮き上がりにくいことを示しているものと考えられる。また、このことは浮上がり安全率からも確認された。

これらの実験結果から、下水道管渠上方を砕石で埋め戻すことの浮上がり抑制効果が確認された。この理由としては、砕石のドレーン効果による過剰間隙水圧の消散に加えて、管渠上方が砕石で埋め戻されている場合、砕石と下水道管渠側面の摩擦の効果があるものと考えられる。

浮上がり変位と安全率の関係を図-7に示す。同図より、モデル5を除くと、浮上がり安全率が 1.0 を下回ると浮上がりが生じている。また、モデル5においても安全率が、ほぼ 1.0 の値をとるときに浮上がり変位が生じている。

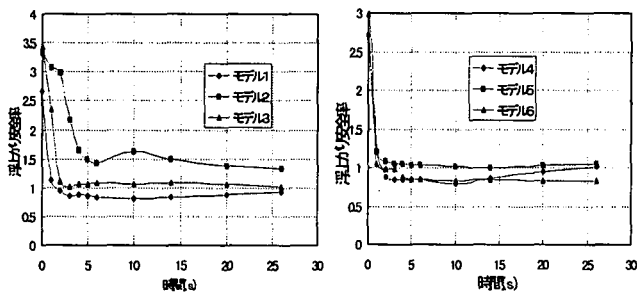


図-6 浮上がり安全率の時刻歴

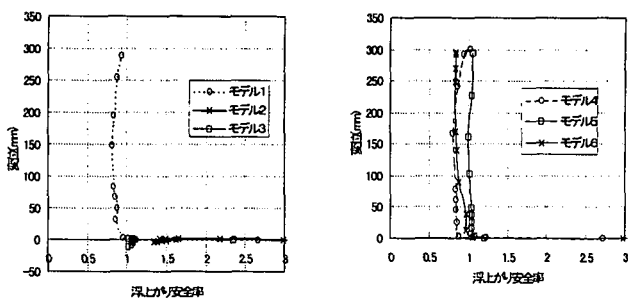


図-7 浮上がり変位と安全率の関係

4. まとめ

本研究の成果を以下に示す。

- ① 周辺地盤が液状化しやすい条件下においては、下水道管渠より下方のみを砕石で埋め戻す対策では、浮き上がり変位を生じることが確認された。また、下水道管渠より上方を砕石で埋め戻したケースにおいては、下水道管路の浮上がりは生じず、逆に微量ではあるが沈下が生じた。
- ② 浮上がり安全率を比較すると、浮き上がらなかった2ケースでは、浮上がり安全率が 1.0 を下回らないが、浮上がりが生じたケースでは、安全率は 1.0 を下回っている。ただし、浮上がり安全率が 1.0 を僅かに下回るようなケースでは、浮上がり変位の生じる傾向が異なった。

- 参考文献 1) 共同溝設計指針, (財)日本道路協会, 1986.3
 2) 掘割道路の地震時安定性に関する実験報告書, 建設省土木研究所資料 2550号, 1988.2
 3) 岡部, 松尾, 近藤, 佐々木: 管路施設の地震時浮上がりに関する模型振動実験(その4) — 周辺地盤条件の影響と砕石埋戻しの効果 —, 第32回地盤工学研究発表会, 1997.7
 4) 近藤, 松尾, 佐々木: 管路施設の地震時浮上がりに関する模型振動実験(その5) — 地盤の変形状況と浮上がり安定性の評価 —, 第32回地盤工学研究発表会, 1997.7