

# 基礎材料に砕石を用いた埋設管路のスラスト対策効果に関する遠心模型実験

愛媛大学 学生会員 ○神原響 正会員 小野耕平 正会員 岡村未対

## 1. はじめに

埋設管路の屈曲部では、液状化の発生に伴う継手の抜け出し被害が多発している。常時は屈曲部周辺地盤の受働土圧が内水圧によって屈曲部に生じるスラスト力を支持しているものの、液状化の発生により受働土圧が著しく低下することがその原因として考えられている。受働土圧の確保を目的に、過剰間隙水圧の消散効果を期待して基礎材料に砕石を活用した工法が考案されている<sup>1)</sup>が、現地盤が液状化するような厳しい条件下での対策効果は明らかになっていない。本研究では、現地盤が液状化する条件下における管の変位挙動の把握、および基礎材料に砕石を用いた場合の対策効果を明らかにすることを目的として、遠心力場で加振実験を行った。

## 2. 実験概要

本研究では、対策を施さない均一地盤と、管を埋め戻す基礎材料に宇部硅砂 1A 号を用いた計 2 ケースの実験を実施した。模型地盤の概要図を図 1 に示す。実験に用いる土槽はジュラルミン製の剛土槽で、含水比 5% の豊浦砂を相対密度 50% で締め固めて地盤を作製した。対策ケースでは、設計基準<sup>2)</sup>で標準溝幅として規定されている範囲を相対密度 90% の宇部硅砂 1A 号で埋め戻した。

模型管には直径 30 mm、長さ 120 mm のアルミニウム製の丸棒を用いた。滑車を介して模型管と錘を繋ぐことで、スラスト力を再現した水平荷重を模型管に与えた。図 1 に示す位置に各計測器を設置した。土圧計は模型管に直接固定している。地盤作製後、-95 kPa の負圧下で 40 cSt のメトロズ水溶液によって地盤を飽和させた。

水平荷重の大きさは原型スケールで約 200 kN であり、これは内水圧の高い農業用管路に働くスラスト力として一般的な値である。遠心加速度を 40 G まで段階的に上昇させた後、図 2 に示す原型スケールで最大加速度  $2.5 \text{ m/s}^2$  の正弦波を 28 s 間与え、埋設管と地盤の挙動を調べた。両ケースで振動台加速度は同等の波形を示していることから、実験結果の直接の比較が可能である。以降、実験結果はすべて原型スケールで示す。

## 3. 実験結果及び考察

図 3 に管の水平変位量の時刻歴を示す。変位量はスラスト力を載荷している方向（図 1 の右方向）を正としている。最終変位量は、無対策地盤で 1.1 m、対策地盤で 0.48 m であり、変位を 6 割程度抑制できた。両ケースとも振動台の入力波形に合わせて前進と微小な後退を繰り返しながら変位を蓄積していき、1 波あたりの変位量は時間経過とともにやや減少し、加振終了後は変位を停止していることがわかる。

図 4 に埋設管に作用する受働土圧の時刻歴を示す。土圧計で計測された圧力は間隙水圧を含んだ全土圧であるため、計測値から静水圧と過剰間隙水圧を差し引いたものを有効土圧として定義した。初期値は 40 G 到達時点の値である。対策地盤では、受働土圧は砕石と計測器の受圧面の接触状況に応じて一度大きく減少するもの

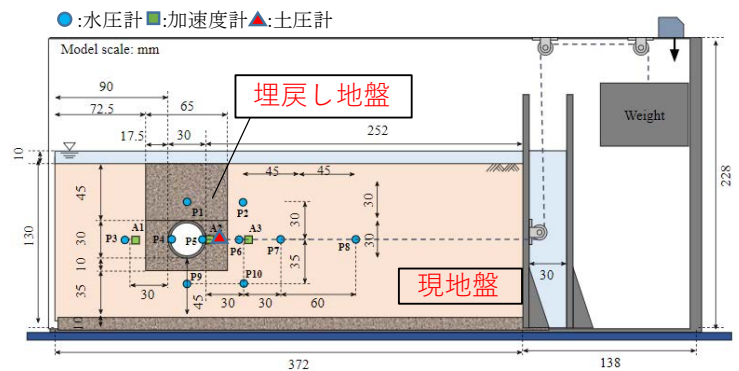


図 1：実験模型図（対策ケース）

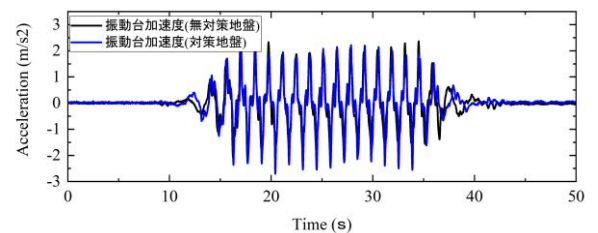


図 2：振動台加速度

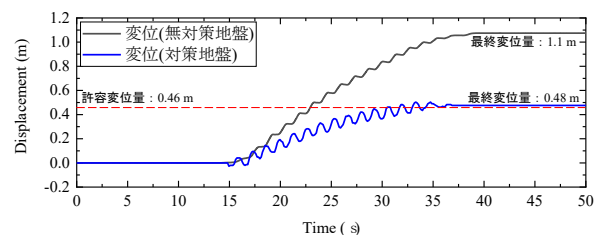


図 3：管の水平変位量

の、管の水平変位に伴って上昇しており、最大で約 350 kPa に達している。一方、無対策地盤では、受働土圧の上昇は小さく、最大で約 60 kPa に留まっている。拡大図より、無対策地盤では 16 s 程度で受働土圧がゼロまで低下していることがわかり、これを契機として埋設管の水平移動が促されたことが伺える。一方、対策地盤では同様の現象が見られず、受働土圧が保たれていることがわかる。

図 5 は埋設管と同深度に設置した水圧計から求めた過剰間隙水圧比の最大値と埋設管中心を基準とした時の水平距離の関係を表したものであり、色を付けた領域は碎石層の範囲を表している。過剰間隙水圧比から、無対策地盤ではすべての地点で液状化に至っていると判断できる。一方、対策地盤では碎石層内の過剰間隙水圧比は 0.35 程度まで抑制され、また碎石層に近い現地盤（砂地盤）においても過剰間隙水圧の上昇を抑制できていることがわかり、碎石層による過剰間隙水圧の消散効果が発揮されたことが示されている。

図 6 に加振後の地盤の様子を示す。赤丸と赤線は、加振前の管と縦方向の色砂の位置をそれぞれ表している。図 3 でも示した通り、無対策地盤では管がより大きく変位していることが確認できるが、管右側の縦方向の色砂が円弧状に変形していることが特徴的である。対称的に、対策地盤では現地盤の円弧状の変形は見られず、碎石層のせん断強度が現地盤のせん断強度を上回ったことにより、碎石層は形状を保ったまま管と一体化して変位している様子が伺える。一体化したことにより、受働土圧の受圧面が鉛直方向に拡大し、変位を抑制するための抵抗力が確保できたと推察される。これは、既往のコンクリートブロックで巻き立てた対策工法<sup>2)</sup>と同種の対策効果であるといえるが、管体の重量増加を起こさない点から有利であるといえる。本実験で用いた模型管路の条件から求めた継手の抜け出しに対する許容変位量<sup>3)</sup>は 0.46 m であることから、対策地盤の最終変位量は許容変位量に概ね等しい値にまで抑制できており、現地盤が液状化する条件においても碎石による管の水平変位の抑制効果が確認できた。

#### 4. おわりに

本研究では、現地盤が液状化する条件下における埋設管の水平変位挙動の確認および対策効果の検証を目的とした基礎的な加振実験を実施した。過剰間隙水圧の消散効果によって受働土圧の受圧面が鉛直方向に拡大し、本実験条件では、最終的な水平変位量を 6 割程度抑制できることが確認された。今後、さらなる定量的な検討により、碎石層の敷設条件を決定していく必要がある。

#### 参考文献

- 1) Ohta et al.: Effects of gravel layer as thrust restraint for pipe bends subjected to earthquake loading. International Journal of Physical Modelling in Geotechnics, Ahead of Print, 2021.
- 2) 農林水産省農村振興局整備部設計課：土地改良事業計画設計基準及び運用・解説 設計「パイプライン」，2009.
- 3) 井谷ら：液状化地盤中の管路屈曲部の動的挙動に関する検討，農業農村工学会論文集，No.301, I\_1-I\_8, 2016.

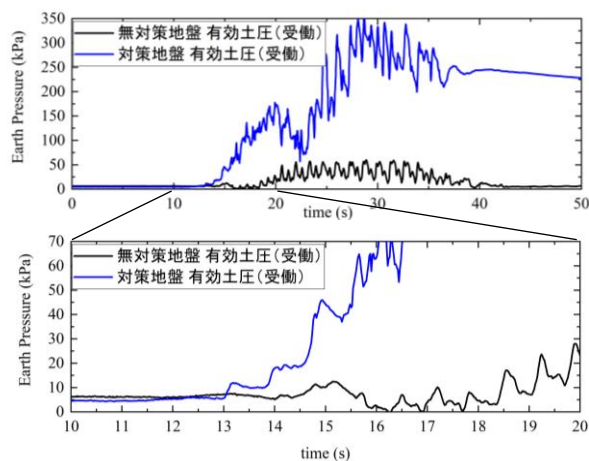


図 4：有効受働土圧

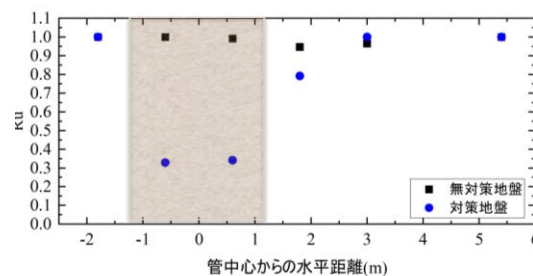


図 5：過剰間隙水圧比の水平方向分布

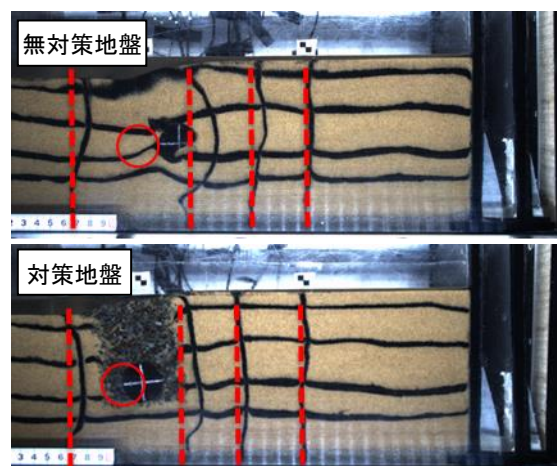


図 6：加振後の地盤の様子