

液状化地盤中のシールドトンネルの浮上り防止工法に関する実験的研究

株式会社大林組 正会員 ○佐藤 清

株式会社大林組 正会員 松田 隆

1. はじめに

シールドトンネルなどの線状地中構造物は、地震時に周辺地盤が液状化すると浮上る可能性がある。土被りが浅い開削トンネルなどでは構造物の両サイドにシートパイルを打設し、構造物下部への流動化地盤の回り込みを防ぎ、浮上りを抑制する方法が研究されている¹⁾。一方、シールドトンネルの場合、開削トンネルとの施工方法の違いもあり、シートパイルによる対策は適用条件が限定される。筆者らはFEMによる数値解析を行い、シールドトンネル周囲の液状化を防ぐことにより、浮上り量を低減できることを確認した²⁾。地盤改良であればセグメント組立後に薬液注入孔からの施工も可能であり、シールドトンネルにとって有効な方法の一つとなり得る。そこで本報では、構造物周囲を非液状化とした場合の浮上り防止効果を、50g 場の遠心模型実験によって検証し、その有効性について考察した。

2. 実験模型

模型は長さ 200cm×幅 70cm×高さ 65cm の内寸を有するアルミ製剛土槽に作製し、50g の遠心重力場にて加振した。図-1に実験模型を示す。実験は未対策モデル（モデル A）、および地盤改良の範囲が異なる 3 種類の対策モデルを対象とした。このとき土槽を短手方向に 2 分割し、各ブースに 2 つのモデルを作製することで、4 つのモデルを同時に加振することができた。対策モデルは構造物周囲の地盤にセメントを混合し、改良範囲を構造物下部（モデル B）、構造物上部（モデル C）、構造物全周（モデル D）とした。

模型地盤は 8 号硅砂によって作製し、厚さ 5cm（実物 2.5m）の上部非液状化層と厚さ 45cm（実物 22.5m）の液状化層によって構成した。地盤は空中落下法により相対密度 48%に調整した。地盤作製後に間隙を二酸化炭素で置換し、脱気水によって飽和した。なお、遠心载荷によって模型地盤の密度が若干増加し、加振時には相対密度 54%相当であったと推定される。構造物模型は塩化ビニル製で長さ 32cm（実物 16m）、直径 10cm（実物 5m）の円形断面とした、内部に穴を開けることによって密度を 0.91(g/cm³)に調整した。構造物端部と土槽側壁、および仕切り版との境界は摩擦の影響が生じないようにするため 12mm ずつ離隔を取り、隙間には地盤材料を充填した。

セメント混合による改良エリアは、模型地盤が乾燥状態のときに 100kgf/m³ の添加率であらかじめセメントを混合しておき、飽和のため脱気水を注入したときに含水～固化させた。改良エリアが含水してから加振までの養生期間は 3 日間であり、別途作製したテストピースによる一軸圧縮試験では、材齢 3 日で 34(kN/m²)が得

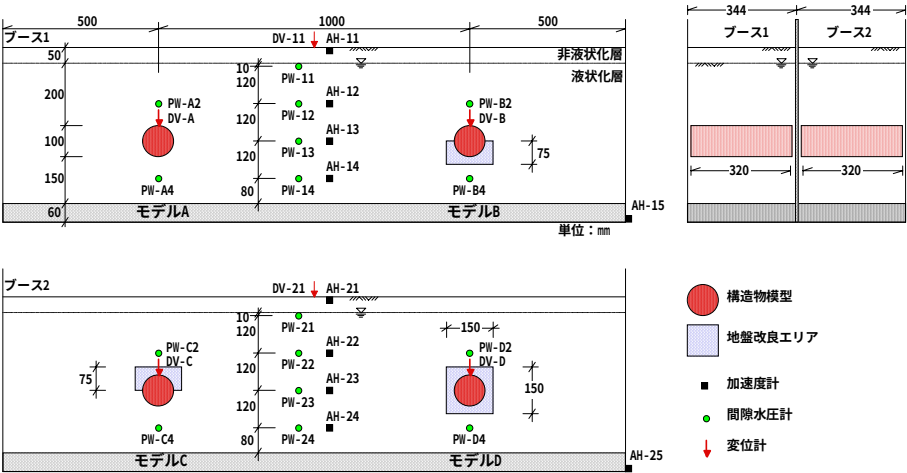


図-1 実験模型

表-1 8号硅砂諸元

最大粒径(mm)	0.250
細粒分含有率(%)	17.0
最大間隙比	1.403
最小間隙比	0.705
液状化強度比(Dr=60%)	0.21

表-2 改良地盤諸元

セメント添加量(kgf/m)	100
一軸圧縮強度(kN/m ²) ※材齢3日	34.0
湿潤密度(g/cm ³)	1.80

キーワード シールドトンネル, 液状化, 浮上り, 遠心模型実験

連絡先 〒204-8558 東京都清瀬市下清戸 4-640 (株)大林組 技術研究所 TEL:0424-95-1285

られた。また実験後にサンプリングした改良体の湿潤密度は 1.80 であった。計測は構造物の浮上り変位、地盤の加速度および間隙水圧とした。入力波形は 1995 年兵庫県南部地震における JMA 神戸 NS とした。

3. 実験結果

以後、本文および図表に示す実験結果はプロトタイプ換算した値である。

図-2 に土槽底部での加速度時刻歴を示す。加速度の最大値は 610(gal)であった。模型地盤は両ブースともに、全層で液状化した。図-3 に各ブースの過剰間隙水圧比を示す。図-4 は各モデルの浮上り挙動の時刻歴を示している。ただし、スムージング処理によって振動成分を除去している。いずれのモデルも横軸 10 秒から浮上り始め、30 秒付近から沈下傾向を示している。30 秒以降の沈下は、過剰間隙水圧比の消散による地盤沈下に伴うものである。浮上り量の大小関係は、モデル A（未対策）＞モデル B（底部改良）＞モデル C（上部改良）＞モデル D（全周改良），となっており、最大浮上り量は図-5 に示すとおりである。図-5 中の数値はモデル A を 1.0 としたときの各モデルの最大浮上り量の比率である。最大浮上り量は、改良エリアの断面積にほぼ比例している。これは構造物と改良地盤が一体化して挙動するため、改良範囲が広いほど見掛けの比重が重くなり、浮上り量が減少する。見掛け比重が同じモデル C よりモデル B の浮上り量が少ないのは、上部が丸いモデル B の方が浮上時の抵抗が少ないことによると考えられる。

4. まとめ

実験の結果、トンネル周辺を地盤改良することにより、液状化時の浮上り量を抑制できることを確認した。実験で再現したように、トンネルに対して液状化層が十分広い場合は、改良範囲を広くして見掛け比重を増加する必要がある。しかしながら、一般的な地盤は互層になっていることが多い。そのような場合、見掛け比重を増加する必要は無く、図-6 に示すように少ない改良範囲で効果的に浮上りを防止することができる。

参考文献

- 1) 佐々木哲也，石原雅規，田村敬一，杉田秀樹：矢板締切り工法を施した地中構造物の浮上り変位量予測法，土木技術資料 VoL46，平成 16 年 10 月号，pp54-59.
- 2) 松田隆，佐藤清：地中埋設構造物の液状化による浮上に対する予測解析，第 40 回地盤工学研究発表会（投稿中），2005.

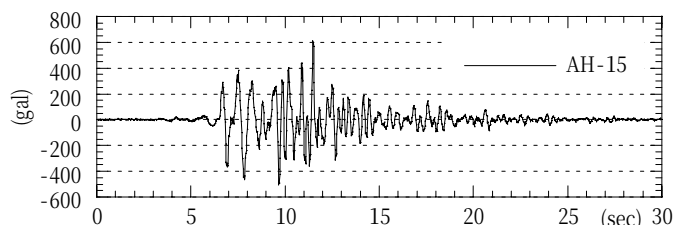


図-2 入力加速度波形

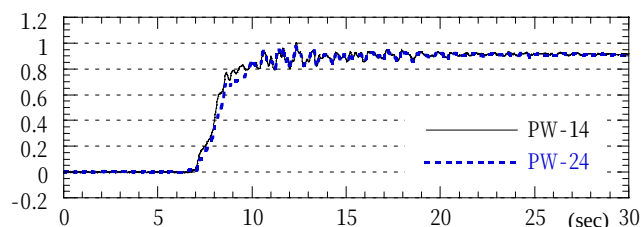


図-3 過剰間隙水圧比

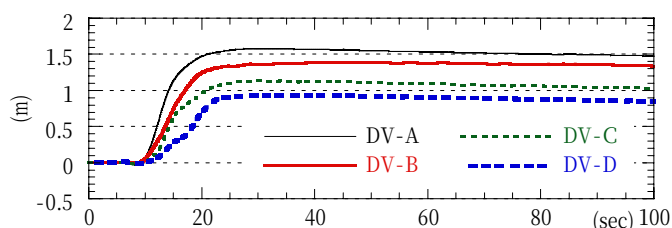


図-4 各モデルの浮上り時刻歴

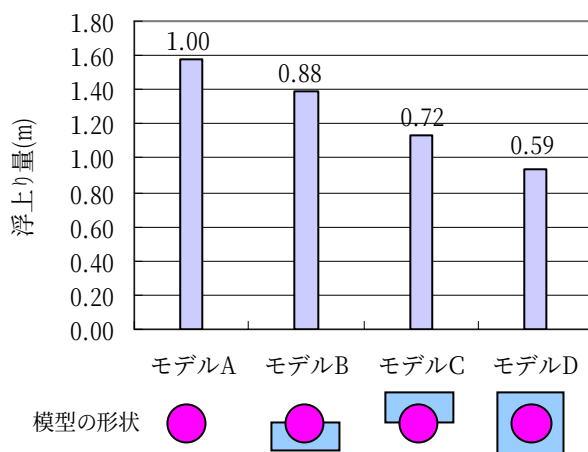


図-5 各モデルの最大浮上り量

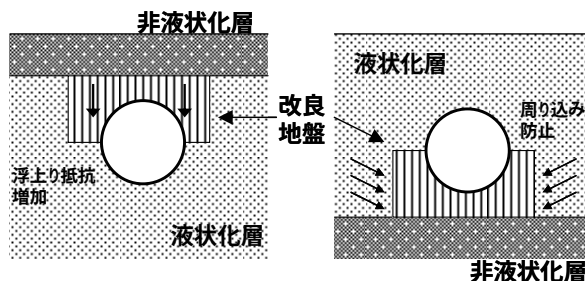


図-6 地盤改良の適用例