

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数値解析

株式会社大林組 フェロー会員 ○松田 隆
株式会社大林組 正会員 佐藤 清

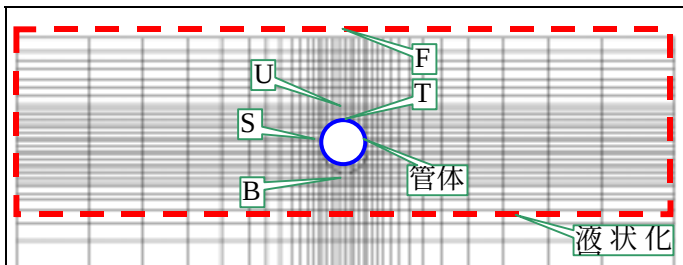
1. はじめに

地震時地盤液状化時に埋設構造物が浮き上がる現象は多く観測されており、シールドトンネルも浮上する可能性がある。共同溝設計指針においては浮上の判定が、佐々木¹⁾らの研究においては浮上量の評価法がある。許容浮上量を上回る場合、対策が必要であり、地盤側²⁾の対応と構造物側の対応が考えられる。トンネル位置が深くなった場合、地盤側の対応は高コストになる可能性があり、構造物側からの対策が必要になる。ここでは、シールドトンネルとアースネイリングを結合させることで浮上量を低減できることを示し、その効果的な配置に関して考察を加える。

2. 検討方法

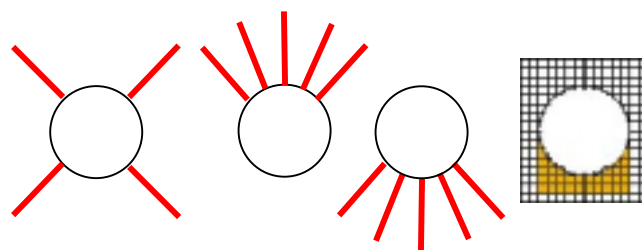
浮上量算定には動的有効応力解析法 EFECT を用いた。解析対象となる構造物は、外径 5m の円形トンネルである。ここではトンネルの剛体的な変位を算定するため覆工構造のモデル化は行わず、図1に示すトンネルの部分、等価な重量（比重 0.47）で構成するソリッド要素でモデル化した。周辺地盤は、25m の液状化層(Dr60%、飽和重量 1.83 を仮定)と 3m 支持層で構成し、水平方向の境界は繰り返し条件とした。トンネルと地盤は非排水条件としている。入力地震波は、1995 年神戸海洋気象台波（最大振幅 812Gal）を用いた。解析時間ステップは 1/1000 秒である。

対策工は低圧式アースネイリング工法（芯材：D29 鉄筋、仕上り径：10cm、長さ：2.5m）をトンネル内部から打設し、定着させることを想定した。検討パラメータは図-2 に示すように、ネイリングの断面内の打設方向とした（Case-1：全周 45° 方向、Case-2：上半、Case-3：下半）。トンネル軸方向の打設間隔は 0.25m ピッチとした。このほか比較のため、周辺地盤を液状化対策（ここでは、液状化しない地盤定数を与えた）を施した Case-4 も実施した。また、Case-3 では、ネイリングの剛性を 2 倍にしたモデルも実施した。



入力地震波（1995 神戸海洋気象台波 812Gal）

図-1 解析モデル



Case-1(4本) Case-2(5本) Case-3(5本) Cas-4
45° 方向 上半補強 下半補強 下半改良

図-2 対策工モデル(Case-1~Case4)

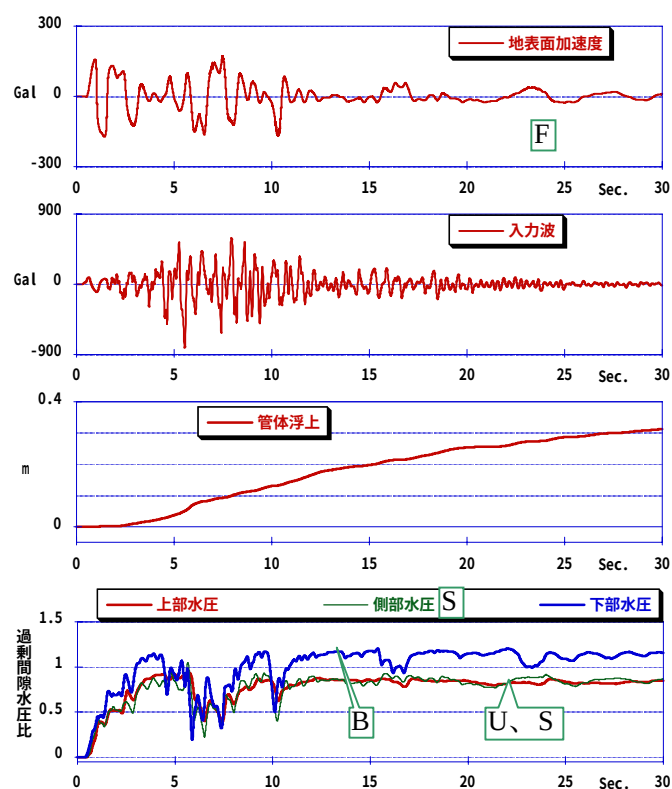


図-3 加速度、変位、過剰間隙水圧の経時変化

3. 対策工の効果確認

Case-0 の無対策のトンネル浮上量に対する比較をもって対策効果の確認を行う。図-3 にトンネルの加速度、変位、周辺地盤の過剰間隙水圧比の経時変化を示す。トンネルは過剰間隙水圧比が 0.8 を超える付近から浮上が始まり、入力地震動が停止しても液状化している時間帯では浮上は続く。

図-4 に浮上の経時変化を、図-5 に最終状態での浮上量を示す。打設方向に関しては、Case-2(上半)よりCase-3(下半)のほうが浮上量は小さい。これは、上半の場合、対策工のネイリングは圧縮応力を受けると共に、曲げ変形を助長する地盤応力が作用する。そのためネイリングは弓なりに変形し、浮上抑制効果は低減する。これに対して、下半の場合、ネイリングは伸張側に軸力が発生し、曲げモーメントは小さい

(図-7 参照)。ネイリングの剛性を 2 倍にした場合、浮上量は低減されるが、効果としては 9%程度の低減にすぎない。今回の解析では、浮上量抑制効果は最大で無対策の 67%になった。図-6 には最終状態での変形状態を示す。図-7 に浮上とネイリングに発生する断面力を示す。図から浮上量と断面力の相関は小さいく、振動成分大きい。これは、今回のネイリングは非液状化層に定着するものでないことに起因すると考えられる。残留応力は、斜めに打設した A に発生している。最大断面応力は軸力成分が卓越するが、 106N/mm^2 で降伏には至らない。

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 Vol.46, 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, 2005.

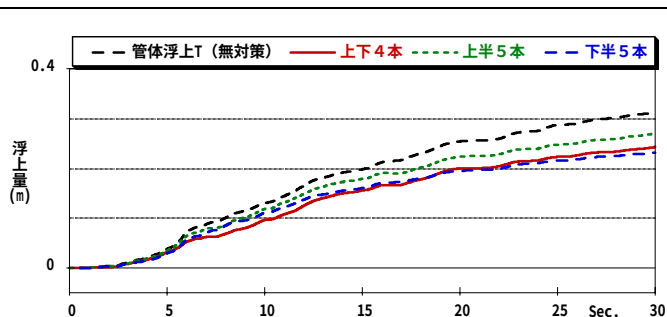


図-4 各対策工の浮上量経時変化

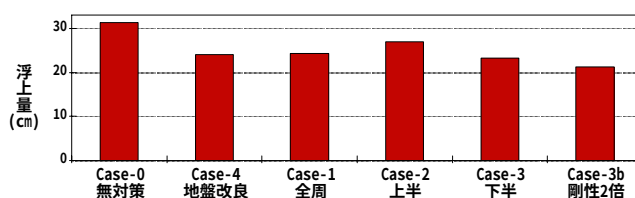


図-5 対策工効果（最終浮上量）

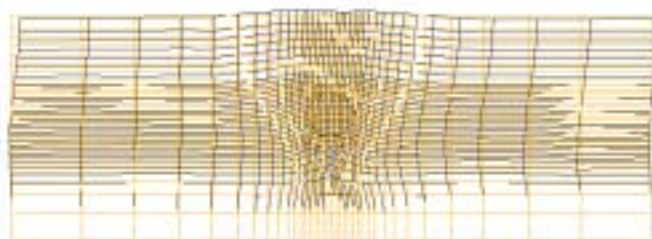


図-6 最終変形状態 (Case-3)

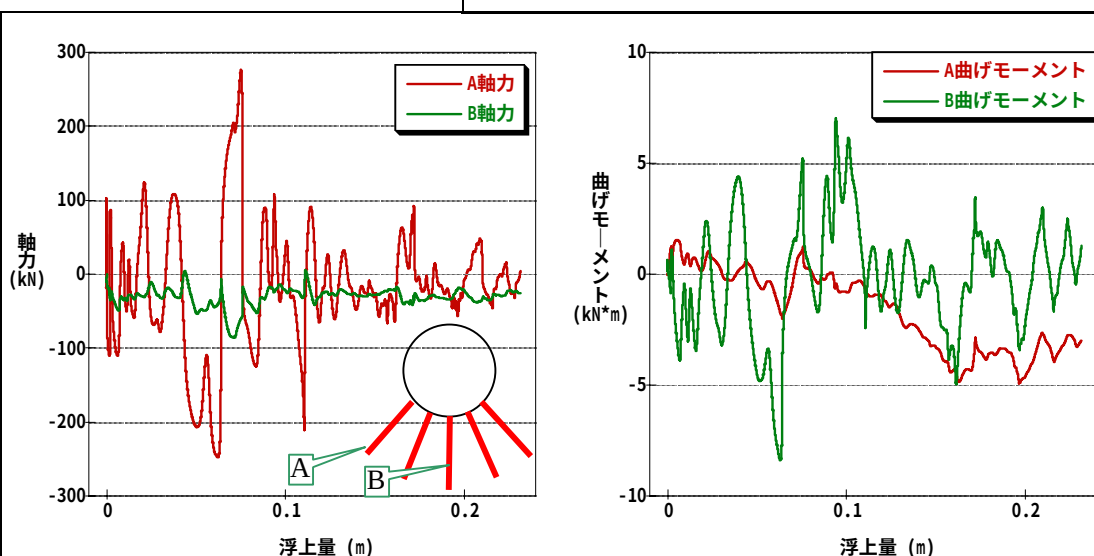


図-7 ネイリングに発生する断面力と浮上量の関係