

III-318

液状化による浮き上がりのシミュレーション

運輸省 港湾技術研究所 正員 松永 康男  
 運輸省 港湾技術研究所 正員 井合 進  
 運輸省 第一港湾建設局 正員 村岡 猛

1. まえがき

沈埋トンネルのように、液状化した地盤の単位体積重量に比べて単位体積重量の小さい地中構造物の場合には、液状化による浮き上がりならびに横方向への移動の程度を定量的に把握することが必要である。このような変形量を解析的にしかも定量的に求める手法は、まだ確立されてはいない。ここでは液状化を考慮した2次元有効応力解析手法を用いて、沈埋トンネルの浮き上がりのシミュレーションを行った。解析の対象は、新潟港に建設予定の沈埋トンネルであり、計画断面の中の1ケースを取り上げた。また、試みにトンネル周辺に締固めによる対策を施した場合の浮き上がりならびに横方向への移動についても検討した。

2. 有効応力解析の概要

有効応力解析では、応力-ひずみ関係と過剰間隙水圧のモデルが必要となる。ここでは、応力-ひずみ関係に、東畑・石原による任意方向せん断面の双曲線型モデル<sup>1)</sup>（履歴ループの大きさを任意に調節可能のように拡張）を用い、過剰間隙水圧のモデルに井合によるモデル<sup>2)</sup>を用いた。

3. 解析モデルのパラメータ

解析断面を図-1に示す。地盤中には、比較的浅い所に粘性土地盤が存在するが、ここでは単純化して近傍の砂質土と同等のパラメータをもつ地盤として解析を行った。液状化に関するパラメータは、振動三軸試験結果に基づいて試行的に決定した。入力地震波としては、1968年の十勝沖地震時に八戸港で記録された強震記録のN-S成分を用い、最大加速度を225Gal、時間間隔は0.01秒、

加振時間を20秒としている。境界条件は、下部で固定とし、側方を自由地盤とした。尚、両側の境界が等しくなるような境界条件を加えた。砂は非線形平面要素、トンネルは線形要素でモデル化した。動的解析は非排水条件で実施し、積分はWilson- $\theta$ 法（ $\theta=1.4$ ）、レーレー減衰（ $\alpha=0.0, \beta=0.0005$ ）を用いた。

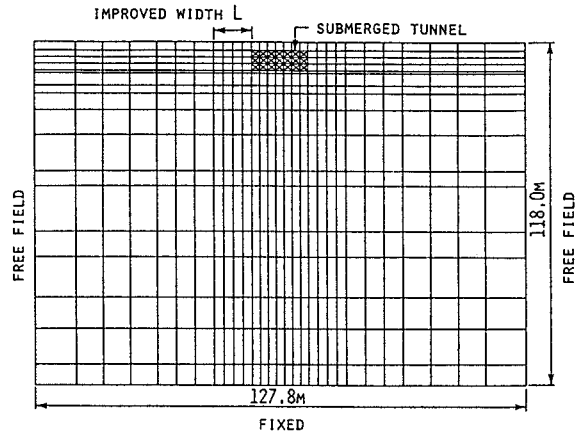


図-1 解析断面

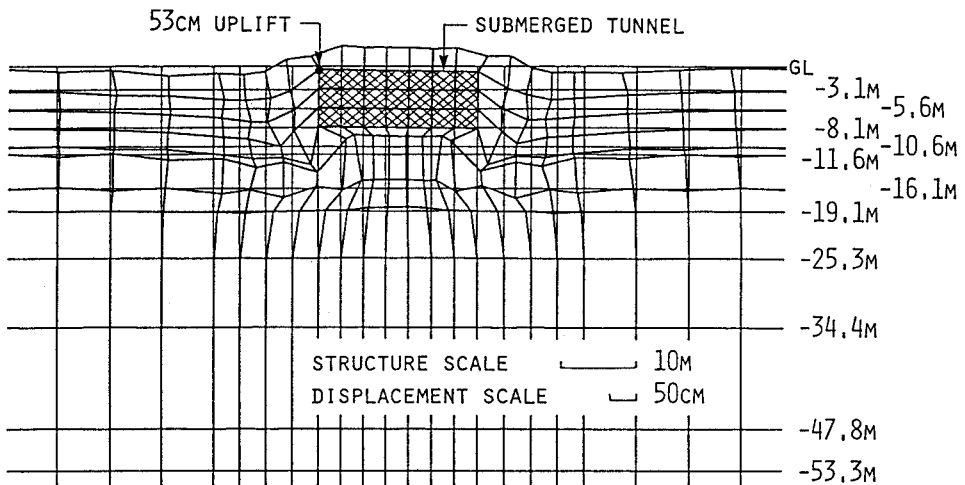


図-2 未改良地盤における加振後の変形図

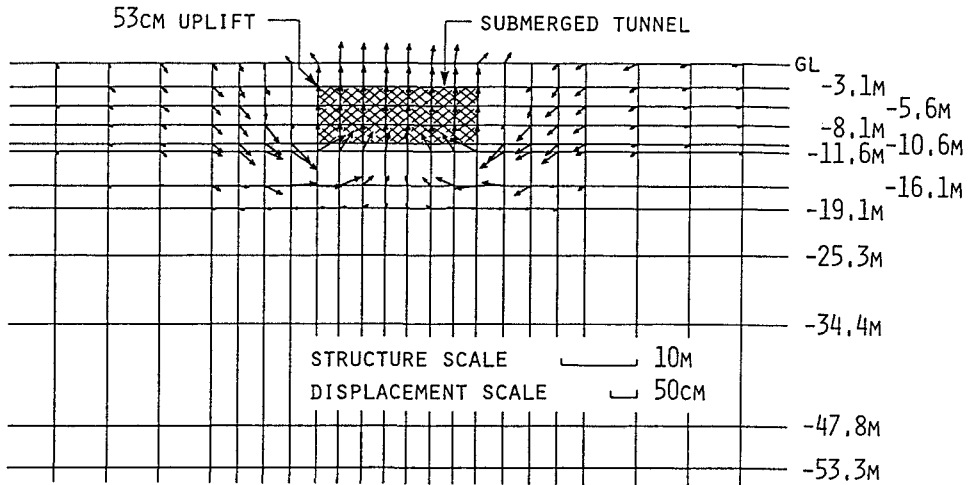


図-3 未改良地盤における加振後の変位のベクトル図

#### 4. 解析結果と考察

未改良地盤について、加振後の変形図を図-2に、変位のベクトル図を図-3に示す。図より、加振によってトンネルが浮き上がるとともに、周辺地盤のトンネル下部への流れ込みが見られる。変形は、第8層（GL-25.3m）以深ではほとんど生じていない。また、加振後の有効応力の分布から、初期有効応力に対して、第6層で約95%、第7層で約90%、第8層で約80%の有効応力が減少しているという結果が得られており、変位の結果と合わせて判断すれば、第6層～第8層までを地盤改良の対象域と考えることができる。

次に試みとして、改良深さを第8層（GL-25.3m）までとし、トンネル端からの締固めによる改良幅：Lを14m、7m、3.5m、0mと変化させて解析を行った。また、L=0mの場合のみ、改良深さを、第6層（GL-16.1m）まで、第5層（GL-11.6m）までと変化させて解析し結果を比較した。これらの結果をトンネル左上端の浮き上がり量と水平移動（絶対値）に着目し図-5に示す。図より、改良幅をL=14m～0mまで変化させた場合、浮き上がり量、水平移動量ともにほとんど変化は生じていない。L=0mにおいて改良深さを変化させた場合には、それに応じて浮き上がりがかなり増加するが、水平移動量はほとんど変化しない。したがって、解析結果から判断する限り、トンネルの浮き上がりは、トンネル下部の対策のみでかなり防止できるという結果が得られた。水平移動量については、締固めによる改良幅にかかわらず、ごくわずかであった。

#### 5. まとめ

本解析法により、液状化による沈埋トンネルの浮き上がりをシミュレートすることができた。ただし、今回の解析では粘性土の取扱をしていないこと、および動的解析を非排水条件で解析していることなどから、解析結果はやや危険側の値を示しているものと思われる。実際の改良範囲の設計においては、これらの点を踏まえた総合的な検討が必要であると思われる。

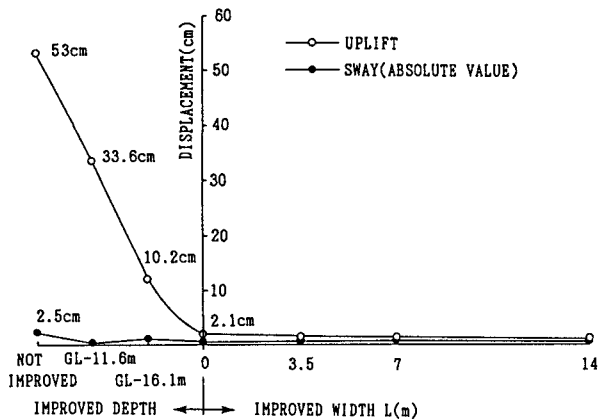


図-5 改良範囲によるトンネル左上端の変位の変化

**参考文献** 1) Towhata, I. and Ishihara, K.: Modelling Soil Behavior under Principal Stress Axes Rotation, Proc. 5th International Conference on Numerical Methods in Geomechanics, Nagoya, pp.523-530, April, 1985. 2) 井合 進：液状化の二次元有効応力解析において破綻しないための工夫をした一つのモデル，土木学会第43回年次学術講演会，3部，pp.418-419，昭和63年10月。