

III-470 トンネルの浮き上がり安定模型実験の解析

東急建設(株) 技術研究所 正会員 後藤 有志
同 正会員 大河内保彦
東急建設(株) 土木技術部 正会員 満尾 淳

1. はじめに

トンネルが水面下にある場合には、浮力を受け浮き上がろうとする。この時、土のせん断抵抗力が浮力に対しどの程度抵抗するかはトンネルの安定性を知る上で重要である。筆者らはこの問題について模型実験を行ない、先に発表した¹⁾。ここでは、その実験をFEM解析によりシミュレートした結果について示す。

2. 実験の概要

- (1) 模型地盤には、浅間山砂を用い、密詰めと緩詰め、および、300 μ m以下を除去したものを密詰めにしたもの（以下、細粒分除去と呼ぶ）の3種類の条件を作成した。
- (2) 平面歪の実験条件において、鋼製の円筒でできたトンネルを変位制御で載荷装置により引き上げるようにしたものである。実験装置は図1に示す。

3. コーン貫入試験結果

模型地盤の力学特性を把握するために、実験後に、ポータブルコーン試験を行なった。この結果とライナーサンプリングによる密度試験の結果を比較すると、次のような関係を得た。

$$q_c = A \times D + B \quad (1)$$

q_c : 貫入抵抗値(kgf/cm²)

D : 深度(cm)

$$A = 0.926 \times \rho_d - 1.198 \quad (2)$$

ρ_d : 乾燥密度(g/cm³)

本試料は $c \approx 0$ のため、 A は ϕ に対応するパラメータと考えられる。本報告では、地盤の強度を表わす値として、この A を用いて結果を整理した。

4. 数値解析

4.1 解析の概要

解析は明治大学田中助教授による擬平衡要素を用いた弾塑性有限要素法プログラム(GEOSTAN)を用いた。また、降伏関数にはMohr-Coulomb、塑性ポテンシャルにはDrucker-Pragerを用いた弾完全塑性解析とし、平面ひずみ条件で行なった。

4.2 解析物性値

解析物性値は原砂の超低圧三軸試験の結果、表1のように決定した。地盤条件は乾燥密度 $\rho_d=1.67, 1.62, 1.52$ (g/cm³)の3種類とした。ただし、解析結果と実験結果を比較するために、式(1)を用いて q_c 増加率 A で表わすと $A=0.35, 0.30, 0.21$ となる。

4.3 解析の結果

図2に浮き上がり量と引き上げ抵抗の関係を示す。

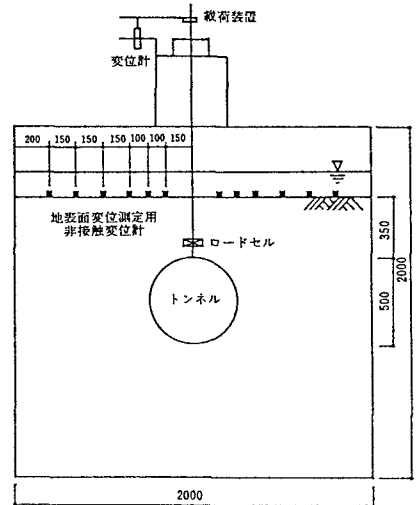


図1 浮き上がり安定模型実験装置

表1 解析用入力パラメータ

乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	深度 (m)	変形係数 (kgf/cm ²)	ポアソン 比	ϕ (°)
1.67 ($A=0.35$)	0.0~0.6	100.0	0.3	41.7
	0.6~1.05	110.0		
	1.05~1.65	120.0		
1.62 ($A=0.30$)	0.0~0.6	55.0		40.4
	0.6~1.05	65.0		
	1.05~1.65	80.0		
1.52 ($A=0.21$)	0.0~0.6	25.0		35.8
	0.6~1.05	45.0		
	1.05~1.65	55.0		

解析に比べて実験の方がなだらかな曲線となっている。

図3に最終時における塑性域の進展状況を示す。塑性域は、トンネル下部から斜め上方に地表面まで伸びており、実験における引き上げ荷重ピーク時の破壊状況に似ている。

図4に、最終時における地表面の変位分布を示す。実験ではピーク後、トンネル上部が局所的に盛り上がり、トンネルから遠い所では沈下する傾向が見られるが、解析ではその傾向は見られていない。

図5に解析により求められた浮き上がり抵抗力の値と実験結果の比較を示す。両者は良い一致を見ている。

図6には解析により求められた浮き上がり剛性の値と実験結果の比較を示す。実験では、浮き上がり剛性は q_c 増加率 A にあまり依存していないが、解析では A の増加により大きく変化している。しかし、両者は比較的良い一致を見ている。

5. 結論

模型実験のシミュレーションを行なった結果、以下のことがわかった。

- 1) ピークまでの挙動は、変形係数の決定に問題があるものの解析は実験をよく表わしている。
- 2) ピーク後の挙動は、解析では荷重制御で行なっていることもあり、実験結果をうまく表現していない。

謝辞

この研究は、東京湾横断道路六社研究会の活動の一環として行なわれたものである。御指導を頂いた東京大学龍岡文夫助教授、明治大学田中忠次助教授ならびに関係各位に感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大河内保彦他；トンネルの浮き上がり安定模型実験、第23回土質工学研究発表会，1987.6

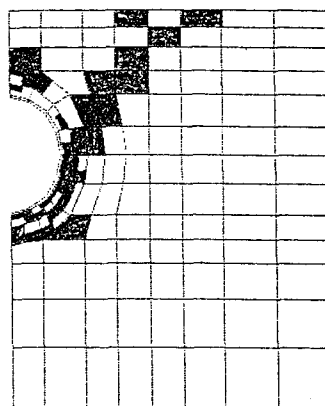


図3 最終時における塑性域の進展状況

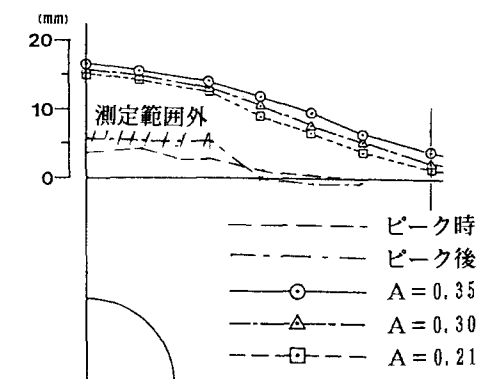


図4 最終時における変位分布

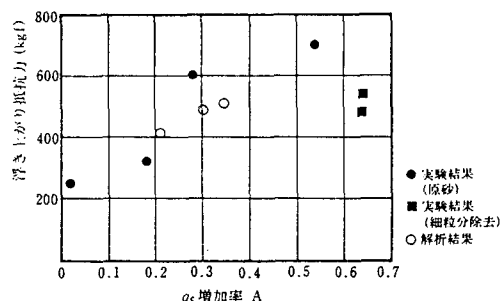


図5 実験結果と解析結果の比較
(浮き上がり抵抗力)

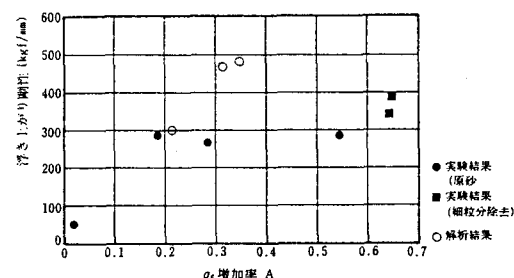


図6 実験結果と解析結果の比較
(浮き上がり剛性)

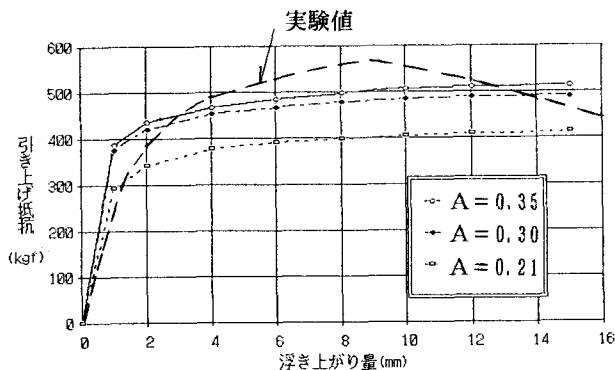


図7. 図2 トンネルの浮き上がり量と引き上げ抵抗の関係