

軟弱地盤の変形解析における構成モデルの評価

鉄道総合技術研究所 正会員 ○松丸 貴樹 小島 謙一

鉄道建設・運輸施設整備支援機構 正会員 米澤 豊司 丸山 修

レールウェイエンジニアリング 正会員 青木 一二三

1. はじめに 九州新幹線熊本総合車両基地は、極めて軟弱な粘性土地盤上に建設されること、近傍に在来線および新幹線本線の構造物があることから、車両基地の施工に伴い、周辺構造物への影響が問題となっており、設計にあたり精度のよい変形予測が重要となっている。詳細な変形予測手法としては、有限要素法などの数値解析を用いるのが一般的である。しかし、解析コードや構成モデルなどにより結果は大きく異なるため、適切な手法の選定が重要となる。特に構成モデルは土の特性を示すものであり、その評価が挙動の結果に影響する。本稿では、2次元の土/水連成変形解析に基づき、三軸圧縮試験のシミュレーションにより軟弱粘性土地盤の構成モデルを適切に評価し、車両基地盛土施工に伴う既設鉄道盛土への影響評価を実施した。

2. 構成モデル 解析には関口・太田モデル¹⁾を用いた。このモデルには時間依存性を考慮しない弾塑性モデルと

時間依存性挙動を評価できる弾粘塑性モデルがある。その違いは降伏曲面の大きさを規定する降伏関数 f が(1)式のように応力 σ_{ij} と硬化パラメータ ξ の関数として定義されると

$$f(\sigma_{ij}, \xi) = 0 \quad (1)$$

$$\xi = \xi(\varepsilon_v^p) \quad (2)$$

き、弾塑性モデルは ξ が(2)式のように塑性体積ひずみ ε_v^p の関数であるが、弾粘塑性モデルは(3)式のように ε_v^p と時間 t の関数としている。具体的には、弾塑性モデル

$$\xi = \xi(\varepsilon_v^p, t) \quad (3)$$

ル・弾粘塑性モデルで降伏関数 f が(4)式・(5)式のように表される。また応力～ひずみ関係については、弾塑性モデルでは弾塑性マトリックス D_{ijkl}^{ep} を用いて(6)式のように表されるが、弾粘塑性モデルでは(7)式のように応力緩和項 σ_{ij}^r が付加された形となっている。

$$f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p'_m}{p'_{m0}} + D \frac{q}{p'} - \varepsilon_v^p \quad (4)$$

$$f = \frac{\lambda - \kappa}{1 + e_0} \ln \frac{p'_m}{p'_{m0}} + D \frac{q}{p'} - \alpha \ln \left[\frac{t_0}{t} \left\{ \exp \left(\frac{\varepsilon_v^p}{\alpha} \right) - 1 \right\} \right] \quad (5)$$

$$d\sigma'_{ij} = D_{ijkl}^{ep} d\varepsilon_{kl} \quad (6)$$

$$\dot{\sigma}'_{ij} = D_{ijkl}^{ep} \dot{\varepsilon}_{kl} - \sigma_{ij}^r \quad (7)$$

3. 解析対象地盤の概要 当該地は、熊本平野の海拔5m以下の平地であり、建設予定地

周辺の低地部は主に水田として利用されている。地盤概要を図-1に示す。6～7m付近

に砂層が存在するが、20m以上の軟弱層が存在する地盤である。圧密沈下や側方変位は、Ac1およびAc2(U・L)層の挙動が大きく影響されることが予想されている。

4. 三軸圧縮試験のシミュレーション 本解析での各地層に適応した構成モデルを決定するにあたり、Ac1およびAc2(U・L)層から採取された不攪乱試料の圧密非排水

三軸圧縮試験(CU試験)のシミュレーションを実施した。解析には2次元土/水連成有効応力解析コードDACSAR²⁾を用いた。解析に用いた地盤パラメータを表-1に示す。これらのパラメータは物理試験や圧密試験をもとに決定した。なお、二次圧縮指数 α の決定に際しては、Mesri and Goldewski³⁾による二次圧密速度(c_α)と圧縮指数

(C_c)の関係(粘性土： $c_\alpha/C_c = 0.05 \pm 0.02$ で $c_\alpha/C_c = 0.05$ と仮定)に基づき決定している。

実験および解析による応力経路図を図-2に示す。実線が実験結果であり、点が解析結果を表している。Ac1層では弾塑性モデルの方が弾粘塑性モデルよりも実験結果に近い傾向を示している。逆に、Ac2(U・L)では弾粘塑性モデルの方が実験結果を良く再現しており、層ごとに適切なモデルの選択が重要となると考えられる。

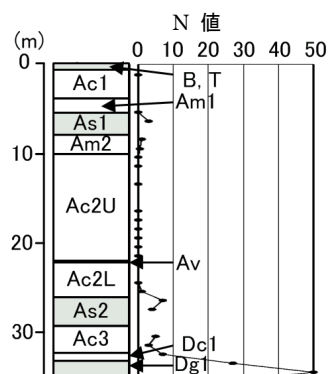


図-1 地盤概要

表-1 地盤パラメータ

		Ac1	Ac2U	Ac2L
間隙比	e_0	2.535	1.758	2.524
限界状態指数	M	1.313	1.191	1.453
ダイレタンシー係数	D	0.083	0.086	0.103
圧縮指数	λ	0.428	0.306	0.567
非可逆比	Λ	0.906	0.919	0.926
静止土圧係数	K_0	0.559	0.589	0.534
ポアソン比	ν'	0.359	0.371	0.348
二次圧縮指数	α	4.19×10^{-3}	3.62×10^{-3}	7.64×10^{-3}
初期体積ひずみ速度	$\dot{v}_0$ (1/d)	3.13×10^{-4}	1.34×10^{-3}	3.05×10^{-4}

キーワード 盛土、軟弱地盤、有限要素法、構成モデル

連絡先 〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38 (財) 鉄道総合技術研究所 TEL 042-573-7261

5. 車両基地盛土施工に伴う変形解析 解析に用いた有限要素モデルを図-3に示す。変位境界条件として下端は全節点固定、側方は水平方向固定で鉛直方向はローラーとしている。また、GL-0.8mが地下水位面でありこの面を排水境界とした。前章の検討結果に基づき、Ac1層には弾塑性モデル、Ac2 (U・L)層には弾粘塑性モデルを用いる。またこれ以外の地盤は、表層および砂層 (As1・As2)は線形弾性モデル、Am1・Am2およびAc3層の中間的な土質および層厚の薄い材料については弾塑性モデルでモデル化している⁴⁾。なお、盛土の施工条件は現場での施工条件にあわせ施工速度5cm/day、盛土高さを3.4mとし、施工開始から180日の時点でプレロード盛土(上載荷重分0.8m+圧密促進分0.2m)を除去する⁴⁾。

盛土直下の鉛直変位ならびに既設鉄道盛土のり肩の鉛直・水平変位の時刻歴を図-4に示す。図中には参考として、Ac2 (U・L)を弾塑性モデルとした場合(弾塑性解析)、Ac1層を弾粘塑性モデルとした場合(弾粘塑性解析)の結果も示している。盛土直下においては、本検討ケースでは弾塑性解析と弾粘塑性解析の中間的な沈下量となっている。一方、既設鉄道盛土のり肩における鉛直・水平変位については弾粘塑性解析の場合とほぼ同様であり、既設鉄道盛土の変形にとっては盛土施工に伴うAc2 (U・L)の沈下が支配的な要因となっているとも推察される。いずれにしてもモデルの選択の影響は非常に大きく、層ごとに適切なモデル化を行うことが重要であると考えられる。

6. まとめ 車両基地盛土施工に関して、2次元土/水連成変形解析により、三軸圧縮試験のシミュレーションを通じて構成モデルを評価し、影響予測を行った。その結果、粘土層ごとに適切なモデルの評価が必要であり、車両基地盛土の変形予測を大きく左右することがわかった。本解析では、弾粘塑性モデルの二次圧密指数 α および初期体積ひずみ速度 $\dot{v}_0$ を経験式により求めており、今後試験盛土の解析を通じて精度の向上を図る予定である。

参考文献 1)Sekiguchi, H. and Ohta, H.: Induced anisotropy and time dependency in clays, Proc. Specialty 9, 9th Int. Conf. Soil Mechanics and Foundation Engineering, Tokyo, pp229-239, 1977. 2)Iizuka, A. and Ohta, H.: A determination procedure of input parameters in elasto-viscoplastic finite element analysis, Soils and Foundations, Vol.27, No.3, pp71-87, 1987. 3)Mesri, G. and Godlewski, P.M.: Time and stress-compressibility interrelationship, Proc. ASCE, Vol.103, GT5, pp.417-430. 4)仮屋崎圭司, 米澤豊司, 丸山修, 青木一二三, 小島謙一, 松丸貴樹: 軟弱地盤上の大規模車両基地施工に伴う既設鉄道盛土への影響予測解析, 第41回地盤工学研究発表会, 2006.

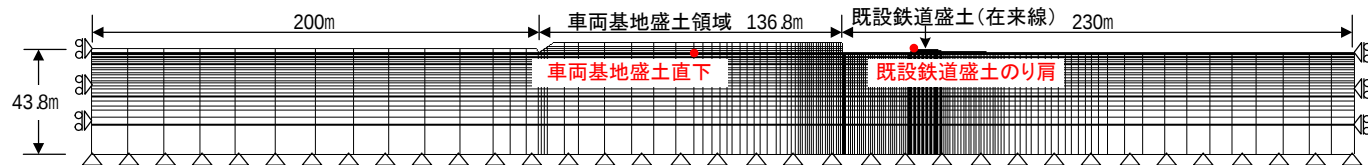


図-3 有限要素モデル

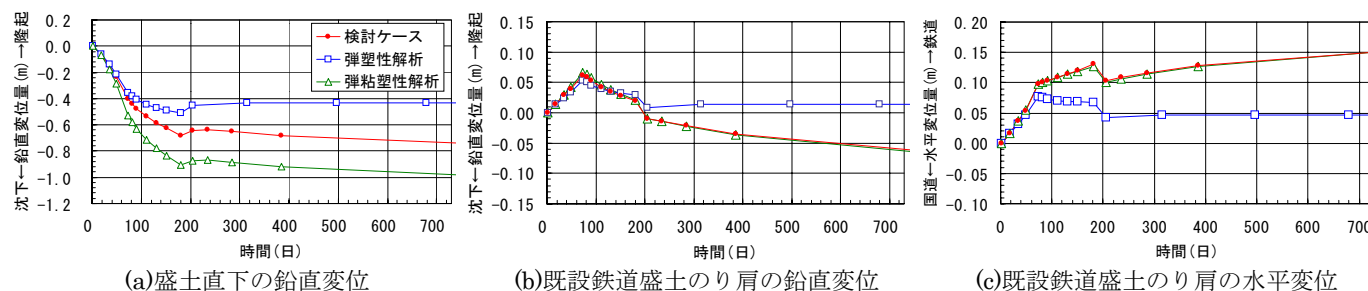


図-4 変位時刻歴

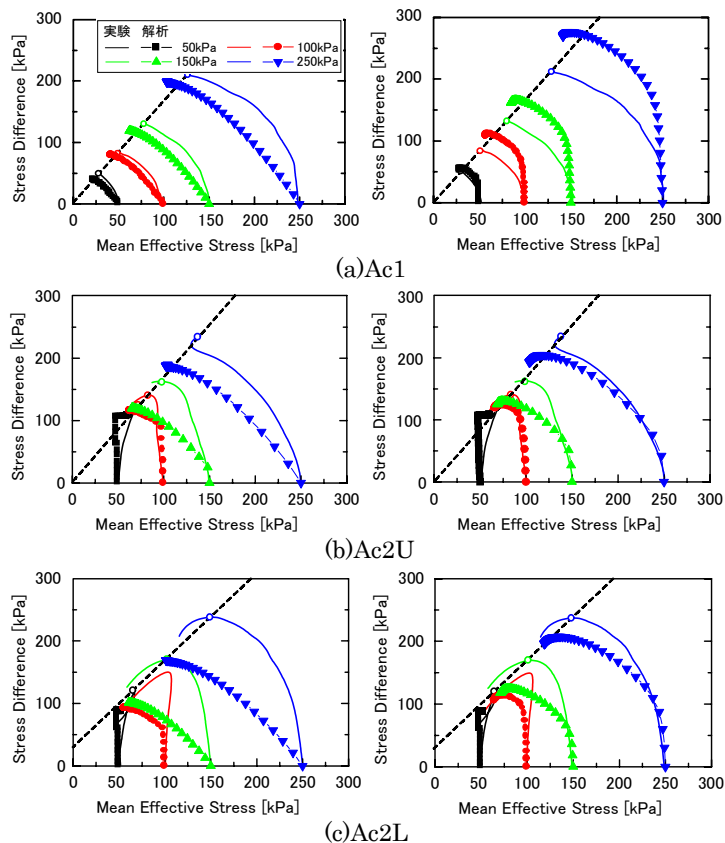


図-2 応力経路図 (左:弾塑性モデル, 右:弾粘塑性モデル)