

地盤 - 構造物系の有限要素解析における境界部のモデル化に関する検討

(財) 鉄道総合技術研究所 正会員 松丸 貴樹 小島 謙一
中央開発(株) 正会員 氏原 剛 西原 聡

1. はじめに

地盤・構造物の変形を予測する手法として、2次元の有限要素解析が広く用いられているが、精度の良い検討を行うためには適切な解析モデルの作成が重要となる。特に、構造物と地盤を組合せた複合問題を解く場合には構造物と地盤の挙動の違いが大きな問題となるため、境界の不連続性をジョイント要素や薄層要素（剛性を小さくした薄い線形要素）等で模擬する必要がある。本論文では数値解析例を通じて、薄層要素の有無および剛性の違いによる構造物や周辺地盤の挙動の違いについて検討を行った。

2. 解析対象問題の概要

解析事例は、高架橋の橋脚の周辺に堤防盛土を施工したため、橋脚が変状した事例を用いた¹⁾。検討対象モデルの断面図を図-1に示す。堤防は高架橋の供用開始3年後に1次盛土(3.0m)、さらにその6年後に2次盛土(2.0m)を構築した。経時変化についての詳細はわからないが、盛土の施工に伴う橋脚の沈下量は、高架橋の供用開始から1次盛土施工の間に6.5cm、2次盛土施工時に3.5cmであり、合計10cmとなっている。地盤は2m程度の表層の下に軟弱な粘性土が3.5m程度堆積しており、その下に良質な礫の支持層がある。橋脚基礎はこの支持層にある。礫層の下には1.5m程度の比較的軟らかい粘性土層が更に存在している。

3. 解析条件

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。解析に用いた有限要素モデルを図-2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、鉛直方向はローラーとしている。また、GL-0.7mを地下水位とし、排水境界と設定した。地盤は、Ac1およびAc2層についてはSekiguchi and Ohta³⁾の弾粘塑性モデル、その他は線形弾性モデルでモデル化している。地盤パラメータを表-1および表-2に示す。パラメータは物理試験や圧密試験等をもとに決定した。ただし、圧密に関する定数は二次盛土終了後のものしか得られていないため、非可逆比は軽部⁴⁾の手法に基づき決定した。

橋脚躯体側面と地盤の不連続性は薄層要素によりモデル化し、その有無および剛性に関する検討を行った。剛性はB層の弾性係数 $E=2.98\text{MPa}$ を基準とし、これを1/10~1/100000に低減したパラメトリックスタディーを行った。また、盛土の施工に伴う橋脚の変位を精度良く再現するためには、盛土開始前の地盤の応力状態を評価することが重要である。そのため、以下の解析では橋脚施工時の掘削・躯体の構築など一連の施工過程を解析において再

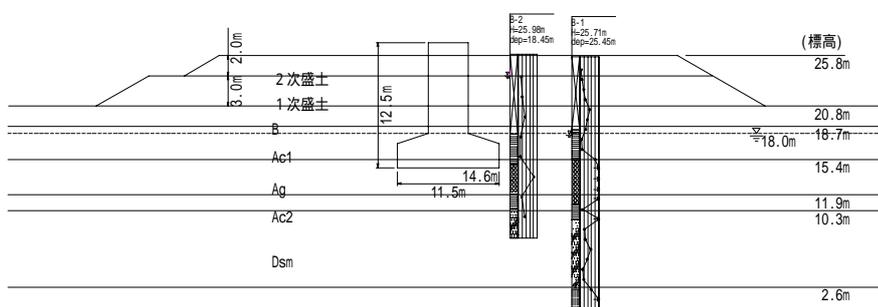


図-1 検討対象モデルの断面図

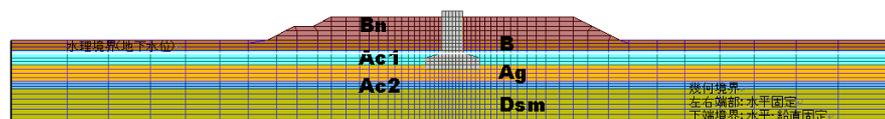


図-2 有限要素モデル

表-1 地盤パラメータ (Ac1・Ac2)

湿潤密度	$\rho(\text{g/cm}^3)$	1.57
間隙比	e_0	0.742
限界状態指数	M	0.984
ダイラタンシー係数	D	0.068
圧縮指数		0.347
非可逆比		0.562
静止土圧係数	K_0	0.577
ポアソン比		0.366
透水係数	$k(\text{cm/s})$	1.0×10^{-5}

表-2 地盤パラメータ (弾性材料)

	B	Ag	Dsm	
湿潤密度	$\rho(\text{g/cm}^3)$	18.0	20.0	18.0
弾性係数	$E(\text{MPa})$	2.98	11.68	2.70
ポアソン比		0.33	0.33	0.33

キーワード 近接施工, 有限要素法, 境界, 薄層要素

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

現することとし、解析ステップとして図-3 に示すような全 14 ステップを設定した。

4. 解析結果および考察

薄層要素が無いケースおよび剛性を B 層の 1/100・1/1000 としたケースの営業開始(STEP5)以降の 1 次・2 次盛土に伴う橋脚躯体の鉛直変位の時刻歴を図-4 に示す。薄層要素が無い場合に比べ、薄層要素を設けた場合は橋脚の沈下量が小さくなり、また薄層要素の剛性が小さいほど沈下量も小さくなっていることがわかる。

橋脚直下および橋脚中心から 20m 離れた位置における Ac2 層の圧縮量の時刻歴を図-5 に示す。ここでの圧縮量とは層上端と下端の変位差から求めている。橋脚直下においては橋脚躯体の時刻歴と同様の傾向を示しており、薄層要素の効果により圧縮量が減少している。しかし、橋脚から離れた位置においては逆の傾向を示しており、薄層要素がある場合の方が圧縮量が大きく、またその剛性が大きいほど大きな圧縮量となっている。薄層要素を設定すると、剛性が小さいほど構造物境界における連続性が弱められ、周辺地盤の変形に伴う橋脚躯体への影響は低下する。従って、地盤の変形に伴う橋脚の変形は小さくなる。一方、周辺地盤では橋脚との拘束が緩むことにより、沈下が進むものと考えられる。

剛性と図-3 の「」で示した P の位置における地盤と橋脚躯体の鉛直変位の差の関係を図-6 に示す。剛性を小さくするほど地盤と躯体の変位差は大きくなるが、B 層の 1/1000 より小さくすると概ね一定値に収束する傾向が見られる。

5. まとめ

事例解析を通じて、有限要素解析における地盤と構造物の境界部のモデル化について検討を行った。薄層要素の有無およびその剛性の値により、構造物のみならず周辺の地盤の変形にも違いが生じることがわかった。本検討では鉛直変形が卓越した変形モードであったが、水平変形も生じる場合には再度剛性の評価を検討する必要がある。今後は、ジョイント要素の検討や、要素試験等による境界部の摩擦の評価を進め、適切なモデル化の提案を行っていきたい。

参考文献 1)渡邊明之、斎藤聡、増田達、島峰徹夫：近接施工に伴う橋脚の沈下について、Structural Engineering Data, pp46-51, 1994. 2)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. 3)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. 4)軽部大蔵：規格以外の三軸圧縮試験方法とその問題点，第 20 回土質工学シンポジウム昭和 50 年度発表論文集，土質工学会，pp45-60, 1975.

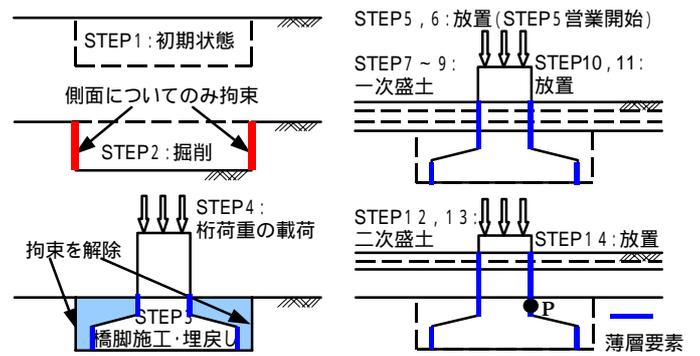


図-3 解析ステップの概念図

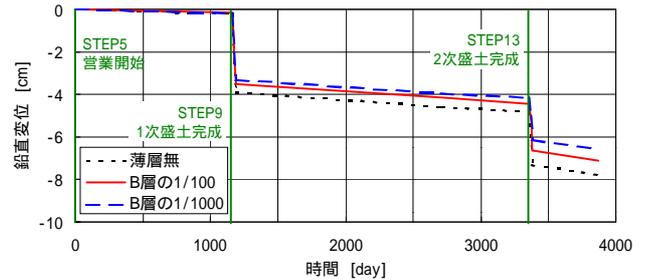
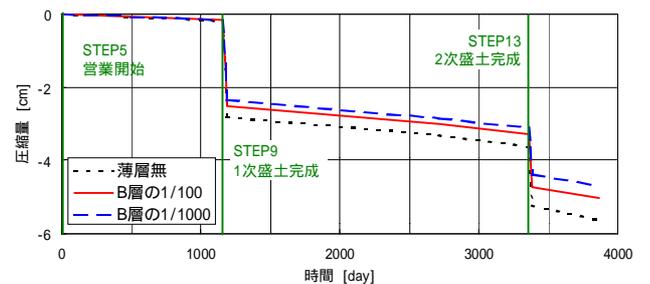
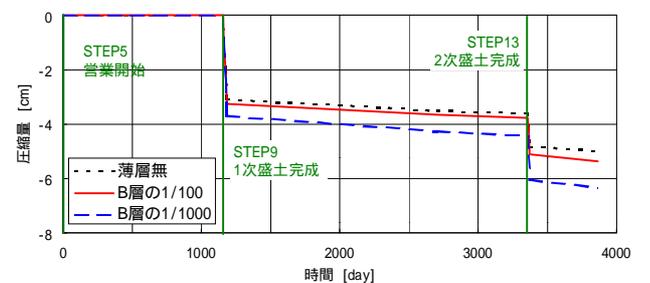


図-4 橋脚躯体の鉛直変位の時刻歴



(a) 橋脚直下



(b) 橋脚離れ

図-5 Ac2 層の圧縮沈下量の時刻歴

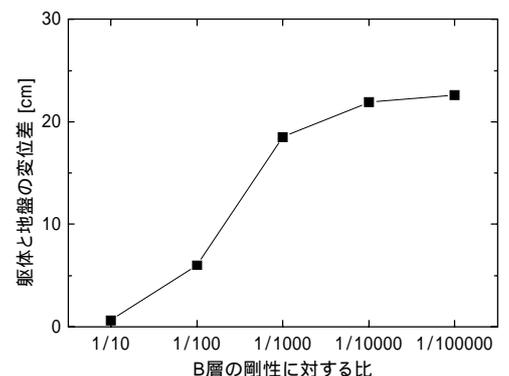


図-6 剛性と変位差の関係