

三笠の三次元圧密解析法を用いた試験盛土沈下の検討

徳島大学大学院 学生会員 ○日下 拓也, 坂戸 宣彦
西日本高速道路(株) 正 会 員 藤島 幸年, 内山 芳治
徳島大学大学院 正 会 員 望月 秋利, 劉 通劍

1. はじめに

道路盛土の圧密沈下予測には、一次元圧密理論が一般に用いられている。しかし近年では、周辺環境に配慮した施工計画や経済性を優先する設計が求められる。そのため、多次元的に現象を捉えた高度な圧密沈下予測が必要とされており、土の構成式を組み込んだ有限要素法による圧密解析を実施する場合もある。しかし、実務で用いられる程には一般化されていない。本研究で用いた「三笠による三次元圧密解析法^{1),2)}」は、弾性理論を応用したもので、体積圧縮係数(m_v)と土骨格のポアソン比(ν)を用い、一次元圧密解析と同程度の計算で二次元断面沈下情報の取得が望める手法である。しかし一般化している手法ではないので、徳島県松茂町で行なわれた試験盛土に適用し、解析精度の検証を行い、業務への適用の是非を検討した。

2. 工事概要及び地盤条件

四国横断自動車道、鳴門 JCT～徳島 IC 間の建設にあたり、軟弱地盤上での試験盛土が平成 17 年 9 月に施工された。本試験は基礎工の設計を合理的に行うためのもので、土質試験結果を用いた沈下計算と変形の実測値とを比較し、検討した。図-1, 2 に試験盛土の平面図と断面図を示す。図中の A-A'断面(中央断面)には、地表面沈下板(5 点)、過剰間隙水圧計等の計測機器を設置し、挙動経過を観測した。地盤は、沖積粘土層と砂層の互層が約 40m にわたって堆積しており、それ以深は礫層となっている。地表面から約 25m の N 値は、10 以下で軟弱地盤である(図-2 参照)。また、対象粘土層は表-1 に示すように過圧密粘土である。

盛土の施工速度は 0.13m/day で、180 日間で 11.3m の盛土施工を完了した。施工中の 79 日目から 57 日間は計器類の調整が必要であったため、結果的に放置期間となった。厳密な施工速度はわからないので、計算では一定の盛立て速度と仮定して解析を行った。

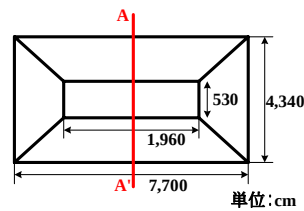


図-1 試験盛土(平面図)

表-1 地中応力関係

	P (kgf/cm ²)	P_c (kgf/cm ²)
Ac1	0.06	1.78
Ac2-u	1.50	6.22
Ac2-d	1.82	6.44

P :土被り圧, P_c :圧密降伏応力

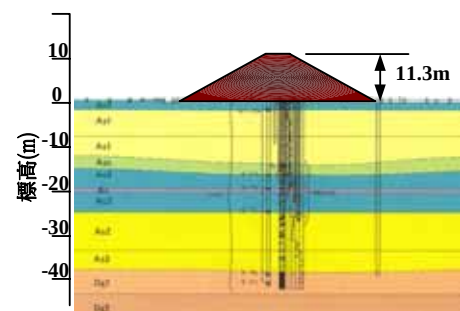


図-2 試験盛土(断面図)

3. 解析手法

三笠の三次元圧密解析法は、式(1)で全沈下量(S)を、式(2)で即時沈下量(S_i)を算出する(本論文では、沈下のみ注目)。

$$\text{全沈下量: } S = \frac{1}{E^*} \int_0^h \left\{ \Delta \sigma'_{zf} - \nu \left(\Delta \sigma'_{xf} + \Delta \sigma'_{yf} \right) \right\} dz \quad (1)$$

$$\text{即時沈下量: } S_i = \frac{2(1+\nu)}{3E^*} \int_0^h \left\{ \Delta \sigma'_{z0} - \frac{(\Delta \sigma'_{x0} + \Delta \sigma'_{y0})}{2} \right\} dz \quad (2)$$

ここに、 $\Delta \sigma'_{zf}$: 圧密完了時の有効応力増分

$\Delta \sigma'_{z0}$: 載荷直後の全応力増分

応力については、分散を考慮した Case1, 2 に対しては、Boussinesq の解(後出、平面ひずみ条件)を用いた。式(1), (2)中の E^* は、'見かけの弾性係数'で式(3)より求める。 ν は土骨格のポアソン比である。

$$E^* = [(1-2\nu)(1+\nu)]/[m_v(1-\nu)] \quad (3)$$

式(3)中の m_v は、 $f-\log(p)$ 関係を基に式(4)より誘導し、式(5)を用いて $\bar{p}$ (平均圧密圧力)に依存する形で近似させたものを用いた。

キーワード 圧密, 数値解析, 三次元圧密解析

連絡先 〒770-8506 徳島市南常三島町 2-1 徳島大学工学部建設工学科内 TEL 088-656-7343

$$m_v = (0.4343 \cdot C_c) / (f_i \cdot \bar{p}) \quad : \bar{p} = \sqrt{p_{i-1} \cdot p_i} \quad (4)$$

$$m_v = 10^{(b - a \cdot \log \bar{p})} \quad : a, b \text{ は定数} \quad (5)$$

また式(1)においてポアソン比 $\nu=0$ とすると、一次元圧密解析手法(m_v 法)と同等の結果が得られる。

圧密時間は、一次元圧密理論を適用して算出する。その際、圧密係数(C_v)は、 $\bar{p}$ に依存する形で近似させ、式(6)を得た。

$$C_v = 10^{(d - c \cdot \log \bar{p})} \quad : c, d \text{ は定数} \quad (6)$$

4. 解析結果

解析は、Case1(ν を土質毎に設定、応力分散考慮)、Case2($\nu=0$ 、応力分散を考慮)、Case3($\nu=0$ 、応力分散を考慮せず)の3ケースを行った。表-2は、標準圧密試験結果から求めたパラメータを示したものである。ポアソン比は試験値がないため、Case1では一般的な物性値を仮定した。

表-2 材料パラメータ

土層	層厚 H (m)	体積圧縮係数 m_v (kgf/cm ²)		ポアソン比 ν		水中単位体積重量 γ' (kgf/cm ³)	圧密係数 C_v (cm ² /d)	
		a	b	Case1	Case2,3		c	d
①Ac1	1.5	0.976	-2.287	0.450	0.000	0.000785	0.093	3.291
②As1-u	6.55	0.972	-1.841	0.350	0.000	0.000794	0.233	3.674
③As1-d	6.55	0.941	-2.125	0.350	0.000	0.000819	0.163	3.689
④Asc	2.1	0.972	-2.111	0.350	0.000	0.000833	0.180	3.683
⑤Ac2-u	3.9	0.974	-2.230	0.450	0.000	0.000791	0.161	3.807
⑥Ac2-d	3.9	0.985	-2.223	0.450	0.000	0.000856	0.042	3.394
⑦As2	6.1	1.004	-2.139	0.350	0.000	0.000975	0.185	3.666
⑧As3	7.9	1.004	-2.139	0.350	0.000	0.000978	0.185	3.666

図-3は、A-A'断面で求めた解析地表面沈下量と実測値を比較して示したものである。盛土中心での総沈下量は実測値 39.6cm に対して、Case1では 36.2cm, Case2では 36.9cm とわずかなではあるが小さい値となった。一方 Case3(応力分散考慮せず)では、42.7cm と過大な値を得た。盛土中心以外でも総沈下量は、Case2に比べ Case1の方がわずかに小さい。実測値と比較すると、盛土中心～法尻区間の沈下形状は Case1の方が近い。

盛土周辺では、総沈下量は Case2 で沈下となったのに対して、Case1は最大約 9.6cm の盛り上がりを示した。この理由は、盛土施工直後にせん断による盛り上がりが起こり、その後、対象地盤が過度の過圧密地盤であったため、盛り上がりを解消するまでの沈下にはならなかったものと考えられる。一方 Case2 は、鉛直方向の応力のみを用いるため、初期せん断変形を表現できない。その結果、盛り上がりを示さず、Case1 に比べ全体

的に沈下量が大きくなる傾向を示した。今回の結果では、むしろ周辺盛土域では Case2の方が実測値に近い結果を得た。

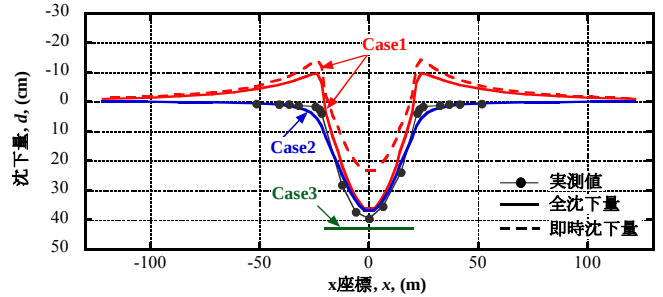


図-3 全沈下量と即時沈下量

図-4は、盛土中心の実測値及び解析で得た時間-沈下関係を示す。Case1は、250日まではほぼ一致する結果が得られた。Case2は、ほぼ一致した結果ではあるが、80日から125日の間においてやや過大な結果となった。Case3については、沈下傾向は似ているものの、応力分散を考慮していないため過大な沈下量となった。施工手順を正確に導入することで、沈下-時間関係はかなり精度の良い結果を得ることができた。

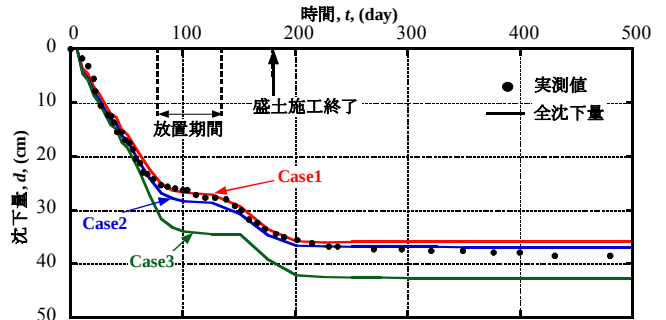


図-4 時間-沈下量関係

5. まとめ

三笠の三次元圧密解析法の適用については、十分精度の高い手法であることが確認できた。しかし、盛土周辺部では土質に対応したポアソン比を用いた場合、解析と実測では異なる結果を得た。地盤の応力状態やせん断特性、土骨格のポアソン比等の再検討が必要であると考えている。

謝辞

本研究の実施にあたり、協力して頂いた西日本高速道路(株)の笹山眞氏と生和建設(株)の松島森氏には記して感謝の意を表します。

参考文献: 1)三笠正人: On the settlement of clay Layer by partial load, Proc.1st Japan National Congress, Appl. Mech., 303, 1951. 2)三笠正人: 土の圧縮と圧密, 土木工学ハンドブック, 土木学会, 160~161, 1965