

長崎大学工学部

正員

伊勢田 哲也

同

棚橋 由秀

学生員

○中原 正義

同

坪井 泰

1. まえがき 軟弱粘土盤上における河川堤防の築造、改修は、堤防の安定性から考えると、許すかぎりの勾配をゆるくすることが望ましいが、河橋確保の立場から構造物などを用いて急勾配に計画されることが多い。そのため有明海周辺の河川堤防改修工事では、有明海特有の“ハドリ”に起因する連り災害等が多発している。本文は佐賀県六角川河川堤防改修工事の崩壊現場を例にとり、復旧工法の検討に資する目的で著者らの提案する非線形有限要素解析を適用し、限界盤土高、即時および最終沈下量を求め、また根固工（捨石）の効果を確かめた。

2. 現場の状況 六角川は佐賀県杵島郡福富町にあり、崩壊現場は河口より約3.3 km上流の地帯である。現場は最終計画盤土高7 mのうち、2.7 m箇所と、翌朝の引潮時に、突如新堤部が河にへすべりを起こしたものである（昭和49年2月）。捨石は表層より3 m厚さで確認されており、崩壊後6ヶ月経過した時点で、シンワールサンプラーにより、乱さばい試料を粘土層中位から採取し、本解析に用いる変形特性試験に供した。なお粘土層は10~14 m厚さで堆積し軟弱粘土層下には、砂層、硬質シルト層が約3~5 m互層をなしている。

3. 解析方法 直接反復法を用いた八面体応力-ひずみ理論に基づくFEM解析法によった。詳細は文献(2)にゆずる。

解析モデルは、図-1に示すように粘土層(4層)、旧堤、および盤土(7層)を要素数396、節点数235の三角形要素に分割し、左面は固定支え、右側面は移動支えを用い、Z方向に平面ひずみ状態とした。初期応力は盤土の要素の単位体積重量とせりおいて求め、盤土の施工段階は施工完了盤土にのみ入れることにより行なわれる。解析は有効

応力計算で行ない、捨石は表面力と見え、水位は危険側の干潮位とする。

本解析に必要な八面体応力-ひずみ関係式を得るため次の室内実験を行った。

a) 等方圧密試験；0.4 kg/cm²の先行等方圧を加え、1日排水させた後、図2(a)の表に示す応力増分で時間間隔は1時間とした。

b) 側圧一定試験；非圧密、非排水条件、応力制御で、側圧は、0.5, 1.0, 2.0 kg/cm²の各々について、応力増分は0.2 kg/cm²、時間間隔は1時間とした。

(a)(b)両試験のγ-E八面体成分が整理した

表1 六角川粘土特性値		
	標高5~10 m	標高10~14 m
自然含水比 W_n	110~128 %	100~40 %
塑性指数 I_p	46.6~77.8 %	46.6~21.6 %
初期間隙比 e_0	2.87~3.23	1.02~2.87
飽和度 S_v	98.0~100 %	
圧縮指数 C_c	1.00~1.66	
圧密降伏力 P_y	0.35~0.71 kg/cm ²	

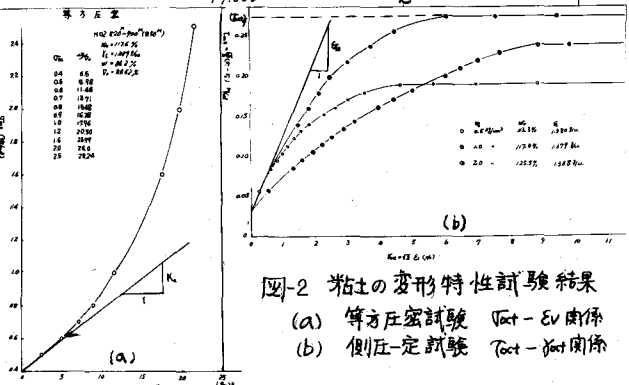
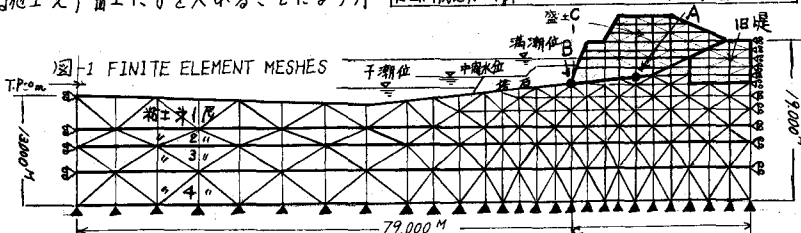


図-2 粘土の変形特性試験結果

(a) 等方圧密試験 $\sigma_{v1} - e$ 関係

(b) 側圧一定試験 $\sigma_{v1} - \sigma_{h1}$ 関係

結果は図2 (a)(b)のようである。図2 (a)(b)の曲線をKondnerの双曲線式で近似すると(1),(2)式で表わされる。

$$\epsilon_v = 3 \times \epsilon_{oct} = \frac{\sigma_{oct}}{a_1 + b_1 \sigma_{oct}} \quad \text{----- (1)} \quad \tau_{oct} = \frac{\gamma_{oct}}{a_2 + b_2 \gamma_{oct}} \quad \text{----- (2)}$$

こゝから(1),(2)式の定数は、図-2を参考に17、 $a_1 = k_0$ 、 $a_2 = 1/\epsilon_{v0}$ 、 $b_1 = 1/(\epsilon_{v0})_0$ 、 $b_2 = 1/(\tau_{oct})_f$ が成り立つ。一方別圧一定試験のデータを整理して $(\tau_{oct})_f = 0.139 \log_{10} \gamma_3 + 0.234$ ---- (3)

を得た。また現実の粘土地盤は初期応力の下で圧密を受けたとみられ、静水圧初期応力を $\sigma'_{oct,i}$ も付けると(1)式は $\sigma_{oct} - \sigma'_{oct,i} = a_1 \epsilon_v / (1 - b_1 \epsilon_v)$ ---- (4) とはなる。整理して、結局、八面体たかーずみ関係式は(5)、(6)とはなる。

$$\sigma_{oct} - \sigma'_{oct,i} = k_0 \epsilon_v / \{1 - \epsilon_v / (\epsilon_v)_0\} \quad \text{---- (5)} \quad \tau_{oct} = \gamma_{oct} / \{1/\epsilon_{v0} + \gamma_{oct} / (\tau_{oct})_f\} \quad \text{---- (6)}$$

別に行なった同一モデルの盛土施工前の線形弾性FEMの初期応力解、 $(\sigma_v)_i$ 、 $(\sigma_3)_i$ より粘土各層毎にその平均をとった $(\sigma_v)_i \text{mean}$ 、 $(\sigma_3)_i \text{mean}$ より解析に必要な定数 k_0 、 G_0 、 $(\epsilon_v)_0$ 、 $(\tau_{oct})_f$ 、 $(\sigma'_{oct})_i$ が表-2のように求まる。なお表には、(5)、(6)式から求まる粘着力 C 、圧縮指数 C_c も付記する。

(5)式は $t = \infty$ の圧密完了後の

表-2

* 表中 粘着力 C の()内の値は1軸試験より求めた
新填直後の C 値である。

最終次下量を求める式であり、

$t = 0$ の即時次下量を(流動時

合め7)求めなければ、(5)式の

代わりに $\sigma'_{oct} = 1000 \epsilon_v$ を入れ

ばよい。解析の条件は、捨石の

有る場合と無い場合、および

即時次下 ($t=0$) と最終次下 ($t=\infty$)

	$(\sigma_v)_i \text{mean}$	$(\sigma_3)_i \text{mean}$	k_0	G_0	$(\epsilon_v)_0$	$(\tau_{oct})_f$	$(\sigma'_{oct})_i$	C (kg/cm ²)	C_c	δ (°)
盛土材	—	—	100.0	23.3	∞	0.896	—	1.344	—	1.80
旧堤	—	—	100.0	23.3	∞	0.896	—	1.344	—	1.75 0.75
粘土第1層	0.518	0.172	3.30	40.0	0.250	0.120	0.345	0.180 (0.100)	1.1	0.4
・ 2 ・	0.697	0.261	3.30	40.0	0.250	0.143	0.479	0.215 (0.100)	1.1	0.4
・ 3 ・	0.773	0.321	3.30	40.0	0.250	0.157	0.547	0.236 (0.111)	1.1	0.4
・ 4 ・	0.873	0.485	3.30	40.0	0.250	0.184	0.679	0.278 (0.249)	1.1	0.6

のいかに山につき盛土施工段階までの28ケースである。

4. 解析結果と考察

盛土はば中央のA点(図-1参考)における即時次下量(a)、最終次下量(b)と盛土高との関係を図-3に示す。(a)は部分断面内観の荷重-次下曲線と対応するもので、盛土高が3mを超えると即時次下量が急に増大するのうねりがわかれ、非捨石の次下制止効果も読み取れる。またこの図より

限界盛土高を決定できる。例えば、許容次下量を50cmとすると、(捨石有)は4.8m、(捨石有)では5.5mと異なる。盛土のリ辰における側方流動を示した図-4からも、水平変位の非線形な増大傾向が読み取れる。(a)、(b)両図を比較すると、水平変位 u は $t=0$ より $t=\infty$ の方が小さくなっているが、これは盛土施工後時間初期にセン断により河心に向って膨み出したのリ辰が圧密進行に伴い旧堤にむかって戻ることと意味する。この現象は、Biotの理論からも説明でき⁽⁴⁾現場においても観測されている⁽⁵⁾。この他、図は省略したが、地盤中水平変位最大点を連ねると、予想されるすべり面に似た形状を示すという重要な知見を得ている。

ち、あとがき 資料と提供して戴いた建設省武蔵工事事務所の方々に表により感謝の意を表します。

- 参考文献：1)「土の応力変形特性とFEM解析」伊勢田、棚橋、田村、他 2)「2次元圧密のFEM解析」伊勢田、棚橋、西園 3) (1)(2)と昭和47年度土木学会部会講演要録集 4) 'Hyperbolic Stress-Strain Response of Cohesive Soils', Kondner R.L. Proc ASCE, Vol. 89 5) 「粘土地盤の深下解析に関する考察」大橋正紀他1名 6) 国土工学会講演要録集 7) 「載荷盛土による二層系地盤の側方変位測定について(判報)」富永、他 8) 第9回土木学会岩石研究発表報告集 1.465~468 (1974)