

主として細粒土から構成された盛土斜面の安定解析手法の提案

キーワード

盛土, 斜面安定, 細粒土

株式会社アスカソイルコーナー 正会員 奥野 日出

大阪府立大学大学院 農学生命科学研究科 国際会員・正会員 小山 修平

1. はじめに

近年, 都市近郊の小規模なアースダム(所謂, ため池堤体)が単に用水源だけではなく親水空間等に活用されるようになってきたが, 老朽化が進み漏水による機能低下やパイピング破壊などに対して迅速かつ合理的な安全対策が要請されている. このような背景から, 本研究では, 近畿圏内に多存する小規模なアースダム堤体の法面安定解析において, 従来の整備指針に示された有効応力表示に基づく解析手法と堤体の調査・分析に基づいて著者らが提起した解析手法とを比較検討した結果, 堤体法面の安定性がより安全かつ合理的で実務的に評価できる方法を明らかにした.

2. 堤体の調査結果と改修設計上の問題点

著者らが近畿圏 43 箇所の老朽ため池堤体の土質調査を行ったところ, 細粒分含有率 $F_c > 35(\%)$, 塑性指数 $I_p > 15$ の条件を満たす堤体の土質を C 材とすると, 調査箇所の 72 % が C 材から構成される均一型ダムであり, 遮水性が重視される故, C 材の占める割合はかなり多い.

一方改修時の整備指針¹⁾では, 堤体の土質に関わりなく, 堤体の完成直後以外は有効応力表示による解析手法(C'-法)に基づいている.

C'-法は法面の長期安定性を評価する上で安全性の高い手法として地すべり斜面などの安定解析に広く一般に用いられているが, C 材から構成される法面において C'-法を用いてすべり計算を行うと, 健全な堤体法面での平常時安全率が 1 以下となり不合理な改修設計に導かれることや限界高さが考慮されないため, 設計時には危険な法面評価を招く恐れがあると判断される.

3. 法面すべりの安定解析手法の提案と C'-法との比較検討結果

堤体より $F_c > 50(\%)$, $I_p > 15$ の条件を満たす不攪乱試料を用い, せん断試験時の応力-ひずみ挙動が塑性領域に至るまで微少なレラクゼーションがみられない C 材から構成される堤体断面において, Taylor 理論に基づく安定性評価²⁾と円形すべりスライス法による安定計算式³⁾を以下に提案し, これらを併用して崩壊法面と健全な堤体法面との評価を行った.

(1) Taylor 理論に基づく安定性評価

$$F_{sc} = C_{cu} \cdot (N_s/H) / \sigma_{sat} \quad (1)$$

ここに, F_{sc} : 安全強度比, $C_{cu}(\text{kN/m}^2)$: 堤高 $1/2H$ の有効土被り圧に対する非排水せん断強度, N_s : 安定係数

(Taylor の安定図表で斜面先破壊に対応, $\alpha = 0$), $H(\text{m})$: 堤高, $\sigma_{sat}(\text{kN/m}^3)$: 堤体の飽和单位体積重量である.

(2) C 材堤体の円形すべり計算式

C'-法と対比する円形すべり計算式を(2)式に示す.

$$F_s = \frac{c}{(T+T_e)} \quad (2)$$

$$c = \{ C_{u(unsat)} \cdot l(unsat) + C_{u(sat)} \cdot l(sat) \} \quad (3)$$

尚, (2)式を「Ccu法」と呼ぶことにする.

ここに, F_s : 安全率, c : 粘着力成分のせん断応力, $C_{u(unsat)}$: 不飽和部の粘着力, $C_{u(sat)}$: 飽和部の粘着力で Fig. 1 の応力分布図に従う, $l(unsat)$: 不飽和部のすべり面の長さ, $l(sat)$: 飽和部のすべり面の長さ, T : すべり面上に働く荷重合力の接線分力, T_e : すべり面上に働く地震時荷重の接線分力である.

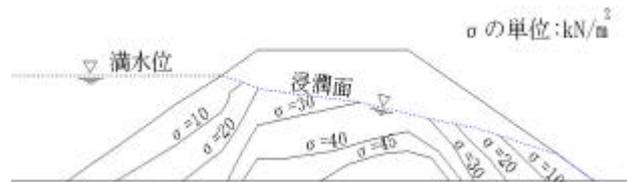


Fig.1 堤体浸潤面下の応力(σ)分布図

(3) C 材堤体の法面安定解析結果

Fig. 2 に示す事例の各堤体には変形やすべり崩壊がみられず, 近況地震(阪神淡路 1995 年, 鳥取県西部 2000 年)や豪雨の影響に対しても健全度を保っている.

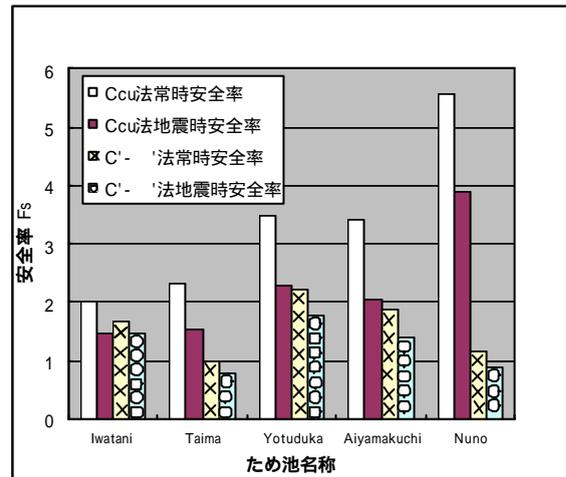


Fig.2 C 材堤体後法面の Ccu 法, C'-法の比較検討図

A proposal for stability analysis technique about earthfill slope composed of fine-grained soil
Co.,Ltd. Asuka Soil Corner Hizuru Okuno
Osaka Prefecture University Graduate School Agriculture and Biological Sciences Syuhei Koyama

Fig.2 より Ccu 法を用いた解析結果は地震時最小安全率が全てにおいて $F_{smin} > 1.2$ が得られ、また C' 法のそれよりも大半高い安全率を得ている。一方、C' 法の解析結果では現況堤体が健全であるにもかかわらず、地震時の最小安全率が $F_{smin} < 1.0$ となることや平常時においても $F_{smin} < 1.0$ となる結果もあり、この結果を用いて改修設計を行うと非現実的な不合理な結果を導くことになり、Ccu 法の結果の方が妥当性があると考えられる。

4. 崩壊法面の安定解析に基づく提案式の検討結果

平成 15 年 9 月に調査した C 材から築造された盛土法面崩壊事例(Fig.3)より提案式の妥当性を考察する。



Fig.3 C 材盛土法面の崩壊状況

法面崩壊が発生する 2 週間前より累積雨量が約 160mm あり、法面下の地下水位上昇が崩壊の誘因と考えるが、施工高さ 8m にも問題があると考えた。

崩壊法面の盛土材は地質的には大阪層群下部の粘性土で、固結度が比較的高く粘性が強いため、約 3 年前の施工当時は締固め状態が良好であったと考えられる。

法面崩壊後この土質試料を採取し土質特性を調べた結果、当試料は $F_c=82(\%)$, $I_p=35.1$ から C 材に相当し、締固め供試体(締固め度 90%, $W_{opt}+3\%$)よりせん断強度は $Cu(\sigma=0)=41.65(kN/m^2)$, $C_{cu}(\sigma=H/2)=27.5(kN/m)$ が得られた。これより、築造当時は(1)式より $F_{sc}=41.65 \times 1/16.9=2.46$ (不飽和対象)となり、法面は安定領域にある。次に、盛土高さの 1/2 まで地下水位が上昇したときの Ccu からは $F_{sc}=27.5 \times 1/19.9=1.38$ となり、法面は安定領域にあるが、Cu 値の F_{sc} と比べてその低下は著しい。盛土高さの 1/2 にある地下水位がさらに上昇すると、Ccu は低下するため、 $F_{sc} < 1$ となり法面は崩壊した。

排土後の法面観察より法面中腹からの浸出水が常時観察され、盛土下の大阪層群断層系の地層より広域地下水の流入があることを確認し、法面下の排水不備が崩壊の原因と考える。また水位の上昇と共に C 材土塊のクリープ変形が極限状態に達して崩壊したことも十分考えることができる。すなわち、(1)式において N_s/H は安全強度比 F_{sc} に及ばず重要なパラメーターとなり、盛高 H が高いほど F_{sc} が小さくなる。

Table1, Fig.4 に崩壊法面と健全な堤体の安定解析結果をまとめた。健全な堤体では堤高 5m 以下で $N_s/H > 1.5$, $F_{sc} > 2.5$ となり、また円形すべり計算では地震時安全率 $F_{se} > 1.2$ が得られる。この結果を利用して崩壊法面の対策は盛高 3m として $N_s/H=2.67 > 1.5$, $F_{sc}=2.67 > 2.5$ を得た。

Table 1 C 材法面の解析パラメーターと安定解析一覧

解析名称	堤高 H(m)	Cu (kN/m^2)	C_{sat} (kN/m^2)	法勾配 (°)	N_s	N_s/H	F_{sc}	常時 F_s	地震時 F_{se}
Iwatani	4.0	30.6	18.7	37.0	6.76	1.69	2.76	2.02	1.46
Taima	4.0	32.4	18.0	33.0	8.77	2.19	3.94	2.31	1.55
Yotuduka	3.0	57.8	22.1	36.0	6.90	2.30	6.01	3.47	2.29
Aiyama	4.0	50.0	20.0	29.0	8.70	2.17	5.43	3.43	2.05
Nuno	2.8	39.7	20.0	35.0	6.99	2.54	5.05	5.55	3.89
崩壊法面	8.0	27.5	19.9	26.5	8.00	1.00	1.38	-	-
対策法面	3.0	19.9	19.9	26.5	8.00	2.67	2.67	-	-

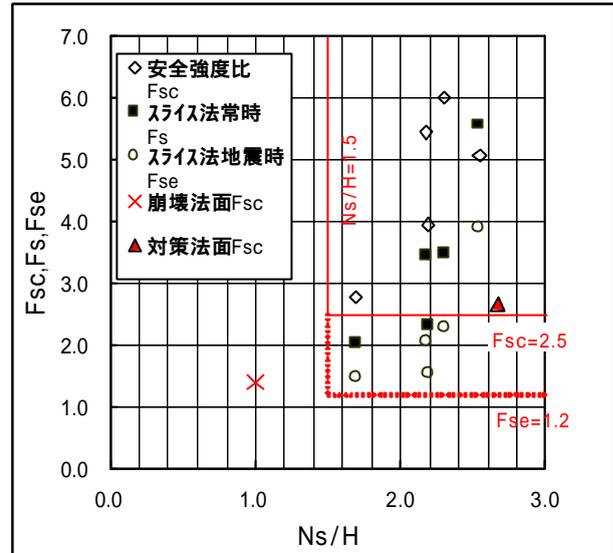


Fig.4 C 材法面の安定係数 / 高さ比 (N_s/H) と安定解析結果との関係

N_s は法面勾配から求められるが、 N_s/H は法面勾配 (1:1.5 ~ 1:3.0) にあまり支配されず堤高が高くなるに従い低下し、堤高 5m で N_s/H が約 1.5 となり、堤高 5 ~ 10m 間は N_s/H 1.5 ~ 0.8, 堤高 10 ~ 15m 間では N_s/H 1.0 ~ 0.6 となる。従って堤高 5m 以上の C 材盛土法面はクリープ変形や崩壊の危険性が高く、また設計条件として $F_{se} > 1.2$ を満たすことができない場合が多い。

以上より、C 材盛土法面の設計では著者らが提案する(1),(2)式を併用することによって、安全かつ合理的な設計に導かれるものと判断される。

<引用文献>

- 1) 土地改良事業設計指針「ため池整備」: 平成 12 年 2 月農林水産省監修社団法人農業土木学会発行
- 2) 奥野日出, ほか 2 名 (2003): 老朽ため池堤体の改修に関する合理的設計手法の提案, 全国地質調査業連合会技術 e-フォーラムさいたま講演会, 論文 No. 87
- 3) 奥野日出, 小山修平 (2004): 老朽ため池堤体の改修に関する合理的設計手法の提案その 2, 平成 16 年度農業土木学会大会講演会 (札幌), p. 434-435