

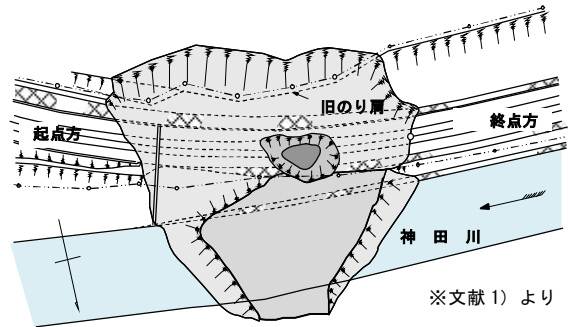
土構造物の崩壊挙動に対する土質定数の適正検証

土構造物, 崩壊挙動, 土質定数

東日本旅客鉄道(株) 正会員 ○山内真也, 正会員 中村 宏
(株) 複合技術研究所 狭田 彰二, 正会員 三平 伸吾
ジェイアール東日本コンサルタンツ(株) 正会員 伊藤 企陽司

1. はじめに

近年, 自然災害の増加に伴い, これまで復旧性が容易である土構造物においても, 高い耐震性が望まれるようになった. 既設の鉄道土構造物は, 明治・大正時代に構築されたものも少なくない. 一方, 鉄道新設構造物では性能照査型設計体系へ移行してきており, 既設の土構造物に対して, 性能照査指標で検討すべきか, 震度法ですべきか等について, 実務者は判断していかねばならない. 本稿では, これまでに大規模な被災変状が確認された 2 事例に対して安定性評価を行い, 土質試験より得られる土質定数の取扱いに対して, 適正検証を行った.



(崩壊後の平面図: 事例 1)

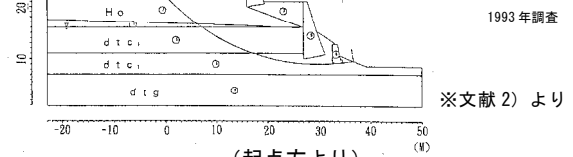
2. 対象事例の概要

本検討では, 比較的關係情報が入手でき, 被災状況, 地盤条件が把握できる以下の 2 事例について安定性評価を行ったものである.

事例 1: 関東大震災(1923 年)の崩壊切土斜面

事例 2: 栃木県北部・福島県南部における豪雨災害(1998 年)の崩壊盛土斜面

土層	N値	γ (kN/m^3)	C (kN/m^2)	ϕ ($^\circ$)	備考	
Fs	埋土層	2.3	15.4	34.3	0.0	UU, $\phi=0$
Lm	関東ローム層	2.9	13.3	66.7	0.0	UU, $\phi=0$
Tc	粘粉粘性土層	7.2	17.6	81.4	0.0	UU, $\phi=0$
Hd	本郷層	32.6	17.8	29.4	30.0	CD, C', ϕ'
dts1	東京第 1 粘性土層	5.5	15.2	53.9	0.0	UU, $\phi=0$
dts2	東京第 2 砂質土層	59.4	18.8	14.7	38.0	CD, C', ϕ'
dtg	東京礫層	443.7	19.6	0.0	38.0	N値より



(起点方より)

3. 事例 1 の安定性評価

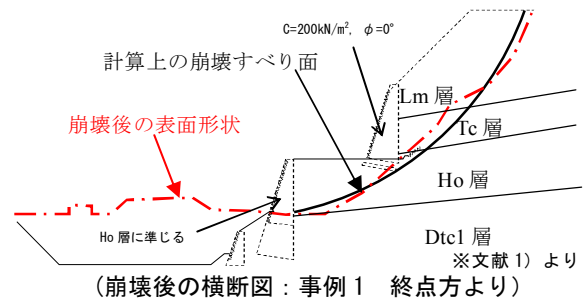
事例 1 は, 1993 年の降雨災害時に地震時挙動解析も実施している. 記録を基に実崩壊に近いすべり面を模擬し, 関東大震災による崩壊を想定した逆算で, $Kh=0.27$ で $Fs=1.0$ となることが確認されている.

そこで今回は, 円弧すべり法+Newmark 法を用いた変形量評価を新たに実施した. 円弧すべり解析により降伏震度(安全率 1.0 の状態)のすべり領域を求め, Newmark 法による変形量解析を実施した. 本検討では, 関東大震災時の東京大学構内(本郷)で記録した時刻歴変位データの近似再現した加速度波形を用いた(図 2). 地盤調査による土質定数を表 2 に示す. 解析結果を総括して以下に述べる.

- ① 有効応力の土質定数により得られるすべり面は, 実崩壊にほぼ等しい挙動が表現された.
- ② 2014 年の地盤調査で得られた降伏震度は, 1993 年の検討時よりも小さい. 関連して, 2014 年調査の土質定数では, Tc 層, Hd 層の土質定数が 1993 年調査時より小さい(表 2).
- ③ ピーク強度=残留強度と仮定した変形解析では, 実崩壊に比べて明らかに変形量が小さい結果となった(表 2).

4. 事例 2 の安定性評価

事例 2 は, 豪雨により崩壊した箇所について, 土構造物の浸



(崩壊後の横断面図: 事例 1 終点方より)

図 1 検証解析に用いた被害事例 1

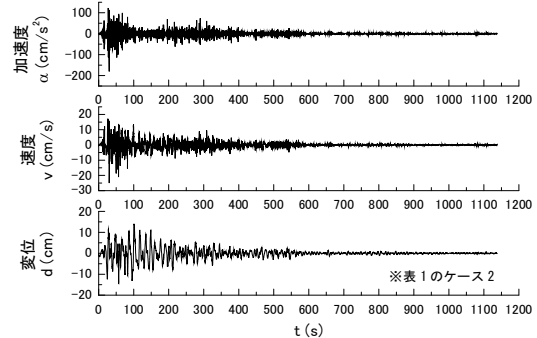


図 2 5 点近似法で評価した時刻歴波形

表 1 事例 1 における変形解析結果

ケース	土質定数	降伏震度 Kh	変形量 (m)
1	飽和条件 有効応力定数	0.01	1.2
2	Lmのみ不飽和 全応力定数	0.13	0.1

Appropriate inspection of the quality of soil fixed number for the collapse behavior of the soil structure

Shinya YAMAUCHI (East Japan Railway Company)
Hiroshi NAKAMURA (East Japan Railway Company)
Shoji HASADA (Integrated Geotechnology Institute Limited)
Shingo MIHIRA (Integrated Geotechnology Institute Limited)
Kiyoshi ITOU (JR East Consultants Company)

表2 検証に用いた土質定数：2014年（被害事例1）

土質		ローム(Lm)	板橋粘土層(Tc)	本郷層(Ho)
		Lm	Tc	Ho
湿潤密度(kN/m ³)		13.2	16.2	20.3
自然含水比(%)		133.4	61.3	116.5
土粒子の密度		2.74	2.65	2.64
間隙比		3.85	1.63	0.59
飽和度(%)		95.5	99.5	90.2
圧縮三軸試験	飽和	圧密非排水		
		$\phi'(^{\circ})$	34.2	32.5
		$C'(kN/m^2)$	19.4	2.8
	不飽和 (Sr=89.1%)	非排水・非排水		
		$\phi_{red}(^{\circ})$	24.2	-
		$C_{red}(kN/m^2)$	60.6	-

透潤問題と不飽和条件の土質強度評価に関して現場透水試験、保水性試験および2次元浸透流解析による飽和度分布(図3参照)、また不飽和強度を含めた強度分布を評価し、円弧すべり安定解析で評価を行った。土質定数を表3に示す。

この安定解析では、現場透水試験により得られた透水係数($k=2 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$)を基にパラメータスタディを行っている。事例2の豪雨時の盛土斜面の安定解析結果を表4に示し、解析結果を総括して以下に述べる。

- ① 透水係数を現場透水試験から得られた数値の10倍とし、粘着力は土質試験結果を3割程度低減すれば、のり尻すべりのような破壊形状を示す(図4)。
- ② 有効応力の土質定数を用いた解析によるすべり面は、崩壊挙動を比較的良く表現している。
- ③ 崩壊挙動はのり尻が先に崩壊し、その後、不安定な状態で残った盛土上部が崩壊したと推定されている(図5)。

7. まとめ

事例1, 2から、有効応力の土質定数を用いた円弧すべり解析では、比較的事実崩壊に近いすべり面が得られると考えられる。また事例1では、土質定数の差異による降伏震度の相違(土質試験法およびサンプリングによる乱れの影響?)、また大変形すなわち崩壊挙動を表現するための残留強度の評価等の課題が残った。このような点の課題解決に向けて安定・変形の評価法について検討を進めていきたい。

【参考資料】

- 1) 関東大震災 震害調査報告 土木学会, 大正12年
- 2) 増田ほか: 御茶の水駅付近斜面の地震時の安定検討について, SED(STRUCTURAL ENGINEERING DATA) No.3 JR東日本 1994年11月
- 3) 御茶ノ水付近災害検討委員会報告書 JR東日本施設電気部, 平成6年5月
- 4) 東北本線(矢板~白河間)集中豪雨に伴う線路災害記録誌, JR東日本東京支社, 1999年1月
- 5) 中村ほか: 東北本線174K400m付近高盛土災害復旧に伴う設計・施工, SED No.12, 1999年5月
- 6) 中村ほか: 浸透流解析を併用した崩壊盛土および復旧盛土の安定解析, 豪雨時の斜面崩壊のメカニズムおよび危険度予測に関するシンポジウム, 2003年4月

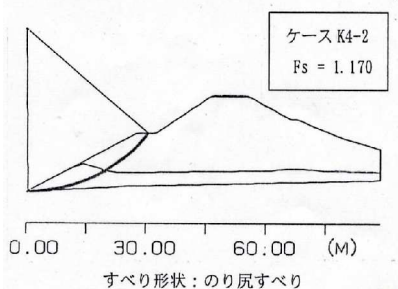


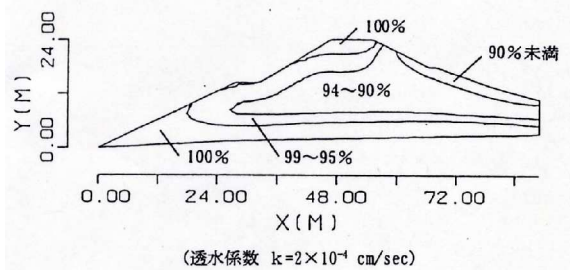
図4 すべり面の形状(被害事例2 終点方より)

表3 検証に用いた土質定数：1998年（被害事例2）

土質		ローム	ローム
		未崩壊土	崩壊土
土の堆積状態			
湿潤密度(kN/m ³)		13.2~14.8	13.5
自然含水比(%)		75.4~95.2	116.5
土粒子の密度		2.67~2.74	2.67
間隙比		2.08~2.91	3.17
飽和度(%)		87.7~96.6	97.9
圧縮三軸試験	飽和	圧密非排水	
		$\phi'(^{\circ})$	29.8~36.1
		$C'(kN/m^2)$	6.9~7.9
	不飽和 (Sr=95%)	非排水・非排水	
		$\phi_{red}(^{\circ})$	35.3
		$C_{red}(kN/m^2)$	8.8~16.8



(崩壊後の状況：事例2)



(2次元浸透流解析による飽和度分布：事例2)

図3 検証解析に用いた被害事例2(終点方より)

表4 事例2における安定解析結果一覧

ケース	透水係数 (cm/sec)	すべり形状	安全率	飽和時粘着力C'(kN/m ²)		
				6.9	4.9	2.9
K1-3	2×10^{-5}	崩壊面	Fs	1.5	1.42	1.33
K2-3	2×10^{-4}			1.32	1.22	1.13
K3-3	2×10^{-3}			0.8	0.71	0.63
K4-1	2×10^{-5}	のり尻		1.51	1.37	1.24
K4-2	2×10^{-4}			1.17	1.03	0.9
K4-3	2×10^{-3}			0.78	0.67	0.55

※解析条件は路盤と法尻を湛水条件として検討した。

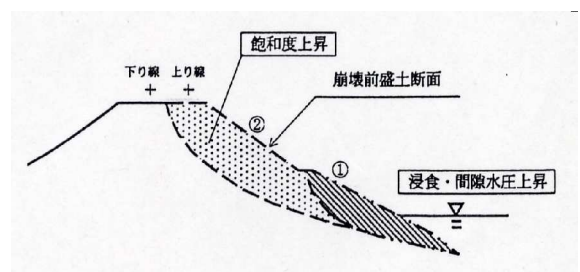


図5 想定される崩壊挙動(被害事例2 起点方より)