

## 小田急多摩線 不飽和時の土質定数を評価した法面照査に関する一考察

小田急電鉄 (株) 上野 修彦  
 小田急電鉄 (株) 鈴木 盛仁  
 (株) 復建エンジニアリング 正会員 ○堤 純生  
 (株) 復建エンジニアリング 正会員 近藤 綾太

## 1. はじめに

小田急電鉄では、過去に大規模な土砂崩壊を経験したことから、土砂崩壊検知システムを用いた法面監視を実施してきた。しかし、当該システムの劣化に伴う維持管理費の増加等の問題から、システムに依存しない法面を構築するべく、法面照査（耐震診断、降雨診断）を実施し、必要に応じて対策を講じることとした。

法面照査においては、盛土内の飽和度が降雨等で変動することを考慮せず、飽和度 100% 時の土質定数（以下、飽和強度という）を用いることが一般的である。しかし、飽和強度を用いての照査が安全側である一方、盛り土材料が砂質土のように透水係数が高い土の場合、実際に飽和度 100% となる可能性は低いことから、不飽和時の土質定数（以下、不飽和強度という）を用いて照査することにより、現場状況を適切に反映でき、経済的な設計が可能になると考えられた。しかしながら、このような診断はこれまでほとんど実施されていない。

そのようななか、小田急多摩線の盛土法面を対象として飽和強度を用いた法面照査を行った結果、降雨診断は許容値（円弧すべり危険度）を満足した一方で、耐震診断は許容値（L1 地震時の円弧すべり危険度、L2 地震時の残留変形量）を満足しないことが確認された。そのうち、表 1 に示す五月台駅～栗平駅間、はるひ野駅～小田急永山駅（以下、2 地点という）の法面については、盛り土材料に透水係数が高い砂質土が使われていたことから、不飽和強度を用いた耐震診断を実施することとした。本稿では、①検討手順、②盛土内の飽和度分布、③不飽和三軸圧縮試験の概要、ならびに④照査結果について報告する。

きないため、浸透流解析を用いて盛土体に不飽和領域が生じていることを確認する必要があったことから、本検討では図 1 に示す手順で検討した。その結果、図 2 に示すように円弧滑り線が砂質土層を通ることが確認されたため、2 地点を対象に浸透流解析を実施することとした。

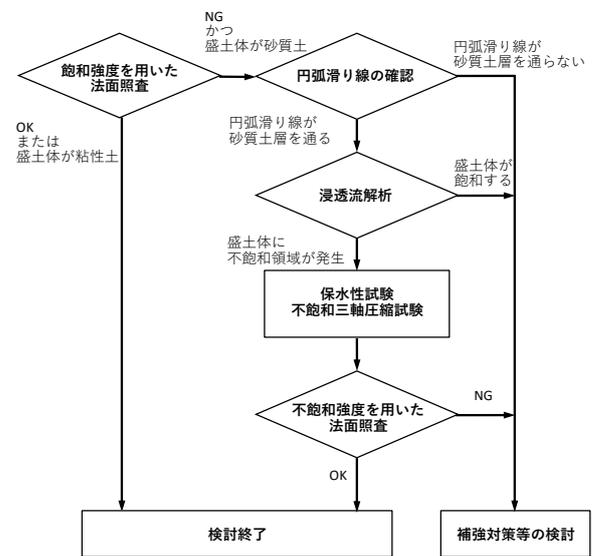


図 1 検討手順

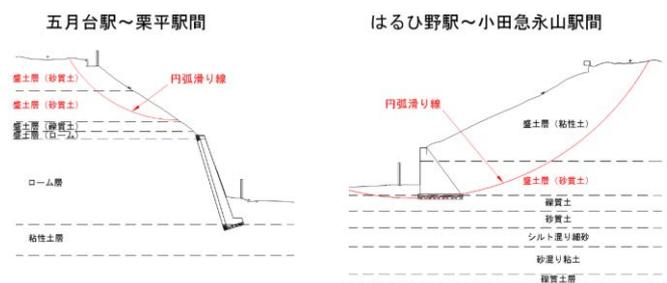


図 2 想定断面図

表 1 飽和強度を用いた照査結果

		五月台駅～栗平駅間		はるひ野駅～小田急永山駅間	
盛土部 (飽和強度)		許容値	照査結果	許容値	照査結果
安全性	L1 地震	1.000	1.083	1.000	0.819
	降雨時	1.000	0.738	1.000	0.605
復旧性	L2 地震	200.0mm (橋台背面)	924.4mm	200.0mm (橋台背面)	239.1mm
		500.0mm (一般部)	924.4mm	500.0mm (一般部)	239.1mm

## 2. 検討手順

降雨時に飽和状態となる盛土体では不飽和強度を適用で

キーワード 鉄道, 法面安定解析, 不飽和三軸圧縮試験, 浸透流解析

連絡先

〒160-8309 東京都新宿区西新宿 1-8-3 小田急電鉄株式会社 TEL03-3349-2381

## 3. 盛土内の飽和度分布

## 3.1 原位置飽和度

浸透流解析を実施するにあたり、解析結果の妥当性を確認することを目的として、原位置飽和度の観測を行った。観測対象は盛土部の砂質土とし、土壌水分計を深さ方向に 1m 程度の間隔で 4~5 器設置した。

6 ヶ月に渡り観測した結果、原位置飽和度は表 2 に示す範囲で変動することが確認された。

表2 原位置飽和度(含水比)の変動

物性区分	五月台駅～栗平駅間 観測深度(2.00～2.80m)	はるひ野駅～小田急永山駅間 観測深度(5.00～6.50m)
原位置飽和度	25～60%	65～95%
原位置含水比	7.39～17.7%	19.3～28.1%

### 3.2 浸透流解析の妥当性

耐震診断における浸透流解析に用いる降雨量は、降雨診断に使用する降雨作用を適用した場合、現実的ではない発生確率となることから、日常的な降雨である年間降雨量相当(2500mm/y)を適用することとした。

浸透流解析の結果、図3に示す飽和度分布となり、盛土内に不飽和領域が発生することが確認された。また、砂質土層の飽和度と原位置で観測した飽和度が同程度であることから本解析結果は妥当であると推察できる。

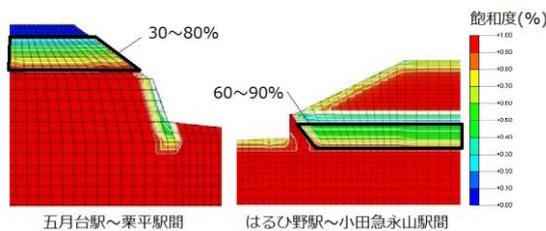


図3 飽和度分布図

## 4. 不飽和三軸圧縮試験の概要

### 4.1 試験条件

本検討において、試験条件の初期飽和度は、保水性試験結果より飽和度の変動が顕著な範囲で、かつ、危険な設計とならないようにサクシジョンの変動量が0～10kPa程度の範囲で設定した。また初期飽和度は、浸透流解析で確認された飽和度を用いることが望ましいが、飽和度50%以下では供試体の作成が困難であるため、飽和度50%～80%程度の範囲でそれぞれ3つの初期飽和度を設定した。せん断は排気・排水条件のもと実施した。

### 4.2 不飽和強度

内部摩擦角 $\phi$ に対して飽和度が及ぼす影響は少ないとの実験事実が数多く報告されていることから、本検討では、内部摩擦角は飽和三軸試験の結果と同様とし、粘着力 $c$ のみが飽和度の大きさに応じて変化するものと整理して不飽和強度を算出した。

試験の結果、表3に示すように飽和度が低くなるほど粘着力 $c$ (不飽和強度)が高く発現することが確認された。

表3 不飽和強度

地点	不飽和強度		飽和強度
	初期飽和度	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )	粘着力 $c$ (kN/m <sup>2</sup> )
五月台駅～栗平駅間	81%	4.23	3.00
	71%	6.71	
	61%	13.39	
はるひ野駅～小田急永山駅間	80%	4.34	3.90
	65%	6.90	
	55%	14.2	

## 5. 照査結果

図3に示す飽和度分布に、表3に示す不飽和強度を適用して耐震診断を実施した結果、表4に示すように2地点において許容値を概ね満足する結果となった。しかし、五月台駅～栗平駅間の橋台背面部においては、L2地震時に許容値を満足しない結果となった。また、それぞれの地点で不飽和強度を用いた効果に差異が見られた。これは、不飽和領域である砂質土層(以下、不飽和層という)を通る円弧滑り線の長さが大きく関係しており、図4に示すように不飽和層を通る円弧滑り線の延長が長い五月台駅～栗平駅間において効果が顕著に表れたと考える。

表4 不飽和強度を用いた照査結果

		五月台駅～栗平駅間		はるひ野駅～小田急永山駅間	
盛土部(不飽和強度)		許容値	照査結果	許容値	照査結果
安全性	L1地震	1.000	0.864	1.000	0.800
復旧性	L2地震	200.0mm(橋台背面)	203.8mm	200.0mm(橋台背面)	190.8mm
		500.0mm(一般部)	203.8mm	500.0mm(一般部)	190.8mm

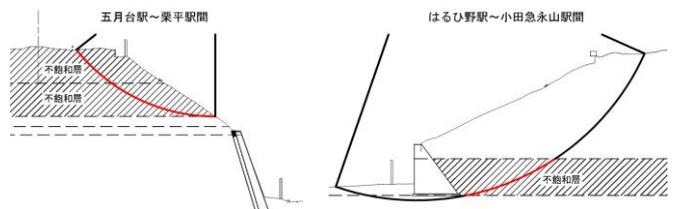


図4 L2地震時の円弧滑り線

## 6. まとめ

浸透流解析および不飽和三軸圧縮試験を実施することにより、現場状況を適切に反映した不飽和強度を求めることが出来た。また、求めた不飽和強度を耐震診断に適用した結果、許容値を満足しない法面も、許容値を満足する結果となり、経済的な設計に繋げることができると考える。他の法面照査業務においても、不飽和強度を考慮する場合は本稿が参考になれば幸いである。

本検討は、公益財団法人鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 基礎土構造グループの方々から多大な支援を頂き成果を上げることができた。ここに、深く感謝申し上げる。

### 参考文献

- 1) 鉄道構造物等設計標準・同解説 土構造物
- 2) 鉄道構造物等設計標準・同解説 耐震設計
- 3) 佐藤武斗, 松丸貴樹, 中島進, 小湊祐輝, 山田孝弘, 藤原雅仁: 不飽和土の強度特性を考慮した既設盛土の耐震診断法, 鉄道総研報告, Vol. 31, No. 7, pp. 23-28, 2016
- 4) 油谷彬博, 中村宏, 神原隆則, 岡田直人, 田中祐二, 狭田彰二: 高切土耐震補強におけるサクシジョン計測と浸透流解析を併用した地山安定度の検討, 第74回土木学会年次学術講演会講演概要集, III-108, pp. 215-216, 2019