

高速道路盛土の排水対策に伴う安定検討

西日本高速道路(株) 正会員 ○浜崎 智洋

西日本高速道路エンジニアリング九州(株) 正会員 荒巻 真二

1. はじめに

高速道路盛土は、適切な排水処理や締固め管理の徹底により密実で安定したものが構築されており、既往の大規模地震においても機能を損失することなく良好な耐震性能を有していることが示されてきた¹⁾。しかしながら、2009年8月に発生した駿河湾を震源とする地震でみられるように、長年の水の作用により盛土材料の強度や透水性が低下し、その結果地下水位の上昇等が生じ、盛土の被害が甚大となる事例も報告されている。

本稿は、高速道路の既設盛土において採取した攪乱資料を用いて、飽和および不飽和状態で三軸圧縮試験を行い、降伏震度や残留変位量を算定し、排水ボーリングなどの排水対策(以下、「対策」という)による安定性向上の効果について検討を行ったものである。

2. 想定する盛土の状態

本検討を行うにあたり、想定する盛土の状態を概念図として図-1に示す。高速道路盛土は、建設時において最適含水比付近の含水比状態で締固め($D_c \geq 90\%$)となるよう施工がなされ、比較的高いせん断強度を有している(図-1A参照)。しかしながら、スレーキング²⁾性が高い脆弱な材料を用いた場合、その後の地下水等の影響により盛土内の含水比が増加し、せん断強度は低下した状態にある。ここでは、対策前のせん断強度が低下した飽和状態(同上B)、対策後の含水比の低下によりせん断強度がある程度復元した不飽和状態(同上C)を想定し、安定検討を行った。

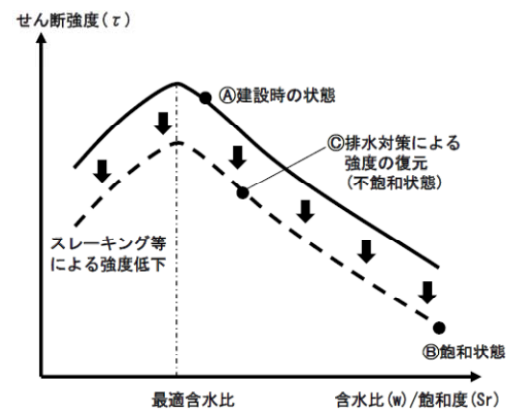


図-1 想定する盛土の状態(概念図)

表-1 検討ケース

ケース	盛土材料の物性			Sr=100%の場合の地盤定数	
	Fc(%)	Ip	材料区分	c(KN/m ²)	φ(°)
①	32~36	-	火山灰質砂(SV)	5.7	36
②	42~43	NP	火山灰質礫質砂(SVG)	3.6	41
③	67~79	28~31	砂質粘土(CS)	29.1	23.8
④	34~53	15~22	砂礫質粘性土(CSG)	23.8	24.5

※地盤定数は、主たる盛土材料の地盤定数の一例を示している

表-2 不飽和状態の地盤定数

ケース	Sr(%)	c(KN/m ²)	φ(°)	強度区分
①	75	16.6	36	CD
②	90	12.1	42	CD
③	90	43	28.8	CU
④	90	25.8	24.2	CU

※地盤定数は、主たる盛土材料の一例を示している

3. 検討条件

(1) 検討ケース

検討にあたっては、表-1に示す含水比が多い4箇所の既設盛土を対象とした。それぞれの地盤定数の設定にあたっては、攪乱試料を採取後、乾燥密度を調整のうえ供試体を作成し、飽和状態にて三軸圧縮試験に供した(図-1Bを想定)。なお、ケース①および②は排水し易い材料に分類できるため排水(CD)強度とし、ケース③および④は排水し難い材料に分類できるため非排水(CU)強度とした。

(2) 不飽和状態の地盤定数

それぞれの攪乱試料を用いて、あらかじめ自然含水比調整($S_r=90\%$ 程度を目安)した試料を用いて不飽和状態のまま三軸圧縮試験に供した(図-1Cを想定)。表-2に得られた飽和度と地盤定数を示す。表-1と対比して、ケース④を除き粘着力(c)の大幅な改善がみられ、排水対策によりせん断強度の復元が期待できる結果となった。

(3) 安定検討

安定検討にあたっては、すべり円弧を仮定した地震時安定計算により盛土の降伏震度と残留変位量を算定す

キーワード 高速道路, 盛土, 排水対策, 安定検討, ニューマーク法

連絡先 〒818-0131 福岡県太宰府市水城 2-25-1 西日本高速道路株式会社 九州支社(太宰府社屋) TEL092-922-8837

ることとした。降伏震度の算定にあたっては、式(1)および(2)に示すように、盛土材料の排水の難易により排水(CD)強度と非排水(CU)強度で区分することとした。排水(CD)強度の場合は式(1)を用い、抵抗力、滑動力ともに地震力による直応力の増減を考慮し、不飽和状態ではせん断に伴う間隙水圧の上昇は考慮しないものとした。また、非排水(CU)強度の場合は式(2)を用い、滑動力にのみ地震力による直応力の増減の影響を考慮するものとした。残留変位量の算定にあたっては、すべり土塊の滑動変位量を対象としたニューマーク法²⁾を適用した。

$$Fs1 = \frac{\Sigma(c + l + ((W - u \cdot b) \cdot \cos \alpha - k_h \cdot (W - u \cdot b) \cdot \sin \alpha) \cdot \tan \phi)}{\Sigma(W \cdot \sin \alpha + \frac{h}{r} \cdot k_h \cdot W)} \quad (1)$$

$$Fs2 = \frac{\Sigma(c + l + \left(\frac{1+2 \cdot K_0}{3} \cdot (W - u \cdot b)\right) \cdot \tan \phi)}{\Sigma(W \cdot \sin \alpha + \frac{h}{r} \cdot k_h \cdot W)} \quad (2)$$

ここで、
 r: すべり円の半径
 C: 粘着力
 l: 分割片の弧長
 W: 分割片の重量
 u: 間隙水圧
 b: 分割片の幅
 α : すべり面のなす角
 k_h : 設計水平震度
 ϕ : せん断抵抗角
 h: 分割片の重心とすべり円の中心との鉛直距離
 K_0 : 静止土圧係数

4. 検討結果

(1) 入力地震動波形

入力地震動波形は、道路橋示方書³⁾に示されたレベル2地震動(タイプⅡ)とした。ケース①および③については、地表面波形を盛土の応答波形とみなしニューマーク法に用いた。また、ケース②および④については、高盛土や傾斜地盤上の盛土であるため、2次元FEMにより地震応答解析を行い、盛土の応答を考慮したすべり土塊の平均(等価)加速度波形を求めニューマーク法に用いた。

(2) 降伏震度

図-2に、飽和度と降伏震度比の関係をケースごとに示す。降伏震度比は、対策前後における降伏震度の比率である。飽和度が100%から90%に低下することで、降伏震度が相対的に40%程度増加する結果となった。

(3) 残留変位量

図-3に、飽和度と残留変位量比の関係をケースごとに示す。残留変位量比は、対策前後における残留変位量の比率である。飽和度が100%から90%に低下することで、残留変位量が相対的に70~60%程度に低減できる結果となった。

5. まとめ

既設盛土から採取した攪乱資料を用いて、飽和および不飽和状態で三軸圧縮試験を行い、降伏震度や残留変位量の算定を行った。含水比を低下させることで盛土材料の粘着力が増加することとなり、それに伴い降伏震度が増加し、大規模地震動に対する残留変位量が低減できることが示された。

6. おわりに

本稿では、含水比の低下が既設盛土の安定性に大きく寄与することが確認できた。今後、実盛土等における対策後の更なる実証を進めていきたい。また、盛土材料によっては、排水対策のみではすべり抵抗力の増加に限界があることを想定し、別途既設盛土の補強対策の実施も視野に入れた検討を行っていきたい。

7. 参考文献

- 1) 浜崎智洋他: 高速道路盛土の大規模地震時の耐震性検討(その2)～変位量による耐震性能評価法の検討～, 第39回地盤工学研究発表会講演集, No.882, pp1761-1762, 2004
- 2) 西日本高速道路(株): 設計要領第1集 土工編 第6章高盛土・大規模盛土
- 3) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説 V耐震設計編(平成24年3月)

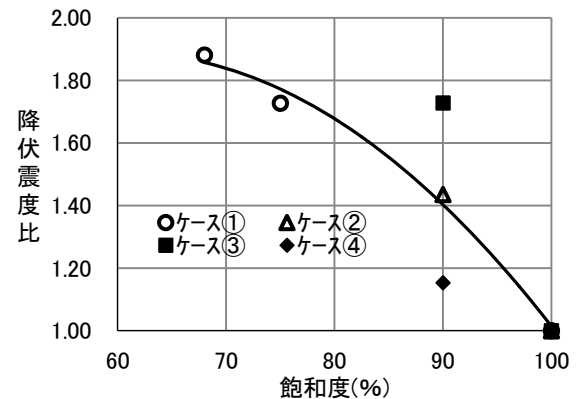


図-2 飽和度と降伏震度比の関係

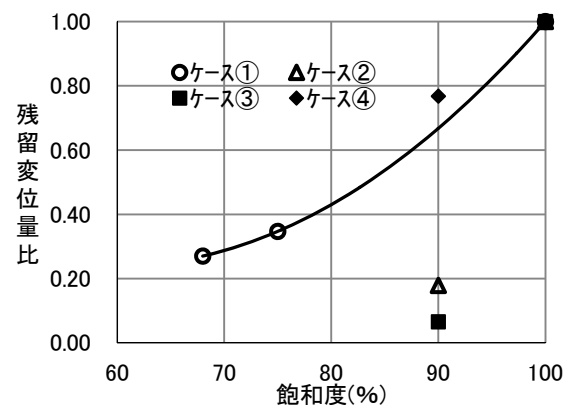


図-3 飽和度と残留変位量比の関係