盛土補強土工法における棒状補強材の合理的配置に関する検討

八千代エンジニヤリング(株) 正会員 ○吉川 修一
(株)高速道路総合技術研究所 正会員 中村 洋丈
(株)高速道路総合技術研究所 正会員 藤岡 一頼
西日本高速道路(株) 正会員 田久 勉

1. はじめに

豪雨や地震による既設盛土のり面の崩落対策として，筆者らは棒状補強材による盛土補強土工法の設計施工方法を検討し，一定の適用性を確認してきた[1),2),3)].

設計法検討[1)]では，盛土高 21m の脆弱岩盛土を想定したときの補強材配置は，レベル 2 地震時の安定照査で決まり，長さ 20m，削孔径 90mm，異形棒鋼 D32，打設角 30°，間隔 1.8m，と非常に密な配置が必要になることがわかった．現地盛土における補強材の引抜き試験[2)]では，補強材の極限周面摩擦抵抗力度は土被りが厚くなるに従い大きくなる傾向が確認され，設計で想定しているせん断強度 $\tau=c+\sigma\tan\phi$ よりも大きいことを確認した[1)]．振動台実験による補強材の動的補強効果の検討[3)]では，補強材間隔が大きくなると中抜けから崩壊に進展する様子が確認された．

本論文では，盛土補強土工法における盛土と注入材の付着力に着目した安定性評価を行い，補強材の合理的配置について検討した結果を報告する．

2. 安定性評価手法

(1) 安定計算手法

安定性評価の対象となる作用は，常時の作用，地震動の作用が考えられる．このうち，常時およびレベル 1 地震動に対する安定計算は，高速道路での実績を踏まえ，円弧すべりの修正フェレニウス法を用いた．レベル 2 地震動に対しても，これまでの実績を勘案し，円弧すべりのニューマーク法[1)]（以下，「NM 法」という）を用いた．NM 法では補強材を考慮して震度法により降伏震度を算出し，地震動作用時にも補強効果は一定（降伏震度一定）と仮定した．これは補強材の残留引抜き力に相当する極限周面摩擦抵抗力度を用いることで，一定の補強効果が得られると考えたことによる．

(2) 安定計算モデル

安定計算モデルを図 1 に示す．本モデルの特徴は，十分な排水対策を実施することを前提に盛土内水位を盛土高 H の H/3 となるよう仮定し，その上位を不飽和領域として扱っていることである．不飽和領域の土質定数は，高速道路各地の既設盛土から再構成試料を作製して「不飽和土の三軸圧縮試験」より $c=33kN/m^2$，$\phi=22°$ とした[1)]．補強材の引張り力の低減係数 λ は，常時・レベル 1 地震時は 0.7，レベル 2 地震時は盛土の変形が大きく許容引張り力が作用すると考え 1.0 とした．のり面工低減係数 μ は，のり枠を基本とし 0.7 とした．棒状補強材の補強効果は，切土補強土工法[4)]を参考に，補強材の引止め効果と締付け効果を考慮した．

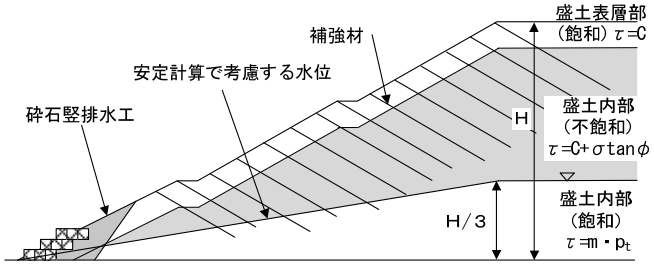

図 1 盛土補強土工法の安定計算モデル

(3) 補強材の許容付着力

補強材の引張り力は，盛土と注入材の付着力で決まるようにモルタル強度，鉄筋径を決めた．盛土と注入材の許容付着力 t_{pa} は，極限周面摩擦抵抗力度と安全率を用いて以下の式で求めている．

$$t_{pa}=\frac{\tau_p\cdot\pi\cdot D}{F_{sa}}$$

キーワード 盛土補強土，ネイリング，安定性，周面摩擦抵抗
連絡先 〒111-8648 東京都台東区浅草橋 5-20-8
八千代エンジニヤリング株式会社 総合事業本部 地質・地盤部 TEL 03-5822-2385 FAX 03-5822-2799

ここに，t_{pa}：盛土と注入材の許容付着力（kN/m），τ_p：盛土と注入材の極限周面摩擦抵抗力度（kN/m^2），D：削孔径（m），F_{sa}：極限周面摩擦抵抗力度の安全率（切土補強土工法[4]に準じ常時 2.0，地震時 1.5）を表す．

せん断強度の検討結果を図 2 に示す．現地の引抜き試験（RPD）[2]は，設計値の 2.2～4.2 倍，三軸圧縮試験（UU）は同 2.0～3.4 倍であること，設計値は更に安全率 1.5 で除していることから，実際の許容付着力のは，設計値の 3 倍程度が期待される．

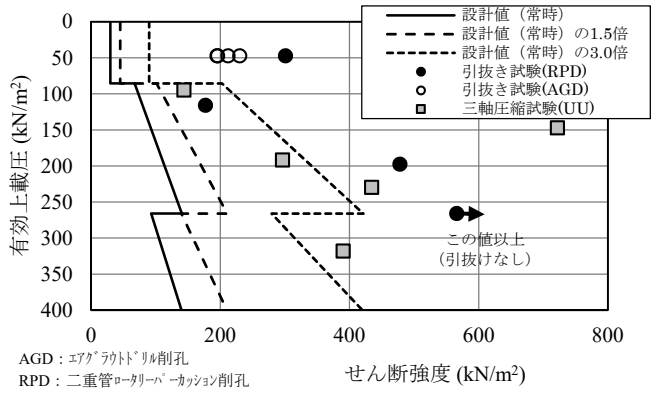

図 2　せん断強度

3. 安定性評価結果

(1) 補強材配置検討結果

盛土高 21m の脆弱岩盛土を想定し，盛土と注入材の許容付着力を設計値の 1.5 倍，3.0 倍まで割増したときの補強材間隔を試算した．その結果，現設計の補強材間隔 1.8m に対して，1.5 倍のとき同 2.1m，3.0 倍のとき同 2.7m まで広げられる結果となった．なお，許容安全率は常時 1.25，レベル 1 地震時 1.0，レベル 2 地震時の許容残留変形量は 1.0m とした．

表 1　補強材配置検討結果

ケース	計算条件				計算結果				
	補強材間隔 (m)	極限周面摩擦抵抗力度	極限周面摩擦抵抗力度の安全率	許容付着力の割増率	常時安全率	L1時安全率	L2時残留変形量 降伏震度	L2時残留変形量 残留沈下量 (cm)	判定
現設計	1.8	c+σtanφ	1.5	1.0	1.42	1.10	0.170	106	OK
No.1	1.8	現設計の1.5倍	1.5	1.5	1.42	1.10	0.202	77	OK
No.2	2.1				1.39	1.06	0.176	100	OK
No.3	2.4				1.36	1.04	0.164	113	NG
No.4	1.8	現設計の3.0倍		3.0	1.50	1.20	0.258	40	OK
No.5	2.1				1.45	1.14	0.223	61	OK
No.6	2.4				1.42	1.11	0.202	77	OK
No.7	2.7				1.38	1.07	0.178	97	OK
No.8	3.0				1.37	1.05	0.161	116	NG

この補強材間隔を補強材量で表すと，補強材間隔 2.1m のとき現設計の 2 割減，2.7m のときで同 5 割減となり，許容付着力の設定値は補強材量に大きく寄与することが再認識された．

表 2　補強材量の削減効果

許容付着力の割増率	補強材間隔	補強材本数 (100m^2 当)	補強材延長 (100m^2 当)	補強材量 (現設計を 1 としたとき)
現設計	1.8m	31 本	620m	1.00
現設計の 1.5 倍	2.1m	23 本	460m	0.78
現設計の 3.0 倍	2.7m	14 本	280m	0.45

(2) のり面工から見た補強材間隔

切土補強土工法[4]ののり面工低減係数の考え方（図 3）を盛土補強土工法に適用した場合，現設計の補強材長さ 20m，間隔 1.8m の場合，μ=0.35 となり柔なのり面工で良い．のり枠工のような剛なのり面工（μ=0.7 相当）を用いれば，中抜けから崩壊に進展しない範囲で補強材間隔をさらに広げられる可能性が期待される．

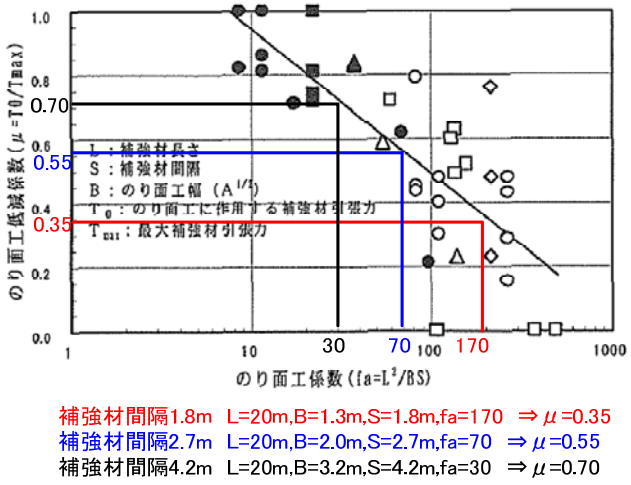

図 3　のり面工低減係数 [4]に一部加筆

4. まとめ

盛土と注入材の許容付着力を適切に評価すれば，補強材間隔を大きくすることができ，補強材量を大幅に削減できる可能性があることがわかった．今後は，補強材の引抜き試験結果を蓄積し，許容付着力の設定値について検討していく．また，剛なのり面工を用いることにより，補強材間隔を更に大きくできる可能性が期待されることから，実験，数値解析を実施し，合理的な補強材配置について検討していく．

参考文献

1）田久ら；棒状補強材による補強盛土の安定性評価，第 51 回地盤工学発表講演集，pp.1519-1520，2016.　2）藤原ら；盛土補強に用いる棒状補強材の引抜き抵抗力に関する評価，第 51 回地盤工学発表講演集，pp.1517-1518，2016.　3）中村ら；棒状補強材による補強盛土の対策効果に関する振動台実験，第 52 回地盤工学発表講演集（投稿中），2017.　4）東・中・西日本高速道路，切土補強土工法設計・施工要領，2007.