

地山補強土工法の補強材打設間隔に関する検討 ～その2：有限要素解析によるシミュレーション～

東京都市大学大学院 学生会員○渡田洋介

東京都市大学 学生会員 高橋昌大 正会員 伊藤和也 正会員 末政直晃

日鐵住金建材 正会員 岩佐直人 正会員 副田尚輝

1. はじめに

地山補強土工法とは自然斜面、切土のり面及び既設盛土などを対象に、地山内に補強材を構築し補強土構造体を形成する工法である。一様地盤の斜面における地山補強材の補強効果に関して、高橋らは補強材の有無、打設配置及び間隔などによる影響を検討するため、遠心模型実験を行っている¹⁾。本報告では有限要素解析（以下FEMと呼ぶ）により、遠心模型実験を実大換算した斜面のモデルを作成し、高橋らの実験結果と比較した。

2. 解析概要

高橋らが行った遠心模型実験では土槽内に一様地盤の斜面を縮尺 1/50 で再現し、遠心加速度を 50G（50G において実規模を再現）まで上昇させ、斜面の崩壊挙動を調べている。本解析ではこれを実大換算した斜面のモデルを作成した（図-1）。使用解析ソフトは PLAXIS 3DAE である。節点数は 37946、土要素数は 23800 である。解析は Mohr-Coulomb モデルによる弾完全塑性解析であり、解析モデルの大きさは高さ 7.0m、奥行 5.0m、法面勾配 1 : 0.6 である。なお奥行に関しては境界条件の設定の関係で、斜面の手前側と奥側にそれぞれ 0.5m 拡張されている。解析パラメータは青粘土：珪砂 7 号＝1 : 3 の試料の物理試験、力学試験の結果、模型斜面の条件から算出した（表-1）。補強材及び支圧板は、地山補強材の補強材の部材として多く用いられる鋼材の物性値を用いてモデル化した。補強材はビーム要素でモデル化し、直径は異形棒材 D51 と同じ 0.0508m、長さは遠心模型実験の補強材を実大換算した長さである 5.0m とした。支圧板はシェル要素の正方形として再現し、一辺は 0.5m、厚さは 0.01m とした。表-2 に解析ケースを示す。各解析ケースは遠心模型実験の実験ケースの補強材配置に対応している。また道路基準²⁾との比較のため 2m² 当たりの補強材本数 P_2 を算出しており、 P_2 は平均打設間隔 S より

$$P_2 = 1 / \left(\frac{S}{2} \right)^2 \quad (1)$$

として求めた。解析は解析モデルの自重による弾完全塑性解析を行い、法面の変形を求めている。

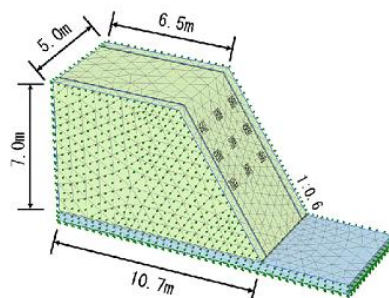


図-1 解析モデル

表-1 解析パラメータ

単位体積重量 γ_t (KN/m ³)	15.7
ヤング係数 E (kN/m ²)	500
ポアソン比 ν	0.35
粘着力 c (kN/m ²)	7.80
内部摩擦角 ϕ (°)	27.0

表-2 解析ケース

ケース	1	2	3	4	5
配置方法					
	無補強	正方形配置		長方形配置	千鳥配置
平均打設間隔 S (m)	—	3.00	1.50	2.14	2.56
2m ² あたりの補強材本数 P_2 (本/2m ²)	0.00	0.44	1.78	0.87	0.61

キーワード 地山補強土工法、有限要素法、遠心模型実験

連絡先 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 東京都市大学 地盤環境工学研究室 TEL. 03-5707-2202

3. 遠心模型実験結果との比較

(1) 崩壊画像と破壊点分布

遠心模型実験において小型カメラで撮影した画像と実験ケースに対応するFEMの結果のモール・クーロンの破壊基準に基づいた破壊点分布を比較した。図-2に実験及び解析のケース3, 4を、図-3に実験及び解析のケース2, 5についてのそれぞれの各崩壊直後の画像と破壊点分布を示す。図-2, 図-3の結果から遠心模型実験の模型斜面の崩壊モードとFEMにおける破壊点の分布が類似していることが分かる。実験のケース2については法尻付近が崩壊した後、法肩付近まで進行的に崩壊したが、解析では初期の崩壊である斜面の中腹付近までで破壊点分布が留まっており、解析の破壊点は実験での初期崩壊に対応したものである点に注意が必要である。またケース2の中段中列に1本補強材を挿入したケース5は補強材間のすり抜けが抑えられた。

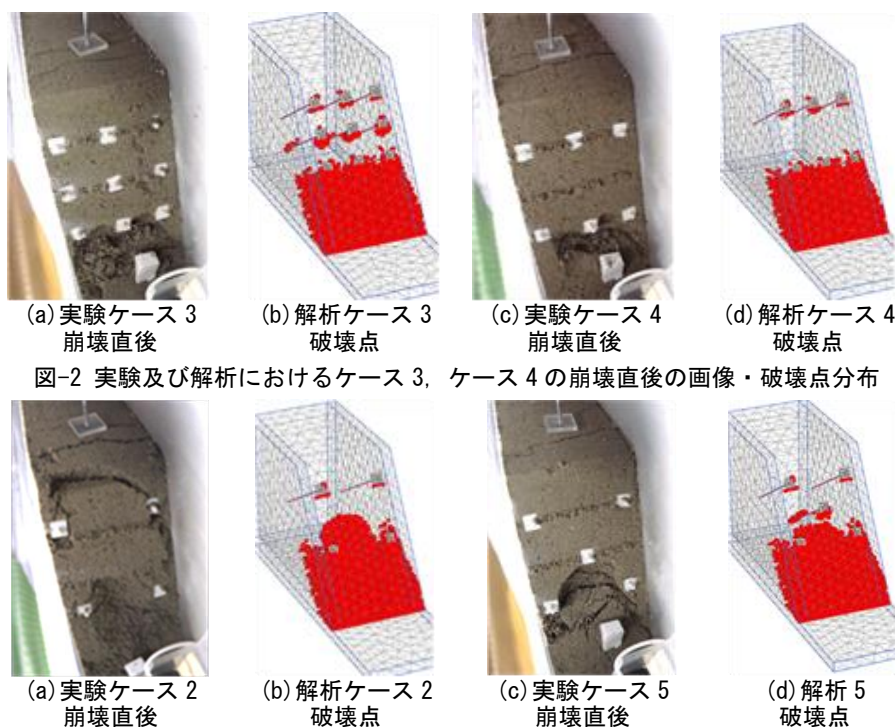


図-2 実験及び解析におけるケース3, ケース4の崩壊直後の画像・破壊点分布

図-3 実験及び解析におけるケース2, ケース5の崩壊直後の画像, 破壊点分布

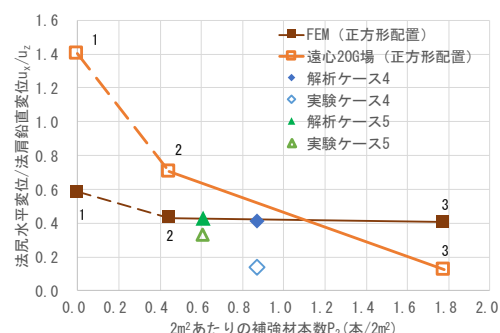


図-4 遠心模型実験 (20G 場) と FEM における法尻水平変位/法肩鉛直変位-2m²あたりの補強材本数

(2) 法尻法尻変位

遠心模型実験で計測を行った法尻鉛直変位と法尻水平変位の結果と FEM において遠心模型実験で計測地点と同じ箇所から抽出した鉛直変位と水平変位の比較を行った。なお遠心模型実験の結果ではケース1, 2が21Gで崩壊したため、崩壊直前の20G場での各実験ケースの変位を比較した。本報告では法尻水平変位と法尻水平変位の比 u_x/u_z をとり、遠心模型実験と FEM で比較を行った。図-4に法尻水平変位/法尻鉛直変位 u_x/u_z と 2m²あたりの補強材本数 P_2 の関係をそれぞれ示す。図-4より、2m²あたりの補強材本数 P_2 が大きくなるに伴い、遠心模型実験, FEM 共に u_x/u_z が小さくなった。また FEM では u_x/u_z と 2m²あたりの補強材本数 P_2 の関係は補強材の配置による違いがほとんど見られなかった。しかし遠心模型実験の u_x/u_z と 2m²あたりの補強材本数 P_2 の関係は補強材の配置による違いが FEM より大きくなった。特に補強材間のすり抜けにより補強効果がほとんど見られなかった実験ケース2と、中段中列の補強材によりすり抜けを一定程度抑制できた実験ケース5では、 u_x/u_z が実験ケース5の方が小さくなり、図-2より崩壊モードが同様と考えられる実験ケース3と実験ケース4の u_x/u_z はほぼ等しい値となった。したがって遠心模型実験では崩壊モードによる変位の影響が FEM よりも大きくなると考えられる。

4. まとめ

遠心模型実験の崩壊直後の画像と、実験ケースに対応する FEM の結果の破壊点分布の結果を比較すると、実験の崩壊範囲と破壊点分布がほぼ一致した。遠心模型実験と FEM における法尻水平変位/法尻鉛直変位を比較すると、遠心模型実験では崩壊モードによる変位の影響が FEM よりも大きくなった。

<参考文献>

1) 高橋昌大, 伊藤和也, 渡田洋介, 田中剛, 末政直晃, 岩佐直人, 副田尚輝: 地山補強土工法の補強材打設間隔に関する検討 ～その1: 遠心模型実験～, 投稿中, 2) 東日本・中日本・西日本高速道路: 切土補強土工法設計・施工要領, 2007.