

地震時斜面安定の三次元非線形解析

兵庫県六甲治山事務所	福 政 俊 浩
兵庫県農林水産部治山課	村 上 晴 茂
(社)兵庫県森と緑の公社	西 原 玲 二
(株)ダイヤコンサルタント 正会員	木 村 裕 之
(株)ダイヤコンサルタント 正会員	山 浦 昌 之
(株)ダイヤコンサルタント	ラザビソハイル

はじめに

1995年の神戸における地震は自然斜面に対する被害をもたらした。兵庫県が実施した林野庁補助事業である治山事業の「森林土木効率化等技術開発モデル事業」で、六甲山系の自然斜面を対象に、実験および数値解析によって耐震性を検討することが本研究の目的である。現在の研究段階では、ロックボルトとロープネットの併用工法が地震時の斜面安定効果を持っていること、変形に対して抑止効果を持つことが判明している。以下、振動台による斜面模型実験について、有限要素法を用いた数値計算を実施した結果を報告する。

振動台実験

模型は高さ 1.5m、長さ 3.4m、幅 1.5m (図-1) で、斜面は 45 度の傾斜をもち、斜面に対して垂直に 3mm のロックボルト (アルミ棒)、斜面に沿ってロープネット (ポリエステル) を斜面安定のための対策工として設置した。写真-1 に実験に用いた、20cm 間隔のロックボルトと 5cm メッシュのロープネットを示す。地盤はまさ土を用いており、自然含水比 10% 前後、内部摩擦角 31 度、粘着力 0.8 tf/m²、湿潤単位体積重量は 1.6tf/m³ である。実験の入力地震波は振動数 5 Hz、加振時間 10 秒の一定加速度の正弦波であり、100Gal から 50Gal ずつ段階的に加速度を大きくして与えた。

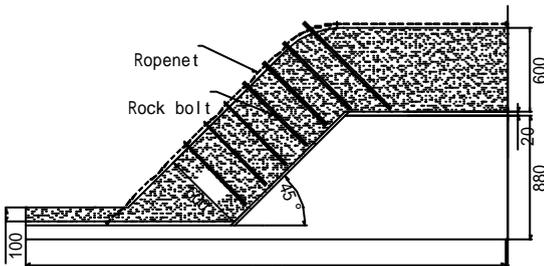


図 - 1 : 斜面の対策工



写真 - 1 : ロックボルトとロープネットによる対策工

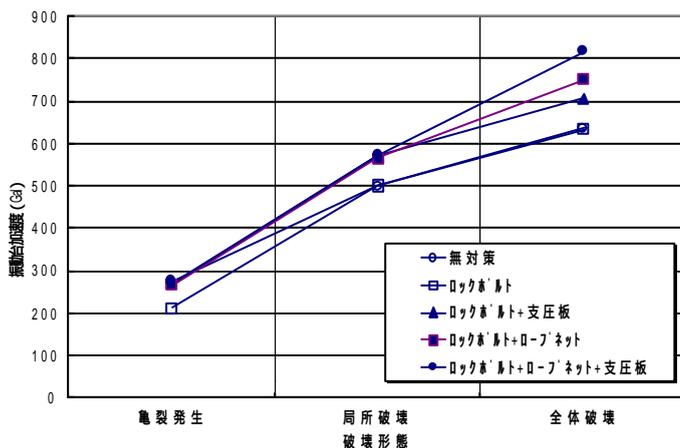
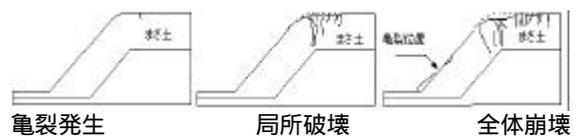


図-2: 破壊形態と振動台加速度



破壊形態は3つのパターンに分類される。初期段階としては天端における亀裂発生、これは一部の亀裂だけで斜面全体には大きな影響がない。次の段階としては、のり肩の局所的な破壊がある。最終段階としては、斜面の全体な崩壊がのり尻の破壊を伴って発生する。最終段階では、全体的な滑りを伴い大きな変形が生ずることになる。図-2には破壊形態と振動台加速度を示す。

模型実験 数値解析 まさ土 斜面安定 耐震

330-8660 埼玉県大宮市吉野町 2-272-3 (株)ダイヤコンサルタント 木村裕之 電話 048-654-3129 fax 048-654-3178

三次元非線形解析

三次元非線形解析は DYNFLOW と呼ばれるコンピュータ解析ソフトを利用した^[1]。このソフトは、静的な三軸試験で得られる強度定数（内部摩擦角と粘着力）を多面モデルによって、動的な砂質土の応力ひずみ関係を表現できることに特徴がある。本解析においても、模型地盤から採取して三軸試験結果から得た、上記の値を用いた。

表-2 法肩の最大変位と残留変位

三次元モデル				
モデル	解析		実験	
	鉛直方向		鉛直方向	
法肩変位 (mm)	最大変位	残留変位	最大変位	残留変位
無対策	-4.17	-4.04	-3.00	-2.91
対策	-4.01	-3.86	-2.03	-1.65

解析における入力加速度のレベルは250 Gal とした。これは全体的な破壊が発生しないが、亀裂が発生し非線形が強い状態にある段階である。

境界条件

地盤要素とロックボルト、ロープネットの境界条件は下記の通り。

- a) 地盤要素は架台に固定されている。
- b) ロックボルトの頭部ではロープネットに固定され、リンク要素を介して地盤要素と接している。
- b) ロープネットはロックボルトと直接に接続されており、架台端部でリンク要素を介して固定されている。

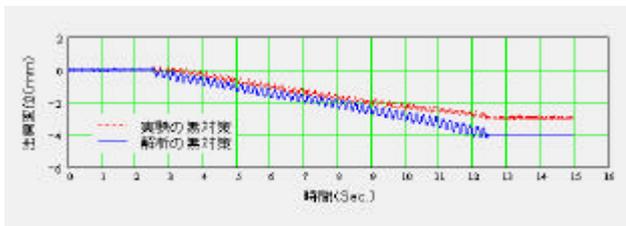


図 - 3 法肩の変位時刻歴（無対策）

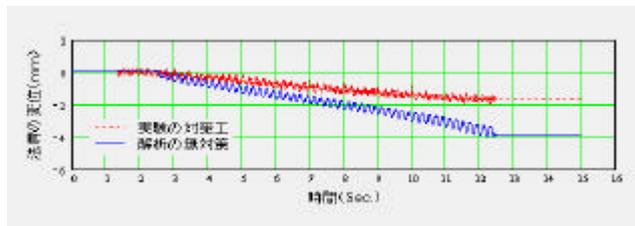


図 - 4 法肩の変位時刻歴（対策）

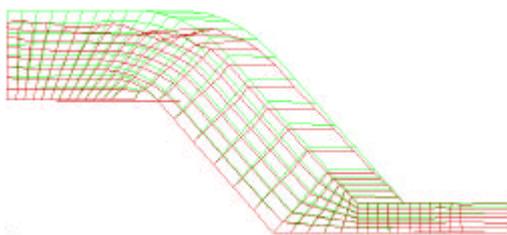


図 - 5 解析結果（無対策）（変形図：10 秒後）

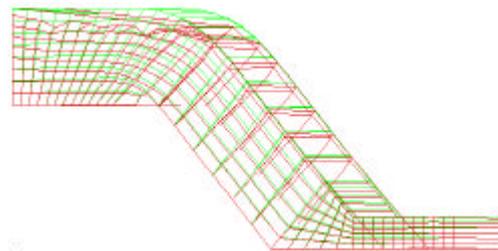


図 - 6 解析結果（対策）（変形図：10 秒後）

無対策の場合、最大鉛直変位量は 4.17 mm であり、実験結果では同じ位置における最大変位量が 3.00mm であった（表-2）。最大変位量の一致は必ずしもあるとは言えないものの、変位の発生傾向や地震時応答は近い結果となった。

対策工のある場合、地盤のソリッド要素と対策工の梁要素とを剛結（節点を共有）すると、剛性が大きく異なる材料が直接結びつくため、計算上は解が収束しない結果となった。そこで、上記のようなリンク要素を用いることで、要素間の剛比の差を軽減する緩衝材の役割を持たせ、全体的なバランスを改善し対策工の効果を表現した。

おわりに

2つのモデルにおける実験および解析結果を比較すると、

- 1) ロックボルトとロープネットの併用工法は地震時の斜変形抑止効果を持ち、リンク要素を用いることで三次元非線形解析においても対策工の効果を表現できた。
- 2) 解析結果と実験計測結果における変位量は傾向が近似しているものの、今後の天端の亀裂発生などの不連続面や解析パラメータについての検討が必要と思われる。

謝辞

本業務において、業務推進にあたってご意見・ご指導を得る目的から、アドバイザーとして神戸大学沖村教授、同大学田中教授、東京工業大学大町教授、森林総合研究所地すべり研究室松浦室長、港湾技術研究所耐震構造研究室菅野室長、（株）大林組技術研究所後藤部長には貴重なご助言をいただき感謝申し上げます。

参考文献

[1] Prevost J. H. [1989], *DynaID, A computer program for nonlinear seismic site response analysis*, Technical report NCEER-89-0025, Princeton University, Princeton, New Jersey