地すべり抑止アンカー工の耐震補強効果の数値解析的評価

群馬大学大学院　学生会員　○松下圭佑,門間俊之
群馬大学大学院　　正会員　　若井明彦

１．はじめに

著者らは以前より動的弾塑性 FEM に基づいてアンカー工の耐震補強効果を評価するための研究を進めてきた（若井・源田（2008)）。若井・門間（2010）は既存すべり面を有する斜面を対象とした同様の FEM 解析を行い，すべり土塊の力学特性がアンカーの効果に影響を与えることを明らかにした。本稿では，より多様な条件下での解析結果の比較検討に基づき，斜面内のアンカーの抵抗機構について考察を深める。

２．解析対象

二次元モデル化した解析対象に対して，せん断強度低減法（SSRM）により斜面の全体安全率計算と動的弾塑性 FEM による地震応答解析を行う。二次元モデルに対する解析精度の妥当性に関しては既往の文献（若井・源田（2008））で証明されている。解析対象は図-1 のような仮想斜面とする。斜面を構成する土は基盤を構成する固い土と残留強度状態の既存すべり面（弱い層）の 2 種類である。図-1 には奥行き方向のアンカーの打設間隔（1.5m）およびその二次元モデル化の概念図を一緒に示した。単位奥行きで等価モデルを考えるため各材料の剛性の平均化を行った。二次元有限要素メッシュ（8 節点要素）を図-2 に示す。地震応答解析においては解析領域端部の反射波の影響を小さくするため，斜面部より十分離れた位置までを解析領域とした。材料定数は，若井・門間（2010）と同様のものを用いたもの（ケース A）と基盤を構成する固い土のヤング率を小さくしたもの（ケース B）の 2 種類用意し，アンカーの無い斜面，図-1 のアンカーを有する斜面（初期緊張力ゼロ），同じく初期緊張力 45kN の斜面，の 3 通りの解析を行った。また若井・源田（2008）にて使われた斜面を構成する土が均質であるケースも比較対象として、同様に 3 通り解析を行った。材料定数の一覧を表-1 に示す。なお地震応答解析時に斜面にかかる減衰力を両ケース共に同じにするために，ケース A の Rayleigh 減衰の定数 β をケース B のものの 1/10 にしている。

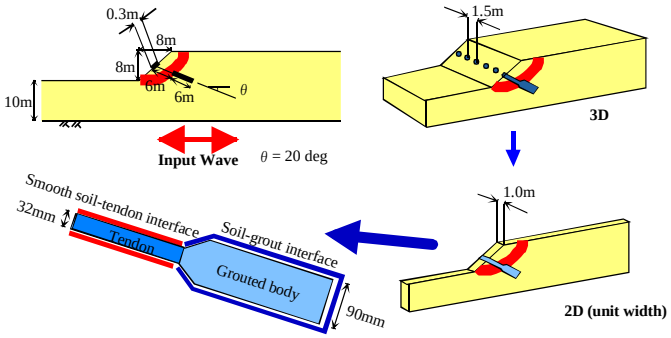

図-1　解析対象とするアンカー補強斜面

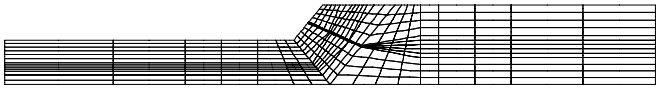

図-2　二次元有限要素メッシュ（8 節点要素）

３．安全率計算

弾完全塑性モデルに基づくせん断強度低減法（SSRM）により斜面の全体安全率を求めた。その結果得られた安全率 *Fs* の一覧をまとめたものが表-2 である。斜面がアンカーを有することでケース A, B 共に全体安全率が増加しているのがわかる。また、土が均質なケースに比べて全体安全率が増加しているのがわかる。さらに両者を比較すると，どの条件下においても安全率に差がないことがわかる。これより，極限平衡的な視点でのアンカー力の大きさに大きく影響を与えているのはヤング率ではなく，粘着力と内部摩擦角であると考えられる。

４．地震応答解析

動的弾塑性 FEM による地震応答解析を行った。基盤とすべり面の 2 種類の土の構成モデルには UW モデル（Wakai & Ugai, 2004）を用いた。アンカーを構成するテンドンとアンカー体は弾性体，テンドンー土間およびアンカー体－土間の接触部分については摩擦を表現するための薄い要素（弾完全塑性体）を挿入した。解析における入力地震波（水平）には，旧山古志村竹沢での強震観測記録の EW 成分（図-3）を図-2 の解析領域の下端に入射した。斜面肩位置の鉛直変位の時刻歴を図-4 にそれぞれ示す。アンカーを施工することによ

キーワード　地震　斜面　動的　弾塑性 FEM
連絡先　〒376-8515　群馬県桐生市天神町 1-5-1　　keisuke@geotech.ce.gunma-u.ac.jp

って斜面肩の変位量がケース A は 2/7 程度(43.4cm 減), ケース B は 3/7 程度(65.6cm 減)に抑制されている。安全率計算の時と異なり，地震時においてはアンカーの性能にヤング率が影響すると考えられる。ケース A，B 共に初期緊張力を導入しないケースと導入したケース（45kN）の差は今回の解析条件下ではみられなかった。全体の変形モードについて確認するため，アンカーの無い斜面のケースとアンカーを施工したケース（初期緊張力 45kN）それぞれの地震後の変形性状図を図-5 に，地震後の残留せん断ひずみ分布を図-6 に示す。ケース A, B 共に変形, せん断ひずみの発生の傾向は同じであるため，ケース A のみ示す。図-5 よりアンカーを施工することにより，斜面の地震後の滑り出し量が低減されている。すべり面の位置は，図-7 によると，アンカーを施工しないケースではすべり面位置のひずみが大きいのがわかる。また，アンカー施工時には斜面先と受圧板付近で若干のひずみの増加の生ずることがわかる。最後に地震中のアンカー力の変化傾向について確認する。図-7 は初期緊張力を導入しない時と導入した時（45kN）それぞれのアンカー力の時刻歴である。初期緊張力 45 kN 時にアンカー力がケース A では 237kN, ケース B では 260kN 発生しており，斜面の変位抑制量に対応したアンカー力が働いているといえる。

５．まとめ

二次元動的弾塑性 FEM により，土の特性がアンカー工の耐震補強効果に与える影響の検討を行った。すべり面を挟み込む土の粘着力と内部摩擦角が大きな影響与えていることがわかった。また地震時においてはヤング率も前者ほどではないが影響を与えていることがわかった。今後はこの点に着目し研究を進めていくべきであろう。

参考文献

Cai, F. and Ugai, K. (2003) : Reinforcing mechanism of anchors in slopes: a numerical comparison of results of LEM and FEM, Int. J. Numer. Anal. Meth. Geomech., Vol.27, pp.549-564.

若井･源田(2008)：アンカー工による斜面の耐震補強効果についての基礎的研究：第 47 回日本地すべり学会研究者発表会講演集，pp.225-228

若井・門間(2010)：地すべり抑止アンカー工の耐震補強効果の検討：第 49 回日本地すべり学会研究発表会講演集(印刷中)

表-1　解析に用いた材料定数

材料		ヤング率 $E(kN/m^2)$	ポアソン比 ν	粘着力 $c(kN/m^2)$	内部摩擦角 ϕ	単位体積重量 $\gamma(kN/m^3)$	Rayleigh減衰 α	β
受圧板		1.0×10^{10}	0.3	-	-	1.0×10^{-10}	-	-
テンドン		2.1×10^{8}	0.3	-	-	1.0×10^{-10}	-	-
アンカー定着部		2.4×10^{7}	0.2	-	-	1.0×10^{-10}	-	-
土-テンドンの接触面		2.0×10^{5}	0.25	0.01	0	1.0×10^{-10}	-	-
土-定着部の接触面		2.0×10^{5}	0.25	12	20	1.0×10^{-10}	-	-
若井・源田(2008)		2.0×10^{5}	0.25	12	20	20	0.172	0.00174
すべり面		2.0×10^{5}	0.25	12	20	20	0.172	0.00174
土	ケースA	2.0×10^{6}	0.25	100	35	20	0.172	0.000174
	ケースB	2.0×10^{5}	0.25	100	35	20	0.172	0.00174

表-2　斜面の全体安全率 Fs

	若井･源田(2008)	ケースA	ケースB
アンカーなし	1.09	1.09	1.09
アンカーあり初期緊張力 0kN	1.21	1.34	1.34
アンカーあり初期緊張力 45kN	1.21	1.33	1.33

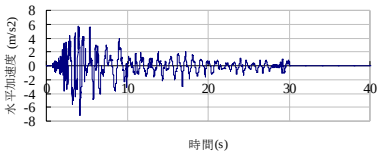

図-3　解析に用いた入力波形

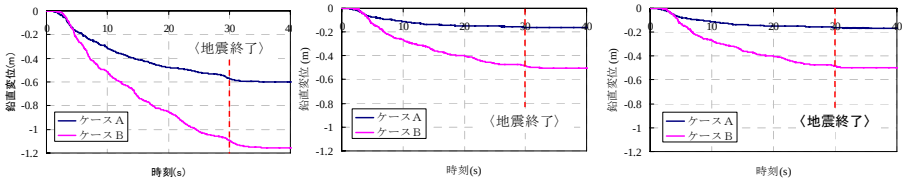

図-4　斜面肩位置の鉛直変位の時刻歴（アンカーなし，初期緊張力 0kN，45 kN）

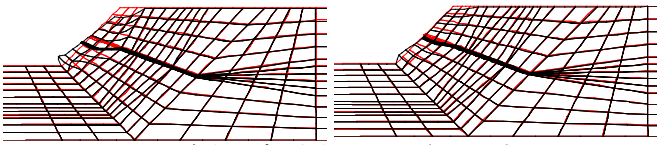

図-5　地震後の変形性状図　強調倍率 2 倍
（アンカーなし，初期緊張力 45 kN）

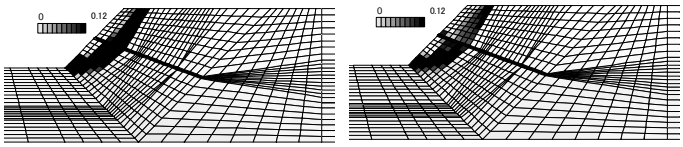

図-6　地震後の残留せん断ひずみ分布
（アンカーなし，初期緊張力 45 kN）

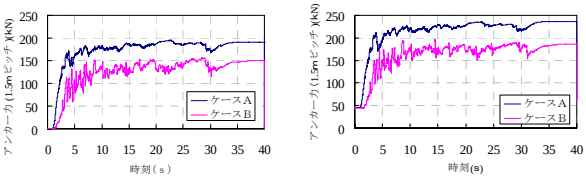

図-7　アンカー力の時刻歴（初期緊張力 0kN，45 kN）