

法尻掘削による斜面崩壊メカニズムに関する検討

伊藤和也*1

1 目的

道路拡張工事や急傾斜地対策工事では、重力式擁壁などの対策工を設置して最終的な安定性を向上させるケースが多く見られる。しかし、これらの施工中では、法面勾配を従前より一時的に急勾配とする切土掘削作業や、床付けに伴う法尻部の掘削作業などが行われている。このような行為は、切土法面下部の土砂崩壊に抵抗する“押さえ”を撤去することであり、法面全体を不安定化させることになる。

切土掘削工事における安全な施工方法としては、斜面上部から掘削し、アンカー等で補強しながら掘削を行なう「逆巻き工法」が挙げられる。しかし、逆巻き工法は、技術力およびコスト等の問題から中小規模工事では、ほとんど採用されていないのが現状である。過去の斜面崩壊による労働災害の多くは、請負金額・工期・作業人数がいずれも小さな中小規模工事であることから、斜面崩壊による労働災害を減少させるためには、経費に余裕のない中小規模工事においても利用可能な簡易で廉価な計測・崩壊警報システムや安全な対策方法の検討が必要となる。このように工事規模やコストの影響度合いを考慮すると、斜面の切取り工事における崩壊メカニズムを把握することが的確な崩壊予測および対策につながる。

そこで、本報では過去に実施した斜面下部の掘削による実物大斜面崩壊実験を再現した3次元有限要素解析から、法尻掘削による斜面崩壊メカニズムの把握を行った。

2 実物大斜面崩壊実験

本研究にて実施した3次元有限要素解析のプロトタイプとして実施した斜面下部の掘削による実物大斜面崩壊実験について簡単に記載する。なお、この実物大斜面崩壊実験の詳細については、文献*1に譲る。

1) 施工概要

大型宅地造成地域内において、高さ5m、斜面角度50度に切り取った地山を本体構造とし、腹付盛土形式で、高さ5m、斜面角度45度の試験盛土を作製した(図1)。斜面の切取りは、ドラグショベルを用いて行った。掘削方法は、1回の切取り高さが約0.5m毎とし、1回の掘削終了後、約5分間放置し、崩壊するまで掘削を行った。なお、掘削幅は2.5mとした。斜面の変形挙動は、幾つかの計測器を用いて実施しているが、ここでは、天端に設置した伸縮計と光センサー式2次元変位計の結果について示す。



図1 実物大規模実験に使用した試験盛土

なお、実験は2種類の地盤を2種類の転圧条件にて実施しているが、ここでは、解析対象とした成田砂地盤の2ケース(転圧無し、転圧有り)について示す。

2) 実験結果

成田砂の転圧無しのケース(以下、緩地盤とする)における伸縮計と光センサー式2次元変位計の変位計測結果を図2に、斜面の崩壊状況を図3にそれぞれ示す。切取り高さ2.5mの掘削中から盛土は徐々に変形し、伸縮計と光センサー式2次元変位計のy方向成分(鉛直方向成分であり、負値は沈下を示す)が約2mm移動した掘削終了直後には、斜面内で部分的な崩壊が生じた(図3(a))。その後、さらに切取り高さ3.0mまで掘削を行ったところ、x方向成分(水平方向成分であり、負値は掘削方向側を示す)も移動し、その掘削途中で側面を含んだ崩壊が生じた(図3(b))。そのため、掘削を一時中断し、経過を観察していたところ、2回目の崩壊時に崩れかけた箇所から3回目の崩壊が生じた(図3(c))。

次に成田砂の転圧有りのケース(以下、密地盤とする)における伸縮計と光センサー式2次元変位計の変位計測結果を図4に、斜面の崩壊状況を図5にそれぞれ示す。切取り高さ2.5mの掘削中にx方向成分・y方向成分でそれぞれ約3mmの変形を示した。さらに放置時間中にx方向成分で約1mm、y方向成分で約2mmの変形を生じた後、法面内から部分的な崩壊が生じた(図5(a))。その後3.0mまで掘削を行ったところ、掘削終了直後に天端を含めた大規模な崩壊が生じた(図5(b))。

これらの2つケースについて、3次元有限要素解析を行った。

*1(独)労働安全衛生総合研究所。

連絡先：〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6

(独)労働安全衛生総合研究所 建設安全研究グループ 伊藤和也*1

E-mail: k-ito@s.jniosh.go.jp

*1 伊藤和也, 豊澤康男. 斜面下部の掘削切取りによる斜面不安定性に関する実物大斜面崩壊実験. 土木学会論文集 C. 2009; Vol.65 No.1 : 254-265.

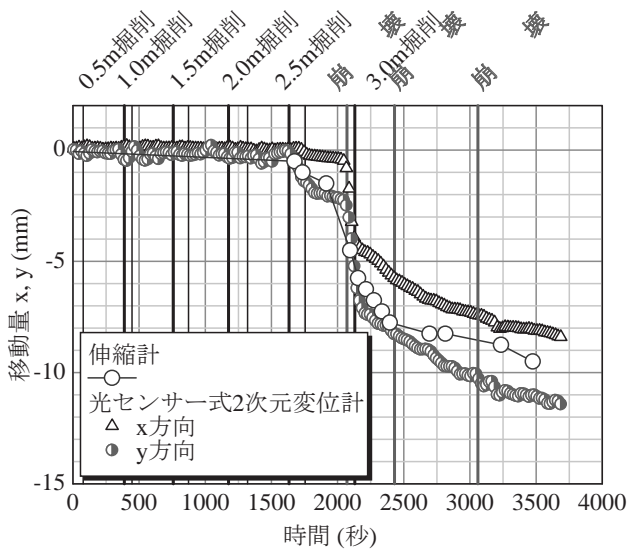


図2 緩地盤での変位計の時刻歴



(a) 1回目崩壊

(b) 2回目崩壊



(c) 3回目崩壊

図3 緩地盤での崩壊挙動

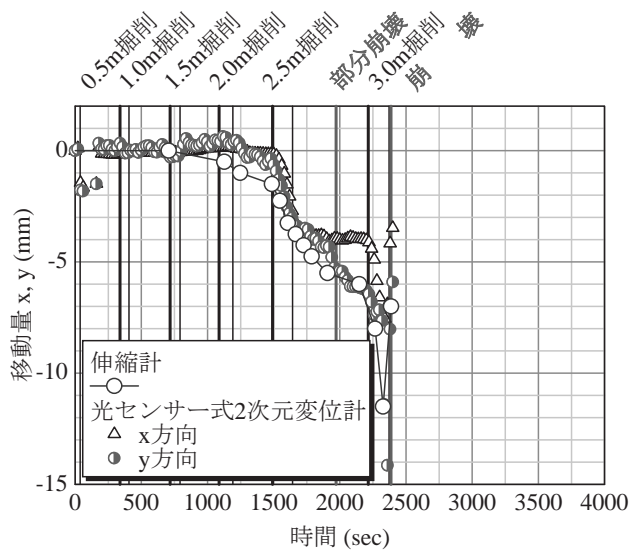
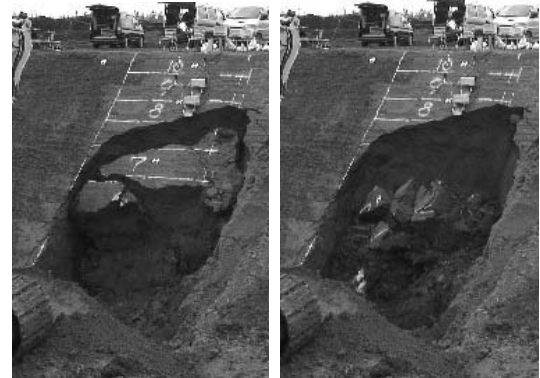


図4 密地盤での変位計の時刻歴



(a) 1回目崩壊



(b) 2回目崩壊

図5 密地盤での崩壊挙動

3 3次元有限要素シミュレーション

1) 解析概要

上述の2ケースの実物大斜面崩壊実験を対象として3次元有限要素解析を実施した。使用した解析ソフトはPlaxis 3D tunnel Ver. 2.4 (PLAXIS B. V.) である。地盤は、盛土と地山とし、盛土地盤高さを5m、斜面角度を45°とした(図6)。実物大斜面崩壊実験での切り取り掘削状況を再現するため、1回の掘削高さを0.5m、未掘削部を設けた掘削幅を2.5mとした。使用した解析パラメータを表1に示す。地盤の有限要素メッシュは、切り取り面付近における地盤状況を精度よく把握するために、図7のように局所的に細分化したメッシュとした。

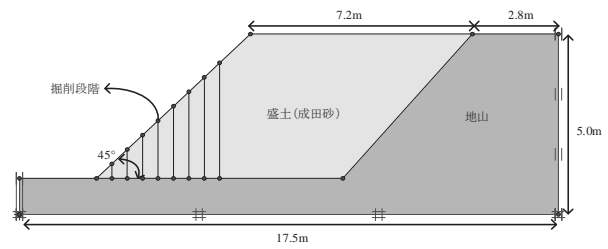


図6 解析対象地盤

表1 解析パラメータ

	緩地盤	密地盤	地山
単位体積重量 γ_t (kN/m ³)	15.4	16.4	20
ヤング係数 E (kN/m ²)	4512	4850	8000
ポアソン比 ν	0.35	0.35	0.35
粘着力 c (kN/m ²)	3.54	7.68	70
内部摩擦角 ϕ (°)	35.88	36.34	5

2) 解析結果

地盤全体の変形の様子、地盤内部の塑性領域の分布に着目し、崩壊メカニズムについて考察を行った。

(1) 地盤全体の変形の様子

切り取り掘削に伴う全体の変位量について、変位量毎に色分けしたものを図8に示す。実物大斜面崩壊実験での緩地盤を想定した解析結果では、掘削によって盛土地盤全体が変形していることが確認できる。特に切り取り面付近に変位が顕著に見られた。また、密地盤を想定した解析結果では、緩地盤での結果と同様に掘削によって盛土地盤全体が変形する傾向が見られたが、緩地盤と比較して変形は微少であった。

(2) 実物大斜面崩壊実験との比較

対象とした2ケースの地盤で、切り取り掘削に伴う斜面天端の鉛直変位量(法肩から0.7mの位置)に着目して解析結果と実物大斜面崩壊実験結果を比較した(図9)。なお、3次元解析に加えて2次元解析の結果も載せてある。実物大実験結果は2ケースの実験でともに切り取り掘削高さが2.5mに達した際に崩壊が生じたものの本解析では高さ4.0mに達しても崩壊しなかった。しかし、2次元解析結果と比較すると、特に転圧5回の密地盤では、崩壊に至る過程では切り取り掘削段階の初期において、斜面天端で崩壊の前兆現象であると考えられる実物大実験と

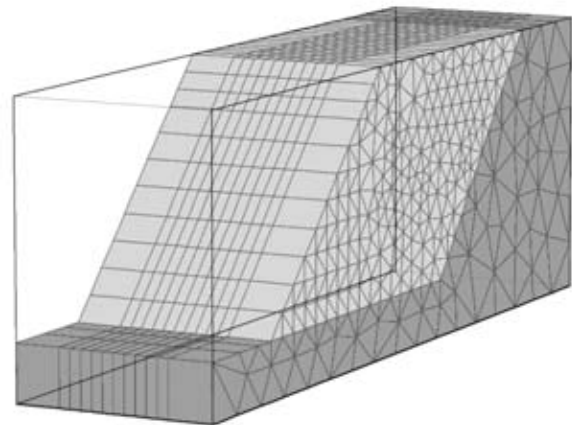
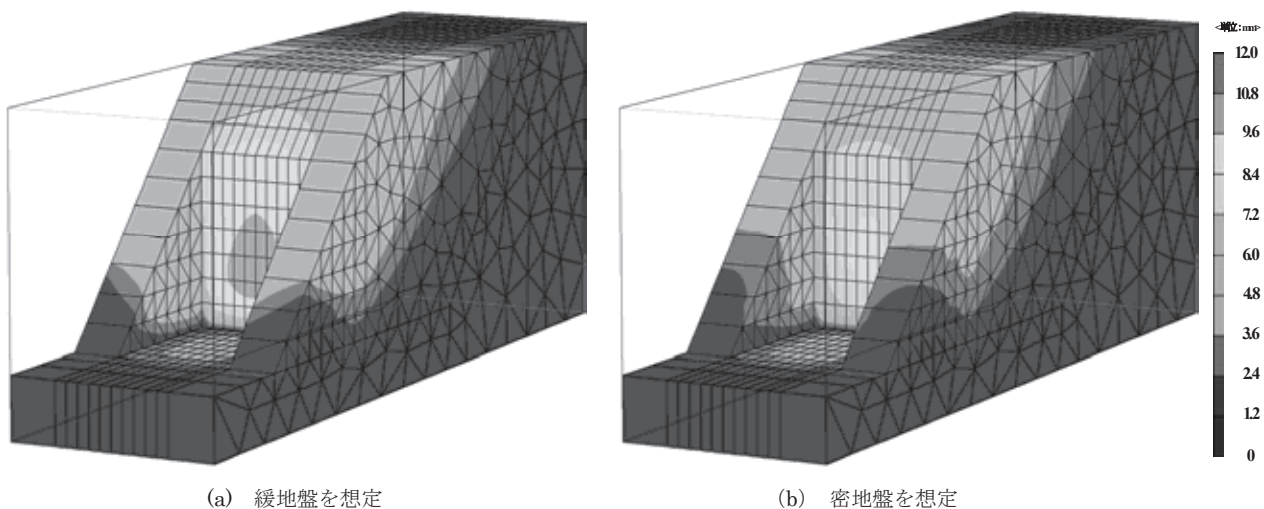


図7 有限要素メッシュ



(a) 緩地盤を想定

(b) 密地盤を想定

図8 地盤全体の変形の様子

近似した変位量を表すことができた。すなわち、本解析では、実物大実験条件と同様に未掘削部を設けることにより、実際の掘削に伴う地盤の変形状況をほぼ正確に捉えることができたと考えられる。また、微小な変位量が整合しなかった原因としては、実物大実験で用いた試験盛土内部の強度のバラツキが影響していると考えられる。また、2次元解析結果では、実物大実験の結果と比較して過大な変位量を示す結果となった。

(3) 崩壊メカニズム

本解析で用いた解析ソフトでは、地盤内部の塑性領域と引張領域を捉えることができる。そこで、今回対象とした解析モデルでの地盤内部の塑性領域に着目し、実物大実験結果を参照することにより切土掘削工事中の斜面

崩壊メカニズムを検討する。2ケースの地盤での掘削による塑性領域の発生状況について図10に示す。なお、これらの図は、地盤の中央で2分割した断面図である。緩地盤を再現した解析結果では、掘削に伴い塑性領域が天端方向に向かって拡大した。一方、密地盤を再現した解析結果では、掘削の進行に伴い掘削面下部でのみ塑性領域のみみられた。これは、法尻部が局所的に崩壊した後、上部にあった土塊が崩落した実大実験結果に対応した結果といえる。

法尻掘削による斜面崩壊メカニズムは、法尻掘削により掘削面下部に応力が集中することで、局所破壊が起き、そこから上部に発展していく“進行性破壊”が主であることが、解析結果からも示すことができた。

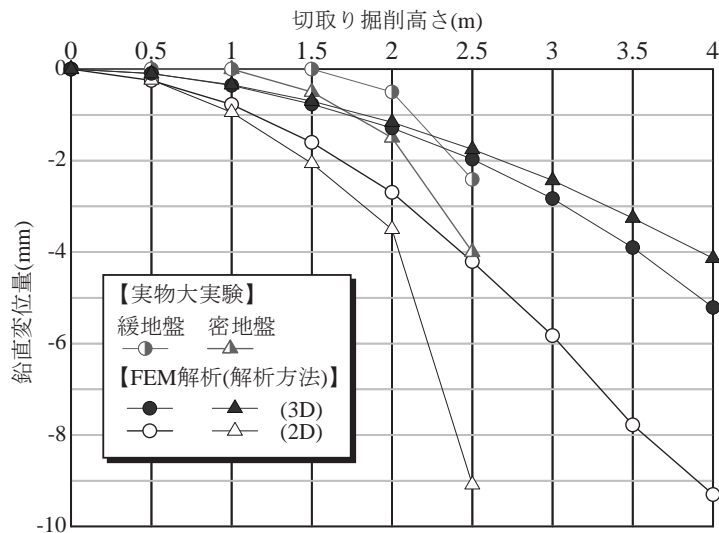
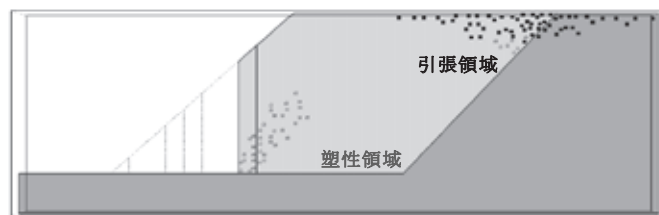
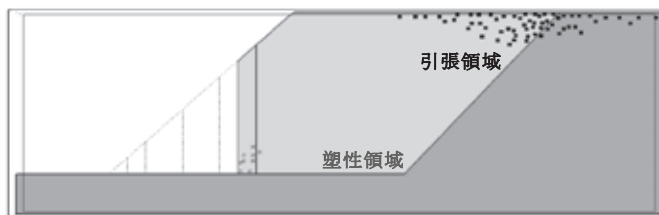


図9 実物大斜面崩壊実験とFEM解析結果の比較(鉛直変位量)



(a) 緩地盤



(b) 密地盤

図10 塑性領域の分布