

新離散化モデルによる地盤基礎の極限解析(その3)

— 斜面安定問題 —

Limit Analysis of Soil and Rock Foundation by Means of New Discrete Models (3rd Report)

— Slope Stability —

竹内 則雄*・川井 忠彦*

Norio TAKEUCHI and Tadahiko KAWAI

1. はじめに

斜面は盛土、切土を行うことにより頻繁に生ずる。この斜面は、たとえば河川の堤防のように重要な構造物が多く、その事故時における被害の大きさを考えると慎重に安定性を検討する必要がある。従来、斜面の安定解析には円弧切り面を用いる方法が多く使われてきた。また有限要素法の発達とともに連続体近似による解析も試みられ、一応の成果を上げている。しかし、前者の方法では、複合切り面や多層地盤等の場合、切り面を決定するのは難しい。一方、後者の方法においても切り等の不連続性を考慮することができない。

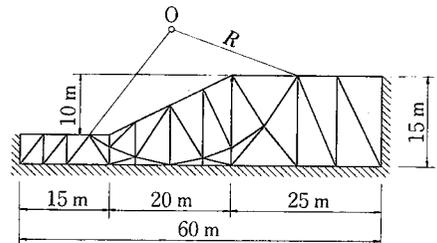
さて、川井によって提案されたモデル^{1)~3)}も一般化された極限解析用のモデルであるため変位に対する信頼性は低いが、上記の欠点のある面で補うことができるモデルではないかと考える。そこで、二三の簡単な数値計算例を通してその有効性を確かめた。

2. 均一有限斜面の安定解析

均一有限斜面の破壊形式は仮定した円弧切り面の位置によって斜面先破壊、底部破壊、斜面内破壊の3つのパターンに大別される。もし、内部摩擦角が零であるなら斜面の傾度と深さから破壊形式を知る図表が Taylor によって与えられている。そこで、この図表を利用して底部破壊をすと思われるモデルを設定し、仮定した半径 R (16 m, 20 m, 25 m, 30 m) の変化による安全率の変化を調べてみた。図 2・1 はモデル図と計算に用いた材料定数が示してある。境界条件については図に示す通りである。

図 2・2 は各円弧切り面の半径に対する切り線と安全率を書いたものである。境界条件として底面を固定しているため、斜面先端部の底面に切り線が生じている。計算によれば斜面がメカニズムとなって崩壊するのは円弧切り面のためであるが、さらに複雑な構造になると底部

* 東京大学生産技術研究所 第 2 部



$R = 16, 20, 25, 30$ (m)

MATERIAL PROPERTIES

Young's modulus 1.0×10^4 t/m²

unit weight 1.85 t/m³

Poisson's ratio 0.3

angle of internal friction 0°

cohesion 1.0 t/m²

図 2・1 均一有限斜面の斜面先破壊に対するモデル図

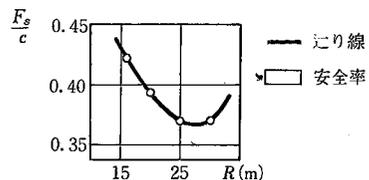
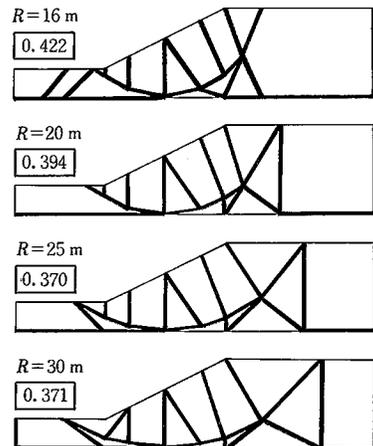


図 2・2 仮定した半径に対する切り線と安全率

の破壊を含む複合り面を形成し易いことを示している。

次に、安全率について考えてみる。内部摩擦角が零で破壊条件にトレスカの条件を用いた場合を考え、円弧り面上のせん断力が許容値と同じ値になるときの単位体積重量(γ^*)と本来の土の単位体積重量(γ)の比(γ^*/γ)を安全率とした。この安全率をプロットしたものが図2・2の下段に示してある。この結果、 $R = 27.5$ m付近の円弧り面が一番危険な円であることがわかる。

そこで、図2・3に示されるような大胆な要素分割を行ってり線と安全率を調べてみた。この要素分割には半径20 m、27.5 m、35 mの円弧が含まれている。図2・2から、 $R = 27.5$ m附近が危険な円弧であると理解されていたが、この R より小さな円弧では斜面先の方が破壊し易く、逆に大きな半径の円弧では後方が破壊し易いという結果となった。もちろん、 $R = 27.5$ mの円弧は全面にわたってり、これによって斜面はメカニズムになる。このときの安全率は図2・2からも読み取れる0.366になった。

3. 鉛直斜面の安定解析

地山の中には鉛直に切土をしても安定である場合がある。このような斜面の場合、斜面の一部が前方に倒れて引張クラックが発生し易い状態になる。本節では、このような問題に対処するための考え方を述べ簡単な数値計

算を行ってみる。

破壊条件としてモール・クーロン(直線包絡線)を用い

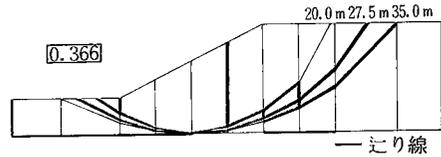
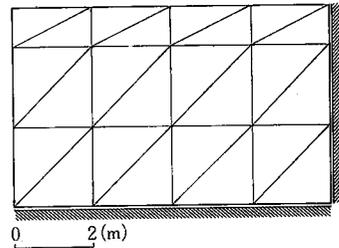


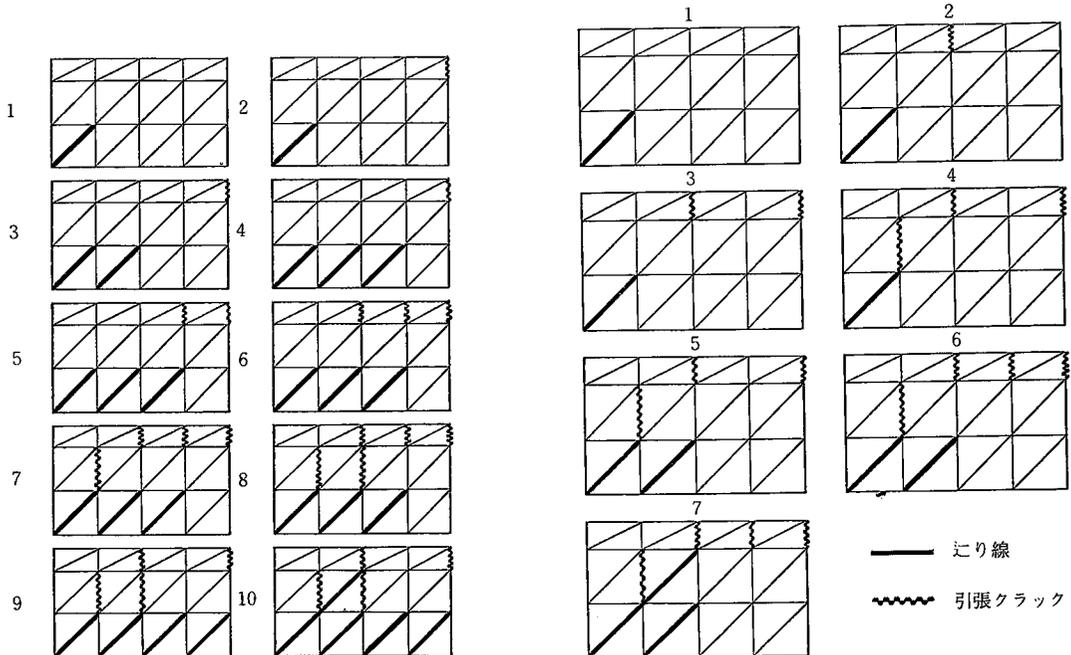
図2・3 半径20 m、27.5 m、35 mの円弧り面を含む塑性解析結果



MATERIAL PROPERTIES

Young's modulus	100(t/m ²)
Poisson's ratio	0.4
cohesion	1.8(t/m ²)
angle of internal friction	10(deg)
unit weight	1.8(t/m ³)
tensile strength	0.6(t/m ²)

図3・1 鉛直斜面の安定解析に用いたモデルと材料定数



(a) 底面を固定した場合の結果

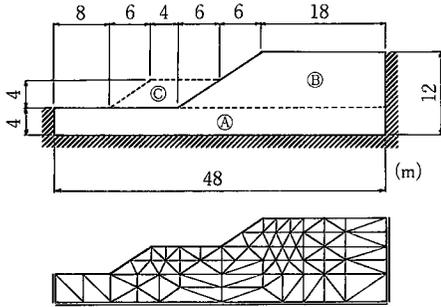
(b) 底面をスライドした場合の計算結果

図3・2 鉛直斜面の安定解析結果

研究速報

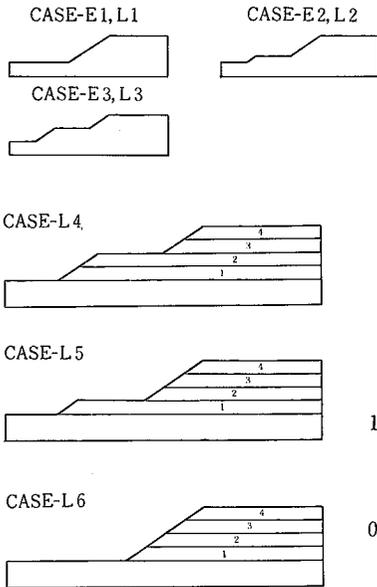
た場合、内部摩擦角が小さければ小さいほど引張強度が大きくなる。そこで、この条件に引張に関する許容値を設け、引張に対する増分率とせん断による増分率の小さい方の増分率を用いて増分計算を行う。せん断によって破壊した場合は、通常の塑性流れ則に従い、一方、引張による場合はせん断、垂直の2種のバネを切断する。

さて、図3・1は本モデルに先の破壊条件を用いて解析したときのモデル図である。境界条件として、底面を固定した場合とローラーにした場合の2通りを考えている。



	Ⓐ	Ⓑ	Ⓒ
Young's modulus (t/m ²)	1.0×10 ⁴	1.0×10 ⁴	
Poisson's ratio	0.3	0.3	
cohesion (t/m ²)	2.0	1.5	
unit weight (t/m ³)	1.7	1.7	
angle of internal friction	0°	0°	

図4・1 逐次盛土に用いた解析モデル



CASE-E : ELASTIC ANALYSIS
CASE-L : LIMIT ANALYSIS

図4・2 逐次盛土の順番

図3・2は計算結果で、(a)が底面固定の場合、(b)がローラーの場合である。底面固定の場合、底部が始めに破壊し、次いで引張クラックが入ってゆく。引張クラックが入った後も再接触を認めているので8ステップから9ステップにうつる段階で引張クラックが1つ消え再接触する箇所が表れる。計算モデルは粗い要素分割なのではっきりとはわからないが、約1m前後の引張クラックと迂り線が結合して構造をメカニズムにするようである。(b)の場合もやはり、同様な傾向にあるが、底面が滑らかであるため再接触の現象は表れなかった。

4. 逐次盛土斜面の安定解析

盛土斜面は最終的に計画した斜面高まで逐次盛土を行って造成する。計算においてもその効果を考える必要がある。そこで、逐次盛土による要素の追加を認めるアルゴリズムを開発し、本モデルを使って計算を行ってみた。図4・1は逐次盛土に用いた解析モデルで、ⒸⒹが盛土部である。境界条件は図4・1に示す通りである。図4・2は計算を行ったモデルケースを示してある。Lは極限解析をまたEは弾性計算を行ったケースを示している。ケースE1, L1, L6は押さえ盛土のない場合で、その他は2mないし4mの押さえ盛土を考えている。

図4・3は押さえ盛土が無い場合の迂り線と荷重変位曲線を与えている。一度に斜面全体を盛土したときは底部破壊のパターンで斜面が崩壊した。一方、逐次盛土を行った場合、やはり、全重量が加わる以前に斜面は崩壊したと考えられるが、崩壊パターンは複合迂り面となっていた。そこで、変位の最大のもので全体の変位を割り、単位化した変形モードをプロットしてみた。図4・4はその結果である。斜面の崩壊時の変位パターンが良く表れているものと思われる。なお、一度の盛土の場合と逐次

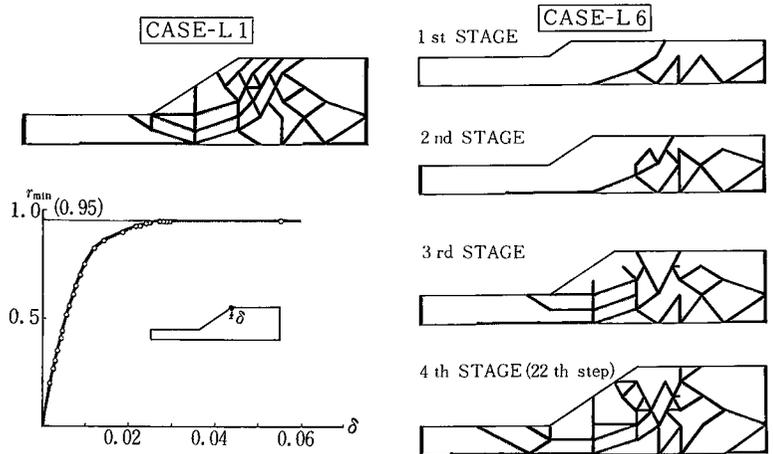


図4・3 押さえ盛土の無い場合の迂り線図と荷重変位曲線

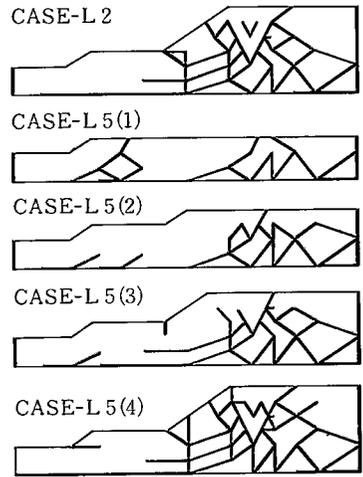
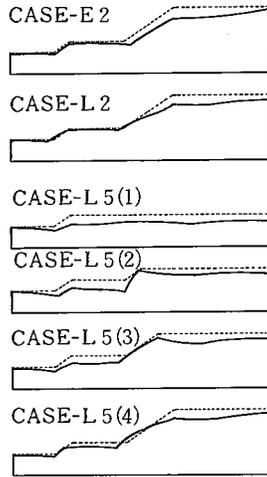
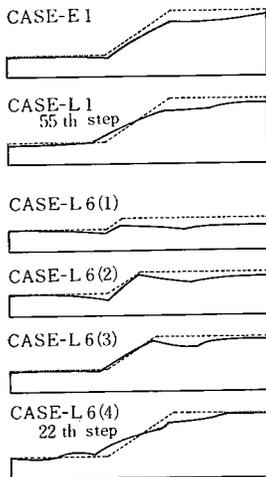


図4・4 押さえ盛土の無い場合の変形モード

図4・5 押さえ盛土を2m行った場合のり線と変位モード

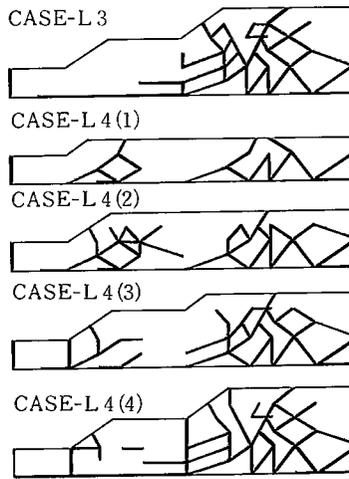
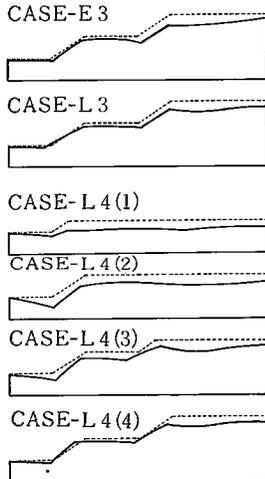


図4・6 押さえ盛土を4m行った場合のり線と変位モード

盛土を行った場合には変位パターンが異なる。

次に押さえ盛土が2mある場合について計算を行ってみた。押さえ盛土のまったく無いケースでは斜面が崩壊してしましたが、このケースでは崩壊まではいかなかった。り線図と変位モードを図4・5に示す。

最後に押さえ盛土を4m行った結果を図4・6に示す。この場合もちろん斜面は崩壊しなかった。変位モードについても、逐次盛土とそうでない場合とさほどの相異も見られなかった。

以上の計算では時間の効果が含まれていないが、ある程度の目安として逐次盛土の影響が見られるのではないかと考えられる。

5. む す び

川井によって提案された新離散化モデルを用いて斜面の安定解析を行った。極限解析用のモデルであるため変

位の信頼性は低いですが、変位モードについてはある程度予想し得る結果が得られた。また、破壊条件の設定のし方で引張破壊なども自由度の増減関係無く取り入れることができる。さらに逐次盛土の可能性の道を開き、押さえ盛土の有効性を確かめた。

要素の接触境界面にスプリングを設け、自由度を要素の重心に取っているため、要素の追加、削除が簡単に行える。斜面の安定問題にも十分使えることがわかった。

(1980年5月15日受理)

参 考 文 献

- 1) 川井：生研セミナー・テキスト(1977)
- 2) Kawai and Toi：J. of "Seisan kenkyu" Vol. 29. No. 4. 204-207 (1977)
- 3) 竹内，川井：土木年講概要集(1979)
- 4) 山口：土質力学，技報堂(1975)