

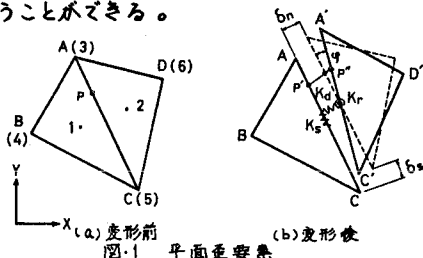
東大生研 正員 竹内 剛雄
 西松建設 正員 桑田 俊男
 東大生研 正員 川井 忠彦

1. はじめに

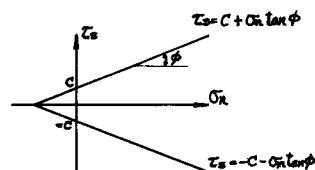
トンネルを施工する場合、坑口付近などでは、斜面の近傍を掘削しなければならないことがある。通常このような地質は、産層等であったり、土被りが浅いことが多く、最も破壊事故が起き易い。したがって、その斜面の安定性やトンネルへの影響などを予め調べておくことが重要である。従来、斜面の安定解析には円弧上り面を用いた方法や有限要素法による連続体近似の方法が多く用いられている。しかし、前者の方法でも、複合上り面が生じたり、刃層地盤である場合の上り面の決定が困難であるし、また、後者の方法も、あくまでも連続体近似であり、上りを十分に評価しているとはえない。ここでは、川井により提案された新離散化モデル（以後RBSMと称す）^{(1)~(3)}を一般化された極限解析用の離散化モデルと理解し、斜面中にトンネルを掘削した場合の地盤安定問題に応用した例を示す。本モデルは絶対変位量の信頼性が低いとはいえ、上り線、極限荷重、あるいは変位モードを十分に表現し得るモデルであるということが出来る。

2. RBSMの概要

解析領域を有限個の要素に分割し、各々の要素は一定厚の剛板と仮定する。この剛板の各々の境界面上に連続的に分布した垂直応力とせん断応力に抵抗する2種類のスプリング（ k_d, k_s ）を考え、各剛板はこれにより連結されているものとする。剛板の重心に平行変位（ δ_x, δ_y ）と回転（ θ ）の3つの自由度を採りスプリングに貯えられるエネルギーを評価して要素境界上の表面力（ σ_n, τ_s ）を求める。（図・1）このとき、仮想歪に相対変位から差分近似を行ない定義する。スプリング定数は実験及び実測から決定することが望ましい。



図・1 平面要素系



図・2 モーラー・クーロンの破壊条件

3. 破壊条件

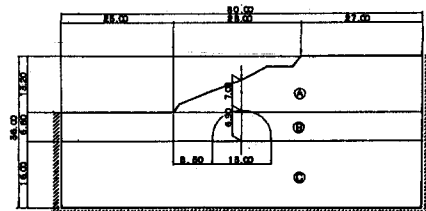
地山の破壊は、複数の原因が重なって引き起こされる。これらの破壊条件が重畳された万能型破壊条件は未だ確立されていない現状にある。今後、多くの研究者により破壊条件が提案されると考えられるが、ここではモーラー・クーロンの直線包絡線を用いた。（図・2）当条件下において、降伏関数 f と、

$$f = \tau_s^2 - (C - \sigma_n \tan \phi)^2$$

と置くことにより、塑性流れ則から破壊後のバネマトリックスが容易に導ける。⁽⁴⁾

4. 数値解析例

図・3に示すように斜面地質にトンネルが施工された場合のモデルを想定して解析を試みた。地盤は、益土地盤①、軟弱地盤②及び安定した地盤③の3層から成るものとし、材料定数は図に示したものを用いた。荷重は自重のみとし、境界条件はスライドとした。



図・3 斜面モデル

Material		(A)	(B)	(C)
Young's modulus	t / m^2	3000.0	3500.0	8000.0
	Pa	$29.4 \cdot 10^7$	$34.3 \cdot 10^7$	$78.5 \cdot 10^7$
Poisson's ratio		0.5	0.35	0.3
Cohesion	t / m^2	4.0	5.0	3.0
	Pa	$39.2 \cdot 10^3$	$49.0 \cdot 10^3$	$29.4 \cdot 10^3$
Unit weight	t / m^3	1.8	1.6	1.8
	kN / m^3	17.7	15.7	17.7
Angle of internal friction	deg.	0.0	0.0	40.0
	rad.	0.0	0.0	0.696

要素分割は図-4に示すものと用いた。計算にあたり、まず原地盤の斜面安定解析 (Case 1) から行なった。図-5-1~2はその結果である。変位モード図 (図-5-1) では、変形がスムーズであり、土り破壊を起こしているような挙動は見られない。また土り線図 (図-5-2) では、土り線が内部で発生しているものの、メカニズム (土り破壊機構) を形成していない。土り線発生部分の地盤の内部摩擦角を ϕ としていることも考え合わせれば、原地盤状態は安定であるといえる。しかしながら、何らかの外荷重を受けた時に、土り破壊を起こす要因が、既に発生していることがわかる。

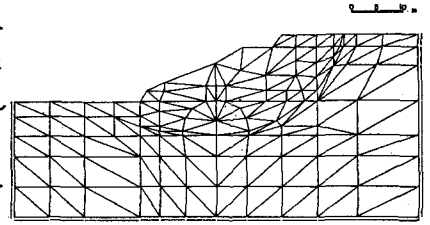


図-4 要素分割

次に、トンネルが掘削され、支保工が建て込まれた状態の解析を行なった。ここで支保工は、H-200 と 1 m ピッチとして、梁要素を用いて評価した。図-6-1~2及び図-7はその結果である。変位モード図 (図-6-1) では、盛工上部の一部が大きく沈下し、法面の下部がはらみ出している。土り線図 (図-6-2) では、土り線がメカニズムを形成している。さらに、塑性計算における荷重増分率 (γ) と縦軸に、トンネル壁面の変位量 (水平 $\rightarrow$ X, 鉛直 $\rightarrow$ Y) を横軸にとったグラフ (図-7) では、 γ が約 0.7 を越えると、変位が急増する。以上の結果より、Case 2 では、土り線破壊が起きると判断できる。従って、このような場合には、図-5-2 で表われた土り線地溝を中心、トンネル掘削部周辺の地盤を強化もしくは補助した後、トンネル掘削施工をする計画を立てなければならぬ。

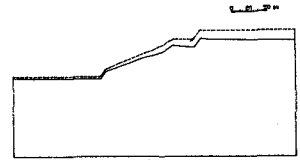


図-5-1 原地盤変位モード

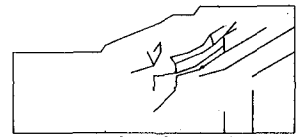


図-5-2 原地盤土り線

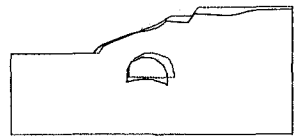


図-6-1 掘削後の変位モード

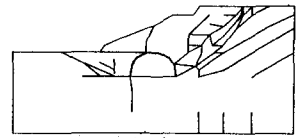


図-6-2 掘削後の土り線

5. おわりに

ここでは、原地盤状態と掘削支保後の状態について検討したが、掘削時の解析及び補助工法も含めた解析なども行ない、比較検討することにより、より設計に役立つ計算手法になると考える。当手法を適用して次の長所を得た。

- (1) 土り線が有限要素法と比較して明確である。
- (2) 最も危険性の高い土り線を見ることが可能である。
- (3) 地表及びトンネル壁面の変形状態がどのようなになった場合に土り破壊を起こすかを予知できる。

以上のように、RBSM と斜面近傍のトンネル掘削時の地盤安定解析に応用することは、有効であり、良好な結果が得られると考える。

参考文献

- (1) Kawai, T.: "New element models in discrete structural analysis", 日本造船学会論文集, 141 (1977)
- (2) 竹内川井: "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 -" 生産研究, 32, 8 (1980)
- (3) 中村竹内川井: "斜面安定問題に対する離散化解析" 第35回土木年誌概要集 (Ⅱ部門) (1980)
- (4) 川井編: "生産セミナーテキスト" (1980)

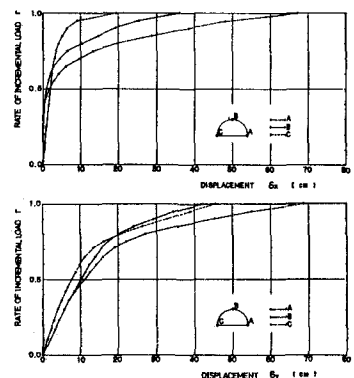


図-7 $\gamma - \delta$ 曲線 (Case 2)