

西松建設(株) 正員 桑田 俊男
東大生研 正員 竹内 則雄
東大生研 正員 川井 忠彦

1 はじめに

斜面沿いのトンネルを施工する場合、斜面の土り安定とトンネルに作用する偏土圧対策が問題になる。これらは、相互に影響を及ぼしあうので、独立して考えることはできない。従来、このような場合には有限要素法による解析が広く用いられてきた。しかし、有限要素法は連続体近似を基本としているため、土りを十分に評価しているとはいえない。近年断層等を表現するため、ジョイント要素・結合要素を組み込んで評価する方法が提案されているが、扱いが煩雑になるようである。ここでは、川井により提案された新離散化モデル⁽¹⁾⁻⁽³⁾(川井モデル)を一般化された極限解析用の離散化モデルと理解し、断層の存在する斜面沿いの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し、当法の有利点を紹介する。

2 川井モデルの概要

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バネとせん断バネ(k_n, k_s)を考え、剛板はこれにより互いに連結されているものとする。剛板の重心点に平行変位(δ_x, δ_y)と回転(θ)の3自由度をとり、隣りあった剛板の相対変位より、要素境界上の表面力(σ_n, τ_s)を求める。(図1)

このようにすれば、断層を要素分割境界上に沿うように分割するだけで、ジョイント要素と同様の評価ができる。

3 解析条件

図2に示すような断面にトンネルが施工される場合のモデルを考えた。地盤は、崖線部A、風化砂岩B、砂岩奥岩の互層C、そしてBとCとの間に断層があるものとして解析を試みた。材料定数は表の値を用いた。境界条件に3辺をスライドとし、荷重条件は自重のみを考慮した。なお、破壊条件はモール・クーロンの直線型包絡線を用いた。要素分割は図3に示すとおりである。掘削は上半断面先進工法によるものとして、上半、下半の2段階に分けて解析した。掘削断面は図4に示すとおりであるが、支保は巻厚60^{cm}のコンクリートライニングであるものとして梁要素によりモデル化した。

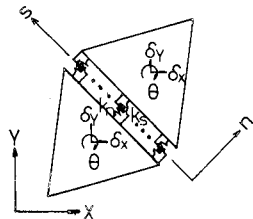


図1 川井モデル簡略図

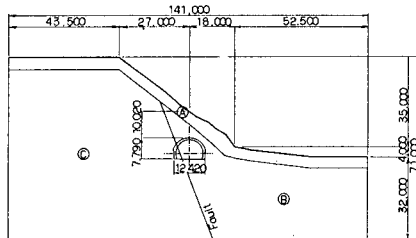


図2 斜面モデル

	A	B	C	Fault	Lining
Young's modulus	5.0 x 10 ⁴ (N / cm ²)	10 x 10 ⁴ (N / cm ²)	20 x 10 ⁴ (N / cm ²)	5.0 x 10 ⁴ (N / cm ²)	14 x 10 ⁴ (N / cm ²)
Poisson's ratio	0.44	0.33	0.30	0.44	0.167
Unit weight	1.80 (N / cm ³)	2.10 (N / cm ³)	2.40 (N / cm ³)	1.90 (N / cm ³)	2.30 (N / cm ³)
Cohesion	0.5 (N / cm ²)	1.0 (N / cm ²)	10.0 (N / cm ²)	0.5 (N / cm ²)	0.5 (N / cm ²)
Angle of internal friction	10 rad	25 rad	30 rad	10 rad	0.1745
Cross section	cm ²				800.0
Moment of inertia	cm ⁴				1.80 x 10 ⁴

表 材料定数

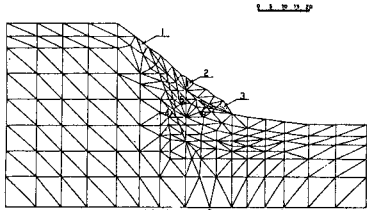


図3 要素分割

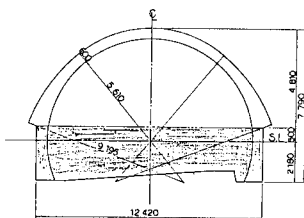


図4 掘削断面

4 数値解析例

計算にあたり、まず原地盤の斜面安定解析から行なった。図5はその通り線図である。断層は既に塑性化しているが、斜面を崩壊するような通り線は発達していない。よって、原地盤での斜面は安定であるといえる。次に、無支保でトンネル掘削した状態について解析した結果が図6～8である。図6・7より、上半掘削時で通り線が崩壊機構を形成し、下半掘削時には、その通り線形状がほとんど変化しないことがわかる。また、図8よりトンネル上部では地山がトンネルに向かって陥没する方向に変形し、斜面のすべり部では崖麓部が表層をり起こす方向にはらみ出す傾向が表われている。また、トンネル壁面の変形状態より、断層と平行方向に落盤を起こすと考えられる。次に、支保状態でのトンネル掘削解析を試みた結果が図9～10である。上半掘削時も下半終了時も通り線及び変位傾向に差がなかったため、最終状態のみを示した。図9によれば、通り線はすべり部で円弧通り面を形成する傾向にあるが、崩壊機構を形成するまでには到らない。また、トンネルアーチ壁面と地山との接触面で地山の破壊傾向がみられた。図10の変形モードを図8と比較すると、トンネルアーチ部の変形がスムーズになっていることがわかる。本来図8のような変形を起こそうとしているものを図10のように抑えらるとすれば、左上からの偏圧がアーチに作用することが予想できる。

5 おわりに

川井モデルにより当解析を試みて、次の長所を得た。

- 1 断層のモデル化が簡単である。
- 2 通り線が有限要素法と比較して明確に表われるため、判断し易い
- 3 通り線図と変形図から、斜面前壊が、表層をり、円弧をり、陥没のいずれのタイプに属するか、またどこで通りだすか判断できる。
- 4 斜面の安定だけでなく、トンネルの安全性や施工法の適不適まで予測することが可能である。
- 5 有限要素法と比較して計算時間が短い。

以上のように、川井モデルを断層を含んだ多層地盤斜面にトンネルを掘削した場合の地盤安定解析に適用すれば、斜面の安定性とトンネルの安全性が同時に判断できるため、今後のトンネル工事の有効な設計法になると考える。

参考文献

- (1) Kawai, T.: "New element models in discrete structural analysis", 土木学会論文集 141 (1977)
- (2) 竹内・川井: "新離散化モデルによる地盤基礎の有限要素解析(その3)", 生産研究 32 8 (1980)
- (3) 川井 編: "生研セミナーテキスト", (1980)
- (4) 竹内・桑田・川井: "新離散化モデルによる地盤基礎の有限要素解析(その5)", 生産研究 33 5 (1981)
- (5) 竹内・桑田・川井: "斜面近傍のトンネル安定解析" 第8回土木学会支部年報 (1981)

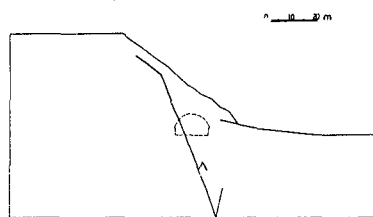


図5 原地盤の通り線(掘削前)

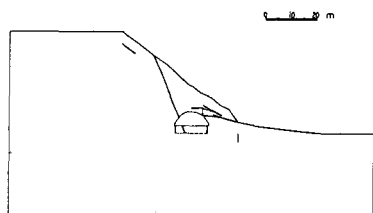


図6 上半掘削時の通り線(無支保)

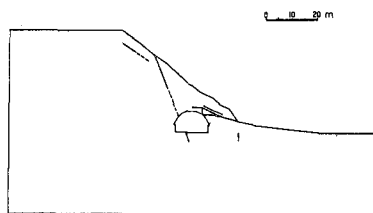


図7 下半掘削時の通り線(無支保)

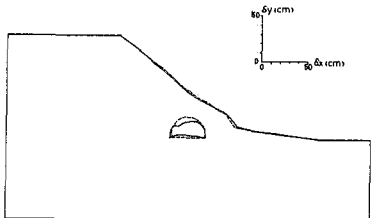


図8 下半掘削時の変位モード(無支保)

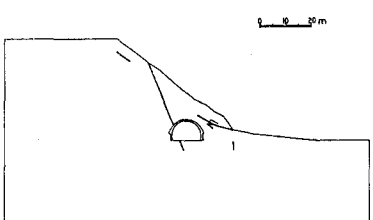


図9 下半終了時の通り線(支保)

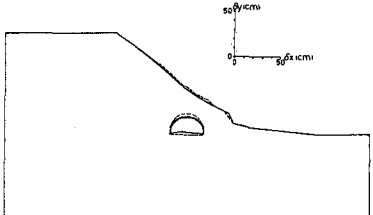


図10 下半終了時の変位モード(支保)