

西松建設（株） 正員 桑田俊男
 (株) 協和コンサルタンツ 正員 竹内則雄
 東京大学生産研究所 正員 川井忠彦

1. はじめに

川井により提案された離散化極限解析法(RBSM)¹⁾により、基礎的な数値実験から得られた NATM の支保効果とトンネル周辺地山の安定性との関係について報告する。

RBSM を地下構造物の安定解析に応用した場合の有効性については前回報告した。今回は全面接着式ロックボルトや吹き付けコンクリートを梁要素としてトンネル掘削解析に導入し、簡単な数値実験の結果得られた、NATM 支保の効果と周辺地山の安定性の関係についての一考察を述べる。

2. 解析手法

RBSM の概念的な理論については参考文献を参照されたい。ここでは、上記の梁要素の導入方法を、図1を用いて簡単に説明する。梁要素は、剛棒と「長さ0の剛棒(ピン)」との組み合わせ材料として、平面剛体要素の間に挟み込まれる。剛棒と剛棒を挟む平面要素との間は連続的に分布するバネ(k_n, k_s)と結ばれ、剛棒とピンとの間もバネ(k_n, k_o)で連結される。このようにすればロックボルトは地山と全面接着され、ロックボルトの断面力はバネ(k_n, k_o)により算出される。

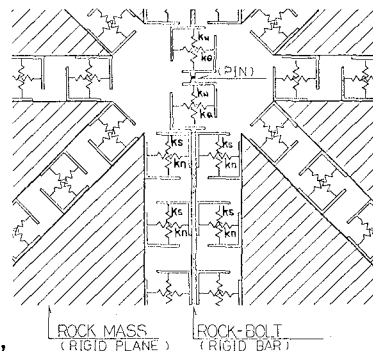


図1 梁要素導入図

3. 解析モデル

解析は平面ひずみ状態の弾塑性理論を用い、降伏条件はモール・クーロンの直線型包絡線を採用した。解析モデルは支保機能を明確にするため、単純なもの(図2)とし、要素分割はラベセビッツの示す最大せん断線を意識して分割している(図3)。材料定数は表1のとおりである。初期応力は静水圧状態で 20 t/m^2 とし、総ての自重は無視する。また、掘削は半径5mの円形を全断面掘削したものとする。

4. 解析例

解析例を、Case-1 無支保状態、Case-2 ロックボルト支保、Case-3 ロックボルト+吹き付けコンクリート支保の順に示す。

Case-1 無支保状態 ($C = 1.0 \text{ t/m}^2, \phi = 30^\circ$)

図4は無支保状態における土り崩壊線を示したものである。

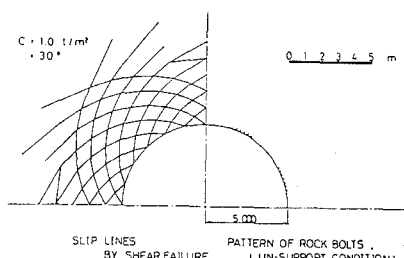


図4 Case-1 土り線図

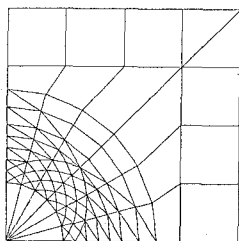


図5 要素分割図

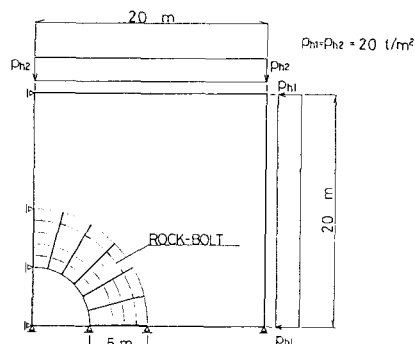


図2 解析モデル図

表1 材料定数

	ROCK MASS	ROCK BOLT	5% GEL
Young's modulus	1.0×10^4	1.0×10^4	1.0×10^4
Poisson's ratio	0.2	0.2	0.2
Cohesion	1.0	1.0	1.0
Angle of internal friction	30°	30°	30°
Section Area		1.0×10^{-2}	
Volume of element		1.0×10^{-2}	
Initial force		20	

図中ABCで囲まれたつりがね型の土り崩壊線は、ラプセビッツの最大せん断力線網により形成されるものと合致し、山はね現象で観察される崩壊形状とよく似ている。

Case-2 ロックボルト支保

図5は、ロックボルト（ $l=2\sim5\text{ m}$ ）のみで支保した場合の、地山とロックボルトとの間に作用するせん断応力、ロックボルトに発生する軸力、壁面の押し出し量を示したものである。これより、地山安定のために必要なロックボルト長は $\varphi=20^\circ$ で4 m、 $\varphi=30^\circ$ で2 mと推察される。図6は $\varphi=30^\circ$ 、ロックボルト長 $l=2\text{ m}$ の場合の土り線図である。図5の結果とあわせて考えると、図6は、ロックボルト打設により形成されたロックアーチを表わしていると考える。

Case-3 ロックボルト+吹き付けコンクリート支保

図7は $C=1.0\text{ t/m}^2$ 、 $\varphi=20^\circ$ 、ロックボルト長 $l=3\text{ m}$ 、吹き付けコンクリート厚 $t=10\text{ cm}$ の場合について、吹き付けコンクリートの変形係数によるロックボルトと吹き付けコンクリートの荷重負担の関係と、壁面の押し出し量をグラフにしたものである。ここで、吹き付けコンクリートは降伏しないものとして計算している。これより、吹き付けコンクリートが未だ固まらないうちに均衡に達した場合、その時のロックボルトと吹き付けコンクリートの荷重負担の割合や壁面の押し出し量は、吹き付けコンクリートの剛性により大きく変化するが、剛性が $1.0\times10^4\text{ kg/cm}^2$ を越えた時点で均衡に達した場合には、吹き付けの剛性による影響は急減することがわかる。また、図8は吹き付けコンクリートの剛性が $1.4\times10^3\text{ kg/cm}^2$ の場合と $1.4\times10^4\text{ kg/cm}^2$ の場合の土り線図である。これより $1.4\times10^3\text{ kg/cm}^2$ 以下の剛性の場合には不安定になってゆくことが予想される。

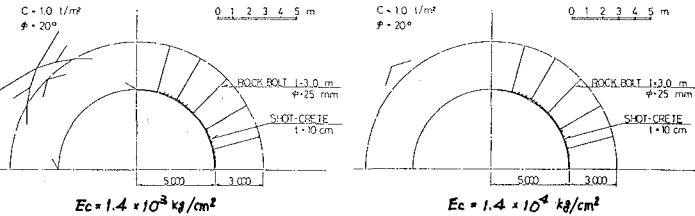


図8 吹き付けコンクリートの剛性と土り線との関係

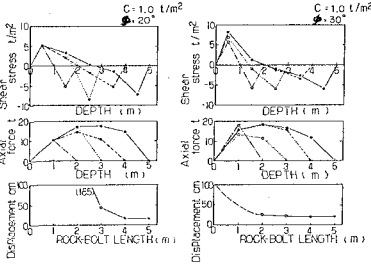


図5 支保効果グラフ

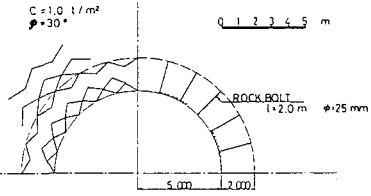


図6 土り線で表現されたロック・アーチ図

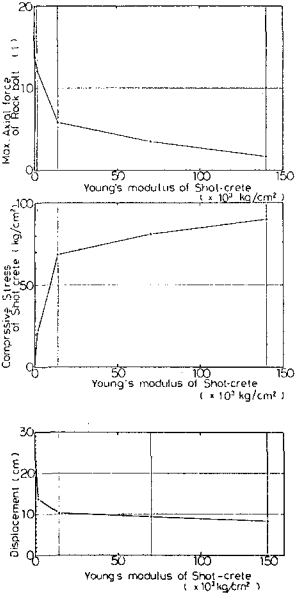


図7 支保分担グラフ

5. 考察

RBSMを用いて上記のようなケーススタディーを行なった結果、次の結論を得た。
(1) ロックボルトには、それぞれの地山に合った最適長がある。(2) 平衡達成時の吹き付けコンクリートの剛性は、NATMのシステム支保として地山の安定を計る上に大きな要因となる。

今後、吹き付けコンクリートとロックボルトの支保荷重負担の割合に関する定量的研究をする予定である。

参考文献 1)川井 純:『生研セミナーテキスト(コース6)』生産技術奨励会(1982)

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4)』生産研究 32-10

3)桑田・竹内・川井:『断層を含む斜面丘陵のトンネル掘削解析』第36回土木年講 Ⅲ(1981)

4)高山・今田:『NATM(2)』トンネルと地下 12-2(1981)