

VI-89

RBSMによるトンネル解析

(株)大林組 正員 水津 周
 北海道大学工学部 正員 三上 隆
 開発土木研究所 正員 城野 忠幸
 釧路工業高等専門学校 正員 芳村 仁

1. はじめに

トンネルの解析には、有限要素法(FEM)が一般によく用いられるが、剛体パネモデル(RBSM)¹⁻³⁾による場合は、比較的少ないようである。本報告は、厚さの薄い断熱材や防水シートがアイソレーション材として用いられたトンネル構造を取り上げ、RBSMによる解析を試みて、その妥当性・有効性の検討を行ったものである。

2. 解析モデル

1) 解析領域

トンネル・地山は2次元平面ひずみ問題とし、円形トンネルを解析の対象にした。降伏条件には次式のクーロンの降伏関数を用いて弾塑性解析を行った。

$$\text{降伏関数: } f = \tau^2 - (c - \sigma \cdot \tan \phi)^2 \quad (\text{引張りを正とする})$$

なお、トンネルの解析には掘削相当外法、塑性の解析には荷重増分法を用い、トンネルは直径7m、土被りを14mとする。以下の表1は材料の諸元であり、解析領域(トンネルの直径Dに対して水平方向に2.5D、鉛直方向に5D)と要素分割図は図1のとおりであり、太線はロックボルト挿入位置を示す。

表1 材料の諸元

	地山	覆工	ロックボルト
弾性係数 (tf/m ²)	5000	2000000	210000
ポアソン比	0.3	0.18	0.18
粘着力 (tf/m ²)	3.4	—	—
内部摩擦角 (°)	30	—	—
単位体積重量 (tf/m ³)	1.7	—	—
直径 (mm)	—	—	24
厚さ (cm)	—	30	—
長さ (m)	—	—	2.5

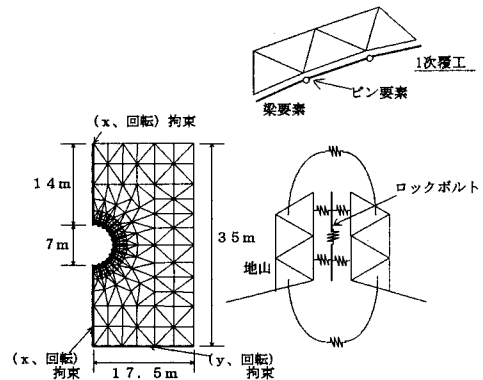


図1 解析領域

図2 1次覆工とロックボルト

2) 1次覆工とロックボルトのモデル化 (図2)

1次覆工はある程度の厚みがあり、厚さを無視できないが、地山との密着を考慮して梁要素とピン要素でモデル化する。一方、ロックボルトは、梁要素を用い、一般にロックボルトは軸力のみを受け持つことが多いので、軸力のみが作用するトラス要素にする。また、奥行き方向を考えると、ロックボルトをいれても、地山とおしはつながつているので、地山と地山、地山とロックボルトをパネで結合する。

3) アイソレーション材のモデル化 (図3)

アイソレーション材とは1次覆工と2次覆工の間にいれる断熱材、防水シート等のことである。アイソレーション材は、覆工に密着しているが、荷重状態によっては剥離することもある。それを考慮するために、アイソレーション材に一定値以上の応力がかった場合はパネを切断することにする。

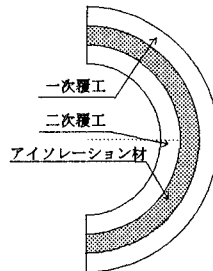


図3 アイソレーション材

表2 アイソレーション材の諸元

	アイソレーション材1	アイソレーション材2
弾性係数	623.0	13061
粘着力	1.4	1.4
tan φ (摩擦係数)	0.57	0.57
引張り強度	30.40	209.8
せん断強度	42.8	219.4

3. 解析結果

1) 一次覆工とロックボルトを考慮したとき

図4～6が、孔縁部の変形、降伏領域、地表面の沈下量をそれぞれの場合について比較したものである。覆工を入れる方が、また、ロックボルトを入れる方がすべての場合についてトンネルを安定させていることがわかる。

2) アイソレーション材、二次覆工を考慮したとき

図7がアイソレーション材1と2の解析結果を比較した図である。アイソレーション材2の方がアイソレーション材1より降伏領域は少し狭くなっている。（今回の解析では、アイソレーション材は断熱材のみで行った。）

4. まとめ

1) 取り扱った例題は、アルゴリズムを検証する程度の簡単なモデルではあるが、RBSMの有用性が確認できた。

2) アイソレーション材等のトンネル挙動に与える影響は、打設時期などの施工段階を考慮した解析を行う必要がある。

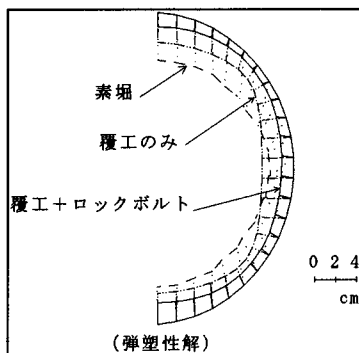


図4 孔縁部の変形

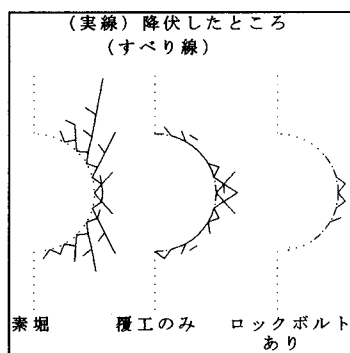


図5 降伏領域-1

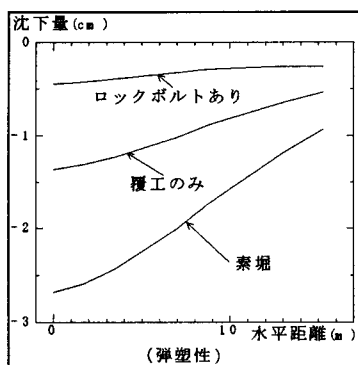


図6 地表面沈下-2

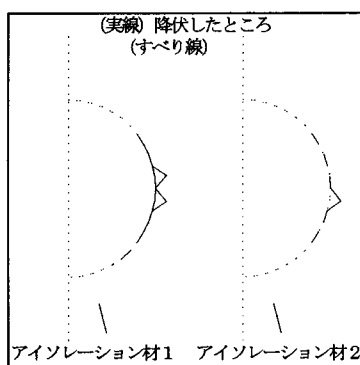


図7 降伏領域-2

<参考文献>

- 1) 川井 忠彦：離散化極限解析法概論 培風館 1991年
- 2) 川井 忠彦、竹内 則雄：離散化極限解析プログラミング 培風館 1991年
- 3) 川井 忠彦：地盤力学における離散化極限解析 培風館 1991年