

応用地質株式会社	正会員	織戸	和久
大日本土木株式会社	正会員	関野	英男
東京都立大学	正会員	西村	和夫

1. はじめに

山岳トンネル工法として採用され始めて以来めざましい普及を遂げているNATMは、わが国においてもその歴史は浅いものの、現在ではすでに山岳トンネル標準施工書において標準工法と位置付けされるまでに至っている。これはNATMの支保機構が地山が本来有する支持力を最大限期待できるので、安全性・施工性に優れた経済的な施工が可能となるためである。その特徴が解明されるにつれて、現在ではNATMを都市トンネルあるいは斜面安定工に応用する傾向が表 1 実験ケースと立坑模型の挙動の概略

ボルト長 (cm)	アンカーの大きさ (cm)	立坑の挙動	最大設置変位 (1/100mm)
100	10	変位なし	0
150	15	変位あり	1.5
200	20	変位あり	2.5
250	25	変位あり	3.5
300	30	変位あり	4.5
350	35	変位あり	5.5
400	40	変位あり	6.5
450	45	変位あり	7.5
500	50	変位あり	8.5
550	55	変位あり	9.5
600	60	変位あり	10.5
650	65	変位あり	11.5
700	70	変位あり	12.5
750	75	変位あり	13.5
800	80	変位あり	14.5
850	85	変位あり	15.5
900	90	変位あり	16.5
950	95	変位あり	17.5
1000	100	変位あり	18.5

取入れる試みがなされている。

本研究はロックボルト工を用いた立坑の挙動を小型模型実験によって調べたものである。

2. 实验概要

図1に示す立坑保護モデルを図2に示すように正六角形に7段積上げて、これを立坑モデル（直径24cm、高さ49cm）とした。ロックボルトモデルはリング状の節を5mmピッチで取付けた $\phi=6\text{mm}$ のベークライトパイプであり、プレートモデルは70cm $\times$ 120mmの亚克力樹脂製矩形板である。これらを互いに剛結し立坑保護モデルとした。なお計測用のモデルについてはプレートを2枚構造とし、間に4個の超小型ロードセルを挟んで背面土圧を測定した。個々のモデルは互いに全く独立でありNATMに於ける吹付けコンクリートの効果は考慮しておらず、立坑モデルはロックボルトのみで安定が保たれている。

なお、地山材料として用いた銅砂の物性は $\gamma = 5.6 \text{ gf/cm}^3$, $\phi = 32^\circ$, $\text{Dr} = 0.763$ である。

3. 模型立坑掘削実験

実験はまず、下段から立坑保護モデルを銅砂にて正六角形を保ちつつかつ鉛直に、背面側・掘削側を均等に埋設してゆき、埋設完了後に静止土圧を測定する。その後図3に示すように、掘削側の銅砂（押え銅砂）を実験槽底部の排出口から排出し、

ボルト径 (cm)	720-ボルトの大きさ (cm)	立杭の挙動	最大盤面変位 (1/100mm)
2.8.0	なし	自立	4.8
2.4.5	なし	自立	0.6
2.1.0	なし	自立	8.1
1.7.5	なし	自立	2.7
1.6.0	なし	自立	3.9
1.5.0	なし	自立	9.5
1.4.0	なし	崩壊 (H=2.8)	
1.5.0	2.0x2.0	自立	1.2
1.0.5	2.0x2.0	自立	5.4
9.0	2.0x2.0	自立	9.4
7.0	2.0x2.0	崩壊 (H=2.8)	

(H = 固液時の凝固高さ (cm))

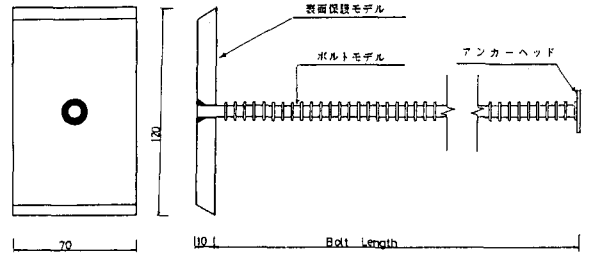


図 1 立坑保護モデル (mm)

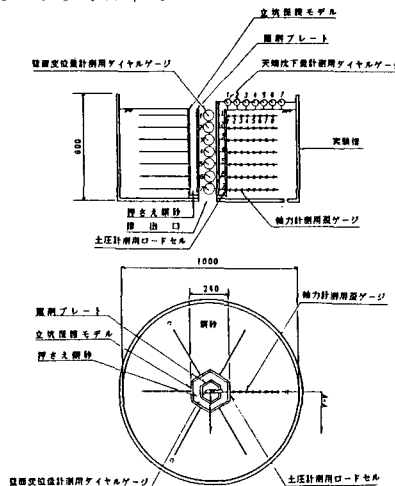


圖2 實驗裝置

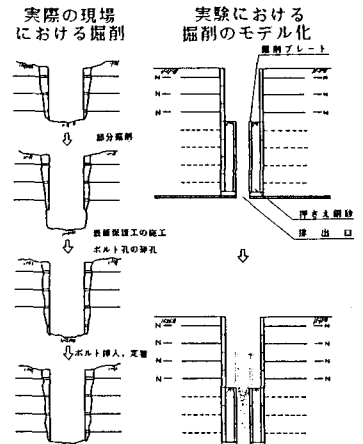


図 3 立坑掘削のモデル

立坑の掘削とした。掘削は立坑保護モデルの高さ($h=7\text{cm}$)を1段の掘削とし、1段掘削毎に任意の1列の立坑保護モデルに取付けた超小型ロードセル計28個、壁面・天端の変位計測用ダイヤルゲージ計14個及びロックボルトモデルに張付けた歪ゲージによって土圧・変位・沈下・ボルト軸力を計測した。なお、実験はボルト長及びアンカーヘッドの有無をパラメーターとして行ない比較検討した。

4. 実験結果

図4に計測された土圧・変位・沈下及び土圧変化のグラフを示す。土圧は一般に掘削した段で減少し、その下段で増加する傾向にある。また変位・沈下ともに掘削の進行に伴い増加し、沈下に関してはボルトの先端付近で最大値を示す傾向が見られる。

今回行なった一連の実験の結果をまとめると以下のようになる。

- (1) アンカーヘッド付き(引抜耐力が大きい)ボルトを用いた場合はアンカーヘッド無しに比べより短いボルト長でも自立可能である(表1)。
- (2) 立坑が安定する場合は、ボルトの引抜耐力の減少とともに変位は増加する(表1)。
- (3) ボルトの引抜耐力が小さく、壁面に大きな変位を許した時最終的に落着く土圧は低い値を示す。
- (4) 土圧は立坑の掘削に伴い、掘削した段で減少しその下段で増加を示す傾向にあり、掘削の進行に伴いこれが繰返され地山内に次々と新たな応力状態が生成(応力の再配分)されている(図5)。
- (5) 掘削時に生じる変位が大きい程そこに作用する土圧は小さな値をとる(図6)。

5. おわりに

模型立坑の掘削実験によってロックボルト工を用いた立坑の挙動を調べ、立坑周辺地山の土圧変化(応力の再配分)を確認することが出来た。立坑の施工に対するNATMの広範な応用が、施工面・経済面から強く望まれており、今後の研究がおおいに期待されるところである。

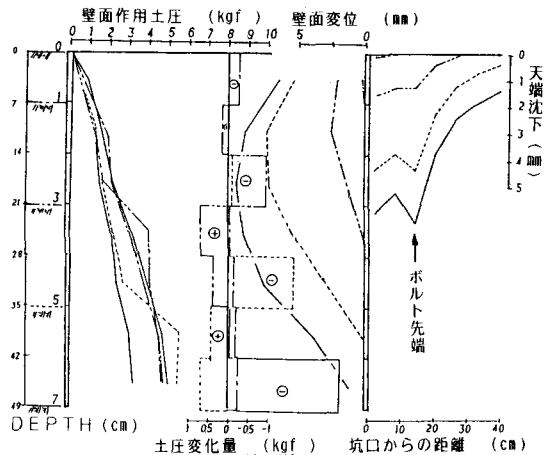


図4 計測結果

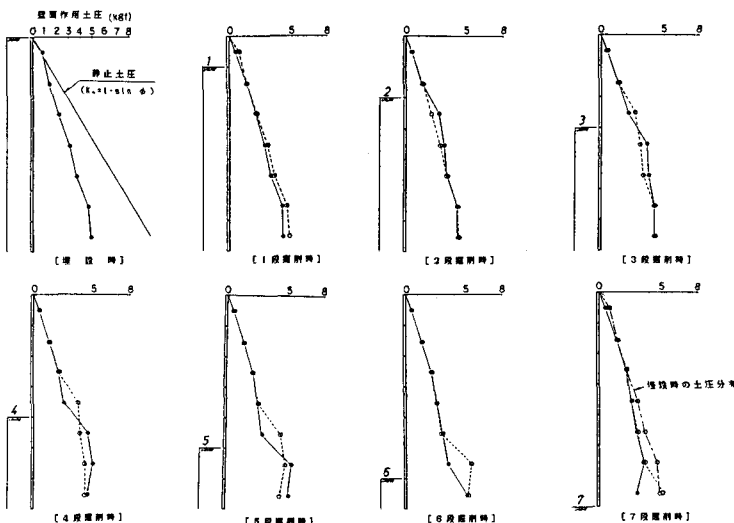


図5 各段掘削時の土圧分布 B.L=16cm AHナシ

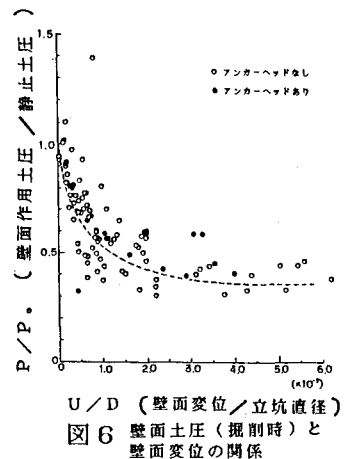


図6 壁面土圧(掘削時)と壁面変位の関係

○ 掘削前
● 掘削後