

佐藤工業(株)

同上

同上

加納 米二

福島 晴夫

正会員 木村 俊博

1. まえがき

近年、多くのトンネル工事がNATMで施工されている。NATMでは施工管理に計測が重要な役割を果たしており、この計測結果を設計計算にフィードバックして支保メンバーや地山の挙動を定量的に把握しようとする試みがなされている。

本文では、土被り60m・傾斜53度・掘削断面30m²のトンネルの断層部におけるNATM施工と計測結果およびそのフィードバック解析結果の一例を、主に内空変位について報告する。

2. 地質

解析の対象となる断層は坑口より60～90mの地点に幅10～20m・傾斜角約80度で存在しており、この断層を境として上流側に岩盤等級CH～CMの流紋岩、下流側に岩盤等級B～CHの硬岩が存在する。断層部は節理・亀裂等の発達したフラッキーゾーンと高度破碎帯から成っており、このうち高度破碎帯は粘土および角礫状の岩屑より構成されている。湧水は下流流紋岩には認められるが、断層部では殆ど生じていない。

3. 施工概要

発破工法により作業坑からアリマックレイズクライマーを使用して底設導坑(1.6m×2.1m)を上方向に向かって掘削し、導坑掘削完了後導坑を隧道として上部から切抜けて下がる方式とした。

断層部における支保メンバーを図-1に示す。当初の計画では断層-I・IIとも鋼製支保工を併用する予定であったが、地山状況より判断して断層-IIでは、ロックボルト($l=4$ m)・吹付コンクリート($t=20$ cm)・溶接金網($\phi 6^{mm}-100 \times 100$)による支保とし、断層-Iでは鋼製支保工(H-100×100)を併用した。

4. 計測

切抜け掘削を行なうにあたり、断層部周辺の物性を正確に把握して切抜け時の施工の安全性と支保の妥当性を確認するために、導坑において坑内弾性波試験を実施し、切抜け掘削時にトンネル内空変位・地中変位・ロックボルト応力・吹付コンクリート応力の測定を実施した(図-1)。

5. 解析

解析方法は二次元平面ひずみ問題とし、Drucker-Pragerの降伏条件を用いたFEM弾塑性計算とした。

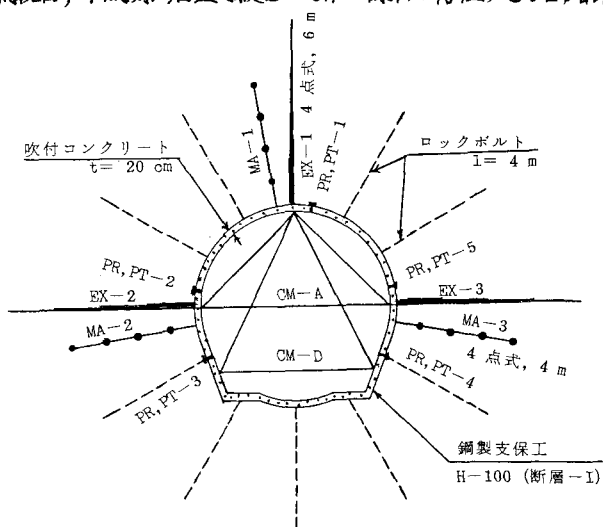


図-1 断層部の支保メンバーと計測器

$$P_0 = 21 \text{ kg/cm}^2$$

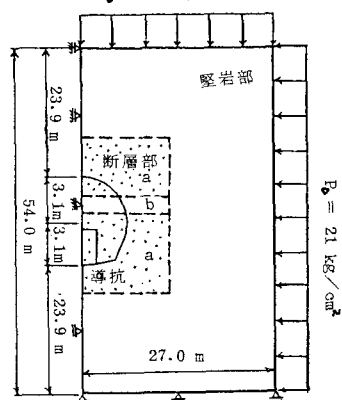


図-2 計算モデル

計算モデルは図-2に示すものを用いた。地山と吹付コンクリートは三角形要素・ロックボルトはトラス要素・鋼製支保工はビーム要素でモデル化した。計算に用いた物性値を表-1に示す。

計算は吹付コンクリートの若材令挙動・切羽の三次元効果・掘削順序・支保メンバーの建込時期等を考慮して、7ステップに分けて行なった。

計算値と計測値とを同一条件で比較するために、計算では全断面切詰め後の支保メンバー建込時の計算ステップと切羽の進行に伴なう各計算ステップとの変位差を出し、半断面モデルを用いているのでこの変位差の2倍を計測値と比較する変位量とした。

6. 解析結果と考察

① 断層-I

図-3に断層-Iの内空変位経時変化を示す。計算値と計測値はよく一致した。設計時には許容変位量を7mmと設定していたが、計測値は1mmと大きく予測を下回った。この原因は断層部の劣化部(a,b)が図-2のモデルのように幅1~2m程度サンドイッチ状に入っており、周辺の堅岩部に応力が集中したために変位が生じなかったものと推察される。

② 断層-II

図-4に断層-IIの内空変位経時変化を示す。経時変化の傾向はよく一致したが、計算値は計測値の1/6~1/8程度となった。この相違は発破の影響・掘削断面、支保メンバー建込時期等のより施工に近いモデル化により、改良されると思われる。

③ その他の計測値と計算結果の比較

地山内変位・ロックボルト応力それぞれについて値は比較的よく一致したが、ロックボルトの応力分布は地山とボルトとのすべりを考慮できなかったために一致しなかった。また、吹付コンクリート応力について値がよく一致しなかった。これらはロックボルトおよび吹付コンクリートの評価法の改良により、よく一致するようになると思われる。

7. あとがき

NATM計測の結果を設計にフィードバックした解析例を示したが、支保メンバーの評価法の改良、より施工を反映したモデル化によって、設計計算において支保メンバーや地山の挙動を定量的に推測することが十分可能であると思われる。

		単 位	堅岩部	断層 a	断層 b
断層部 I	E	kg/cm ²	30,000	10,000	4,000
	ν	—	0.3	0.35	0.4
	C	kg/cm ²	10.0	5.0	1.0
断層部 II	φ	度	50	30	20
	E	kg/cm ²	30,000	10,000	
	ν	—	0.3	0.35	
断層部 II	C	kg/cm ²	10.0	5.0	
	φ	度	50	30	

表-1 計算に用いた地山物性値

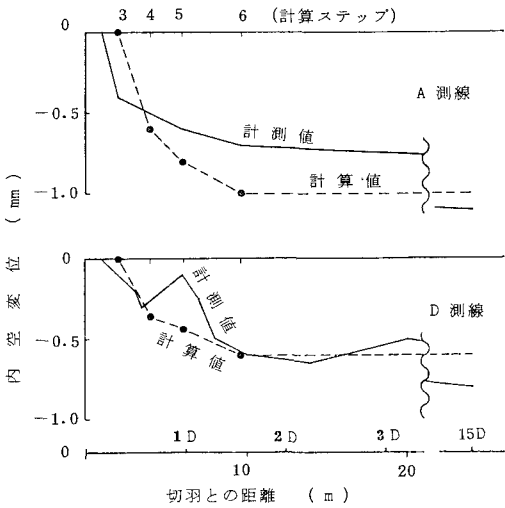


図-3 内空変位の計算値と計測値との比較 (断層-I)

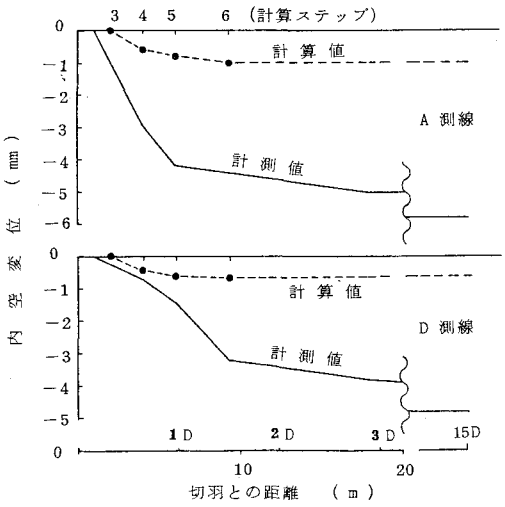


図-4 内空変位の計算値と計測値との比較 (断層-II)