

膨張性地山におけるNATMの施工

稲永 浩一* 三好 学**

小野 利昭***

要 約

鉄道建設公団発注の北越北線鍋立山トンネル工事においてはNATMにより施工している。本文はその施工経緯，施工実績及び膨張性地山におけるNATMの施工について報告するものである。

目 次

- § 1. まえがき
- § 2. 工事概要
- § 3. 地形・地質
- § 4. 施工経緯
- § 5. 施工実績
- § 6. 膨張性地山におけるNATM
- § 7. あとがき

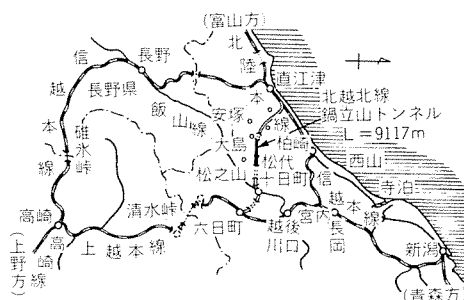


図-1 北越北線概略図

§ 1. まえがき

トンネル掘削の成否は，地山条件に大きく左右される。特にNATMにおいては，地山の強度を積極的に利用するので，地山条件を充分把握し，それをいかに活かすかによって，施工が大きく左右される。

当鍋立山トンネル（中）工事においては，土被り厚が100～200mにもかかわらず，大部分が $q_u = 1 \sim 40 \text{ kgf/cm}^2$ と小さい劣悪な地山であり，強大な膨張性地圧により，切羽，周辺からの押し出し，盤ぶくれに悩まされている。加えて石油や可燃性ガスの湧出を伴い，施工は困難を極めている。

当工事においては激しい膨張性地圧を制御するために施工に種々の工夫をこらした。このような施工の経緯と実績及び泥岩中のNATMの施工について報告する。

§ 2. 工事概要

北越北線は，上越線六日町より十日町市，松代町を経て，信越線犀潟に至る延長59.4kmの国鉄新線である。

鍋立山トンネルは北越北線のうち，ほぼ中央に位置し，松代町～大島村間にかけて，標高約300mの丘陵地帯を貫く単線トンネルである。

全長は9117mで東工区，中工区，西工区に分割され，当社は中工区を昭和48年12月より施工している。

中工区は，松代町起点31k324mから，終点34k651mに至る区間で，延長3327mである。そのうち33k900m～34k580m（ $l=680\text{m}$ ）が複線区間であり，残り延長2647mが，単線区間である。斜坑（延長295m，勾配25%）を34k250mに取付け，六日町方及び犀潟方に分け，掘進した。

犀潟方（401m）については，掘削，巻立を完了している。

六日町方については，強大な膨張性地圧に悩まされ，支保工の形状，ロックボルト打設パターン，吹付厚等に工夫をこらした。また先進導坑を掘削し，それを一旦つぶし，その後切り抜ける，いわゆるいなし導坑工法も施工した。しかしトンネルが再三崩壊し，縫返しの連続となった。33k066m付近において，切羽よりの激しい押し出しにより，ついに掘進不能となり，薬液注入により地山を改良した。その後薬液注入区間を掘進したが，掘進につれて，やはり強大な地圧が発生し，ついに薬注区間すら掘進不能となり，工事中断のやむなきに至って

*関東(支)松代(出)係長

**関東(支)松代(出)

***関東(支)松代(出)

る。

このような中工区の状況により、掘削、巻立が完了している東工区よりの迎え掘りが計画され、昭和54年11月

より掘進を開始した。迎え掘り区間(その4、5工事)は、比較的順調に推移し、昭和55年12月31日現在、約1000m掘進している。

§ 3. 地形・地質

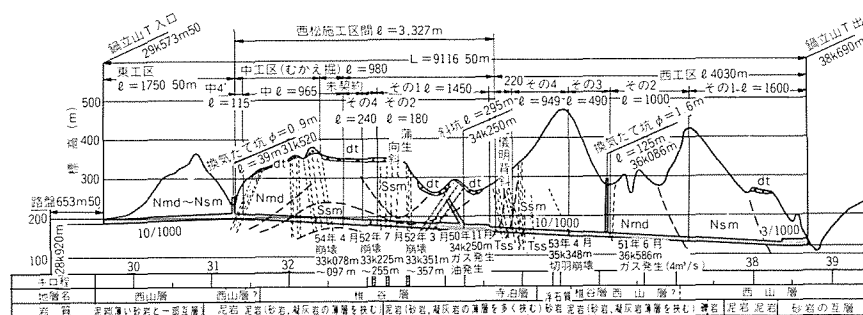


図-2 鍋立山トンネル地質縦断図

当工区の地質は新第三紀の鮮新世～中新世の西山層、椎名層、寺泊層より構成されている。起点付近は、やや砂岩を多く含む西山層が分布するため、やや起伏がある丘陵地形を呈している。それから終点付近までは泥岩の卓越する椎名層が分布し、ゆるやかな丘陵地形であり、地質構造は複雑である。蒲生背斜、儀明向斜とその間には特に激しい褶曲作用を受けており、なお現在も褶曲作用が進行中であり、活動褶曲と呼ばれている。¹⁾そのため軟質な泥岩は破碎質であり、大小の地すべり地形が発達している。終点付近には、儀明背斜軸に沿って、寺泊層が分布する。凝灰質砂岩の薄層をはさむ泥岩で、褶曲軸に並走して数本の断層がみられる。

§ 4. 施工経緯

本節においては、施工に困難を極め、種々の工夫をこ

らした34 k 651 m～33 k 060 mについて、主として報告する。

4-1 斜坑

昭和49年8月斜坑に着手し、昭和50年2月坑底に到達した。掘進中インバート部に盤ぶくれ現象が発生した。また坑口より70m、140m地点にてメタンガスと石油により爆燃があり、坑内が火の海となったので、以後防爆検定品を使用している。

4-2 複線区間(その1、2工事)

斜坑取付点は34 k 250 m地点で、複線区間の中間であり、六日町方、犀潟方、2つの切羽で在来工法の底設導坑先進工法で掘進を開始した。犀潟方については、途中より膨圧が激しくなったので、上半先進ベンチカット工法に切替え、NATMを応用して、200 Hにロックボルト、吹付コンクリートを併用して施工した。

表-1 岩石試験結果

採 取 地 点			k m	k m	k m	k m	k m	k m	k m	k m	k m	k m	k m	k m	k m
			31.550	31.700	31.850	32.300	32.302	33.061	33.100	33.157	33.204	33.560	33.580	33.600	34.100
石 名			泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩	泥 岩
単 体 体 積 重 量 (t/m³)			2.180	2.140	2.070	2.006	2.013	1.870	1.986	1.940	1.975	2.051	2.003	2.041	2.072
粒 度 分 布 (%)	砂 質 土	分 類	6	5	0	7	3	1.4	3.3	5.6	1.5	2.2	1.9	2.4	2.4
			51	48	21	47	55	48.6	41.8	36.8	30.8	60.6	58.0	58.1	28.8
			43	47	71	46	42	50.0	54.9	57.6	67.7	37.2	40.1	39.5	68.8
			36	34	49	32	30	39	35	40	48.4	34	35	34	49
			シルト質粘土	シルト質粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	粘土	シルト質粘土	シルト質粘土	シルト質粘土	粘土
1 軸 圧 縮 強 度 (kgf/cm²)			87.9	62.7	39.8	37.8	38.2	1.75	37.4	4.7	3.0	22.3	20.8	21.7	45.4
含 水 比			17.0	16.4	20.6	25.6	25.1	29.9	24.8	22.9	22.9	20.8	21.0	21.0	19.5
コ ー ス シ ー (%)	液 性 界	塑 性 指 数	128.4	87.8	156.2	122.0	149.4	131.0	110.8	162.7	161.5	113.2	118.5	117.2	116.2
			28.4	18.0	26.3	23.7	23.7	26.2	44.9	21.8	30.4	42.5	45.3	44.9	32.9
			100.0	69.1	129.9	98.3	125.7	104.8	72.6	140.9	131.1	70.7	73.2	72.3	83.2
塩 基 性 置 換 容 量 (meq/100g)			32.6	39.4	34.8	38.9	D	37.3	50	39	42.8	45.0	43.1	44.2	
浸 水 崩 壊 度			D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D	D
地 山 厚 度 (m)			100	125	135	160	160	160	170	150	140	136	130	130	120
地 山 強 度 比			4.03	2.34	1.42	1.18		0.06	1.11	0.16	0.11	0.80	0.80	0.82	1.82
備 考			切羽より採取	地表より採取	切羽より採取	地表より採取	切羽より採取	切羽より採取	地表より採取	切羽より採取	切羽より採取	切羽より採取	切羽より採取	地表より採取	地表より採取

一方、六日町方はそれほど顕著な膨張性地圧挙動はみられなかったが、地下駅の計画もあったので、途中より上半先進ベンチカット工法で掘進した。

4-3 単線区間（その1, 2工事）

33k900mより六日町方は単線区間である。昭和51年3月より掘進を開始した。施工に先立ち、複線区間で実施した、支保工応力測定と単線区間の地質状況（弾性波速度が低く、褶曲による破碎帯が続く）を併せ検討し、25~40tf/m²程度の膨張性地圧が発生する事を予測し、断面形状を円形断面とし、在来工法による上半先進ショートベンチ工法とした。なおベンチ長は約10mとした。

掘進につれ、膨張性地圧は予測を上廻る様相を呈し、支保鋼の変状が激しくなり、支保鋼間隔を50cmまで短縮したが、変状がとまらなかった。そこで33k584m~33k553m間を試験区間とし、H支保鋼、鋼管支保鋼、ロックボルト、吹付コンクリートの組合せによる試験工事を行った。その結果、鋼管支保鋼、ロックボルト、吹付コンクリート併用が有効であると判断し、33k500mから施工した。鋼管支保は、建込後モルタルを注入した。このタイプの支保は、掘削後の壁面変位をできるだけ抑えるべく考えたものである。

しかし33k357m地点からは、鋼管支保鋼に変状が発生した。そこで33k300mからは掘削工法もベンチ長3mのミニベンチ工法に変更した。これは支保鋼の経時変位を測定したところ、支保鋼周結後は、変位増加が減少することに着目したものである。

切羽が33k225mの地点にきた時、上半支保鋼に異常な押し出しが発生し、一日で切羽から30mがつぶされてしまった。この修復工事の経験から、地山が十分に押し出した後は、再掘削が容易であることがわかり、ここから約110mにわたって、可縮機構を持つ支保工を用いた

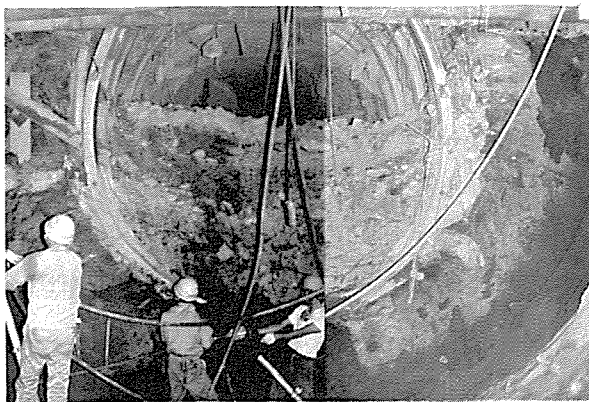


写真-1 導坑変状

導坑を掘削し、それを切り広げるいなし導坑工法を施工した。

その結果から33k115mからは、可縮部を持った支保工によるミニベンチ工法に切り変えた。しかし昭和54年4月33k078m~33k097mの区間で、周辺よりの押し出しにてトンネルが再崩壊した。その後は、周辺よりの押し出しに加えて、切羽の押し出しも激しくなった。そのため、切羽に10mのロックボルトを80本打設したり、φ500のオーガーで20m穿孔し、鉄筋コンクリートを詰め、コンクリートアンカーを地山中に設けたりして、切羽の安定をはかったが、アンカー自体が動きだし、1m/hで5mも押し出す異常な事態となり、ついに掘削を中断し、劣悪な地山を改良すべく、薬液注入を行った。

注入液はLWである。薬液注入の範囲は延長35m、半径9mである。注入率は対象土量の約50%で、注入圧は約40kgf/cm²であった。

表-2 薬液注入前後の岩の物性値比較表

地山状況	試料採取地点 (33k 066m よりの距離)	自然含水比 w (%)	一軸圧縮 強度 q _u (kgf/cm ²)	変形係数 E ₅₀ (kgf/cm ²)	膨張率 (%)	地山強度 比 $\frac{q_u}{\gamma H}$
薬注前	11m	29.9	1.75	62	11.9	0.06
	31m	23.1	3.15	86	35.2	0.10
	56m	26.3	2.60	72	72.1	0.09
	75m	25.8	1.30	163	53.4	0.04
	105m	30.4	2.50	74	11.3	0.08
薬注後	5m~20m	25.5	4.05	194	12.3	0.14

この薬液注入に約9ヶ月を要し、昭和55年9月掘削を再開した。表-2のように、地山はある程度改良されており、また掘削再開当初は縫返し区間であるため、切羽、周辺とも押し出しも殆んどなかったが、縫返し区間を過ぎるころより、徐々に膨張が発生し、縫返しをよぎなくされる事態となり、薬注前と同じように、支保工の座屈変状、切羽よりの限らない押し出しのため、33k048mに至って、ついに掘削中止のやむなきに至った。

以上のような単線部の施工経緯をまとめたものが表-3である。

4-4 東側区間（その4, 5工事）

昭和54年11月掘進を開始した東側区間は、馬てい形で、上半先進ショートベンチ工法である。当初、上半のみの支保鋼でH-125, etc, 1.2mで掘進したが、31k900m付近で支保工が押し出され、吹付コンクリートにクラックがはいったので、以後下半にも支保鋼をつけ、H-125, etc, 1.0mで掘進している。しかし33k300m付近から膨張が激しくなり、縫返しをよぎなくされている。

表-3 単線各種断面施工考察表

位置 区間距離	断面	支保鋼	設計巻厚(cm) (A)吹付コンクリート (B)本巻コンクリート	ロックボルト (A)円周 (B)切羽面	施工進行 m/月	変状量(cm)	考 察
33k900m ～517m ($\ell=383$ m)	A	H-175 0.90etc 0.75etc	(A) ナシ (B) $t=50$	ナシ	51m/月	33k525m 天端沈下 20 根足沈下 30 根足押出 30	$q_u=40\text{kgf/cm}^2$ 含水比21% 鏡肌が多く砂質凝灰岩をばさっている。油濁出 支保工 天端の変状が激しく $\phi 216$ 鋼管支保工に変更
33k517m ～500m ($\ell=17$ m)	B	$\phi 216$ 0.75etc	(A) $t=17$ (B) $t=43$ (60)	ナシ	34m/月	33k510m 天端沈下 20 根足沈下 25 根足押出 40	$q_u=30\text{kgf/cm}^2$ 含水比21% 凝灰岩、泥岩の互層で盤ぶくれ大である 支保工変状が激しく建替、経返しが多くなる 側部にロックボルトを打設
33k500m ～255m ($\ell=245$ m)	C	$\phi 216$ 0.75etc	(A) $t=14$ (B) $t=43$ (60)	(A) $\ell=3\text{m} \times 6$ 本/間 (B) ナシ	33m/月	33k335m 天端沈下 35 根足沈下 45 根足押出 55	$q_u=25\text{kgf/cm}^2$ 含水比23% 軟質な泥岩で鏡肌が多く切羽が自立せず。必要に応じてロックボ ルトの増打ちをしたが、変位が減少しないためショートベンチ工 法よりミニベンチ工法にし、周結を早くする
33k255m ～225m ($\ell=30$ m)	D	$\phi 216$ +H-175増 0.75etc	(A) $t_1=17$ $t_2=17$ (B) $t=46$ (80)	(A) $\ell=3\text{m} \times 20$ 本/間 (B) ナシ	10m/月	33k230m 天端沈下 25 根足沈下 45 根足押出 50	$q_u=25\text{kgf/cm}^2$ 含水比25% 試験区間でフープ筋入支保工で吹付ナシで施工中、異状膨脹により 崩壊した。建替後、全周にロックボルトH-175で増支保工2次吹 付を施工。又吹付の効果を増すため鋼板を使用。建替後の支 保工の変状は小であった(いなし効果有り)
33k225m ～218m ($\ell=7$ m)	E	導坑 H-125 1.20etc 本坑 $\phi 216$ 0.75etc	導坑 (A) ナシ 本坑 (A) $t=17$ (B) $t=63$ (80)	導坑 (A) ナシ (B) ナシ (A) $\ell=3\text{m} \times 20$ 本/間 (B) ナシ	10m/月 導坑 31m/月 本坑 16m/月	33k220m 天端沈下 10 根足沈下 15 根足押出 15	$q_u=20\text{kgf/cm}^2$ 含水比26% 破砕質軟弱泥岩で膨圧大 中央導坑で膨脹をいなし工法であるが、7mの掘削で支保工の変 状が激しく掘削不可能になり、モルタルで中埋を施工し本坑の切 削げにかかった(いなし効果有り)
33k218m ～186m ($\ell=32$ m)	F	導坑 MU-29 0.80etc 本坑 $\phi 216$ 0.75etc	導坑 (A) $t=12$ (B) $t=17$ (B) $t=63$ (80)	導坑 (A) $\ell=3\text{m} \times 12$ 本/間 (必要に応じて) (B) ナシ 本坑 (A) $\ell=3\text{m} \times 20$ 本/間 (B) ナシ	10m/月 導坑 31m/月 本坑 16m/月	33k190m 天端沈下 10 根足沈下 15 根足押出 15	$q_u=10\text{kgf/cm}^2$ 含水比28% 破砕質軟弱泥岩で膨圧大 切羽の自立性なく切羽にも吹付を 施工。いなしの効果は有るが前回 同様導坑の盤ぶくれが激しく30mの 掘削をやったのである。
33k186m ～155m ($\ell=31$ m)	G	導坑 MU-29 0.80etc 本坑 $\phi 216$ 0.75etc	導坑 (A) $t=12$ 本坑 (A) $t=17$ (B) $t=63$ (80)	導坑 (A) $\ell=4\text{m} \times 8$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 16$ 本/間 (B) ナシ (A) $\ell=3\text{m} \times 20$ 本/間 (B) ナシ	11m/月 導坑 30m/月 本坑 18.5m/月	33k160m 天端沈下 12 根足沈下 15 根足押出 10	$q_u=10\text{kgf/cm}^2$ 含水比28% 試験区間MU-29+吹付+ロックボルトで本坑の施工の検討 MU-29可換支保工で本坑の施工は導坑で変状が激しく支保工の座 屈が著しく困難
33k155m ～135m ($\ell=20$ m)	H	導坑 $\phi 139$ (円型可換) 0.80etc 本坑 $\phi 216$ 0.75etc	導坑 (A) $t=12$ 本坑 (A) $t=17$ (B) $t=63$ (80)	導坑 (A) $\ell=4\text{m} \times 8$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 16$ 本/間 (B) ナシ (A) $\ell=3\text{m} \times 20$ 本/間 (B) ナシ	10m/月 導坑 26m/月 本坑 18.5m/月	33k140m 天端沈下 7 根足沈下 8 根足押出 8	$q_u=10\text{kgf/cm}^2$ 含水比28% 試験区間 $\phi 139$ (可換)+吹付+ロックボルトで本坑の施工の検討 インバートの変状、座屈が激しく又可換スムーズにはかないた め、可換部での変状、座屈が激しい。
33k135m ～115m ($\ell=20$ m)	I	導坑 $\phi 139$ (馬蹄可換) 0.80etc 本坑 $\phi 216$ 0.75etc	導坑 (A) $t=12$ 本坑 (A) $t=17$ (B) $t=63$ (80)	導坑 (A) $\ell=4\text{m} \times 12$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 12$ 本/間 (B) ナシ (A) $\ell=3\text{m} \times 20$ 本/間 (B) ナシ	11m/月 導坑 23m/月 本坑 21m/月	33k120m 天端沈下 20 根足沈下 23 根足押出 15	$q_u=10\text{kgf/cm}^2$ 含水比29% 試験区間 $\phi 139$ (馬蹄可換)+吹付+ロックボルトで本坑の施工の 検討 円型断面に比べ残を残して掘削し易いと思行なったが、側部の 押出しが多く、インバートの盤ぶくれにより吹付が破綻され補強 を行なう。
33k115m ～085m ($\ell=30$ m)	J	H-175 (可換) +H-150増 0.75etc	(A) $t_1=17$ $t_2=15$ (B) $t=48$ (80)	(A) $\ell=4\text{m} \times 10$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 14$ 本/間 (B) $\ell=4\text{m} \times 30$ 本/2間 こと	10m/月	33k100m 天端沈下 12 根足沈下 11 根足押出 64	$q_u=10\text{kgf/cm}^2$ 含水比29% 前3回種類の試験によりHの可換支保工を考え施工したが、最初 可換スムーズにいき変状も比較的少なかったが、20m位掘削し た時点で側部の押出し鏡の押出しが激しく支保工の建替が多くな る。又鏡の膨脹により掘削が困難になる。
33k085m ～079m ($\ell=6$ m)	K	H-175 (可換) +H-150増 0.75etc	(A) $t_1=17$ $t_2=15$ (B) $t=48$ (80)	(A) $\ell=4\text{m} \times 10$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 14$ 本/間 (B) $\ell=4\text{m} \times 15$ 本/間 (FRP)	4m/月	33k082m 天端沈下 36 根足沈下 20 根足押出150	$q_u=5\text{kgf/cm}^2$ 含水比31% いなしボリリング $\phi 450 \ell=4.5\text{m} \times 7$ 本行なったがいなしの効果なし 。エアクラフ $\ell=2$ により切羽より4.0、6.0、8.0mの地山の動きを測 定したが4.0mでは切羽の動きはほとんど変らず打設を考え、油圧 スーガ、ボリマー泥水など種々の試験を行なった結果、ボリマー 泥水により10m物の打設を可能にしたが以前切羽の膨脹が激しく 掘削が困難
33k079m ～073m ($\ell=6$ m)	L	H-175 (可換) +H-150増 0.75etc	(A) $t_1=17$ $t_2=15$ (B) $t=48$ (80)	(A) $\ell=8\text{m} \times 10$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 14$ 本/間 (B) $\ell=10\text{m} \times 80$ 本/5間 こと	4m/月	33k075m 天端沈下 20 根足沈下 35 根足押出 90	$q_u=5\text{kgf/cm}^2$ 含水比31% いなしボリリング $\phi 800 \ell=10\text{m} \times 4$ 本行なったがいなし効果なし 。再度 $\phi 800 \ell=10\text{m} \times 5$ 本を行ない、中埋コンクリートを行ない鏡 を作り掘削するが4mの掘削しか出来ず。再び鏡の膨脹が激しく掘 削困難。鏡に $\ell=10\text{m} \times 80$ 本を打設したが、以前膨脹が減少しな い。可換部より座屈があり、H鋼の可換断念
33k073m ～066m ($\ell=7$ m)	M	$\phi 216$ (フープ筋入) +H-150増 0.75etc	(A) $t_1=17$ $t_2=15$ (B) $t=63$ (80)	(A) $\ell=8\text{m} \times 18$ 本/間 (B) $\ell=5\text{m} \times 18$ 本/間 (B) $\ell=10\text{m} \times 80$ 本/5間 こと (又は $\phi 600 \ell=12\text{m}$ 核ボリリング)	2m/月	33k070m 天端沈下 20 根足沈下 43 根足押出170	$q_u=2\text{kgf/cm}^2$ 含水比28% 切羽強化工 核ボリリング $\phi 600 \ell=12\text{m} \times 10$ 本 吹付コンクリート $t=4\text{cm}$ 崩落防止鉄筋 D25 $\ell=3\text{m} \times 11$ 本 支保工 $\phi 216$ フープ筋入 中詰めモルタルも押し出しが激しく座屈 し建替2度～3度
33k066m ～062m ($\ell=4$ m)	N	$\phi 216$ (フープ筋入) 0.5etc	(A) $t=17$ (80)	(A) $\ell=8\text{m} \times 8$ 本/間 (B) $\ell=5\text{m} \times 16$ 本/間			$q_u=2\text{kgf/cm}^2$ 含水比30% 上半脚型支保工内空押し出し、天端沈下の変位は1cmで殆どな い。鏡からの押し出しが激しく、鏡押えに3段切取で押えても掘 削出来ず、鏡押し出し量5cm/h
33k062m ～059m ($\ell=3$ m)	O	$\phi 216$ (フープ筋入) 0.75etc	(A) $t=17$ (80)	(A) $\ell=8\text{m} \times 8$ 本/間 (B) $\ell=5\text{m} \times 16$ 本/間			$q_u=2\text{kgf/cm}^2$ 含水比36% 上半脚型3段ショートベンチ工法 コンバージェンスの変化は無し。鏡からの押し出しが激しく、約 2m50cm押し出す。押し出し量1cm/min
33k062m ～055m ($\ell=7$ m)	P	MU-29 (可換) 0.80etc	(A) $t=15$ (60)	(A) $\ell=5\text{m} \times 10$ 本/間 (B) $\ell=4\text{m} \times 6$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 8$ 本/間 (B) $\ell=5\text{m} \times 10$ 本/間		33k060m 天端沈下 18 根足沈下 41 根足押出100 可換量 25	$q_u=4\text{kgf/cm}^2$ 含水比25.5% (29.9%) (薬液注入後) 注入剤 C-LW $\ell=35\text{m}$ 最初切羽の押し出しが少なく薬液注入の効果有る様に思われた が、徐々に切羽の押し出しが激しくなり支保工の座屈もみられる 様になったため、P支保工脚型に変更
33k062m ～048m ($\ell=14$ m)	Q	$\phi 216$ (フープ筋入) 0.80etc	(A) $t=17$ (80)	(A) $\ell=3\text{m} \times 24$ 本/間 (B) $\ell=3\text{m} \times 7$ 本/間 (インバート) (B) $\ell=5\text{m} \times 10$ 本/間		33k050m 天端沈下 25 根足沈下 6 根足押出-10	$q_u=4\text{kgf/cm}^2$ 含水比26% 前回の脚型より上半脚を50cm下げてロックボルトを7本インバート に打設した。根足の押出し、沈下は殆どなかったが、天端の沈 下が多くなった。又支保工の座屈がみられた。切羽の押し出しが 激しくなったため鏡のロックボルトを30本に増したが効果はな かった。

§ 5. 施工実績

前節で詳述したように、その1、2工事においては、異常なる膨圧に遭遇し、他に類のないトンネルといっても過言ではない。

したがって施工実績については、比較的順調に施工している、その5工事について述べる。

(1)掘削

掘削工法は、発破工法と機械掘削が考えられたが、その2工事において、上半ベンチの盤ぶくれにより機械稼働率が著しく低下し、最終的にロードヘッダが破壊されたことを考慮し、発破工法を採用した。使用爆薬は、検定爆薬の3号白梅で、雷管は10MS電気雷管である。礮出しは、上半にクローラショベル

ME630を使用し、下半に礮を落し、下半にはロッカショベルRS-150を稼働させ、トレンローダにて6m³鋼車に積込み、坑外に搬出している。

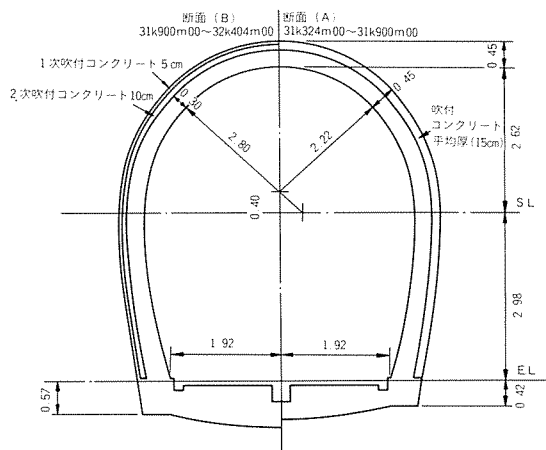


図-3 ずい道標準断面図

岩盤は節理が発達し、又その面に油が滲出しているので、発破、ピック使用時の振動により、時々切羽や天端の崩落が生ずるので、切羽天端に崩落防止鉄筋を打設している。

(2)吹付コンクリート

乾式吹付コンクリートの場合、北陸地方特有の長い梅雨期と、冬期の豪雪により、骨材の含水比の調節が難しく、また吹付時にノズル先端の摩擦により発生する静電気の可燃性ガスへの影響、粉塵の多少等を考慮して、湿式で行っている。

生コン工場より搬送された材料は、6m³のスクリュート車にて、坑内へ搬入し、ショットクリートにて掘削面に吹付ける。圧送距離は70~90mで、

表-4 吹付コンクリート配合表(m³当り)

セメント量 (kg)	細骨材 (kg)	粗骨材 (kg)	水 (kg)	W/C (%)	s/a (%)	パウダー ロ グ (kg)
402	1,008	719	205	51	58	16

表-5 吹付コンクリートロス率

余掘率 (%)	はね返り率 (%)	管内ロス率 (%)	計 (%)	平均ロス率 (%)
25~75	18~22	5	55~100	70

表-6 吹付コンクリート強度表

経過日数	強度 (kgf/cm ²)	
	供試体	コ ア
2日後	100~120	60~70
3日後	150~170	70~90
7日後	220~240	130~160
28日後	325~345	240~270

圧送管は3", 吹付部にて2 1/2"に絞っている。吹付コンクリートの、厚さは15cmである。溶接金網はφ6×150×150で、崩落鉄筋に固定している。吹付厚の確認は、吹付前に地山に打ち付けた6mmφ鉄筋に目印を付けて、所定の厚さまで吹付けることにより行っている。湿式の場合、比較的にはね返りは少ないようであるが、発破掘削のため、余掘が多く、それがロスを大きくしている(表-5)。

(3)ロックボルト

パターンボルトの本数は上下半で10本であったが、33k280mより上半に4本増やした。また地山によっては、随時増しボルト、根足止めボルトを施工し、膨圧に対抗している。

ロックボルト及び定着剤として、SNアンカーとトパックの組合せも考えられたが、強度、引抜抵抗力ともあまり変わらないことと、スミネジバーの方が価格が安いことにより、スミネジバーを用いることにした。モルタルについては、ジェットモルタルを使用してきたが、配合等の施工管理に難点があるので、プレモルタルに変更した。各定着材料による、ロックボルトの引抜き抵抗力試験結果を表-7に示す。プレモルタルによる初期引抜き試験はまだ実施していないが、初期の値は若干小さいと思われる。しかし1日後については同じである。

ロックボルトの効果については諸説あるが、当工事においては、支保工が座屈変状するような箇所においては、座金が変形する現象が多数みられる。し

たがってロックボルトによって、地山を一体にする

表－7 ロックボルトの引抜抵抗力 ($\ell = 5\text{m}$)

定着剤	引抜抵抗力		
	3時間後	5時間後	24時間後
ジェットモルタル +ウレタン	6.8tf	7.7	18
ジェットモルタル	3.4 tf	7.9	19

効果はかなりあると考えられるが、それだけで地山の押し出しを大幅に減少させるには至っていない。

(4) サイクルタイム

日進3基の場合の標準サイクルタイムが表－8である。地山の状態がよく、ゆるみが少ないと判断した場合、下半を2基同時に掘削したり、吹付コンクリートを2基同時に打設することで、進行を上げているのが実状である。

表－8 標準サイクルタイム表

工程		時間(h)																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																					
		7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20

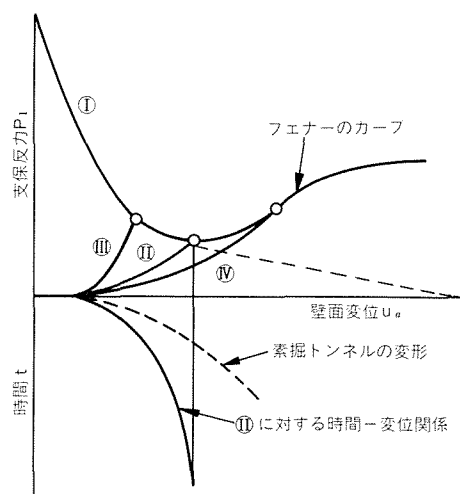
§ 6. 膨張性地山におけるNATM

6-1 NATMの理論^{2), 3)}

NATMの基本的な考え方は、地山の支保力を最大限に利用することである。即ち地山を緩めず弾性変形させ、支保に作用する荷重を出来るだけ小さくしようというものである。しかしこのような考え方は、なにもNATMの専売特許ではなく、トンネル掘削においては、大なり小なり考えられたことである。NATMの特徴は、吹付コンクリート、ロックボルト等を主体とした薄肉柔構造の覆工を施工することにより、地山の支保力をより一層ひきだそうという点にある。また種々の現場計測により、上記支保部材の効果を確認し、本覆工の施工時期を決めようとするものである。

支保反力 P_i と壁面変位 U_a の関係をNATM式に図示したのが図－4である。①は比較的剛な支保 ③は地山

を緩めすぎた支保、②が支保反力が最小であり、望まし



図－4 支保反力と変位の関係(Rabcwiczによる)

い場合といえる。このような $P_i \sim U_a$ の関係は、岩盤の応力～ひずみ関係から解析される。岩盤と支保の複合体が、その部分に作用する応力に抵抗すると考える。図-5のA線は岩盤と支保に作用する応力を示す。一方、一般に岩盤の応力～変位関係はB線のように表わされる。したがって支保が発揮すべき応力は、AとBの差として求められる。この差としての支保反力と壁面変位との関係を図示したのが先に示した図-4である。以上のような支保反力と壁面変位の関係を求めるには、岩盤物性の

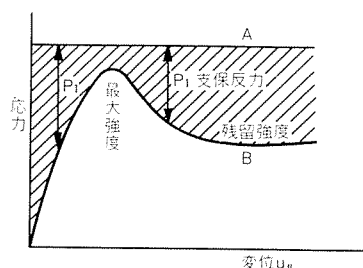


図-5 岩盤の応力～変位曲線と支保反力

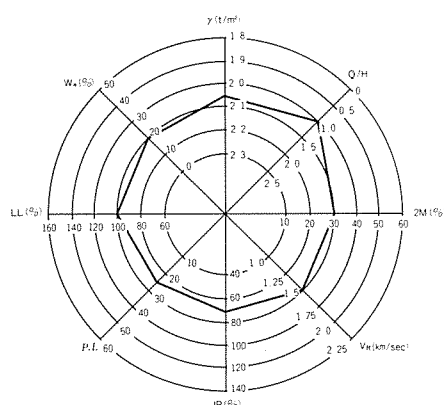


図-6 膨圧発生限界値

時間依存性を知らねばならず、未解決の問題である。また施工上の種々の制約もあり、なかなか理論どおりにいかないのが実状である。

6-2 泥岩の物性と膨張性地圧

本工事区間における泥岩の主な物性値は、前出の表-1のとおりである。またその1, 2工事における、施工の推移に対応した一軸圧縮強度と含水比を調査した。

これからのデータと、北越北線の他工区のデータを参考にして、膨張性地圧の発生に影響があると考えられる指標について検討を加えた。このような解析が膨張性地圧の発生機構の究明に至るものであると考えられる。表-9は、鉄道建設公団の依頼に基づいて応用地質調査事務所が、鍋立山トンネルの全工区のデータより求めた、膨圧発生に関する代表的な諸因子の単相関係数である。⁴⁾

表-9 膨圧発生に関する各試験項目の相関性

順位	試験項目	記号	単相関係数
1	弾性波速度	V_R	0.664
2	2 μ m以下粒子含有率	2M	-0.564
3	自然含水比	W _n	-0.561
4	単位体積重量	γ	0.500
5	塩基性置換容量	CEC	-0.444
6	塑性限界	PL	-0.441
7	P波速度	V_p	0.437
8	液性限界	LL	-0.416
9	塑性指数	IP	-0.384
10	一軸圧縮強度	q_u	0.308
11	変形係数	E_{s0}	0.302
12	膨張率	BL	-0.269
13	地山強度比	Q/H	0.221

これは100 m毎の区間を区切って、その区間を代表する岩石試験値を定め、これを掘進速度と対比させたものである。これによれば従来注目されていた物性値が、やはり膨圧発生の重要な因子であることがわかる。ただし本表は、単一の因子における単相関係数を求めたものであり、他の因子と関連した偏相関係数の場合、項目の組合せにより、変化し、難しい問題があるので、今回の報告からは除外した。膨圧発生について、主たる因子がどの様に関係しているかについては前記のようであるが、各因子の膨圧発生に関する、具体的数値については、各種の報告を参考とし、私見をまじえて記するならば、図-6のようである。この図において、諸数値が限界値（実線）の外にでれば、膨圧が発生することを意味する。膨圧発生区間においては、前記の諸数値がほとんど全て、限界値を上廻り、あるいは下廻っていることが特徴的である。ここで膨張性地圧という現象の意味を考えると、地山が、周辺、底盤および切羽から内空へ押し出し、あたかも地山が内空へ向って膨張しているようにみえるという、見掛け上の現象を称して膨張性地圧と表現していると、筆者らは理解している。この現象の発生機構について、最近、地山のせん断破壊とそれに伴う破壊面における岩の吸水膨張によるとする仲野の説が有力視されているが、筆者らも、地山のせん断破壊が主たる原因であると考えている。その意味において、又その1, 2工事の施工表（表-3）の様に含水比、一軸圧縮強度と掘進速度の間に極めて高い相関性があり、単位体積重量、一軸圧縮強度、含水比、地山強度比等の諸因子が、膨圧発生と深く結びついていると考えている。当トンネルのある東頸城丘陵は、前記のように、活褶曲地帯として、有名であるが、褶曲活動による、くり返しせん断によって、

一軸圧縮強度の低下とともに、ダイレイタンスーによる体積膨張によって、単位体積重量が減少していることが考えられる。またそのことは空隙の多いことであり、高含水比となり得るであろう。したがって筆者らは、前記の単位体積重量、一軸圧縮強度、含水比、地山強度比等の因子を、膨圧発生についての有力な指標と考える。

6-3 計測

当工事においては、支保材の効果を確認し、周辺地山の挙動を予測するために次の様な計測工事を行った。ここではその結果の概略を記す。

- 1) 内空変位測定
- 2) ロックボルト軸力測定
- 3) 地中相対変位測定
- 4) 土圧測定
- 5) 支保鋼応力測定
- 7) 覆工コンクリート応力測定

実施した箇所はその1、2工事においては内空変位測定を含め、22箇所、その5工事においては内空変位測定が、32箇所、その他の計測が2箇所である。但し各測定箇所、上記項目を全て実施したわけではなく、適宜組合せて行った。

1) 内空変位測定

内空変位は、最小は約10mmであったが、最大では1m以上に達した。縫返し区間を除いては、内空変位は、切羽から2D～5Dの距離で一応収束した。しかし1mm読みのコンバージエンスメータで、一週間以上変位が変化しなくなるのは、切羽よりの距離が10D以上要している。その2工事では、変位が一応収束した時点で、以後の変位の増大を抑制するために、覆工コンクリートを打設した。覆工コンクリート打設後は変位は完全に止まっている。

2) ロックボルト軸力測定

ロックボルトの軸力測定は、ロックボルトにひずみゲージをはりつけ、そのひずみから軸力を計算する方法で求めた。この方法は、地山の挙動が大きい所では断線が多く、失敗した例もあるが、座金に変形するような箇所では、SL付近のロックボルトに15～18tfの軸力が発生した。

3) 地中変位測定

一点ないし、多点エクステンソメータを設置して計測した。地中変位測定においては、相対変位測定と同時に、口元管の絶対変位を測定し、地山のゆるみ範囲を推定した。これによれば、地山の動きが少ない箇所では、ゆるみ範囲は2～3mであるが、膨圧の激しい区間では5m以深に達している。

4) 土圧測定

土圧計を支保工の地山側に設置し測定した。その2工事の33k332.5m付近では80～100tf/m²に達した。またその5工事31k854.5m付近では最大約40tf/m²であった。

5) 支保工応力測定

支保工にひずみゲージを取付け、ひずみを測定し、計算により応力を求める方法と、支保鋼のジョイント部に軸力計を取付け、軸力を直接測定する方法を適宜行った。

詳細は各報告書にゆずるが、これらの計測結果を、支保鋼の形状、間隔等に反映させた。

6) 覆工コンクリート応力測定

その3工事の試験区間と、その5工事の31k854.5m付近において、覆工コンクリート内に発生する応力を測定した、カールソン型ひずみ計をコンクリート内に埋め込み、そのひずみから応力を計算した。

その3工事においては上半45°付近、その5工事においてはSL付近で若干の引張応力が発生していた。特にその5工事においては、覆工コンクリートに微小なクラックがSL付近にはいる現象がみられ、コンクリート断面に部分的に引張力が作用している可能性があると考えられた。それでSL付近に吹付用の金網を入れて、クラックの発生を防止しようと試みている。以上のように、各種計測を実施し、それを施工に反映すべく工夫をこらしている現状である。前記の計測は全て周辺方向についてのものであるが、当工事においては切羽前方のゆるみ状態の計測に関心をもたれ、次の計測工事を実施している。当工区は土被りが100m以上と深く、地表よりの計測ができないので、切羽より水平に大口径の穿孔をし、その中に鉄筋コンクリート杭を打設し、その鉄筋にひずみゲージを取付け、そのひずみから応力及び地中の動きを推定しようと試みた。この計測からある程度の資料は得られたが、切羽前方の地山の動きを解明するには至っていない。

6-4 薬注区間の解析

その2工事の33k066m付近においては、薬液注入により地山を改良し、掘削することとなった。薬注前後の地山の物性値の変化は表-2のとおりであり、地山がある程度改良されていることがわかる。さらに剛性三軸試験により、地山の応力～変位関係を調べた。その結果が図-7である。この結果をみると、地山は一般の岩で示される図-5のようなひずみ軟化特性をほとんど持たず、残留状態に至ると推定され、粘性土のような挙動を示し

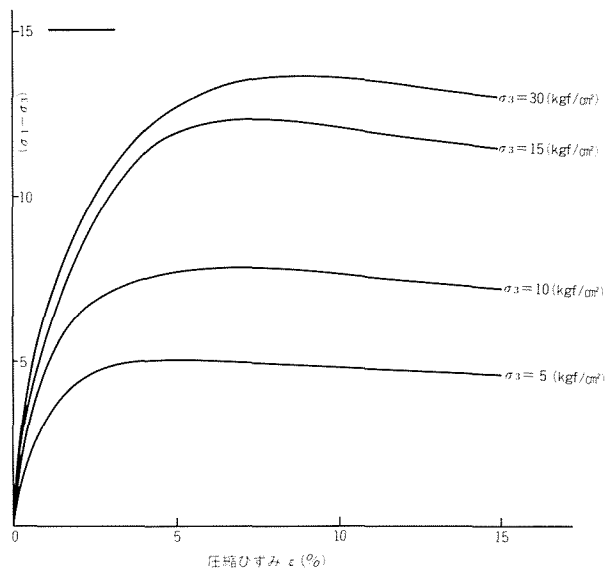


図-7 泥岩の応力-変位関係(33k066m付近)

ている。又LLTにより地中の弾性係数を直接測定した。

これらのデータに基づいて地山の諸定数を想定し、FEMを用いて弾性理論による軸対称解析を主体として、周辺及び切羽前方の地山の挙動を解析した。

解析結果については他の報告書にゆずるが、既施工区間における解析とを比較検討することにより、弾性解析によっても、かなり掘削時の地山の挙動が予測できるという感触を得た。

6-5 施工上の工夫及び今後の問題

当工事においては、地山の押し出しを抑制するため、種々の工夫をこらした。

失敗例が多いが、何んらの参考になればと考え、記する次第である。

1) 切羽強化工

切羽よりの押し出しを抑制するため次のような施工を行った。

a) 切羽ボルト (FRP) + 吹付コンクリート FRPはせん断や曲げに抵抗できず、長尺ものの施工が難しく、適当な材料ではなかった。

b) 中空ボーリング

φ450~φ800mmの中空ボーリングにより、いなし効果を求めたが、断面が小さくあまり効果がなかった。

c) 水平場所打杭

前記の中空孔に鉄筋コンクリートを打設したもので、切羽前方の地山の動きを阻止しようという目的であった。上下半の切羽にそれぞれ12mものを4本づつ打設した。埋込み長が充分ある間は、

押し出しが比較的少なかったが、掘進につれ徐々に天端方向に押し出された。

d) 切羽ボルト (スミネジバー) + 吹付コンクリート

水平場所打杭工法は施工に時間がかかるので、等価周長を算定し、上下半40本 (ℓ=10m) のロックボルトを打設した。約3.5mの掘進後、切羽の押し出しが激しくなったので、更に増し打ちを余儀なくされた。

以上のように切羽の押し出し抑制のために種々の方法を工夫したが、あまり効果がないか、少しあっても、施工に時間や費用がかかりすぎるためいずれも有効とはいえなかった。

2) 支保鋼材料

剛な支保鋼については、H支保鋼、パイプ支保鋼を用いたが、可縮支保鋼についても次のものを用いた。

a) MU-29

締付けトルクは15kgf・mで、スライド開始軸力は10.5tfであった。過大な変形を防止するために見込み変形位置にストップを取付けた。

b) 鋼管可縮支保鋼、H175可縮支保鋼

MU-29の強度不足を補うため工夫されたものであり、その2工事の本坑及び導坑で用いたが、可縮機構がうまく作動しない場合があった。

3) 穿孔方法

穿孔能力の改善のために、ビット、ロットの形状変更、軽量大出力化の工夫、ポリマー泥水の使用等を試みた。ポリマー泥水は膨潤性物質であるNa⁺をK⁺で置換し、非膨潤性に変える作用に基づいたものである。

下向きの孔については孔壁保持にある程度効果があると考えられるが、横向き及び上向き孔については、泥水の逸散が多くあまり効果がなかった。

当工事の経験から、今後改良すべき点として次の事項が考えられる。

1) ロックボルト打設技術の改善

現在使用しているエアオーガでは、穿孔長、能率とも限界があり、高能率でしかも使いやすい穿孔機の開発が望まれる。

また定着剤についても、施工性がよく廉価な材料の開発が望まれる。

2) 支保鋼

滑らかに可縮し、しかも強度のある支保工の開発が望まれる。

3) 掘進のスピードアップ

従来の矢板工法に比して、ロックボルト打設、吹付コンクリート施工の分だけ作業時間が長くなっている。これらの作業時間を軽減し、進行をはかるとともに、この現実を御当局各位に、充分認識していただきたい。

§ 7. あとがき

当工事は、強大な膨張性地圧に遭遇し、掘進に困難を極め、悪戦苦闘の連続である。今後も、その5工事においても、膨圧の増大が予測され、苦闘は続くと考えられる。

今後も、企業先御当局ならびに、本社、支店のより一層の御援助と御指導を、お願いする次第である。

参考文献

- 1) 貝塚夾平：日本の地形 岩波新書PP. 77～79
- 2) Rabcewicz, L. V. :Stability of Tunnels under Rock Load, Part one, Part two, Part three, water Power 1969
- 3) 足立紀尚：最近のトンネルの話題
- 4) 応用地質調査事務所：北北 鍋立山T坑内計測他 解析報告書
- 5) 日本鉄道建設公団東京支社、大成建設：北越北線 赤倉ずい道、膨張性地質の総合解析 1977
- 6) 日本鉄道建設公団：N A T Mの設計と施工 PP. 69～131
- 7) 仲野良紀：膨張性地山の実体 トンネルと地下 Vol.6 NO. 10, PP15～25 1975