

神居古潭変成帯におけるトンネル周辺挙動

清水建設(株) 正会員 ○高 崎 英 邦
 " 正会員 蔵 田 忠 廣
 " 正会員 楠 本 太

1. まえがき

北海道中央部を縦断する神居古潭変成帯は、主に蛇紋岩、粘板岩、頁岩、泥岩により構成されており、強い変成作用を受けている。このため、同帯におけるトンネル掘削に際しては、神居トンネル、新登川トンネルなどの施工経験によれば強い膨張性を示すことが数多く報告されている。

今回、同帯に位置する一般国道274号稲里トンネル新設その2工事において、強膨張性地山にも有効性が確認されているNATMによる試験工事が54年度導坑断面、55年度本坑断面で行なわれ、数多くの成果が得られている。この内、本報告は、切羽距離と変形、地圧の関連性などトンネル周辺挙動についてまとめ若干の検討を加えたものである。

2. 地質とトンネルの概要

図-1に試験工事区間での地質縦断面図を示した。図から分るように変成岩が主であり、一部に蛇紋岩が現出している。変成岩は、粘板岩を原岩とする黒色片岩と輝緑凝灰岩を原岩とする緑色片岩である。

岩盤状態は、変成岩類が強い動力作用を受けており、各所に断層や破砕帯があり網状に片理が発達し劣化が進んでおりかなり脆弱である。

稲里トンネルは、施工延長1,401mであり、この内、福山側142.18mがNATM試験工事区間である。この区間で多くの目的に沿った試験工事が実施された。そのうち、トンネル標準断面を図-2に導坑断面(D3工区)、図-3に本坑断面を示す。また、表-1に掘削断面積、支保部材諸元を示す。

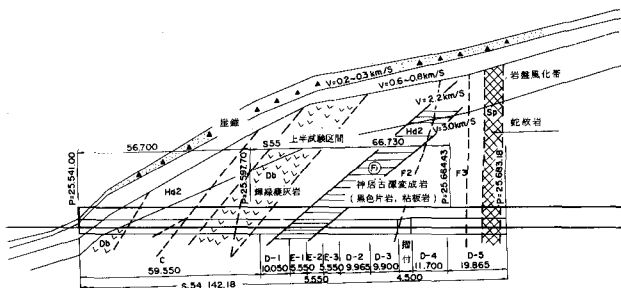


図-1 試験工事区間と地質図

3. 岩石試験結果

岩石試験結果一覧を表-2に示す。この結果からトンネルの大部分を占める黒色片岩は、片状部、破砕粘土部ともに一軸圧縮強度が $10\text{Kg}/\text{cm}^2$ 以下で、超音波伝播速度も低い。また、浸水崩壊度試験から水に対する抵

表-1 トンネル諸元

断面諸元	導坑断面	本坑断面
断面 横 m^2	17~26	81
内空半径 m	2.13~2.56	4.52
切羽ファンクラー幅 m	0.15	0.25
ロックボルト	本数本	30
	長さ m	1.5
鋼製支保工	MU-29	MU-29

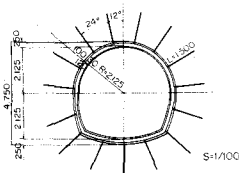


図-2 導坑断面

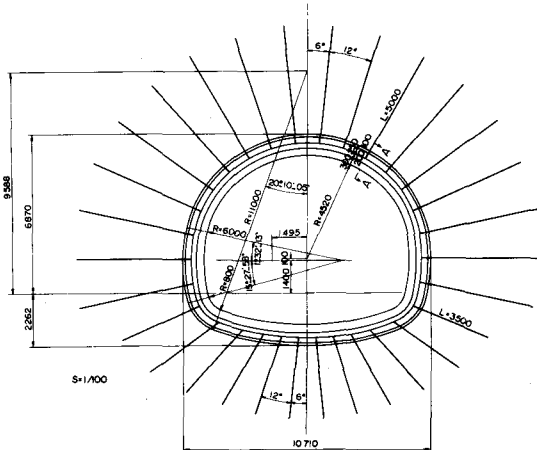


図-3 本坑断面

抗力も極端に弱く、岩盤状態が脆弱であることが分る。また、蛇紋岩についても同様である。

膨張性については、CEC試験値から粘土鉱物含有量が少量であり、また、水に対して弱い性質を持っているにもかかわらず吸水膨張および膨潤度試験では、吸水による体積の増加は少量であることから岩石自体の膨張性は確認されなかった。

4. 変形問題

4.1 地圧との関連

導坑試験工事ににおいて、内空変位～地圧特性を調査するために試験工区をもうけ、図-4のような曲線を得た。

この内空変位～地圧曲線は、所定の変形量を許容するスリットを設け、吹付けコンクリート250mmを行い、計測値が安定した時点でプロットしたものである。

この内空変位～地圧曲線から次のようなことが言える。

- 変位が進むにつれて半径方向応力(σ_r)が漸減している。
- σ_r は、変形量が1～1.5%でほぼ平衡状態となっており、この時の σ_r は、初期応力の1/3程度となっている。

この曲線その他から本坑断面の設計地圧が40t/m²と想定された。可縮スリットを設けて本坑上半断面を掘削している際に急速な変形の進行が認められ、その割には地圧は低減しなかったため、直ちにスリット部を閉合してトンネルの安定を計った。

以上の事柄から、当地山では、変形をある程度許容したのちの地圧低減がほとんどないため、スリット効果が少なく、そのまま変形を許すとかえて地山のゆるみを助長させトンネル構造の危険性が高くなることが考えられる。したがって、変形はできるだけ小さく押えねばならない。

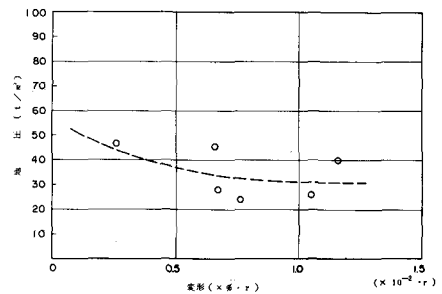


図-4 内空変位～地圧特性

表-2 岩石試験結果

試験項目	白色片岩		蛇紋岩
	片状性	脆軟粘上部	
単位体積重量 (t/m ³)	2.7	2.8	2.7
一軸圧縮強度 (kg/cm ²)	8.4	3.6	2.5
吸水膨張試験 (g)	4.4	2.9	3.5
膨潤度 (g)	4.0	3.6	3.5
吸水膨潤度	C~D	D	D
超音波伝播速度 (km/s)	2.8	2.0	1.4
CEC試験 (ml/100g)	4.8	6.6	7.7
X線分析 石英	○	○	
多量 雲母	○	○	
中量 方解石	△	△	○
少量 角閃石			○
蛇紋石	○	○	△
輝石			○

(注) 表中値は平均値

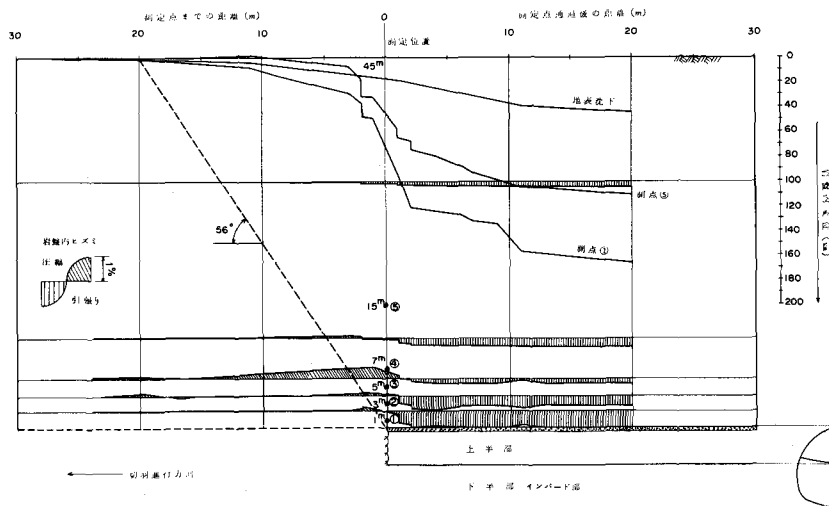


図-5 岩盤内変位測定結果

4.2 切羽距離との関連

トンネル掘削に伴う地山挙動を初期段階から測定するため、掘削前に地表よりボーリングを行い、岩盤内変位計をトンネル軸線上に設置した。

図-5に地表より設置した岩盤内変位計の計測結果を示す。図には、切羽進行に伴う地表沈下、岩盤内変位、岩盤内ヒズミの変化を示す。また、表-3に切羽到達時での岩盤内変位解放率、表-4に導坑、本坑時での地山挙動の安定時期について示す。

地表沈下、岩盤内変位変化と切羽進行の関連については、次のようなことが言 表-4 地山挙動安定時期
える。

- 切羽前方への影響は、切羽位置より20m程度(2D)から発生する。
- 切羽前方への影響角は56°であり、これから、内部摩擦角は22°となる。
- 切羽到達時まで測点①で71mmも岩盤内変位が発生しており、当地山のよう
な岩盤状態が脆弱な地山においては、地山のゆるみを極力おさえる必要があ
るが、そのためには、切羽前方のゆるみも小さくする必要があり、加背割な
ど設計、施工法に工夫が要求される。
- 図-5、表-3から分るように、切羽到達時まで全変形量の30～40%の岩
盤内変位がすでに発生している。トンネル坑内計測は、掘削による応力解放
途時からを初期値としているため、計測管理ではこの点を十分考慮しておく
必要がある。
- 地山挙動の安定時期については、表-4から導坑、本坑時とも掘削幅の2倍
程度となっている。

一方、岩盤内ヒズミ変化からは、次のようなことが
言える。

- 測点①～⑤は、切羽前方で圧縮側となっており、
通過後は引張側となっている。これは、切羽前方
については、臨界角56°をもって先に地表部に影
響が始めることにより、通過後は空洞に向って
変形が出ているためと思われる。
- 切羽通過後、早期にヒズミ値が一定となっており、
各測点とも変形が僅かながら一定勾配で進行して
いる。

4.3 変形・地圧・切羽距離との関連

4.1, 2で変形、地圧、切羽距離の関連について述
べて来た。これらについて勘案すると、トンネル空洞
周辺の地山挙動については、変形、地圧、切羽距離の
3次元的な評価が必要と思われる。図-6に変形、地
圧、切羽距離の関連についてまとめた。ただし、一部
内挿により推定して曲面をモデル的に表現した。

この図から分るように、実測でも理論的にも切羽前方の距離が長い場合は、ほとんど変形がなく地圧は初

表-3 切羽到達時の岩盤内変位解放率

測点	天端からの深度	切羽到達時	安 定 時	切羽到達時の 岩盤変位の比率
1	1 m	71mm	208mm	34 %
2	3	66	189	35
3	5	63	181	35
4	7	68	176	39
5	15	59	142	42
—	45 (地表沈下測定)	18	60	30

測 点	地山挙動安定までの トンネル掘削幅の倍率	注 意
導 坑	0.8~1.0	地山挙動安定
本 坑	1.1~1.2	地山挙動安定
導 坑	2.0	地山挙動安定
本 坑	2.1	地山挙動安定
導 坑	1.9	地山挙動安定
本 坑	1.9	地山挙動安定
導 坑	1.5	地山挙動安定
本 坑	1.5	地山挙動安定
導 坑	2.1	地山挙動安定
本 坑	2.0~2.1	地山挙動安定
導 坑	1.2	地山挙動安定
本 坑	1.2	地山挙動安定
導 坑	1.6	地山挙動安定
本 坑	1.4	地山挙動安定

(注) ①: トンネル掘削後

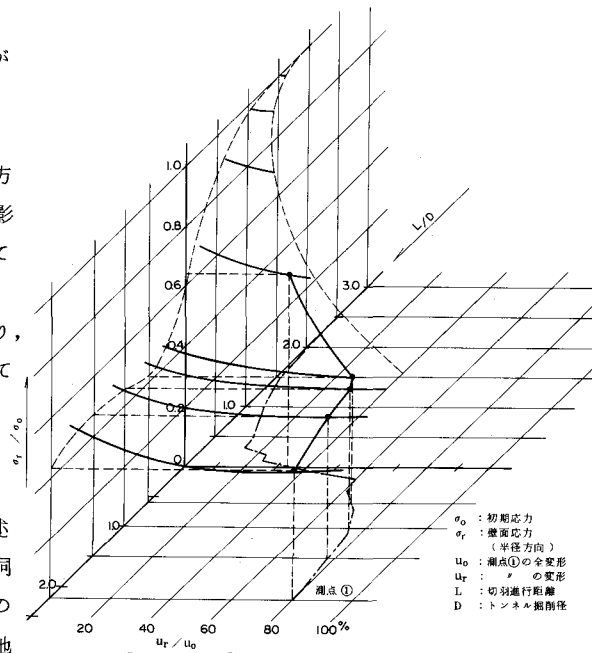


図-6 変形、地圧、切羽距離の関係

期応力状態にあり、切羽が接近するにしたがい変形が進み地圧が低減する。当地山の場合は、ある変形後は地圧の低減はほとんど無い。また、切羽前方で地山をゆるめることは接線方向の応力を増大させ、後にながりのゆるみを増大させることが考えられる。実施工時において、大きな変形が生じた結果、吹付けコンクリートにクラックが入り変状した区間がある。

以上の事柄から、このような性状の地山では、小さな変形を保つ軌跡を曲面上に描かせる設計、施工法を採る方がより安全で有利であると考えられる。

5. 支保材効果発揮時期

切羽距離と支保材効果発揮時期、支保材設置後の変化などの関連をみるために図-7を示した。

この図から支保効果がどの時点で発揮されているか明確ではないが、軸力値は、吹付けコンクリート、鋼製支保工ともに設置後早期に発生している。

早期から鋼製支保工の荷重分担が吹付けコンクリートに比べ非常に大きい。なお、鋼製支保工の軸力変化で、9日目で急激な変化が見られるが、鋼製支保工が可縮したことによるものであり、また、切羽掘削開始日とも一致している。このため、吹付けコンクリートへの分担が大きくなっていることが明確に認められる。全体的に鋼製支保工の荷重分担が大きく、とくに切羽に近い部分に著しい。これは鋼製支保工の剛性が大きく、したがって変形能に乏しいこと、また、吹付けコンクリートの弾性係数が小さかったことによるものと考えられる。(28日で平均 $4.0 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$)これは、吹付けコンクリートが若令のうち鋼製支保工に荷重を負担させなければならないが、剛性の大きすぎるものを入れると過大な負担による降伏破壊、また、吹付けコンクリートの役割低減につながり非効率であることを指示している。

6. まとめ

神居古潭変成帯の当地山における岩盤性状は、各種の試験結果から分るように、膨張性粘土鉱物は少量であるが、非常に脆弱で施工経験からも掘削に伴う塑性流動が大きい地山であることが分った。

当地山におけるNATMによる場合のトンネル周辺挙動の特徴と設計、施工の配慮すべき点を以下に示す。

- 変形の増大に伴う地圧の低減は、非常に小さい特徴を持つが、この地山特性を早期に把握することが重要であり、その後の設計、施工法の選定を大きく支配する。すなわち、このような場合は、変形量を小さく保ち岩盤支持力の低下を防ぐことが望ましいと考えられる。
- 切羽の前後2D以内で全んどの変形量が発生する。そのうちの30~40%が切羽通過時まで生じ、全変形量を小さくするためには、切羽前方の変形量をも小さくするような設計、施工法が要求される。
- トンネル周辺挙動を十分に理解し、適切な設計、施工計画を立案するには、トンネルの変形と地圧および切羽距離との3次元の見方が必要である。
- 吹付けコンクリートの若令時での鋼製支保工の役割は大きい、剛性の大きすぎるものを用いれば、過大な負担が強いられ、各支保材の効果が低減する。

おわりに、本報告に際しては、北海道開発局土木試験所地質研究室、同室開発建設部穂別道路改良事業所からの多大な御指導を賜った。これら関係諸氏に謝意を表します。

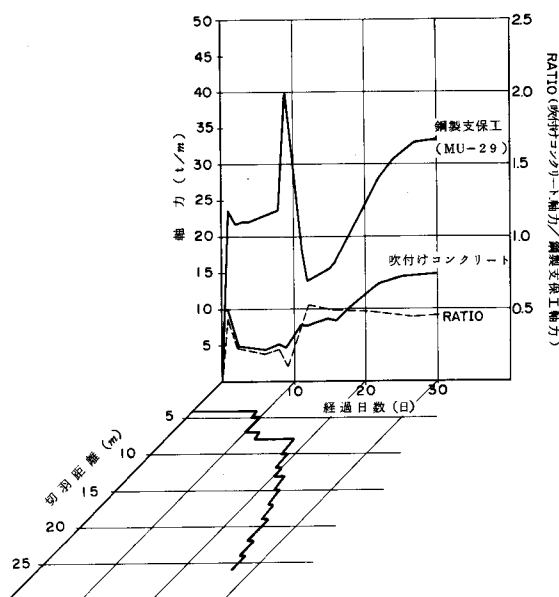


図-7 支保材軸力と切羽進行

PERIPHERAL BEHAVIOR OF TUNNEL IN KAMUIKOTAN METAMORPHIC ZONE

by

Hidekuni Takasaki, Tadahiro Kurata, Futoshi Kusumoto

Shimizu Construction Co., Ltd. Architects & General Contractors
No. 17-1, Kyobashi, 2-chome, Chuo-ku Tokyo 104 Japan

Summary

A rock condition of Inasato Tunnel, where is in the central part of Hokkaido and is under construction, consists of shist and surpentine.

This area has always displayed an expansive tendency in case of tunnel work, because it's charastalicity is very poor and easy to pick a plastic flow up.

For that reason, the big test gallery was excavated by NATM for two years.

This report describes a part of investigated results, that is to say, relationship among deformation, ground pressure and distance from face of tunnel, and effect of supports.

The important outcomes are as in the following:

- (1) Tunnel deformation should be kept as small as possible. This depends on the reason why mitigation of ground pressure keeping step with tunnel deformation is very little.
- (2) A great part of deformation occurs within $2 \times D$ (width of tunnel) before and behind a face. Besides amount of deformation before a face gets 30-40% of that number. Accordingly, it is need to make a deformation before a face decrease for account of keeping a small total-one.
- (3) In this rock condition, a 3-dimensional thinking and/or observation, deformation-ground pressure-distance from face, is necessary for understanding a peripheral behavior of tunnel.
- (4) In a short time duration just after excavation, Steel rib not shotcrete system mainly supports a force. To use a too big one brings a possibility of failure, however.