

(103) 近接施工におけるトンネル周辺の岩盤挙動の観察

パシフィックコンサルタンツ (株)	正会員	谷口 親平
"	正会員	米田 裕樹
(株) 奥村組		浦川 好光
(株) レアックス	正会員	亀和田 俊一

Survey of effect on surrounding bedrock in proximate tunneling to existing structure

Shinpei TANIGUCHI	Pacific Consultants Co.,Ltd
Hiroki YONEDA	Pacific Consultants Co.,Ltd
Yoshimitsu URAKAWA	OKUMURA CORPORATION
Shunichi KAMEWADA	RaaX Co.,Ltd

Abstract

An "image logging" method was applied to monitoring the deformation of bedrock structure in the process of construction. At the area where a newly planned tunnel and a cutting of existing road came close to each other, the deformation of bed rock structure surrounding the tunnel was examined by "image logging" method at three intervals: (1) before excavation, (2) when a working face approached and (3) after excavation. The result showed that no appreciable deformation of bedrock structure occurred during the whole process and the safety of the tunneling work was confirmed.

1. はじめに

近年、既設構造物（道路、ダム、トンネル）に近接して施工されるトンネル工事の需要が多くなっている。この場合、トンネル施工がそれらに与える影響を把握し、安全な施工あるいは対策工を立案できる調査が重要となる。著者らは、岩盤の状態を直接画像によって捉え、施工状況をモニタリングする試みとして、岩盤状態をボーリング孔内での画像記録によって解析する画像検層法を用い、新設トンネルと現道のり面近接部において、地山の初期状態、切羽接近時、切羽通過後の各ステージでトンネル周辺岩盤の変化を逐次観察した。本論ではこの結果を取りまとめて示す。

2. 調査トンネルの概要——設計施工の留意点

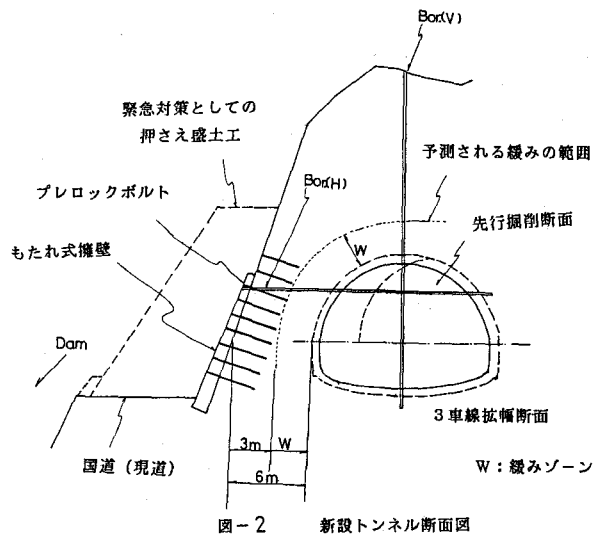
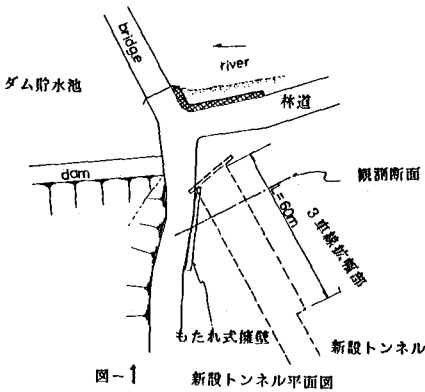
調査トンネルは、終点側抗口付近で林道と平面交差するため（図-1、図-2）、交差点での交通安全性への配慮から三車線で拡大施工（ $L=60\text{ m}$ ）する。この区間で施工上以下の点が問題点となる。

- 1) 現国道及びダムに近接施工する。
 - 2) 偏圧地形であり、さらに川側の土被りが極端に薄くなる。
 - 3) トンネル天端は黒色頁岩の風化岩層 ($V_p=1.6\text{km/s}$) であり、土被りは1 D以下となる。
 - 4) 川側での地山劣化による崩壊が生じた場合、現況交通の安全性が脅かされる。
- 以上より、川側での地山の劣化防止が重要であるため、地山を三軸状態に保持させるため、もたれ擁壁・補強ボルトの事前施工を行った。また、施工上は掘削開放面積を小さくすることによって地山の崩壊を押さえ、段階的に掘削していく中壁工法 (CD工法) を採用した。

このような作業手順において施工の過程で予測される岩盤の緩みの状況と、これに伴う現象および対策は次表のように検討されたが、表中②の段階で緩みが大きく発生すれば山側からの押出しが大きいものと予想され、現況交通の通行止や緊急対策工としての押え盛土工の必要性もあると考えられた。

このため、上記のような安全性を考慮した作業手順に加えて本論で述べる画像検層による岩盤状態のモニタリングを併用し、安全施工を図ったものである。

観測断面と切羽の関係		緩み領域 (予測値)	対策工	事前補強ボルトと緩みの関係
①	L=-25m (自然地山状態)	W=0m		
②	L=-1.0m (1 発破前)	W=2.0m	早期吹付	緩みは補強ボルト以浅
③	L= 0m (切羽通過)	W=3.0m	補強ボルト施工	緩みは補強ボルトまで
④	L=+2.0m (1 日経過)	W=4.0m	加背割り縮小	緩みは補強ボルト内側1m



3. 画像検層によるモニタリングの方法

3-1. 装置及び計測計画

岩盤の画像記録及び解析のためBIPシステム(Borehole Image Processing System)を使用した。本システムは、

- 1) ボアホール内において連続的に岩盤状態を画像記録する機能
- 2) 画像記録をもとに不連続面の方向(走向傾斜)や亀裂の開口幅を計測し、解析、統計処理を行う機能

本システムによる計測のため、抗口付近に観測断面を設け、あらかじめトンネル断面に達する鉛直(L=22m)および水平(L=14m)の調査ボーリングを実施した。

観測は、前表の4ステージに対応するように実施した。

3-2. 岩盤評価の方法

各ステージにおける画像をまず目視比較して、孔壁状態の変化の有無を検討した。さらに、緩み領域の定量的な把握のために、累積開口量曲線図を作図して評価を行うものとした。

累積開口量曲線の作図は、岩盤の緩み状態の評価のため筆者らが提案している方法で、孔壁に表れた亀裂節理の開口量を計測し、これを孔の深部の任意の点(緩み領域外にあることが望ましい)を基準点として孔の上位に向かって累積し、深度-累積開口量の関係で整理したものである。すなわち岩盤内部の開口性の変化が曲線の傾きの変化で示されるので、岩盤状態の区分が可能である。この方法では、確率的にボーリング孔の方向の不連続面を多く拾うことになることに注意する必要があるが、トンネルのように変位の方向があらかじめ予測される場合や、繰返し観測して相対的な比較を行う場合には極めて有効な方法であると思われる。

何箇所かの既設トンネル天端の岩盤で累積開口量曲線を作図してみると内空壁側で累積開口量が急増する部分が見られ、明らかに岩盤掘削による緩み状態を反映するものであると考えられる。

4. 計測の結果

1) 自然地山状態の岩盤状態

トンネル掘削前の岩盤状態は以下のとおりであった。

- ・ トンネル断面内および側壁から現道のり面にいたる区間の岩盤は新鮮状態で、亀裂は1~2本/m程度、いずれも密着状態で、極めて良好な岩盤であった。トンネル断面上位には地表面からの応力開放に伴う緩み岩盤が分布している。(孔壁画像および緩み解析結果による。)
- ・ 現道の擁壁背面の約2.0m区間に掘削時の影響と見られる亀裂質の部分が見られる。(同上)
- ・ 区間のRQD値は100、岩級としてはCH級に区分される。(ボーリングコア観察による)

2) トンネル切羽接近時及び通過後の岩盤状況の変化

後述する問題で画像が一部不明瞭となったため、ここでは最終的な状況変化のみ示す。

①画像目視による変化

a) トンネル天端(鉛直孔)

- 0～10.0m区間(掘削断面から3.0m以遠)-----変化無し
- 11.1m付近 (" 2.9m付近)-----低角亀裂顕在化?
- 10.6～11.5m区間(" 1.5～2.4m)-----高角亀裂顕在化、水の滲出あり
- 12.2m付近 (" 0.8m付近)-----低角亀裂顕在化
- 12.6m付近 (" 0.4m付近)-----低角亀裂一部わずかに開口

b) 擁壁背面～側壁部

擁壁背面の亀裂質の部分を含めてまったく変化は見られなかった。

②累積開口量曲線図

鉛直、水平各孔の自然状態地山の累積開口量曲線図を示す。(図-3)

本図によってトンネル天端部からの地表付近にかけての緩み状況が読み取れる。また、擁壁背面の緩みの状況も明らかである。また、トンネル断面内では全く緩みのない状況であったことが分かる。

トンネル切羽接近時および通過後の繰返し観察での解析結果には、本図に表現される程の明瞭な変化は表れなかった。

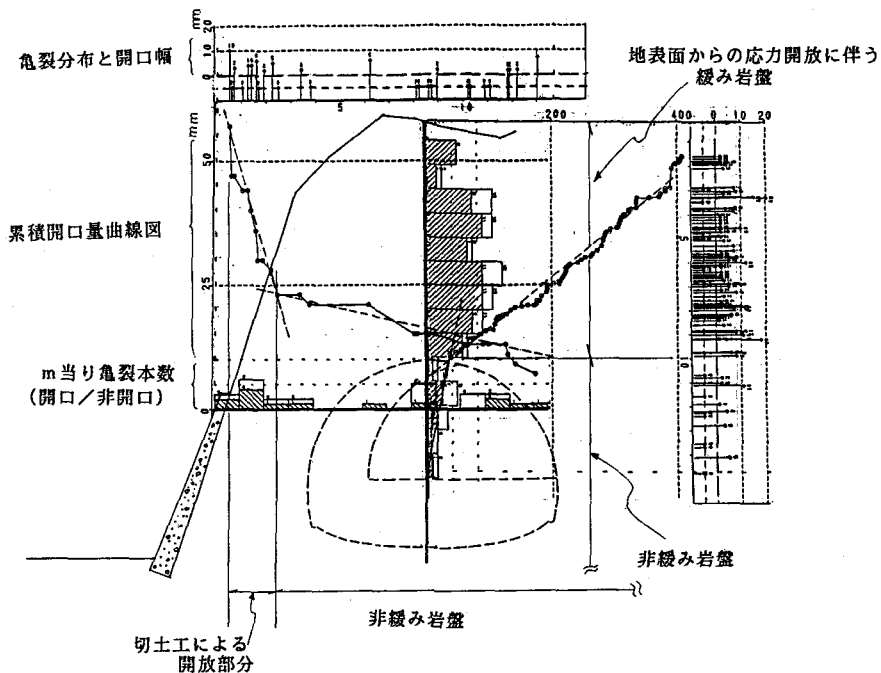


図-3 岩盤緩み状態解析図

3) 計測結果の総括

以上に示したように、画像の目視による比較では、トンネル天端の約2.4m程度の範囲に、定性的に表現されるような微妙な変化が生じたものと考えられる。これは、これまでに確認されている既存トンネルでの岩盤緩みの実績の範囲（概ね3.0m以下）に符合していて興味深い。しかし、累積開口量曲線の変化に定量的に表現できるような明瞭なものではなく、大局的に見れば岩盤にはおおむね大きな変化はなかったものと考えられる。これは、

- a) 掘削断面に近接する岩盤がかなり良好であったこと、(不連続面が少なかった)
- b) 擁壁背面のプレロックボルトの施工により岩盤の一体化が図られていたこと
- c) 吹付工により掘削後速やかに岩盤の一体化が行われていること
- d) 中壁工法(CD工法)によって緩みが最小限に押さえられた。

などの理由に基づくものと考えられ、施工は結果的に岩盤やもたれ擁壁に影響を与えなかったと評価される。

5. 今後の検討課題

今回の画像検層による掘削施工のモニタリングの試みによって、このような手法が有効であることが確認されたと考えている。計測の方法そのものについては、孔壁崩壊防止に使用したアクリルパイプが汚れやすいこと、切羽通過時にボーリング孔内に粉塵が侵入し画像が不鮮明になり、解析に若干支障が有ったことなどに改良を加えたい。

また、トンネル切羽から先進ボーリングを行い、画像検層を併用すれば、地山状態が予測でき、合理的な設計施工にフィードバックすることが可能となる。

さらに、大規模地下空洞などで定期的な観測を行えば、地山の経年変化を定量的に比較することができ、構造物の維持管理にも応用できよう。

〔参考文献〕

- 1) 谷口、亀和田、米田、国分:既設トンネル老朽度の調査手法の開発、第21回岩盤力学に関するシンポジウム講演論文集、p191~195
- 2) 中、鎌田、米田:発破掘削によるトンネル拡張工事、第18回日本道路会議論文集