

につくれやま

日暮山トンネルにおける早期閉合を目的とした 導坑先進工法について

DRIFT - ADVANCED METHOD FOR IMMEDIATE INVERT-CLOSE ON NIKKUREYAMA TUNNEL CONSTRUCTION

谷井敬春¹⁾・下田哲史²⁾・高橋 浩³⁾・菊地裕一³⁾・釜谷薫幸³⁾

TANII Keishun, SIMODA Akifumi, TAKAHASHI Hiroshi, KIKUCHI Yuichi, KAMATANI Nobuyuki

The drift-advanced method was applied for the purpose of the immediate invert-close to excavate squeezing ground on Nikkureyama Tunnel Construction. Five kinds of special techniques that altered the advanced distance, the cross section shape, and the support rigidity were tried by regarding the drift as an auxiliary method. As the result of the construction, it was proved that the drift-advanced method was extremely applicable to the squeezing ground excavation in accordance with achievement of the face stability and the tunnel displacement reduction.

Key Words : squeezing ground, drift-advanced method, invert-close

1. はじめに

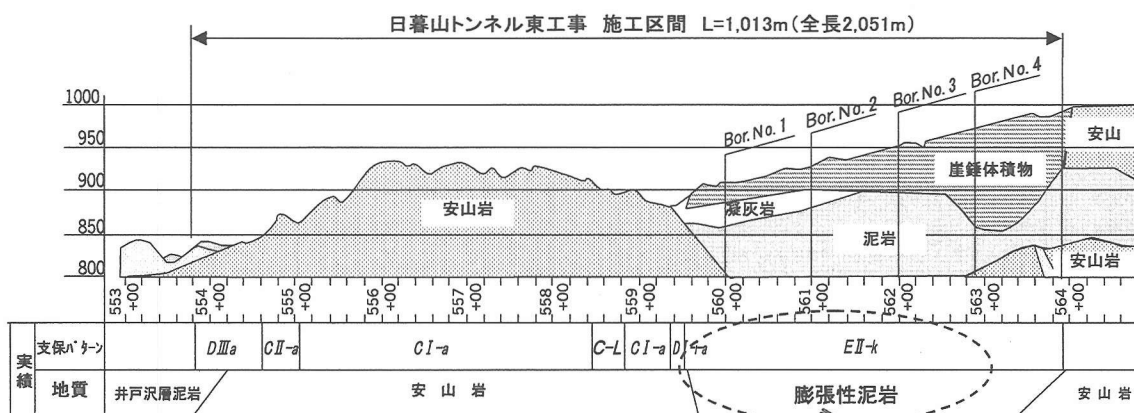
上信越自動車道日暮山トンネル東工事（Ⅱ期線トンネル新設工事）では、トンネル中央部に存在する膨張性泥岩区間の掘削に導坑先進工法を採用した。これは、Ⅰ期線施工時において最終的に導坑を先進させることで切羽を安定させて剛な拡幅支保で閉合したこと、Ⅱ期線トンネルの変位を抑制してⅠ期線への影響を極力回避させること、などを勘案したことによる。筆者らは、膨張性地山における合理的な施工方法を確立することを目指して、導坑を剛な支保による早期閉合を達成するための補助工法と位置づけた。すなわち、導坑の施工規模を切羽状況や施工状況などに応じて臨機応変に変更しようとするものである。今回、拡幅切羽からの導坑先進距離や導坑の形状、支保剛性などを変更し、導坑なしを含めた5通りの導坑設置ケースを採用して施工データを比較検討した。その結果、導坑が膨張性地山における早期の断面閉合に有効であることを確認した。本稿では、日暮山トンネルで採用した導坑先進工法の施工概要と得られた計測結果の一部を報告する。

2. 日暮山トンネルの概要

(1) トンネル概要

日暮山トンネル東工事は、上信越自動車道4車線化工事の一環として長野県と群馬県の県境付近に建設される。

-
- 1) 日本道路公団東京建設局佐久工事事務所
 - 2) 日本道路公団技術部道路技術課（元 東京建設局佐久工事事務所）
 - 3) 住友建設（株）・（株）白石共同企業体 日暮山トンネル作業所



STA	560+00		561+00		562+00	
導坑設置 ケース	② 円形導坑ロング		① 馬蹄形 導坑なし	④ ショート35 ③ 馬蹄形ロング	⑤ 馬蹄形ショート25	
計測工A	5 m 間 隔 で 実 施					
計測工B	559+93.5	560+37.5	560+55.5	561+6.5 561+29.5	562+34.5	

図-1 日暮山トンネルⅡ期線 地質縦断面図

Ⅱ期線トンネル（全長 2,051m）のうち東側（群馬県側）1,013mを施工するものである。Ⅰ期線工事では、トンネル中央部付近に存在する約 370m 間の膨張性泥岩区間において、上部滞水層からの多量の切羽湧水と膨張性土圧により内空変位と天端沈下が最大約 3m に至るほどの難工事を強いられた¹⁾。このため、Ⅱ期線トンネルはⅠ期線との位置関係を平面的に 100m 離し、縦断的に 24m 下げることで滞水層からの湧水を避けて比較的安定した泥岩層に計画された。しかし、事前調査結果による地山物性値のうち膨張性を示す指標はほとんど同じであったために、同様の難工事が懸念された。

図-1 にⅡ期線トンネルの地質縦断面図、図-2 に膨張性を示す指標²⁾との比較を示す。

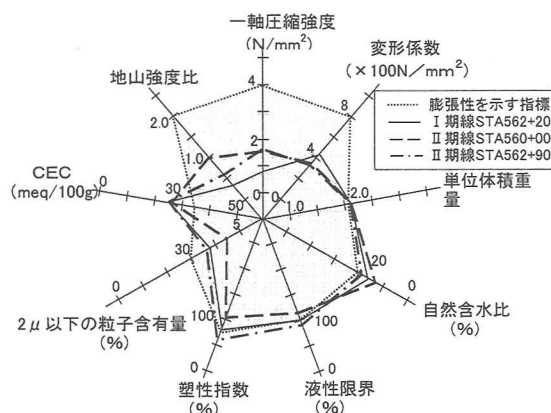


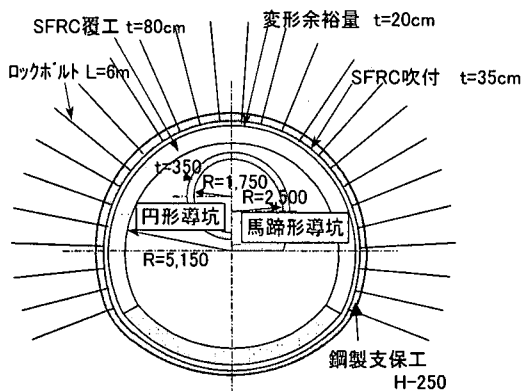
図-2 膨張性を示す指標との比較

(2) 導坑先進工法の概要

図-1 に示す膨張性泥岩区間において、導坑のあり・なし、導坑形状、拡幅切羽からの導坑先進距離および導坑吹付けコンクリート厚さなどを変更した 5 通りの導坑設置ケースを設定して掘削を行った。拡幅断面は、インバートを含む全周を吹付けコンクリート ($t=25\text{cm}$) と鋼アーチ支保工 (H-250) による剛な支保で閉合した。図-3、表-1 および図-4 にそれぞれ支保パターン図、支保工諸元および導坑の設置ケース

を示す。

導坑の設置ケースのうち、②円形導坑ロングスパン先進工法（円形ロング）および③馬蹄形導坑ロングスパン工法（馬蹄形ロング）とは、表-2 に示すような導坑掘削専用機を導入して拡幅切羽からの先進距離を 28m~60m とした掘削工法である。④馬蹄形導坑ショートのスパン先進工法（馬蹄形ショート 35）および⑤馬蹄形導坑ショートのスパン先進工法（馬蹄形ショート 25）とは、導坑掘削専用機を用いずに表-2 の拡幅時の施工機械を使用して、下半盤から導坑掘削する工法を言

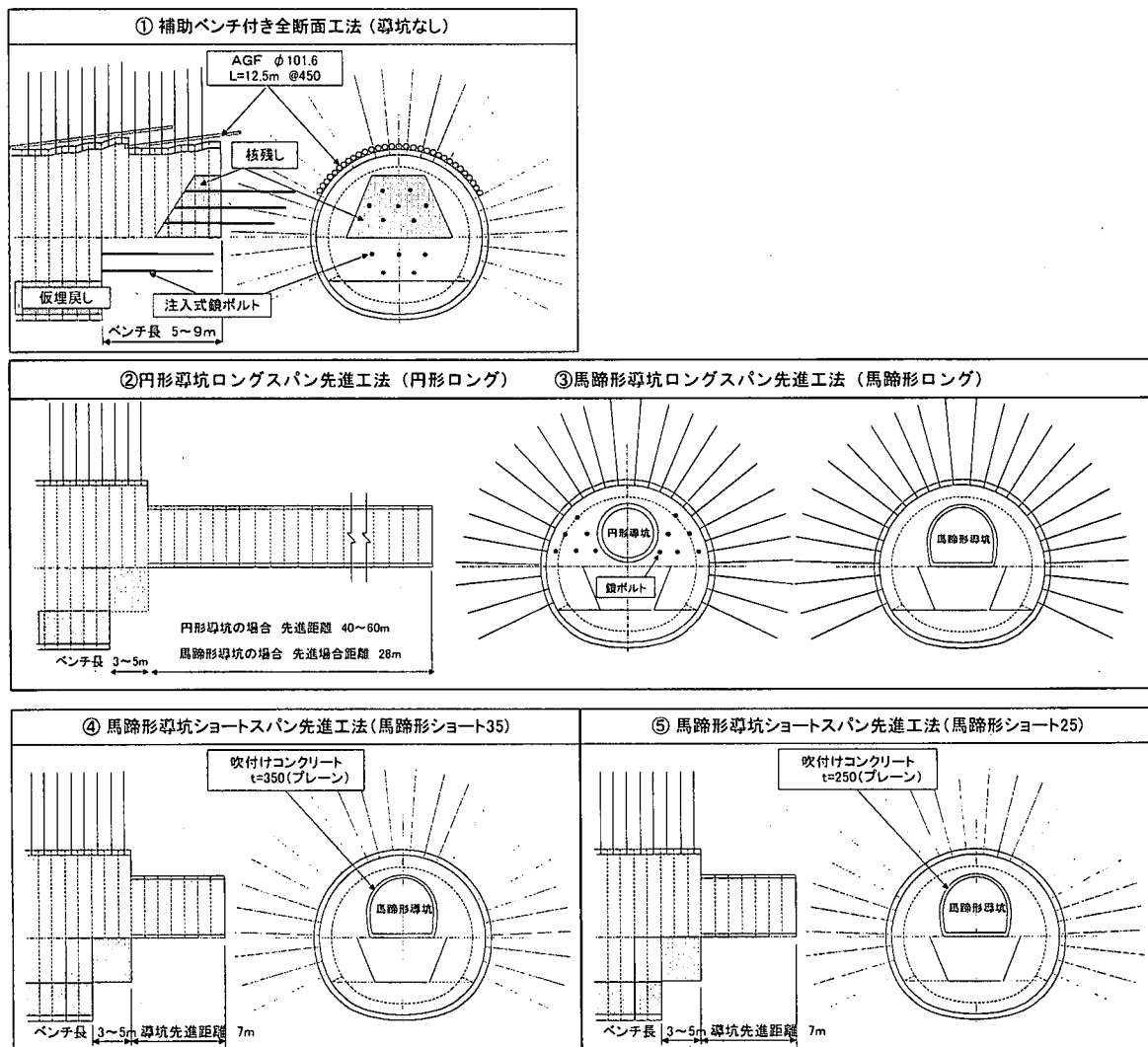


図—3 支保パターン図

表—1 支保工諸元表

導坑	吹付けコンクリート	種別	ブレーン
		σ_{ck} (N/mm ²)	18
		厚さ(mm)	350(250)
		サイズ	H-125(全周)
鋼アーチ支保工	建込み間隔(cm)	建込み間隔(cm)	100
		—	—
		—	—
		—	—
ロックボルト	種別	種別	SFRC
		σ_{ck} (N/mm ²)	18
		厚さ(mm)	350
		サイズ	H-250(全周)
拡幅	建込み間隔(cm)	建込み間隔(cm)	100
		長さ(m)	6.0
		周方向間隔(cm)	100
		延長方向間隔(cm)	100

*導坑吹付厚さのうち、馬蹄形ショート25のみ25cm



図—4 導坑の設置ケース

う。なお、④馬蹄形ショート 35 と⑤馬蹄形ショート 25の違いは、導坑の吹付け厚がそれぞれ 35cm、25cm であることのみである。①導坑なしのケースと導坑を設置した場合の拡幅掘削は、補助ベンチ付き全断面工法とした。

拡幅掘削の施工順序は、施工機械の関係から上半部を原爆型（上半と大背部を同時掘削）に掘削・支保した後に、一次支保による早期閉合を目的に下半（土平部）とインバートを同時に掘削・支保した。②円形ロングおよび③馬蹄形ロングの場合は、導坑を所定の先進距離まで掘削した後に拡幅した。④馬蹄形ショート 35 と⑤馬蹄形ショート 25 のケースでは、上半掘削 2 基、導坑掘削 2 基、下半・インバート掘削 2 基のサイクルで掘削した。掘削方式は導坑、拡幅ともに機械掘削とした。図-5、図-6、図-7に導坑の設置ケース毎の切羽写真を示す。

計測位置は、図-1に示したように計測工Aが 5m 間隔、計測 B（吹付けコンクリート応力測定、鋼アーチ支保工応力測定）は導坑の設置ケースごとの代表的な断面で実施した。

3. 施工結果

先の述べた 5 通りの導坑設置ケースを採用して掘削を行い、その施工データを比較検討した。その結果、導坑を設置することによる効果として、(1)切羽安定効果、(2)変位減少効果が確認された。その他の効果として、地質確認、水抜き効果（今回の施工では切羽湧水はなかった）などがあるが、ここでは報告を割愛させていただく。なお、本稿では計測工Aについて延べ、計測結果は導坑設置ケース毎の平均値としている。

(1) 切羽安定効果

導坑が拡幅切羽の安定性に寄与することは、矢板工法の時代から広く経験されているところである。日暮山トンネルでは、施工データのうち一次支保によるインバート閉合、すなわち切羽が自立すれば安定対策に要する時間が短縮され、結果として断面閉合までの時間が短くなると考えるので、断面閉合までの時間を比較することで導坑による拡幅切羽の安定効果を確認することとした。図-8に一次支保による断面閉合達成までの経過日数とベンチ長（上半切羽と下半切羽の離

表-2 施工機械一覧表

	導 坑	拡 幅
掘削	カッターローダ (CL9E-1)	ツインヘッドター (MT1000)
ずり積込み		バックホウ (0.7m ³)
ずり運搬	クローラードンプ (3.5t)	ダンプトラック (10t)
吹付けコンクリート	カッターローダ搭載ノズル アリバー285	ロボット一体型吹付け機 (GMB35C)
支保工建込み	簡易足場	エレクター (2ブーム2バスケット)
ロックボルト		油圧ジャンボ (2ブーム2バスケット)

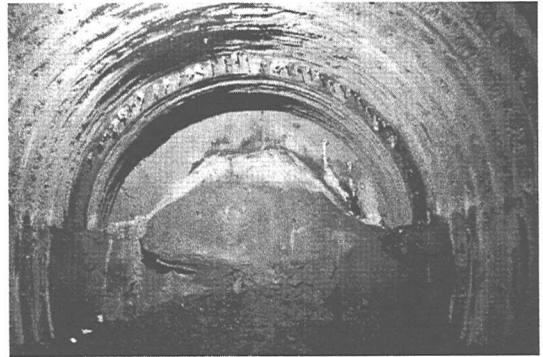
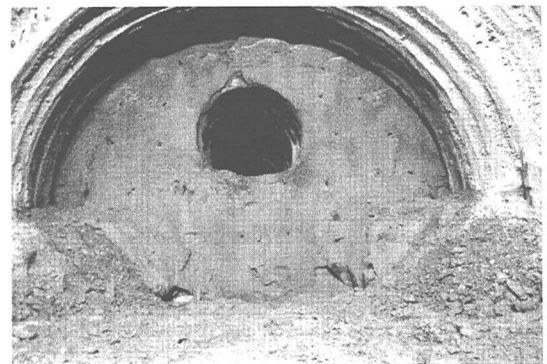


図-5 導坑なし



*円形導坑の底部を路盤として埋戻しているために写真では真円には見えない

図-6 円形導坑先進工法

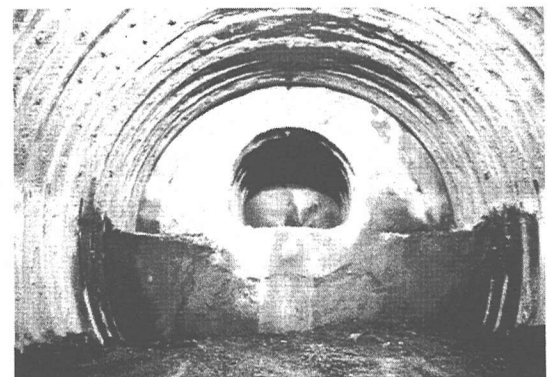
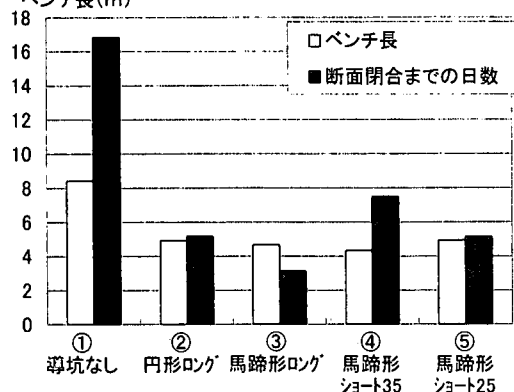


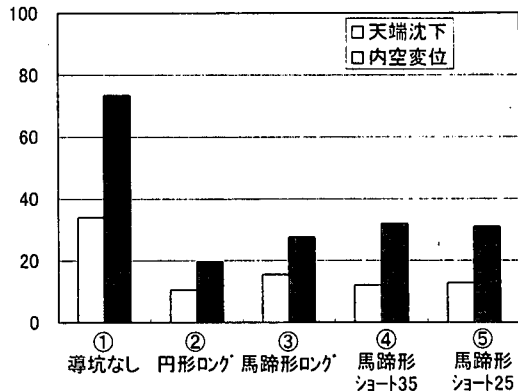
図-7 馬蹄形導坑先進工法

断面閉合までの日数(日)
ベンチ長(m)



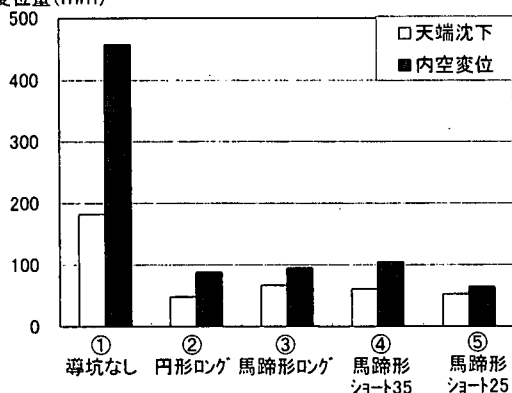
図—8 断面閉合時間とベンチ長

初期変位速度(mm/日)

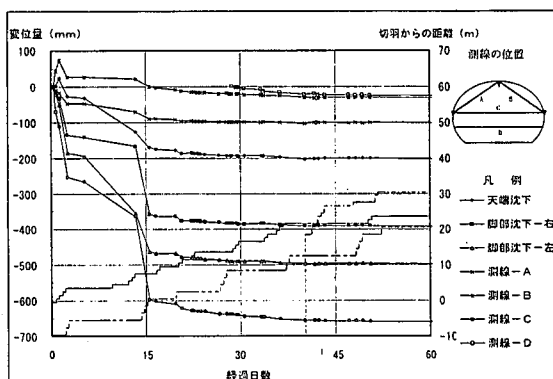


図—9 初期変位速度

変位量(mm)



図—10 最大変位量



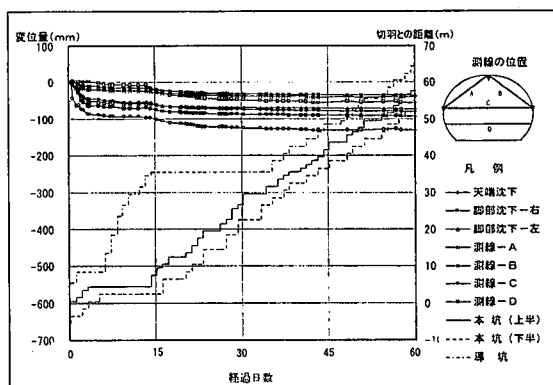
図—11 ①導坑なし 経時変化図

れ)を示す。図からわかるように、断面閉合までの時間は①導坑なしの17日に比べ、②から⑤の導坑を設置したケースでは3~7日となっている。これは、導坑を設置しない①のケースでは核残し、鏡吹付け、鏡ボルト、AGFなど、切羽安定のための補助工法が必要となり、その施工に要する時間が長くなること、ベンチ長を導坑設置ケースの2倍程度(平均8.4m)として切羽の安定性を向上させたこと、などにより断面閉合が遅れてしまうのに対して、②から⑤の導坑を設置する場合は、切羽安定のための補助工法を別途必要としないためである。

このように導坑を設置することによる拡張時の切羽安定効果が確認された。

(2) 変位減少効果

図—9に拡張時の天端沈下、内空変位の初期変位速



図—12 ④馬蹄形ショート25 経時変化図

度、図-10に同じく最大値（切羽距離4D時点の変位量とした）を示す。導坑を設置していない①に比べて、導坑を設置した②、③、④、⑤の初期変位速度は1/2～1/3程度、最大値は1/3～1/4程度まで減少しており、導坑設置による拡幅時の変位量減少効果が確認された。

導坑形状を馬蹄形とした③の場合のショートスパンと④のロングスパンを比較すると、初期変位速度、最大変位量ともに顕著な差は見いだせない。また、先進距離を長くした場合の②円形導坑ロングと③馬蹄形導坑ロング、先進距離を短くして馬蹄形導坑の吹付け厚さを35cmとした④馬蹄形ショート35と同様に25cmとした⑤馬蹄形ショート25を比較しても、大きな差はないと判断される。このことから、導坑の先進距離、導坑形状や導坑吹付け厚さなど、導坑設置ケースを変えても変位量は同程度であると考えられる。

図-11、図-12にそれぞれ①導坑なしで施工して泥岩区間の最大内空変位670mmが発生した断面（STA560+74.5）と平均的な内空変位量132mmとなった④馬蹄形ショート25の断面（STA562+6.5）の内空変位経時変化図を示す。これによると、変位量の絶対値に差があるものの概ね同様の変位傾向を示しており、一次支保による下半・インバートの断面閉合後に変位速度が急激に減少して、以降の変位量増加は少ないことが分かる。このことから、早期に断面閉合を達成すれば最大変位量を減少させることができると考えられる。

4. まとめ

膨張性地山の日暮山トンネルⅡ期線建設工事において、合理的な施工方法を確立することを目指して、導坑を早期閉合達成のための補助工法と位置づけ、5通りの導坑設置ケースを採用した。得られた施工データを比較検討することで下記のような導坑の効果が確認された。

- ① 導坑を設置することにより拡幅時の切羽が安定し、補助工法をほとんど必要とせずに早期の断面閉合が可能となる。
- ② 導坑設置の効果で、拡幅時の天端沈下と内空変位の初期変位速度および最大値が減少する。
- ③ 最大変位量は、一次支保による断面閉合（インバート閉合）達成までの所要時間に依存するため、その時間を短縮すれば最大値は減少する。
- ④ 変位減少効果は、導坑設置ケースを変えてもほとんど同じである。

これまで、膨張性地山における導坑先進工法は掘削工法のひとつとして取り扱われ、導坑掘削専用機械を導入する必要があるなどのために、積極的に採用されるケースは少なかった。しかし、次のように考えることで同工法が採用される機会が増えてくると思われる。

- ・ 導坑を掘削工法としてではなく、早期閉合を達成するための補助工法のひとつとして扱う。
- ・ 導坑の支保剛性、形状や先進距離を切羽状況や施工条件に応じて臨機応変に変更する。
- ・ 導坑の先進距離を5～10m程度のショートスパンとすることで導坑掘削専用機械を導入することなく、切羽安定効果と変位減少効果が得られる。

今後は、導坑によるいなし効果などについても言及して、膨張性地山における合理的な施工方法を確立していきたいと考えている。

参考文献

- 1) 中村良明、羽田勝、木曾伸一：超膨張性泥岩を克服、トンネルと地下、pp.7～14、1993.1.
- 2) 土木学会：トンネル標準示方書〔山岳工法編〕・同解説、pp.36、1996.7