

日本鉄道建設公団盛岡支社 正会員 谷 健史
石垣 政広

1. まえがき

津軽海峡線は、青森県・津軽線中小国を起点として、青函トンネルを経て、北海道・江差線木古内駅を結ぶ延長 17.4km の路線である。このうち本州側の青函トンネル取付部は約 17.2km となっており、大川平トンネル (L=1337m) は 4 本のトンネルからなっている。本報告では本州方取付部建設工事の NATM 施工において、設定 1 に変位による管理基準がおおむね妥当であり、本事と大川平(南)トンネルの逆解析結果より述べる。

2. 地質と施工概要

地質は第四紀洪積世の浜石層に属し、非常に層相変化の激しい未固結の地層からなっている。一例として図-1 に大川平(南)トンネルの地質縦断面図を示す。図からわかるように土壌リガム 4m ~ 13m と浅く地下水が比較的低いことから NATM 工法が施工された。

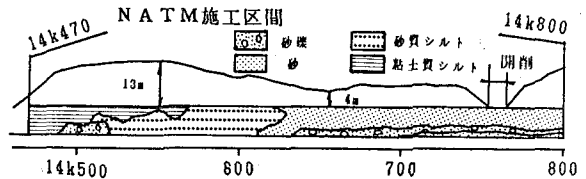


図-1 大川平(南)トンネル地質縦断面図

トンネルの断面形状は類似 NATM 施工実績及び整備新幹線技術調査委員会中間報告を参考に土壌リガム 4m により、図-2 に示すパターン A 及びパターン B を採用した。

掘削方法は、図-3 に示すリングカットショートベンチ工法を採用した。施工に当っては、リングカットアタッチメント付バックホー (0.2m) を使、て掘削し、ずり出し方式はタイヤ方式とした。

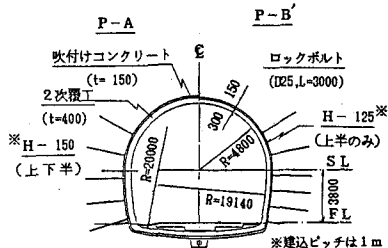


図-2 標準設計パターン

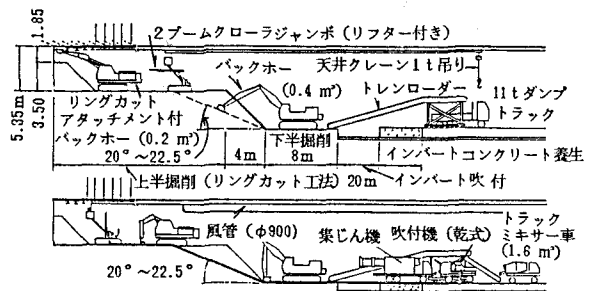


図-3 NATM 施工概要図

3. 管理基準の設定

NATM 施工においてはトンネル壁面の変位量をあらかじめ定め、変形余裕以内におさめることが重要な問題であるが、地山の安定性や対策工の必要性などを素早く分析し、現場の施工に反映させる必要がある。当現場では切羽の自立性、湧水の状態に加え、地山の破壊ひずみに対する内空変位量で管理する方法を採用した。表-1

表-1 地山の安定性評価と施工実績

ランク	対応策	トンネル周辺の地山状況	施工方法	対策工
注意レベル III	掘削を中止し対策を講じる。	ロックボルト打設範囲外にも広く塑性ひずみが生じ、非常に不安定な状況。		施工方法及び支保設計の変更
注意レベル II	計測制度を多くし、施工方法及び対策工を検討する。	塑性ひずみがロックボルト打設範囲内にあり、しかも小規模である。	ミニベンチ リングカット ショートベンチ	(1) 増しボルト、増し吹付け及び支保の強化。 (2) 切羽の自立性、湧水状況、計測結果より以下の補助工法を選択。 ・上半掘削 (インバート吹付け) ・コンクリート ・ミニパイプアーフ ・新ロックボルト ・ウェルポイント、水抜きボーリング等
注意レベル I	湧水や切羽の自立状況を観察し、計測結果と併せて地山の安定性を監視する。	地山中に顕著な塑性ひずみは生じないが吹付けコンクリートに変位が多少認められることもある。	リングカット ショートベンチ	・増しボルト、増し吹付け及び支保工の強化 場合によっては上記の補助工法を併用
注意レベル 0	折所に施工し、必要に応じて適宜打合せを行う。	塑性ひずみは生じず、吹付けコンクリートにも何ら変位の認められない安定した状態。	ショートベンチ	—

は、その管理基準と施工実績を一覧に示したものである。

トンネル壁面の許容変位量 U は、地山の破壊ひずみ ϵ_c より次式により決定した。管理基準値の一例を図-4に示す。

$$U = 2 \times (1 - m) \times R \times \epsilon_c$$

ただし、 R は断面半径、 m は先行変位と考慮した補正係数

4 計測結果と逆解析

(1) 計測結果

計測項目としては、大川平(北)トンネルを除いて全般的に被りが薄く比較的低強度な土砂地山であることを考慮し地表沈下、天端沈下、内空変位と主体として計測を行った。一例として大川平(南)トンネルの内空変位測定結果を図-4に示す。注意レベルⅡに達する変位も一部に認められるが、大部分は注意レベルⅠの範囲で安全に施工することができた。

(2) 逆解析結果

設定した変位による管理基準値の妥当性を検討するために現場の変位計測結果から図-5に示す程序による逆解析プログラム、DBAP/Mにより地山周辺のひずみ分布を求めた。今回用いたプログラムの特徴は、①塑性域の推定が可能なこと、②塑性域と弾性域の弾性係数の比をパラメータとして最適化を行うことにより塑性域における弾性係数の低下量を推定出来る点などにある。ここでは解析例として前述の大川平(南)トンネル14k560m地点の結果を述べる。表-2がその逆解析の入力ならびに出力結果を一覧に示したものである。塑性域で弾性係数が40%程度に低下する結果が得られている。また、図-6に最終掘削状態における最大主ひずみ ϵ_1 分布を示した。ひずみの限界値である1%を越える範囲がトンネル右上と左下隅に生じている。塑性域はロックボルト打設範囲にあるものの、地山の状態としてはかなり厳しい状態であり、管理基準の設定が妥当であった事がわかる。この結果より以降の施工をミニベンチ工法とし、早期にインバートで断面を閉合し、さらに変位の大きい所では表-1に示す対策工を施工することにより、変位を許容範囲内に収束させる事が出来た。

5 まとめ

津軽海峡線NATM施工において、変位による管理基準を設定することにより安全に施工することが出来た。本報告では、逆解析による地山内のひずみ分布からこの管理基準が妥当であった事を示した。本報告が未固結土砂山における今後NATM施工の一助になれば幸いである。

参考文献 1) 倉沢, 上田(1984): 仙台地下鉄におけるNATMの計測と管理手法, 技術研究発表会講演摘要, p276~p277
2) 松井, 武内(1982): トンネル掘削時における変位計測結果と逆解析法, 土木学会論文報告集, 第227号, p.137~p.145

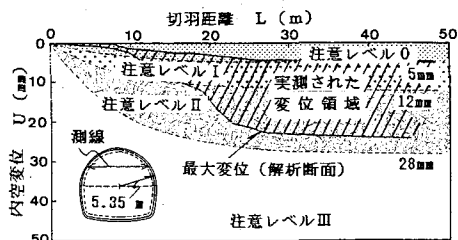


図-4 内空変位管理曲線(大川平(南)トンネル)

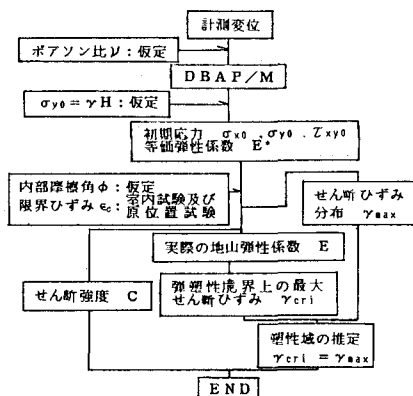


図-5 塑性領域を考慮した逆解析のフローチャート

表-2 逆解析結果一覧表

入 力		出 力	
変 位	内 空 変 位	側 圧 係 数	0.54
	坑内地中変位	等価弾性係数	570 kgf/cm ²
	地表地中変位		
限界ひずみ	1%	弾 性 域	600 kgf/cm ²
E_1/E_0	0.4 (パラメータ調整により決定)	塑 性 域	240 kgf/cm ²
内部摩擦角	35°	粘着力	1.6 kgf/cm ²

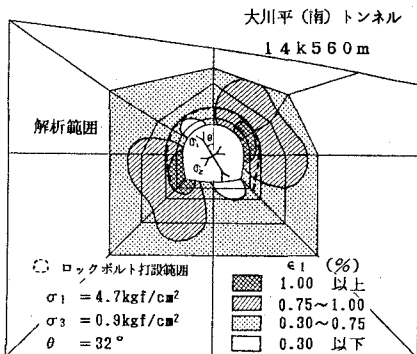


図-6 最大主ひずみ ϵ_1 分布図(初期ひずみを考慮)