

## 国道直下 2.4m におけるトンネルの設計・施工

西日本高速道路(株)	四国支社	正会員	城間 博通
		非会員	高田 克也
鹿島・福田組特定建設工事共同企業体		正会員	檜垣 和明
		正会員	村上 信
鹿島建設(株)	土木設計本部	正会員	畝田 篤志

### 1. はじめに

四国横断自動車道新角谷トンネル起点側坑口付近は、国道直下 2.4m の未固結地山内を低土被りでトンネル掘削する区間がある。国道下には NTT 光ファイバーケーブルや国交省情報 BOX が埋設されており、トンネル掘削時の沈下を最小限に抑える必要があった。そこで事前に FEM 解析を用いて対策工を選定し、無事突破する事が出来た。本稿では、当該区間の対策工選定および計測結果について報告する。

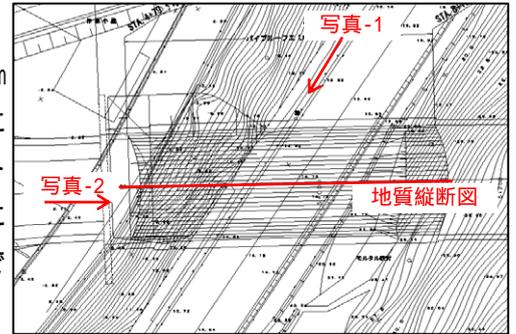


図-1 起点側坑口部平面図

### 2. 工事概要

四国横断自動車道新角谷トンネルは、高知県須崎市南西部に位置し、トンネル延長 2,500m の 2 車線道路トンネルである。国道直下部である起点側坑口部は、図-2 に地質縦断面図を示すが、基盤岩である砂岩・泥岩を供給とする砂・礫・転石からなる崖錘層がトンネル SL 付近まで堆積しており、トンネル掘削時の沈下が懸念される地質である。



写真-1 国道状況



写真-2 坑口状況

また、国道下の埋設物とトンネルとの離隔は、NTT 光ファイバーケーブルで 0.8m、国交省情報 BOX で 1.6m と非常に近接している。国道の沈下量に関しては、国道管理者より沈下量 40 mm 未満に抑えるよう指示があり、その条件を満たす工法を選定する必要があった。

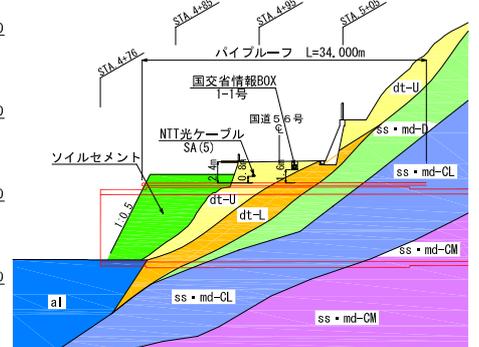


図-2 地質縦断面図

### 3. 沈下対策工の選定

対策工法の選定においては、トンネル掘削時の崖錘層の変形抑制に着目して検討を行った。特に重要となる崖錘層の分布状況・変形特性については、追加地質調査を実施してより正確に把握した。表-1 に各層の解析用物性値を示す。FEM 解析(2次元非線形)は、把握した土層構成をモデル化し、解析ステップは表-2 に示すとおりインバート掘削までを再現した。

表-1 解析用地盤物性値

地山区分	記号	代表土質	単位体積重量 ( $\text{kN/m}^3$ )	変形係数 E (MPa)	ポアソン比	粘着力 C ( $\text{kN/m}^2$ )	内部摩擦角 ( $^\circ$ )
崖錘堆積物	Dt-U	砂質土	17	4.4	0.40	0	25
	Dt-L	礫質土	19	6	0.35	0	35
四万十層群 須崎層 B部層	ss・md-DL	礫質土	17	23	0.35	42	36
	ss・md-CL	軟岩	24	300	0.30	500	35
	ss・md-CM	中硬岩	25	1,000	0.30	1250	40
薬液注入	-	-	-	27	0.35	-	-
ジェットグラウト	-	-	-	300	0.35	-	-

工法比較検討結果を表-3 に示す。剛性の高いジェットグラウトにより脚部補強を実施する事で、切羽通過後の後行変位を抑える事が出来るものの先行変位が大きく、許容値を満足する事が出来なかった。したがって先行変位抑制を目的としてパイプルーフと脚部補強(ジェットグラウト)が一体となった工法を選定した。

キーワード ジェットグラウト, パイプルーフ, FEM 解析, 未固結地山, 計測

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 Tel : 03-6229-6635 Fax : 03-5561-2155

表-2 FEM 解析ステップ

STEP1	STEP2	STEP3	STEP4	STEP5	STEP6
初期応力算定	上半切羽到達 (解放率: 20%) パイプルーフ・脚部改良実施	上半掘削完了 (解放率: 80%) 上半支保設置	下半切羽到達 (解放率: 40%)	下半掘削完了 (解放率: 60%) 下半支保設置	インバート掘削完了 (解放率: 100%)

表-3 工法比較検討結果

	CASE1	CASE2	CASE3
工法概要			
	パイプルーフを 120° の範囲に打設し、脚部補強として薬液注入を実施する工法。	パイプルーフを 120° の範囲に打設し、脚部補強としてジェットグラウトを実施する工法。	パイプルーフを 120° の範囲に打設し、脚部補強としてジェットグラウトを実施し、しかもパイプルーフとジェットグラウトを接続する工法。
予測沈下量	71.1 mm (先行変位 45.8mm)	53.4 mm (先行変位 45.4mm)	20.0 mm (先行変位 11.5mm<57%>)

5. 施工および計測結果

対策工検討結果を踏まえ、採用した掘削パターンを図-3 に示す。工法検討で選定した補助工法 (パイプルーフ・ジェットグラウト) に加えて、更なる変形抑制の為に上半・下半・インバート掘削をそれぞれ 3m ずつずらして施工し早期閉合を実施した。閉合効果をも高める為に本インバート下には仮インバート (H-150 + 吹付け t=250 mm) を実施する事とした。また、崖錘層中の切羽安定対策として、鏡ボルト (長尺鋼管) を採用した。

施工時の計測管理としては坑内計測に加え、地表面 (国道・擁壁) の自動計測およびトンネル近傍の挙動を把握する為にパイプルーフ沈下計測を実施しながら慎重に施工を進めた。

図-4 に国道沈下量分布図、図-5 にパイプルーフ沈下量経距変化図を示す。国道の最終沈下量は 17.8mm (先行変位: 7.7mm, 後行変位: 10.1mm) となり、許容値以内に抑える事が出来た。予測値 20.0mm (先行変位: 11.5mm, 後行変位: 8.5mm) と非常に良く一致しており、トンネル掘削による周辺地山の挙動を十分に制御出来ていたと言える。これは追加地質調査を含めた綿密な設計 (モデル化) と慎重な施工管理によるものと思われる。また、パイプルーフの沈下量は最大 28 mm 程度と地表面沈下量よりも若干大きな値を示している。変位は切羽到達前 5~10m (0.5~1D) で発生し始め、切羽通過後 10m (1D) 程度で収束しており、トンネル掘削時の変形を切羽直近のみに抑える事が出来た。パイプルーフ沈下計測結果から算定される先行変位率は 40~60% 程度と予測解析値 (57%) と同等の値を示しており、予測解析におけるモデル化 (掘削解放率) の妥当性が確認出来た。

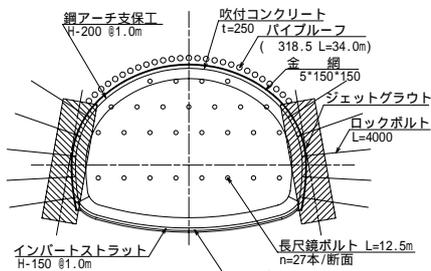


図-3 掘削パターン

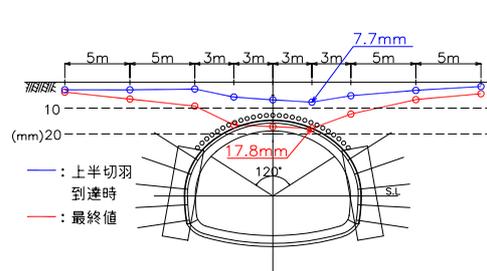


図-4 国道沈下量分布図

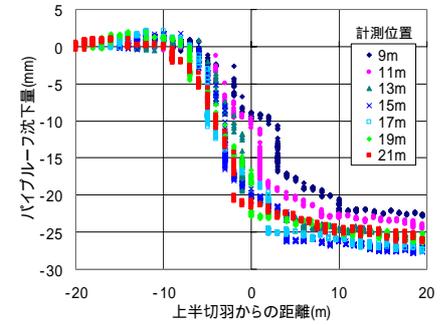


図-5 パイプルーフ沈下量経距変化図

6. まとめ

周辺地山をより正確に把握し、精度の高い予測を基に信頼性の高い工法選定を実施した事で、トンネル掘削時の挙動を制御出来、沈下量を許容値以内に抑えて施工する事が出来た。土被りが小さくトンネル掘削時の地表面沈下を最小限に抑える必要がある場合には、今回の様な事前にパイプルーフと脚部改良が一体となった剛性の高い補強を行い、その中を掘削する工法が有効であると言える。