

VI-5

塑性変形による押し出し性地山における変状対策

東日本高速道路(株)

大津 敏郎

東急建設(株)

正会員 ○広瀬 雅明

東急建設(株)

澤田 和也

1. はじめに

二古トンネルは、日本海東北自動車道岩城 IC の南約 600m の地点を北側坑口とし、二古川側の南側坑口までの延長 1417m の 2 車線高速道路トンネルである。本トンネル地質は、新第三紀中新世後期の低強度の船川層泥岩が主体であり、南北系の北由利衝上断層群に代表される多数の断層や褶曲により破碎変質を受けている。このような地質条件のもとに掘削を開始したところ、土被りの増加と共に坑内変位が大きくなり、坑口より 230m 付近で 400mm を超える脚部沈下が発生したため、以降、早期閉合を基本とした対策工により変位抑制を図ってきた。本稿では、当地山における変位抑制対策工の選定および効果について報告する。

2. 地質概要

トンネル周辺の地質は、図-1 に示すように、新第三紀中新世後期の船川層泥岩が主体であり、凝灰岩と砂岩を挟在している。地質構造は、南北系の北由利衝上断層群や二古背斜よりなる褶曲が発達し、複雑な構造を呈している。本トンネルルートは、これらの断層や褶曲構造に挟まれ、特に、中央より起点側で北由利衝上断層および二古背斜を斜めに横切る計画となっている。船川層泥岩は、これらの断層や褶曲の影響により破碎変質を受け、部分的に粘土化し、一軸圧縮強度は、 0.1N/mm^2 以下（破碎変質部）～ 7N/mm^2 以上（健全部）とばらつきが大きい。

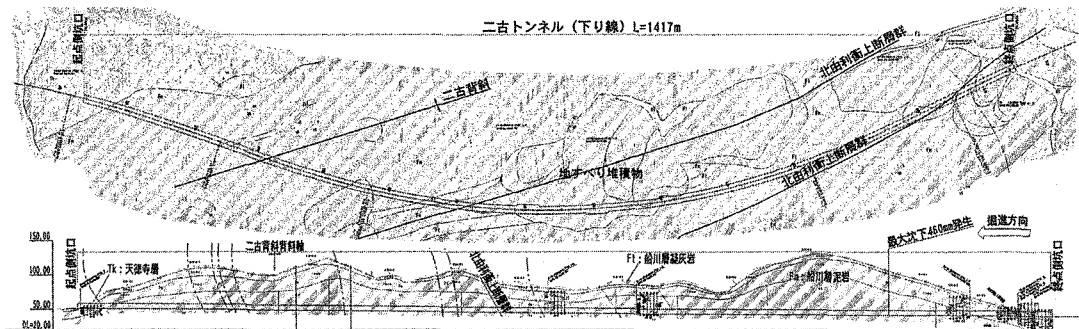


図-1 地質平面・縦断図

3. 変状経緯

終点側坑口より掘削を開始したところ、坑口より 70m 付近から右側脚部に 100mm を超える沈下が発生すると同時に、トンネル内空への押し出し傾向が大きくなってきた。変位抑制対策として、増しボルト、フットパイル、上半仮インバートおよび下半一次インバート等を施工しながら工事を進めてきたが、土被りの増加と共にさらに押し出し傾向が大きくなり、坑口より 230m 付近で 460mm 程度の脚部沈下が発生した（図-1）。

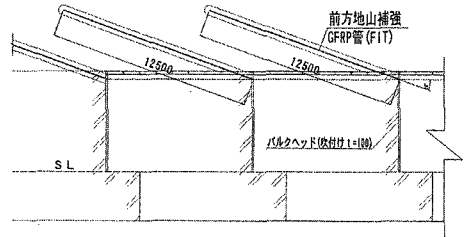
4. 対策工の選定

これまでの変状傾向によると、土被りの増加と共に内空への押し出し傾向が大きくなり、今後、さらに土被りが増加し、その傾向が大きくなると予想されたため、掘削工法を含めた対策工の再検討を行った。このような押し出し性地山における対策工としては、先進導坑により初期地圧を下げてから本坑掘削を行う「いなし工法」、あるいは、ベンチ長を短くし、剛な支保工で早期閉合を図る「早期閉合工法」等が考えられる。本トンネルは、最大土被りが 85m 程度と高土被りではないことから、ミニベンチカット工法（ベンチ長最短 4m）による早期閉合が有効と考えられた。適用にあたっては、①支保部材の耐荷力不足、②ベンチ長を短くする

表－１ 予測解析結果

ケース	CASE-1	CASE-2	CASE-3
概要図			
掘削工法	ショートベンチカット工法	ミニベンチカット工法	ミニベンチカット工法
坑内変位	天端沈下 126mm 脚部沈下 194mm 内空変位 125mm	天端沈下 100mm 脚部沈下 120mm 内空変位 39mm	天端沈下 85mm 脚部沈下 89mm 内空変位 15mm
最大鋼アーチ支保工応力	498 N/mm ²	445 N/mm ²	391 N/mm ²
切羽安定性 (みかけ弾性係数による) ¹⁾	みかけ弾性係数 $E=2.5 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 「不安定～やや不安定」境界	みかけ弾性係数 $E=2.4 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 「不安定～やや不安定」境界	みかけ弾性係数 $E=6.1 \times 10^5 \text{ kN/m}^2$ 「やや不安定」

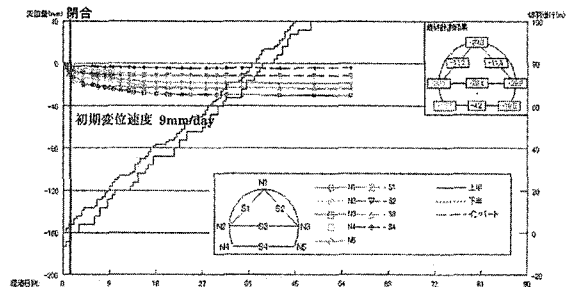
ことによる切羽の不安定化が懸念されたため、二次元 FEM 解析を用いて対策工の検討を行った。検討にあたっては、既施工区間の計測結果を用いて、地山物性値と初期応力を逆解析し、次施工区間の予測解析に反映させるものとした。表－１に示す 3 ケースの予測解析を行った結果、坑内変位・支保工応力の抑制および切羽の安定を図るためには CASE-3 の対策が有効であり、「ミニベンチカット工法による早期閉合」、「高規格鋼 HH-200」および「前方地山補強 (FIT)」を採用することにした。FIT については、トンネル外周の地山補強を目的に、高角度で打設する方法²⁾を採用した。図－２に対策工の縦断面図を示す。



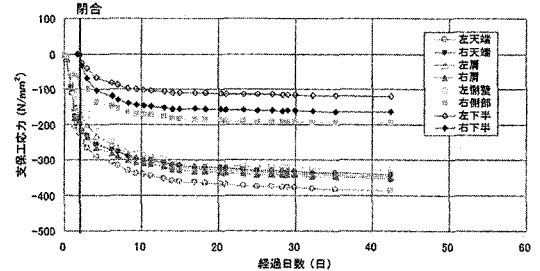
図－２ 対策工縦断面図

5. 対策工の効果

坑口より 240m 付近から、上記対策工を実施したところ、坑内変位はほとんどの区間で解析値よりも小さい 50mm 以内で収束している。図－３に、この区間の坑内変位の経時変化図を示す。最大 30mm 程度で収束傾向を示し、初期変位速度は最大約 9mm/day であり、最大沈下が発生した付近の初期変位速度約 40mm/day と比較して小さく、前方地山補強による初期変位速度の低減効果が見られた。鋼アーチ支保工応力については、図－４に示す経時変化図によると、初期の応力増加が大きいが、一次インポートによる閉合後は収束傾向を示し、最大値は 390 N/mm² 程度 (高規格鋼の降伏応力 440N/mm² 以下) である。



図－３ 坑内変位経時変化図



図－４ 支保工応力経時変化図

6. おわりに

本トンネル工事においては、押し出し性地山における変状対策として、「ミニベンチカット工法による早期閉合」、「高規格鋼 HH-200」および「前方地山補強 (FIT)」を採用し、坑内変位、支保工応力の抑制効果が見られた。今後の掘削では、断層や背斜軸と交差する区間を通過し、地山条件の改善が期待できないが、これまでの対策工を適切に採用し、安全に工事を進めると共に対策工の効果を検証する予定である。

【参考文献】

- 1) 桜井春輔 編著：都市トンネルの実例、鹿島出版会、1998. 3.
- 2) 牛田・戸田・村松・尾花：注入式中空長尺 FRP 管による大土被りトンネルの変位抑制、第 54 回施工体験発表会 (山岳)、pp. 65-72, 2003. 11.