

塑性圧によるトンネルの変状と対策事例について(その1 調査および設計)

東日本高速道路株式会社

鹿島建設株式会社

小林 弘元, 白濱 龍

正会員 ○畝田 篤志, 柴田 勝博

永渕 洋, 山本 拓治

1. はじめに

北陸自動車道の風波トンネルは新潟県の親不知に約 20 年前に建設された。親不知は海から山に切り立った断崖地形であり、変化に富んだ地質構造や軟弱な粘土層の広範囲な分布により建設時に困難をきわめたトンネル工事であった。施工後 20 年が経過した 2006 年 9 月に内装板交換の際、覆工コンクリート側壁部に大規模なひび割れが発見された。直ちに有識者による対策委員会が開催され、各種調査の実施、それを踏まえた補修方針の決定が速やかに行われた。本文は、それらの調査から補修方針を決定するに至った経緯について報告する。

2. 地質概要とトンネル施工時の記録および変状状況

風波トンネル当該区間の地質は、古第三紀親不知火山岩層で凝灰角礫岩を主体とするやや軟質な岩石から形成されている。建設時の施工記録では、今回覆工に変状が生じた地点を含む帯状の灰緑色粘土層が出現した区間で 130～250mm もの変位が発生し、覆工変状地点より新潟側へ約 30m の地点では約 500m³ の土砂崩落も生じている。トンネル掘削時の対策としては、増ロックボルト・増吹付け（SFRC）や、支保パターン変更等を実施しており、崩落以降は側壁導坑先進工法に変更して施工している。特に増吹付けについては何層にも施工されており、今回実施した調査の結果、吹付け厚さが 60cm 以上の箇所もあった。また変状部の覆工には、将来的な荷重の増大に備え、高強度鋼繊維補強コンクリートを採用している。表-1 に覆工コンクリート仕様を示す。

表-1 既設覆工コンクリート仕様

設計基準強度 f'_{ck}	SF 混入率 V_f	水セメント比 W/C
29N/mm ²	1.0%	55%



写真-1 覆工破壊状況

今回確認された覆工変状の状況を図-1、写真-1, 2 に示す。側壁部で CL19、インバート部で CL19～21 に変状が確認された。ひび割れは、側壁・インバートともに貫通しており、破壊形態から見て、せん断破壊が生じたものと推定された。



写真-2 インバート破壊状況

3. 調査計測に基づく変状原因の推定

トンネル坑内からのボーリングによる地質調査やコアボーリング等の覆工調査、レーザー変位計による自動変位計測を行った。実施した調査・計測項目の一覧を表-2 に示す。地質調査から周辺地山は断層破碎帯であり凝灰角礫岩が圧碎変形を受けて粘土状に軟化しているため

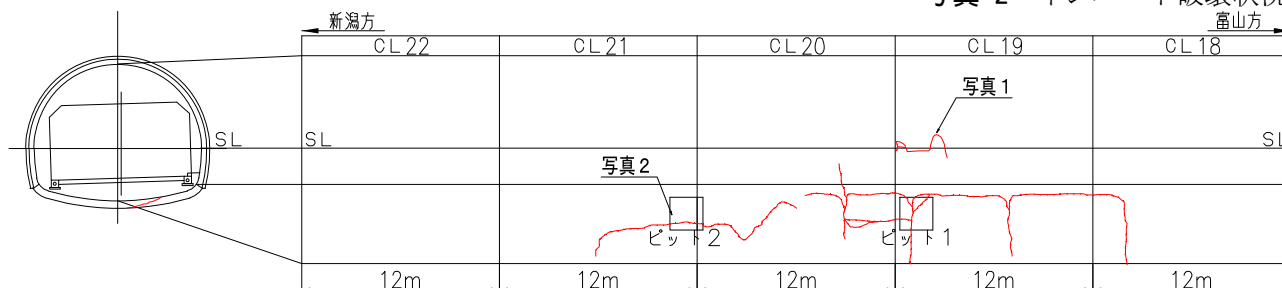


図-1 覆工・インバート変状発生状況

キーワード 覆工変状, 内巻補強, 埋設型砕工法, 活線工事, 高速道路

連絡先 〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島建設株式会社 TEL 03-6229-6635

非常に脆弱であるものの、膨張性は呈さないことが分かった。変位計測からは現状で変位の進行が見られないことが確認できた。

以上より、覆工変状のメカニズムとしては、トンネル施工時は安定を保っていたものの、地山の強度が低いために何らかの要因により地山の塑性変形(塑性圧)が増大し、覆工・インバートを破壊したものと判断した。現状では、変状発生により地山応力が解放されたため、バランスが保たれているものと考えられる。

地山の塑性変形(塑性圧)増大の要因としては、①Ⅱ期線の施工、②地下水浸入による地山劣化、③地震、④凍上圧、など様々考えられたが、変状発生時期の推定が難しいことから要因の特定には至らなかった。したがって、恒久復旧対策としては覆工・インバート破壊時と同程度の荷重が今後覆工に作用することを想定して工法選定及び仕様設定を行った。

表-2 調査・計測項目一覧

	項目	数量	目的
変状調査	縦断測量	523m	現状での路盤面水準の把握
	横断測量	33 断面	現状でのトンネル内空形状の把握
	3D レーザープロファイラー	40m	現状でのトンネル内空形状の面的な把握
地質調査	ボーリング調査(コア)	10m×5 箇所	周辺の地山性状・分布状況の把握
	孔内水平載荷試験	5 箇所	周辺の地山変形係数の把握
	室内岩石試験(鉱物分析含む)	10 試料	周辺地山の力学・物理特性・化学特性の把握
覆工・インバート調査	覆工厚調査(強度試験含む)	40 箇所	覆工厚分布状況の把握および覆工コンクリート強度の把握
	シュミットハンマー試験	175 点	覆工コンクリート強度の面的な把握
	試掘工(ピット掘削)	8 箇所	インバートの状況確認
変状計測	地中変位計測(自動)	2 測線	地中変位から変形進行性の確認
	内空変位計測(レーザー)	4 測線	トンネル内空変位から変形進行性の確認
	3D クラッキング計測	4 箇所	クラックの進行性を確認

4. 恒久復旧対策工の選定

恒久復旧対策工は片側車線規制で施工可能であり、且つ、建築限界を侵さないで高い耐荷能力が期待できる工法を選定する必要があった。

大幅な覆工の打換えは困難であるため、既設覆工の内側に薄層の高強度補強材を施工する内巻補強工法の中でも、比較的安価で施工性に優れた埋込型枠工法を選定した。

埋込型枠工法の仕様設定にあたっては、調査より得られた既設覆工厚さおよびコンクリート強度を基に、覆工側壁部及びインバートが破壊する時の荷重を算定し、この荷重を設計荷重とした。検討には2次元骨組モデルを用い、周辺地山の性状(地質分布状況・変形係数)を考慮した解析を実施した。

変状の再現解析を実施した結果、設計荷重として 650kN/m^2 (土被り換算：約 30m 程度) を用いることとした。

次に、アーチ補強工及びインバート補強工をモデル化して、それぞれの必要な仕様を設定した。アーチ部に関しては内巻補強工が薄層であるため、既設覆工との確実な一体化は困難と考え、両部材の一体化は考慮しない設計とした。一方、インバート部に関しては増しコンクリート厚さが 25cm 程度となるため、補強鉄筋により既設・新設のコンクリートを一体化する構造とした。設定した恒久復旧対策工仕様を図-2 に示す。

対策範囲については、地質や変状発生状況等を考慮し、CL19～CL21 (CL21 はインバート補強のみ) の延長 36m とした。

5. まとめ

今回、各種調査・計測を実施することで出来る限りの情報を収集し、その少ない情報を基に将来的な荷重を推定・設定して恒久復旧対策工仕様を設定した。今後増加すると思われる供用中の高速道路での補修・補強事例でもあり、今後の同種工事の参考になればと考える。最後に、本検討に多大なご助力をいただいた今田 徹委員長をはじめとする風波トンネル変状対策委員会の委員の皆様深く感謝の意を表する次第である。

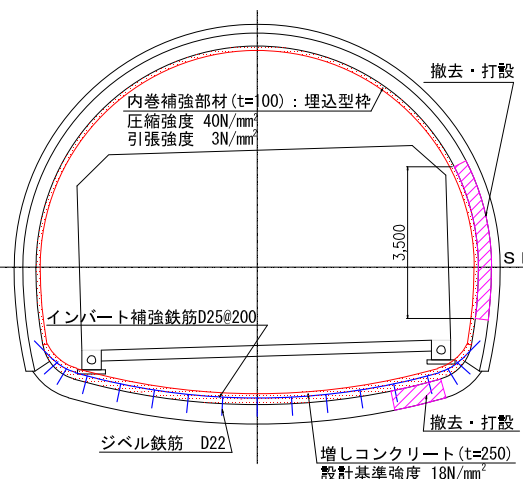


図-2 恒久復旧対策工断面図