

トンネル工事における近接交差部の計画・施工について

北海道開発局 室蘭開発建設部 有珠復旧事務所 復旧工事課 高橋 渉

1. はじめに

一般国道 230 号青葉トンネル(仮称)は、2000 年 3 月の有珠山噴火に伴い通行不能となった国道 230 号の復旧ルートに新設される延長 1,719 m のトンネルである。(図-1)

新ルートは、将来想定される噴火による被害を受けないエリアに計画された。それにより、導水路トンネルと鉛直離隔約 11m、平面角度約 25° で交差する箇所が生じた。この導水路トンネルは洞爺湖水を導水して水力発電を興す目的で、昭和 14 年に建造されたものである。それにより、青葉トンネルの掘削の影響が、既設導水路トンネルに及ぶ恐れがあるため、三次元 FEM 解析による補助工法の計画や管理基準値の設定、計測管理などを実施し、施工を行った。



図-1 現場位置図

2. 地形・地質概要

当該箇所は活火山である有珠山を洞爺湖と噴火湾がはさみ、国内有数の温泉・火山観光地帯となっている。導水路トンネル交差区間の地質は、火砕岩類の変質帯(明ばん石帯、鉍化帯、スメクタイト帯)から構成され、変質の程度や分布が複雑で地山性状も不均一なことから、塑性地圧の発生や掘削時の緩み等に起因した導水路トンネルへの悪影響が懸念された。

3. 近接交差部の施工管理に関する基本検討フロー

導水路トンネルが、青葉トンネルの上方約 11 m で交差するため、掘削の影響や掘削補助工法の計画等が、有識者で構成される『一般国道 230 号洞爺道路トンネル技術検討会』において三次元 FEM 解析を用いて検討された。その結果、青葉トンネルの変位が導水路トンネルに与える影響が大きいことが確認され、青葉トンネルの変位を抑えるための対策工が不可欠という結論が得られた。このため、青葉トンネル掘削による変位と導水路トンネルの沈下との関係を

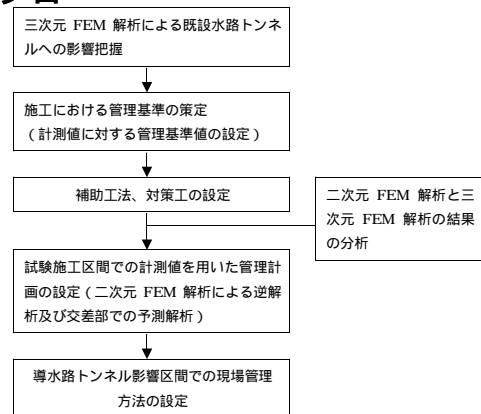


図-2 交差部施工管理までの作業フロー

解析した上で、施工管理基準を策定し、施工時における計測管理計画を策定した。(図-2)

4. FEM解析による影響解析

三次元 FEM 解析の解析対象範囲は、導水路トンネル方向に 250 m、導水路トンネル直角方向に 240 m とした。また、施工時における逆解析や三次元 FEM 解析で表現できない詳細な施工ステップを評価するため、二次元 FEM 解析を実施した。表-1 に解析ケースごとの三次元 FEM 解析結果を示す。また、青葉トンネルの天端変位と導水路トンネルの底面変位、発生応力(覆工応力)、最大傾斜角それぞれの関係を図-3~5 に示す。導水路トンネルの底面変位・発生応力(覆工応力)の関係については、導水路トンネルとの交差部断面での二次元弾性 FEM 解析による結果も合わせて図示する。

すべての結果について青葉トンネルの天端変位と相関関係があることがわかる。また、二次元 FEM 解析と三次元 FEM 解析の結果は、傾向としてほぼ同様の結果となっている。三次元 FEM 解析のほうが小さめの結果となっているのは、トンネルが軸方向に延びる連続的な梁の剛性の三次元効果によるものと考えられる。

5 管理基準値の策定

導水路トンネルは昭和初期に建造されており、現在覆工に発生している応力状態が不明確であり、導水路に計測器を設置することができないため既設導水路トンネルに発生が予想される覆工発生応力と傾斜角に着目して、これらを管理基準とした。この設定根拠について以下に示す。

表-1 三次元 FEM 解析結果

解析ケース	青葉トンネル天端変位 (mm)	北電導水路トンネル底面変位 (mm)	北電導水路トンネル発生応力 (MPa)	最大傾斜角 (rad)	
AGF無し	支保工のみ	-25.1	-11.0	3.1	0.29
	AGF120°	-18.3	-10.0	2.6	0.24
AGF有り	AGF180° (t=0.5m)	-17.5	-8.9	2.3	0.21
	AGF180° (t=1.0m)	-15.1	-8.3	2.0	0.19

変位: +隆起 -沈下 応力: +引張 -圧縮

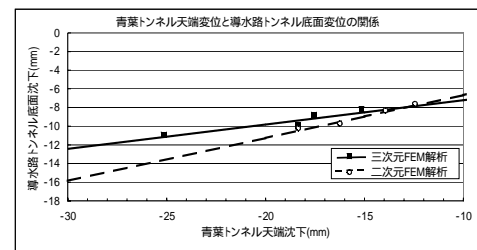


図-3 青葉トンネル天端沈下と導水路トンネル底面変位の関係

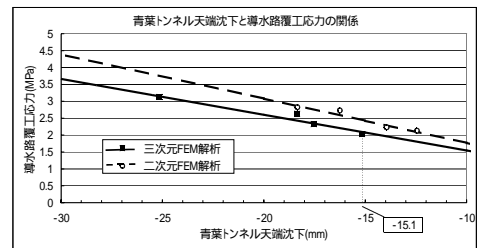


図-4 青葉トンネル天端沈下と導水路トンネル発生応力の関係

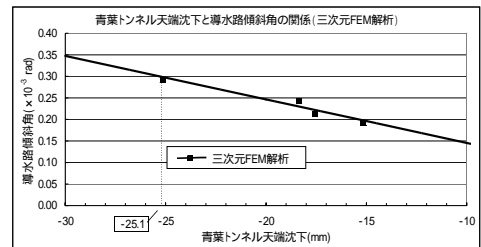


図-5 青葉トンネル天端沈下と導水路トンネル傾斜角の関係

5.1 導水路トンネル覆工発生応力により管理基準

道水路トンネルの覆工コンクリートから採取したコアを用い一軸圧縮強度試験を行った結果、強度は 23.1MPa であった。青葉トンネル掘削に伴い導水路トンネルの底部には引張応力が発生すると予想され、覆工コンクリートの圧縮強度の 1/10 に当る 2.31MPa 以下に増加発生引張応力を抑制することで導水路トンネルの健全性が確保されるものと考えられ、これを管理する上での目標値とした。

その上で、三次元 FEM 解析の結果から得られた、導水路トンネルの発生応力と青葉トンネルの天端沈下の間認められる相関関係を用い、導水路トンネルの発生応力が 2.0MPa となるときの青葉トンネルの天端沈下量:-15mm を管理基準値の一つとして採用した。

5.2 傾斜角による管理基準

導水路トンネルはブロック施工されており、縦断方向に発生する応力はこの継ぎ目で解放されることから、実際に発生する応力は三次元 FEM 解析で得られた発生応力よりは小さくなると考えられる。

導水路トンネルのようにブロック間の目違いによる漏水が重要視される構造物においては相対変位も重要となるが、この影響を反映した解析モデルを構築することは困難である。

このような背景において近年施工された近接交差工事では、「建築基礎構造物設計指針」(日本建築学会)の下限変形角($0.3 \times 10^{-3} \text{rad}$)を基準管理値として施工し良好な結果を得ている事例がある。

青葉トンネルにおいては三次元 FEM 解析により詳細な傾斜角の算出が可能であり、より精度の高い基準値となり得ると考えられることから管理基準値の一つとして採用した。

解析で求められた青葉トンネルの天端沈下量は、初期変位も含めた全変位量であるため一般的に用いられる先行変位量を全体の 40% と仮定し、さらに上下半の分割施工の影響を考慮し施工時の管理基準値を策定した。(表-4)

表 - 2 管理基準値

		3次管理値	2次管理値	1次管理値
青葉トンネル	天端部絶対沈下量 (mm) + : 隆起 - : 沈下	25	18	15
	覆工発生応力 (MPa) + : 引張 - : 圧縮			2.0
導水路トンネル	縦断方向最大傾斜角 (10^{-3}rad)	0.29		

安全管理体制	通常体制	注意体制	要注意体制	留意注意体制
	管理レベル	管理レベル	管理レベル	
天端沈下の全体値	15.0mm	19.0mm	25.0mm	
先行変位	6.0mm	7.6mm	10.0mm	
A計測管理基準値	上半施工時	7.2mm	9.0mm	12.0mm
	下半施工時	9.0mm	11.4mm	15.0mm

6. 対策工

三次元 FEM 解析を実施した際に想定されていた補助工法は、AGF 工法のみであるが、地山は非常に不均一であり、解析では考慮されない脚部の沈下や支保工と地山の馴染み等が発生する可能性があった。そのため、許容沈下量を満足するためにはそれらを抑制するための更なる補助工法の採用が必要であった。

また、施工区分も三次元 FEM 解析の結果より、導水路トンネル交差部の前後

40m の区間については青葉トンネルの掘削による影響が大きくなることが明らかとなった。このため、この区間については重点管理を実施する必要があると判断し、補助工法の妥当性や沈下量の程度を把握し、地山物性値の評価を実施する区間として試験施工区間および再確認区間を設定し施工を行った。

7. 計測計画

交差部の施工においては、通常の坑内 A 計測の他に坑外から地中沈下計や傾斜計を設置して影響を監視するとともに、得られた値を二次元 F E M 解析による逆解析によって地山及び補助工法の評価に活用した。

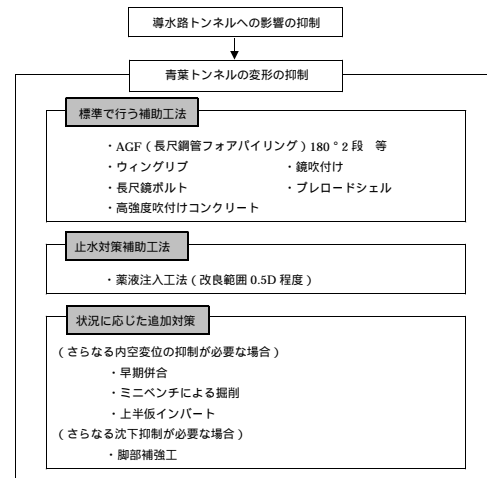


図 - 6 変形抑制に対する対策工

8 計測結果

8.1 地中沈下計測結果

交差部に最も近い計測断面において、先行変位 3.4mm、最終沈下量 8.6mm と管理基準値以内に抑制することが出来た。また、緩み領域もトンネル上方 6 m 程度までで、下記の通り導水路トンネルへ影響がほとんど及んでいないことが確認できた。

8.2 導水路トンネルの沈下測量

解析上および掘削中の最大沈下量が観測される位置で、掘削前と掘削完了後に、導水を一時休止してもらい導水路内部の測量を実施した。

掘削完了後の測量の結果、新たなクラックの発生等は見られず、健全であることが確認できた。

9. おわりに

有珠山噴火に伴う災害復旧工事として施工された青葉トンネル工事は、早期の供用を目指すため、時間的余裕がないものである。導水路トンネルを管理する側に最終的な了解を得られたときには、試験施工区間の施工数週間前のことであった。また、施工上後戻りが難しいことから、解析の妥当性が求められるところであったが、幸い解析は適切に行われ、補助工法も過小ないしは過大にならずに施工を終えることが出来、その後の経過も順調である。

今後は、供用開始後における有事の際の管理体制や、補修方法等を確立させていくことが課題となるところである。

最後に、近接交差部の解析・検討に当られました関係各位に感謝の意を表し、本論文を終わりにしたいと思います。