

破碎帯を通過する超大断面水路トンネル側壁補強工の設計と施工

国土交通省 近畿地方整備局 琵琶湖河川事務所

井上 達裕

籠谷 建太郎

大林・飛島特定建設工事共同企業体 正会員

村上 正一

正会員〇五十嵐 正剛

大林組 生産技術本部 トンネル技術部 正会員

秋好 賢治

正会員 西 浦 秀 明

1. 概要 既存ダムの放流能力増強を目的に現在建設中の天ヶ瀬ダム再開発トンネル式放流設備のうち、減勢池部(L=170m)は主ゲートから吐出した放流水を減勢させるために超大断面(最大掘削断面積 650m²)が必要であり、NATM・発破掘削による側壁導坑・中央導坑先進多段ベンチカット工法で施工する。

2. 地質条件 対象地山は、古生代～中生代の丹波帯(付加体)の砂岩と泥岩で、F-0 破碎帯は泥岩内に分布し、砂岩はC_H級、泥岩はC_M級、破碎帯はD級を主体とする(図1)。

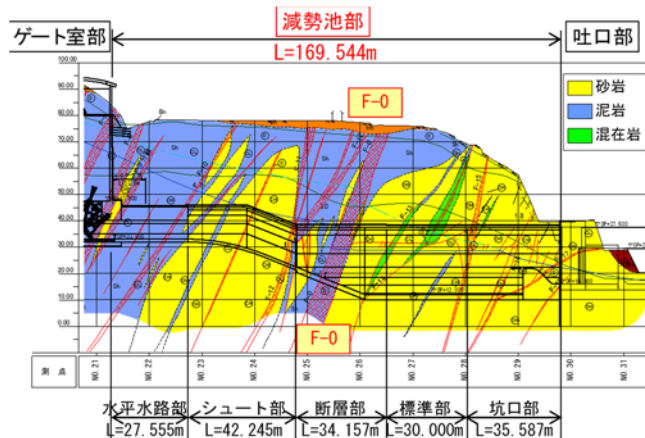


図1 地質縦断面図(当初)

3. 設計の経緯

3. 1 当初設計 ボーリング調査より得られた地質情報(表1)を元に、2次元非線形弾性FEM解析により支保構造を設計した結果、破碎帯では垂直に近い側壁部がとりわけ弱点となり、その対策工として図2に示す長尺ケーブルボルト(全面接着型、許容荷重 769～1,098kN/本、L=7.3～24.3m、1m間隔)を計画していた。

3. 2 修正設計

(1) 破碎帯の実態 着工後、側壁導坑掘削時の切羽・壁面観察結果より、破碎帯の幅が当初想定(9m)より1.5倍広い14mであることが確認された(図3)。この条件下で当初設計の成立性を確認するため、地質構造モデルを見直し、最も厳しい断面でFEM解析を実施した。その結果、2段ベンチ以降の掘削時に側壁の最大水平変位

量が許容値 87 mmを大きく上回る 332 mmとなること、NH-428 鋼製支保工(SM490)の最大応力度が約 590N/mm²となり鋼材引張強さを超過することから、長尺ケーブルボルトによる補強工では当初設計が成立しないことが判明した(図3)。

表1 地盤物性値

岩級区分	変形係数 E (MN/m ²)	粘着力 C (MN/m ²)	内部摩擦角 φ (deg)	ポアソン比 ν
CH級	砂岩 3,809*	1.2	43	0.25
	泥岩 2,645*			
CM級	砂岩 981*	1	38	0.30
	泥岩 681*			
CL級	砂岩 255*	0.5	33	0.35
	泥岩 177*			
D級	砂岩 144*	0.06	27.9	0.35
	泥岩 100*			
F級(粘土以外)	92	0.26	19	0.40
F級(粘土)	18	0	23	0.40

※変形係数は付加体を考慮して試験結果の1/3～1/4に設定

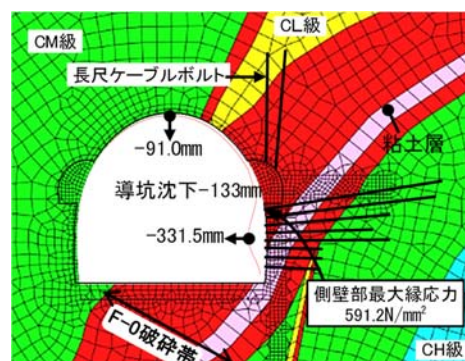


図2 側壁補強対策工の効果(当初)

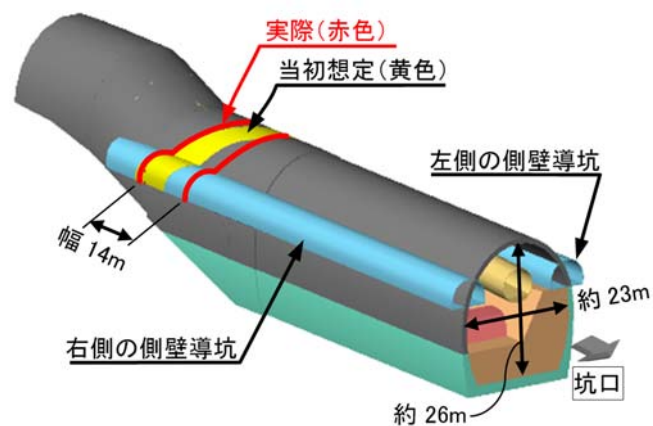


図3 F-0 破碎帯の差異

キーワード 破碎帯, 超大断面, 山岳トンネル, 修正設計, 側壁補強工, R C円柱支保工
連絡先 〒611-0015 京都府宇治市志津川南詰 15 番地 TEL 0774-46-8027

(2)新たな側壁補強工の検討 上記の解決策として、破碎帯を補強する地山注入工，強固な構造体を構築する連続地中壁工あるいは下向き大型先受け工などの対策工が必要であり，比較検討の結果，下向き大型先受け工（以降「RC 円柱支保工」と称す）を選定し，その変形抑制効果をFEM解析により評価した．その結果，直径3m，設置間隔4.5m，設計基準強度 $40\text{N}/\text{mm}^2$ のRC 円柱支保工により，側壁の水平変位量と鋼製支保工最大応力度が激減し，許容値以下となった(図4)．RC 円柱支保工の設計は，図5に示す方法で許容応力度法により行った．

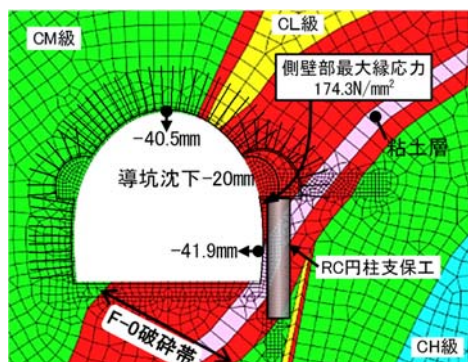


図4 側壁補強対策工の効果(新規)

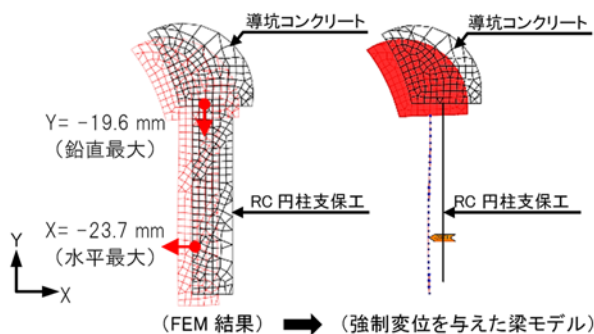


図5 RC 円柱支保工の解析方法

(3)RC 円柱支保工の詳細設計 見直した地質図を元に，破碎帯範囲をカバーするように，拡幅した左右の側壁導坑から本坑底板より3m(基本長)の深さまで，RC 円柱支保工を配置することとした(図6)．RC 円柱支保工の仕様を表2に示す．

表2 RC 円柱支保工の仕様

規模・配置		$\phi 3.0\text{m} @ 4.5\text{m}$ $L=12.05 \sim 19.25\text{m}$
本数		右側4本+左側2本=計6本
支保工	吹付けモルタル	$\sigma_{sk}=36\text{N}/\text{mm}^2$ $t=7 \sim 20\text{cm}$
	鋼製支保工	HH-100またはNH-100
躯体コンクリート		$\sigma_{sk}=40\text{N}/\text{mm}^2$
鉄筋	主筋ダブル	主筋D51@約200mm フープ筋D32×2本@150mm せん断補強筋D51×1~5本@150mm
	主筋シングル	主筋D29@約300mm フープ筋D32×1本@150mm せん断補強筋D51×2~6本@150mm

4. 施工状況

4.1 NATM立坑

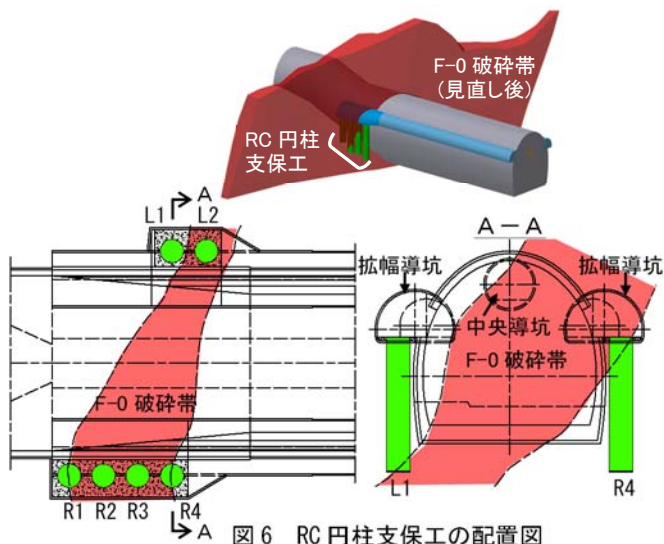


図6 RC 円柱支保工の配置図

(1)掘削工 RC 円柱支保工構築用の立坑は NATM・発破掘削により施工した．先行して構築した RC 円柱支保工への発破振動による動的影響を考慮して，左側導坑では1本ずつ($L2 \Rightarrow L1$)，右側導坑では2本1組($R2 \& R4 \Rightarrow R1 \& R3$)で掘削し(図6)，コンクリート打設後，設計基準強度の発現を確認して隣接立坑の施工に移った．

(2)計測結果 掘削中は，三次元計測により，事前に設定した管理基準値を照合した結果，内空変位は部分的に管理レベルⅠ～Ⅱを示した以外は管理レベルⅠ以下であり，立坑は全て安定領域であった．

4.2 RC 円柱支保工の施工 RC 円柱支保工は非常に過密な配筋であり(図7)，特に，せん断補強筋(直線)が多いため，円形フープ筋とせん断補強筋を先行させた後に主筋を組立てる手順を採用した．円形フープ筋にせん断補強筋を正確に組立てるため，機械式継手で長さを微調整した．RC 円柱支保工は，過密配筋における充填性確保のため，中流動コンクリートを採用した．

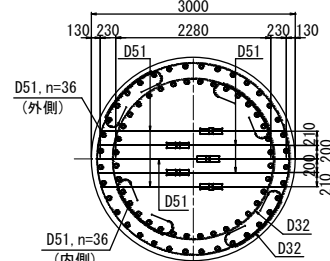


図7 配筋断面図(R2)

5. まとめ 2017年3月末時点で，RC 円柱支保工

(全6本)，導坑コンクリート(右側13.5m，左側46.2m)，水平水路部覆工コンクリート(底板部18.0m，側壁部18.0m，アーチ部0m)の構築が完了している．今後のベンチ掘削時には，各種計測を行い，RC 円柱支保工による補強効果を確認する所存である．

参考文献 村上正一：厳しい条件下での日本最大級水路トンネルの設計・施工、土木施工，Vol. 57，No. 11，pp. 102～105，2016. 11.