

橋脚基礎の大口径深礎の施工におけるずり出しトンネルの活用

鹿島建設(株) 正会員 ○蕨岡 寛 正会員 三浦 信幸 正会員 大塚 康晴
中日本高速道路(株) 正会員 原田 拓也 正会員 萩原 直樹

1. はじめに

新東名高速道路の未開通区間（神奈川県足柄上郡山北町）に位置する河内川橋（仮称）は、急峻な山岳地に位置し、二級河川河内川および丹沢湖へのアクセス道路を横過する橋長上り線 L=771m、下り線 L=692mの鋼・コンクリート複合バランスドアーチ橋である。構造形式、橋梁規模からも技術的難度が高く課題も多く存在するが、早期開通を実現するために、設計・施工において数々の合理化を図っている。アーチ部に位置する P 3 橋脚は、杭径 $\phi 16.0$ m、掘削長は上り線 L=38.3m、下り線 L=30.3mにおよぶ大口径深礎杭と、高さ H=89.0m（下り線）の橋脚からなる国内最大級の規模であり、この構築が全体工程のクリティカルパスとなる。そのため、P 3 橋脚では仮設工事、基礎工、下部工、上部工と一貫して工程短縮メニューを検討・実施している。

本稿では、P 3 橋脚における大口径深礎杭掘削の合理化施工について、施工計画および実績を報告する。

2. 工事概要と工程短縮への課題

(1) 工事概要

本工事は、新東名高速道路の未開通区間である伊勢原～御殿場間のうち、神奈川県足柄上郡山北町に流れる河内川を跨ぐ橋梁を建設するものである。本橋は、鋼・コンクリート複合バランスドアーチ橋という前例のない構造形式であり、上り線は8径間 771m、下り線は7径間 692m、メインのアーチ部はコンクリート部材であるアーチリブと、鋼部材である補剛桁からなる複合構造で最大支間長 220mとなる（図-1、図-2）。

その他、橋梁を構築するための工事用道路や工事用トンネル、仮設栈橋、インクライン、町道拡幅工事など、工種は多岐に渡っている（表-1）。



図-1 完成パース

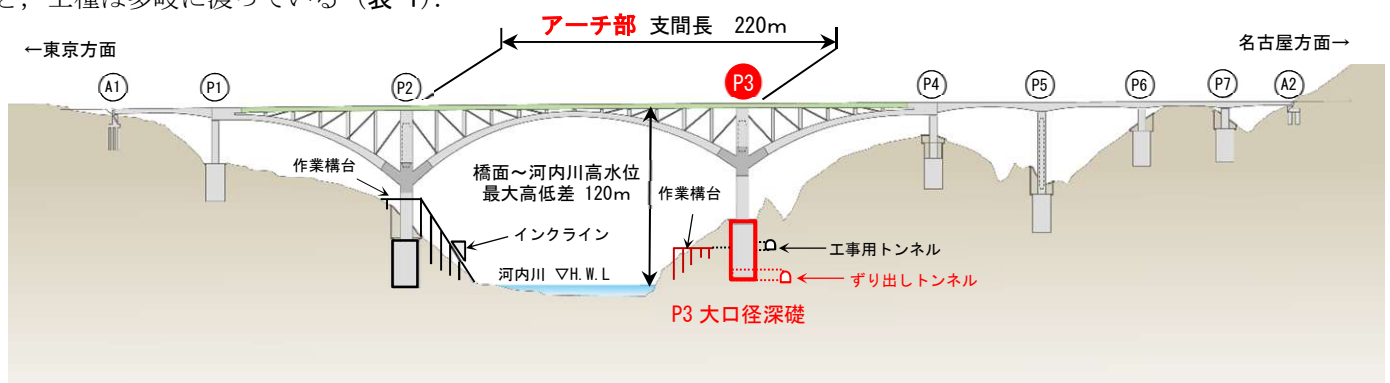


図-2 河内川橋側面図（下り線）

表-1 主要工種数量表

上部工	鋼・コンクリート複合バランスドアーチ橋 (上り線771m、下り線692m)	基礎工	場所打ち杭 24本 ($\phi 1.2$ m、L=15.0~22.0m)
	P R Cポータルラーメン橋 (橋長22.5m)		深礎杭 18本 ($\phi 2.5$ m、L=5.5~23.5m)
橋脚	13基 (H=13.0~88.1m)		大口径深礎 13本 ($\phi 10.0$ ~17.0m、L=10.0~38.3m)
橋台	6基 (H=7.0~13.0m)	工事用道路	インクライン 1基 (積載90 t、H=68m、L=103m、 $i=41^\circ$)
付帯工	調整池、管理用道路、町道拡幅		工事用トンネル・ずり出しトンネル一式
詳細設計	橋梁上下部の本体工詳細設計一式		

キーワード 大口径深礎、ずり出し、トンネル、グローリーホール、バランスドアーチ橋

連絡先 〒258-0123 神奈川県足柄上郡山北町湯触 322-1 鹿島建設(株)横浜支店 TEL. 045-641-8827

(2) 工事全体の課題

工事の全体工程表を表-3に示す。新東名高速道路の早期開通に寄与するため、全体工程のクリティカルパスであるP3橋脚における工程短縮が課題となる。そのため、橋脚施工の各工程において種々の工程短縮メニューを検討・実施している。表-2に工程短縮メニュー、図-3に橋脚部位を示す。今回対象とする大口径深礎杭の掘削では、掘削のサイクルタイムに大きく影響している掘削方法について合理化を図った。

表-2 工程短縮メニュー一覧

部位	工程短縮メニュー
(1) 大口径深礎	掘削 ずり搬出方法の合理化
	構築 配筋複合構造の適用
(2) 橋脚・メインポスト	プレハブ化
(3) アーチスプリングング	鋼コン複合構造
(4) アーチリブ	大型移動台車
(5) 床版・壁高欄	プレキャスト化

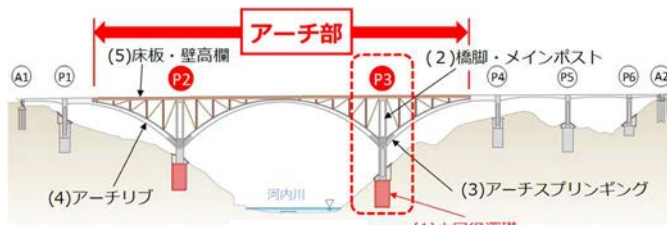


図-3 上り線側面図

3. 条件の整理

(1) 地質・地形条件

本橋の基礎を構築する山地部は、礫岩・砂岩・泥岩からなる足柄層群（CL～CM 軟岩主体）上に、箱根火山噴出物・崖錐堆積物等（いずれも土砂主体）が表面に分布しており、層厚は数m～20m超である。P3大口径深礎杭を構築する部分は礫岩を主とした軟岩・硬岩層（CL級～CH級）である。地質調査結果からCL～CM級が主であり、底盤付近はCH級の硬岩（20MN/mm²）と想定された。図-4に地質縦断面図を示す。

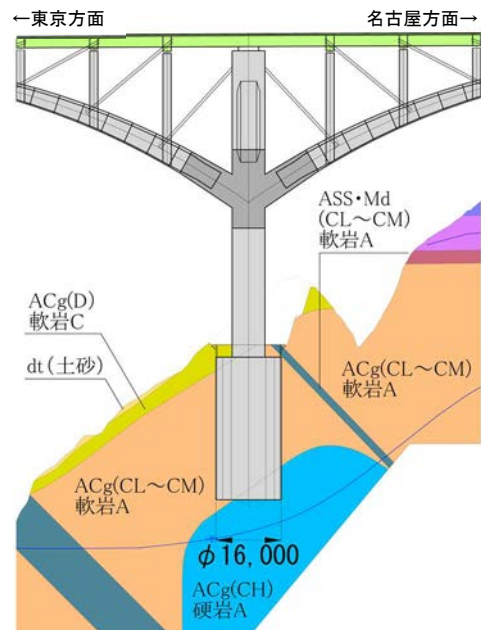


図-4 推定地質縦断面図（上り線P3橋脚）

(2) 大口径深礎杭の構造

大口径深礎杭の土留め構造は、鋼製リング支保工と吹付けコンクリートで構成されており、施工サイクルは掘削と土留め（吹付工・鋼製リング支保工）の交互繰り返し作業となる。図-5に大口径深礎杭土留め構造一覧を示す。

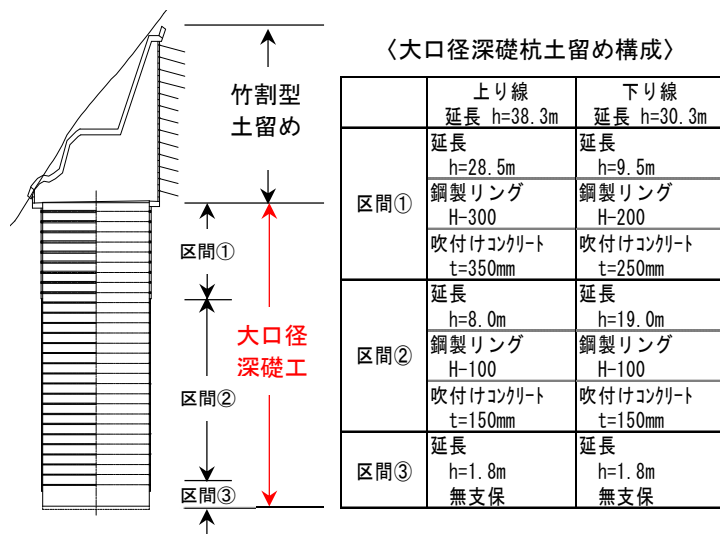


図-5 大口径深礎杭土留め構造一覧

表-3 全体工程表

▽工事着手												橋面引渡し▽																				
工 種	2016年度 H28				2017年度 H29				2018年度 H30				2019年度 R1 (H31)				2020年度 R2				2021年度 R3				2022年度 R4				2023年度 R5			
	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1	4	7	10	1				
詳細設計	詳細設計																															
A1																																
P1																																
P2																																
P3																																
中央閉合部																																
橋面工																																
P4																																
P5																																
P6																																
A2																																

4. 工程短縮策の課題と解決策

(1) 課題の抽出

一般的な深礎杭の掘削サイクルの内訳を図-6に示す。発破後のずり搬出がサイクルタイムの4割以上を占めるため、このサイクルを削減することで工程短縮に大きく寄与できると考えた。そこで、ずり搬出方法を対象とした施工の合理化により、掘削工程の短縮を図った。

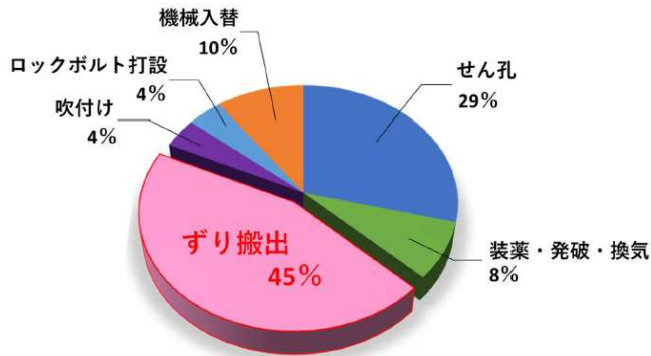
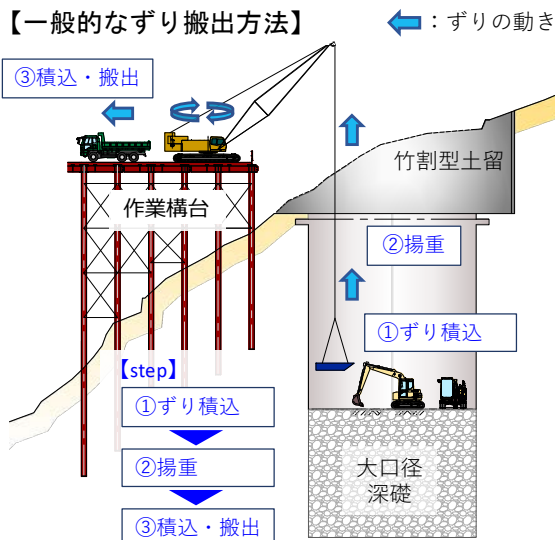


図-6 深礎杭掘削のサイクルタイム

(2) 解決策

a) ずり搬出方法の検討

深礎等の立坑掘削では、切羽面で掘削を行い、クレーン等の揚重機とバッセルやバケットにて坑外へずりを搬出するのが一般的であるが、クレーン等によるずりの揚重時間がクリティカルとなる。そこで、事前に深礎杭下面にずり出し用のトンネルを構築し、深礎施工基面からずり出しトンネルまでの立坑（グローリーホール）を設けることにより、深礎杭の掘削時には揚重機を使用せずにずりをトンネル内に投下し、トンネル内からずりを搬出する工程短縮案を検討した。図-7に、一般的なずり搬出方法と、今回採用した工程短縮案の比較を示す。



b) 大口径深礎工着手の前倒し

P3作業構台施工期間中に、ずり出しトンネルおよびグローリーホールを完成させ、前倒しで深礎杭に着手することが、工程短縮上の前提条件としてあった。P3作業構台の構築のため、先行して施工を開始していた工事用トンネルの仮設備や資機材を転用し、継続してずり出しトンネルを施工することで、P3作業構台とずり出しトンネルの並列施工が可能となった。また、グローリーホールの工程を踏まえても、深礎工着手の前倒しが見込めたため、本工法の採用に至った。図-8にトンネル起点側と終点側の位置関係を示す。

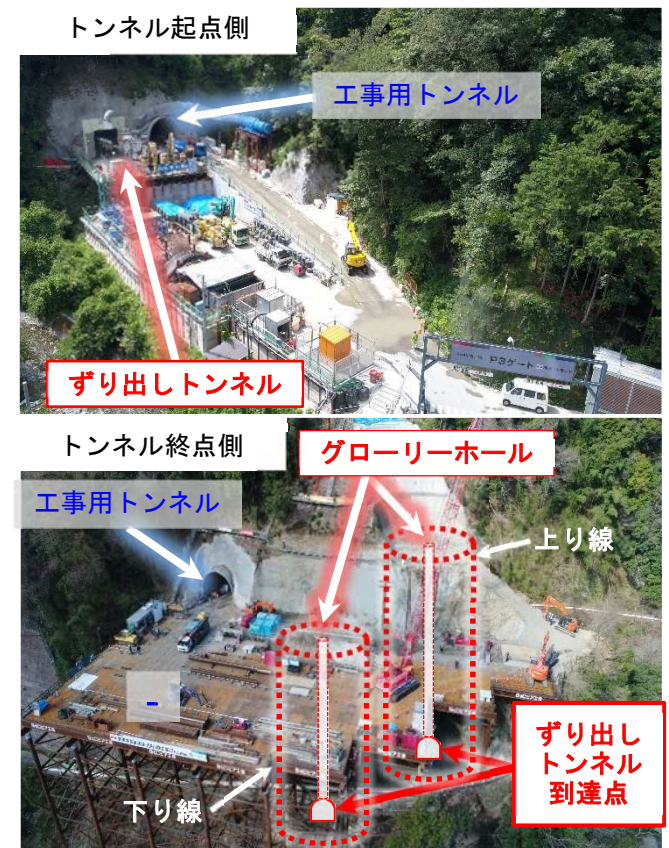


図-8 起点側・終点側状況図

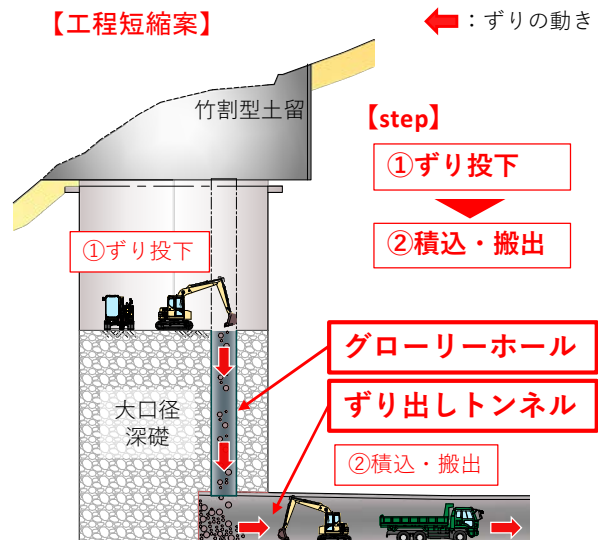


図-7 ずり搬出方法の比較

c) 期待できる効果

本工法により得られる効果を下記に整理する。

- ・掘削サイクルタイムの短縮
- ・作業構台構築と、ずり出しトンネルおよびグローリーホールの並列施工により、構台施工完了前に竹割型土留めおよび深礎着手の前倒しが可能 (図-9 参照)

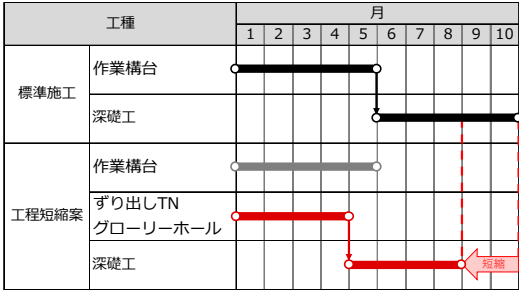


図-9 施工並列化の概念図

5. ずり搬出設備

(1) ずり出しトンネルの構築

図-10 に P 3 ずり出しトンネル平面線形および諸元を示す。ずり出しトンネルは、最大 12% の下り勾配、総延長は約 300m で、工事用トンネルの仮設備等を転用するため、工事用トンネルの横に坑口を設けた。本線は P 3 下り線深礎底盤位置まで構築し、途中に坑内分岐を設け、支線を P 3 上り線深礎底盤位置まで構築した。

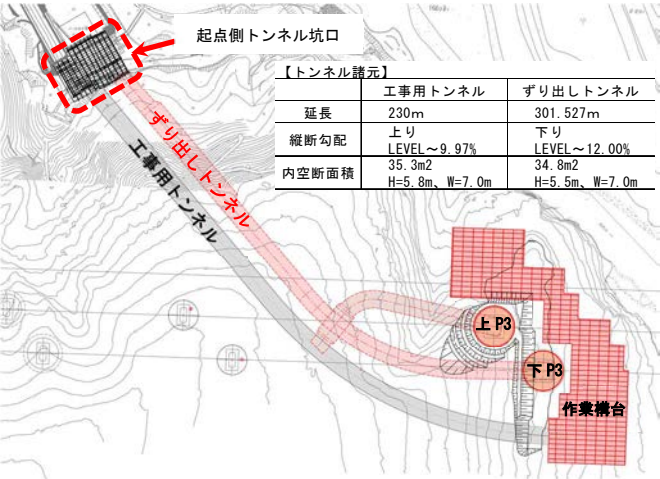


図-10 トンネル線形図

(2) グローリーホールの構築

ずりを投下するグローリーホールは、鉾山現場などで多数実績のあるレイズボーラー工法を採用した。掘削機を深礎位置に設置し、先行してφ250mmのパイロット削孔をずり出しトンネルまで貫通させる。次に、先行パイロット用のビットを、上向きのリーミングビット（φ1,750mm）に付替え、トンネル内から上側に向けて削孔を行う。図-11 に掘削手順を示す。掘削完了後、坑壁保護のためφ1,200mm 鋼管を建込み、地山と鋼管の隙間にモルタルを注入し、完了となる。

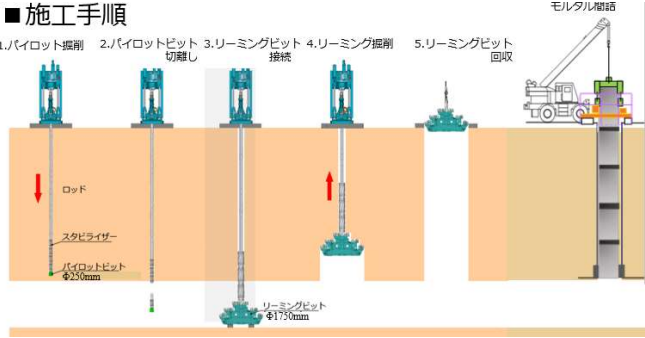


図-11 グローリーホール施工手順



図-12 グローリーホール施工状況

(3) 付帯設備の設置

降雨によりずりの受け入れ先の盛土作業が中止になることや、盛土場の走路状況などにより、ずりの搬出が中止となること、先行した切土工事で頻繁に発生した。ずり出しトンネル内のずり搬出が滞ると、深礎杭の掘削工程に影響が出るため、現場場外へ3,000m³のずり仮置き場を設けた。

6. 施工機械

深礎杭の掘削方式は、事前の試験発破により、近隣住民への発破による騒音・振動の影響が大きいことが明らかとなっていたため、ブレイカー及びバックホウによる機械掘削とした。ただし、機械掘削が困難な場合に限り、局所的に発破を併用する方針とした。また工程短縮効果を最大限活かせるように、躯体構築で使用予定の大型タワークレーンの設置を早め、大型機械での掘削を可能にした。表-3 に施工機械一覧を示す。

表-3 施工機械一覧

位置	工 程	小 工 程	名 称	仕 様	単位	数量
P 3 上下線	掘削工	坑内掘削	小旋回バックホウ	0.45m ³ 級	台	2
			ブレイカー小旋回バックホウ	1.3t(0.7m ³ 級)	台	2
		残土積込・運搬	ダンプトラック	10t	台	7
			バックホウ(ずり出し・TN搬出用)	0.45m ³ 級	台	2
	吹付工		吹付機（ベース機バックホウ）	0.14m ³ 級BH	台	1
			吹付ノズルアタッチメント	Stinger	台	1
			急結材供給装置		台	1
			ハイウォッシャ	3.7kW	台	1
			コンクリート圧送機	6～21m ³ /hr	台	1
			エンジンコンプレッサー	18.5m ³ /min	台	1
発電機			45kVA、400V	台	1	
鋼製リング	揚重	タワークレーン	720 t・m	台	2	

7. 得られた効果

(1) 工程

本工法の採用により、4.5ヵ月の工程短縮が得られた。以下に詳細を示す。

a) サイクルタイム短縮による効果

1リングあたりのサイクルタイムを18%短縮、深礎工全体で1.5ヵ月の工程短縮効果を得た。(図-13)

図-14, 15に施工状況を示す。本工法は、揚重機を介さずにグローリーホールからずりを投下するため、揚重機による巻上・巻下やベッセルなどへの積込作業が発生しない。そのため、掘削作業中に掘削機械の手待ち時間がなく、切羽が常に動いている状態を作り出すことができた。また、グローリーホールの直下に掘削1サイクル分のずりを溜められるため、掘削以外の作業中に安全にずりの積込・搬出をすることができた。これらが工程短縮効果を得た要因であると考えられる。

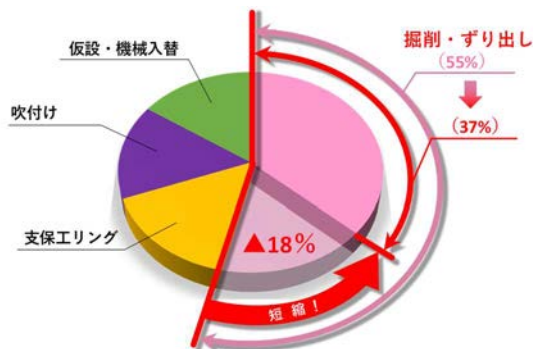


図-13 工程短縮効果（1リングあたり）



図-14 P3橋脚大口径深礎工施工状況



図-15 ずり投下中のトンネル坑内

b) 作業の並列化による効果

当初計画では、作業構台完了後に竹割型土留め及び深礎着手となっていたが、本工法の効果により作業構台の完成を待たずに3ヵ月前倒しで着手することができた。図-16に計画工程と実施工程の比較図を示す。

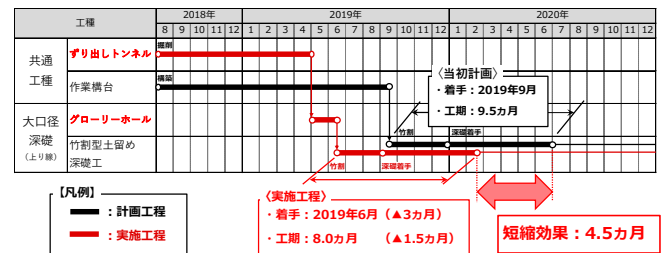


図-16 工程短縮効果

(2) 安全・環境・コスト

安全面では、掘削作業中のずりの揚重作業がないため、立坑内での重量物落下の災害リスクが大幅に低減できた。環境面では、地上での土砂積替え作業が無いため、騒音・粉塵発生を低減することができた。コスト面では、トンネル及びグローリーホールの構築が追加されるため全体としてはコストアップとなるが、サイクルタイムの短縮効果により掘削単体コスト、長期的な現場経費などの縮減効果を得ることができた。

(3) 今後の活用方針

今回の工程短縮効果を受け、P4橋脚でも本工法が採用されている。P4橋脚へは、P3のずり出しトンネルから支線トンネルの施工が可能であり、P3よりも大きな費用対効果が得られる見込である。

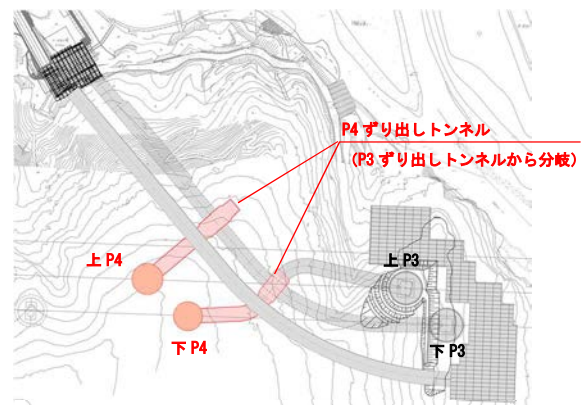


図-17 P4ずり出しトンネル平面線形

8. おわりに

本工法は、ずり出しトンネルとグローリーホールが追加されるため工事コストは増となるが、結果的に工程短縮による現場経費などの長期的なコスト縮減効果が得られた。また、早期に工事を完了させることにより、地域環境への負担軽減にも寄与しており、有効な手段であったと考えている。