

トンネル掘削ずりのコンクリート骨材への有効利用

Reuse of Tunnel Muck as Concrete Aggregate

澤井 茂^{※1} 土居原 雄二² 前田 和也^{※3}
Shigeru Sawai Yuuji Doihara Kazuya Maeda
井出 光司^{※3} 平間 昭信^{※4} 柳 森 豊^{※4}
Kouji Ide Akinobu Hiramama Yutaka Yanagimori

【要旨】

近年、社会的な環境保護への取り組みが重要な課題となっている。このような社会背景を受けて、高丸山トンネル工事では、トンネル掘削ずりを骨材として再生し、吹付けコンクリートおよび覆工コンクリート用骨材として用い、施工した。一般的には、トンネル掘削ずりの利用は、インバート埋め戻し材、流用土盛土や埋立などがほとんどであり、コンクリート骨材として利用される事例はほとんどない。この事由としては、骨材製造のコスト負担や、掘削地山の変化による骨材のばらつきなどによるコンクリートの品質確保が困難であるためと考えられる。

本稿では、高丸山トンネル工事において、掘削ずりをコンクリート用骨材として有効利用を図った経緯、計画、施工における問題点、および成果について報告する。

【キーワード】 トンネル 二次覆工コンクリート 吹付けコンクリート 骨材 掘削ずり

1. はじめに

近年、社会的な環境保護への取り組みが重要な課題となっている。自然環境の変化を伴うコンクリート構造物を築造に携わるものにとっては、環境への配慮が今まで以上に要求されている。

このような社会的背景を受けて、高丸山トンネル工事では、トンネル掘削ずりをコンクリート骨材として再生し、吹付けコンクリート、覆工コンクリートやインバートコンクリートに用いて施工した。一般的には、トンネル掘削ずりの利用は、インバート埋め戻し材、流用土盛土や埋立にとどまり、伐採を伴う残土処理場の捨て土がほとんどで、コンクリート骨材に利用される事例はほとんどない。掘削ずりを利用しなかった事由としては、コンクリートダムとは異なり、使用コンクリート量に対して骨材製造の負担増や、掘削地山の変化による骨材のばらつきによるコンクリートの品質確保が困難であるためと考えられる。

本稿では、高丸山トンネル工事において掘削ずりをコンクリート用骨材として有効利用を図った経緯、計画、施工における問題点、および成果について報告する。

2. 工事概要

高丸山トンネルは、三重県尾鷲市の北北東部にあたり、尾鷲市より約10kmに位置する。この地域は、太平洋に面した紀伊山地の南東部にあたり、標高500~1,000mの中起伏な山地から構成されている。トンネル周辺の水系

は、高丸山（標高607.2m）の南側を流れる銚子川と東側を流れる船津川で、これらの河川沿いには低位段丘面が分布している。高丸山は、開析が進んだ壮年期山地であり、山頂部の平坦面が少なく、鋭い稜線をなし、斜面が急峻である。このため、溪流の溪床勾配も大きく、随所に土石流が発生している。これらの溪流の出口には土石流堆積物により形成された沖積錐が分布しており、緩斜面を形成している。紀伊山地の南東部に分布する地質は、中生代白亜紀の四万十累層群と新生代新第三紀の熊野酸性岩類が分布している。四万十累層群は、紀伊半島西~中央部で日高川・音無川帯に区分される。岩層は主に砂岩・頁岩からなり、チャートや緑色岩をわずかに伴う。熊野酸性岩類は、三重県南部から和歌山県東部の太平洋岸に、北東から南西方向に延びた形で分布し、花崗斑岩を主体としている。熊野酸性岩類が四万十累層群に貫入して分布することから、四万十累層群は接触変成作用によりホルンフェルス化している箇所が見られる。

図-1に高丸山トンネルの地質縦断面図を、以下に工事概要を示す。

- (1) 工事名
平成18年度 紀勢線高丸山トンネル工事
- (2) 工事場所
三重県北牟婁郡紀北町海山区相賀~便ノ山
- (3) 発注者
国土交通省 中部地方整備局
- (4) 工期

1. 中日本土木支社 北陸土木事業部 旗護山トンネル作業所
3. 東日本土木支社 関東土木事業部笠森トンネル作業所

2. 中日本土木支社 名古屋土木事業部 中電徳山作業所
4. 土木事業本部 土木技術部

平成19年3月23日～平成22年3月15日

(5) トンネル工事内容

- ・トンネル延長：L=2,612m
- ・掘削方式：NATM（発破工法）
- ・掘削断面積：74.1～96.0m²
- ・運搬方式：タイヤ方式
- ・掘削土量：215,040m³
- ・吹付けコンクリート：6,698m³
- ・覆工コンクリート：17,786m³

3. トンネル掘削ずりの有効利用

3.1 ずりの有効利用量

掘削ずりは、主として、コンクリート用骨材として利用し、その他に、地下排水工のフィルター材にも使用した。その有効利用量は、表-1に示すように、トンネル工事全体で使用するコンクリート26,005m³のうち24,494m³であり、高丸山トンネル工事の全体コンクリート量の94%程度に相当する。

3.2 ずりを有効利用する岩種・区間の想定図

本トンネルは終点側坑口から施工したことから、図-1に示すように、頁岩優勢層、砂岩優勢層、花崗斑岩の順で出現する計画であった。設計図書・現地地表踏査結果に基づき、坑口から380m入った地点より、骨材再生が可能な地山であると想定した。なお、弾性波速度が遅い区間である頁岩優勢層は、岩質が葉片状に碎け易く、骨材として使用できない可能性が高いため、この地山の場合は弾性波速度が高い地山等級C I以上を当初対象としたが、強度試験等の結果から地山等級C IIも適用可能と判断した。

3.3 ずり有効利用の適否確認方法

トンネル掘削ずりの有効利用の適否については、以下の条件を満足するものをコンクリート用骨材として利用が可能と判定した（図-2参照）。

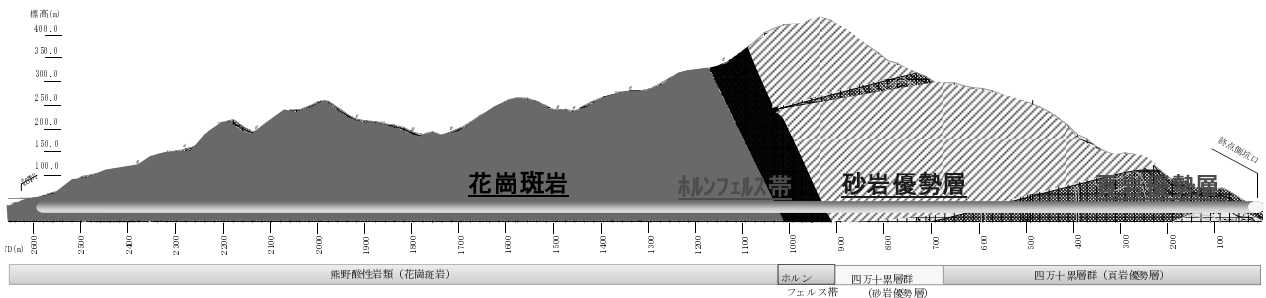


図-1 地質縦断面図

表-1 掘削ずりの有効利用量（コンクリート量で換算）

工種	構造物	有効利用量 m ³	設計数量 m ³	利用率 %
吹付け工	吹付けコンクリート	5,423	6,698	79.1
覆工コンクリート工	覆工コンクリート	17,786	17,786	100.0
インバート本体工	インバートコンクリート	1,126	1,358	86.2
坑門本体工	起点側坑門コンクリート	0	0	-
	起点側インバートコンクリート	4	4	100.0
	終点側坑門コンクリート	91	91	100.0
	終点側インバートコンクリート	0	4	0.0
明り巻工	起点側吹付けコンクリート	13	13	100.0
	起点側インバートコンクリート	10	10	100.0
	終点側吹付けコンクリート	0	0	-
	終点側覆工コンクリート	41	41	100.0
	終点側インバートコンクリート	0	0	-
合計		24,494	26,005	94.1

- (1) 掘削直後の切羽観察における評価点法，坑内支保変状観察結果や計測値との対比により支保パターンを選定するトンネル情報化施工システム(MAST)¹⁾の評価がC IIパターン以上であること。
- (2) 判定された切羽から岩片を採取した試料について，点載荷試験を実施し，岩片の圧縮強度がコンクリートの配合強度以上であること (写真-1 参照)。
- (3) 密度・吸水率試験により，コンクリート用骨材としての規格(絶乾密度 2.5g/cm^3 以上，吸水率 3.0% 以下)を満足していること。

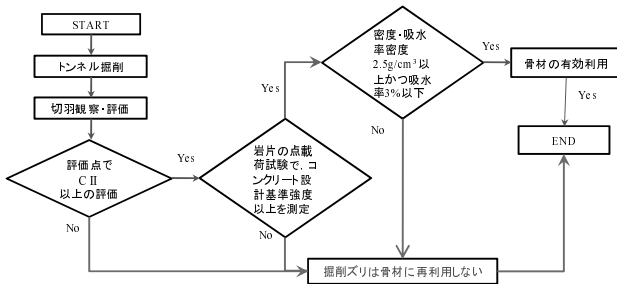


図-2 骨材有効利用の適否確認フロー図



写真-1 点載荷試験実施状況

の泥質分や不純物は，コンクリートの品質に悪影響を及ぼすため，洗浄設備を設置して一次破碎後の骨材製造前段階で除去する (写真-4)。

- (3) 骨材洗浄などにより濁水が発生することから，濁水処理設備 (60m³/h) を設置し，その処理水を洗浄水として循環使用する (写真-5)。
- (4) 吹付けコンクリートにも使用することから，粒度分布の整った細骨材が必要となるため，製砂設備にロッドミル・スパイラル分級機を使用する (写真-6)。



(a) 骨材製造設備全景



(b) 粗骨材製造設備

写真-2 骨材プラント全景

4. 掘削ずりによる骨材製造

4.1 骨材製造設備

トンネル終点側坑口の工事施工基地仮設ヤードから約 4km 離れた位置にあった既存の骨材製造プラントを流用し，自走式簡易骨材製造機・骨材洗浄機・濁水処理設備・骨材貯蔵ビンを新たに増設した。設備の全景写真を写真-2に示す。

骨材製造に関してはトンネル掘削ずりが原料となることから，品質変動や不純物の混入に留意して，下記に示すような工夫を行い，要求品質を確保した。

- (1) 骨材製造の品質安定と効率化を図るため，自走式破碎設備による一次破碎を行う (写真-3)。
- (2) トンネル掘削ずりに含まれる風化部や断層粘土など



写真-3 自走式破碎設備



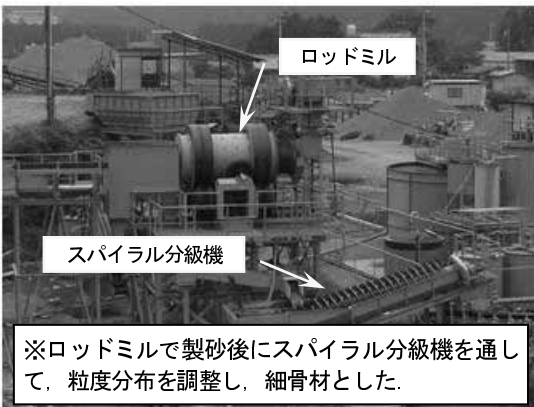
※一次破碎された掘削ずりは、粘土や不純物を水で洗浄してふるい分けした後に、粗骨材はジョークラッシャ、インパクトクラッシャで破碎処理、細骨材は製砂設備へ移動した。

写真-4 洗浄設備



※骨材洗浄水は濁水処理設備で処理し、再度洗浄水に再利用した。骨材プラントは河川横に位置するため、骨材製造過程で発生する濁水は全て処理した。

写真-5 濁水処理設備



※ロッドミルで製砂後にスパイラル分級機を通して、粒度分布を調整し、細骨材とした。

写真-6 製砂設備

4.2 本工事における骨材製造の優位性

本工事の場合、図-3に示すように、トンネルから骨材製造プラントまでの距離が比較的近く、プラント付近に平坦地が確保できたため、製品貯蔵のための二次運搬が不要であった。このことから、必要最小限の骨材運搬となるため、運搬に伴う交通災害危険要因・環境負荷・コストの低減が可能であった。

また、骨材製造プラントは、既設プラントの一部を利用して増設したため、周辺環境への影響も最低限に抑制し、環境保全ができた。

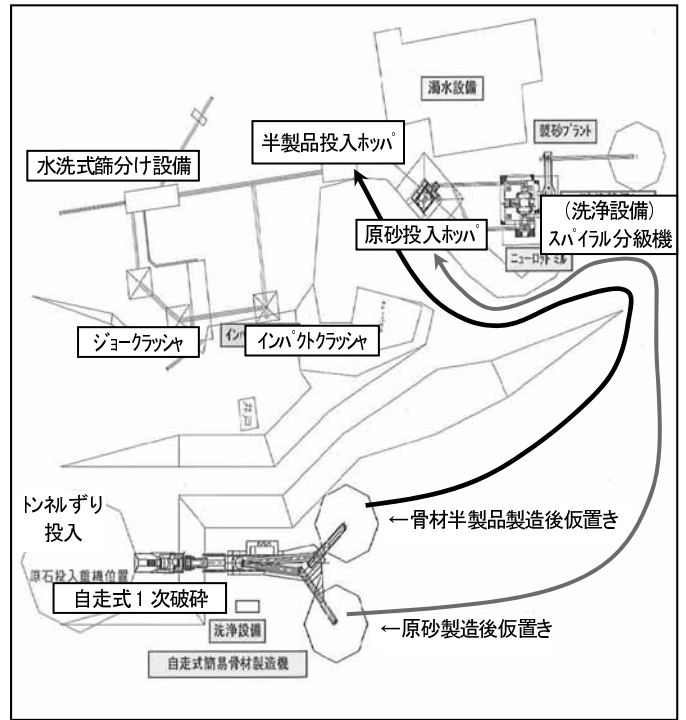


図-3 骨材製造設備配置図

5. コンクリート配合および材料

5.1 配合の仕様

本工事の設計図書で示された無筋区間の覆工コンクリートの仕様を表-2に示す。

配合設計上、呼び強度に対して目標強度を設定する際、骨材やコンクリートの品質変動を考慮した変動係数から割増係数を設定した。

一般に、JIS 規格品のレディミクストコンクリートの変動係数は 8%程度であるが、自社プラントでのコンクリート製造となることから、設計基準強度をより確実に満足させるため、品質変動係数を 15%に設定した割増係数 1.33 を用いて配合設計をした。

以下の式により、割り増し係数を設定している。

$$\alpha = 1 / \{1 - (1.645V / 100)\} \dots\dots\dots(1)$$

α : 割り増し係数, V : 変動係数(%)

一般的な割増係数 1.15 (変動係数 8%) に比べ、目標強度は 3.2N/mm² 高い、23.9N/mm² に設定した。

表-2 配合条件：覆工コンクリート（無筋部）

種別	呼び強度 (N/mm ²)	スランプ (cm)	粗骨材最大寸法 (mm)	セメントの種類	単位セメント量 (kg/m ³)	空気量 (%)	水セメント比 (%)
無筋部	18	15	40	BB	270 以上	4.5	60 以下

表-3 骨材に関する品質規格

規 格	JIS A 5308 レディミクストコンクリート附属書 1		JIS A 5005 コンクリート用砕石および砕砂	
	砂利	砂	砕石	砕砂
絶乾密度 (g/cm ³)	2.5 以上	2.5 以上	2.5 以上	2.5 以上
吸水率 (%)	3.0 以下	3.5 以下	3.0 以下	3.0 以下
粘土塊量 (%)	0.25 以下	1.0 以下		
微粒分量 (%)	1.0 以下	3.0 以下		
有機不純物	—	標準色液又は見本の色より淡い		
軟らかい石片 (%)	5.0 以下	—		
石炭・亜炭などで密度 1.95g/cm ³ 以上の液体に浮くもの (%)	0.5 以下	0.5 以下		
塩化物量 (NaCl として) (%)	—	0.04 以下		
安定性 (%)	12 以下	10 以下	12 以下	10 以下
すりへり減量 (%)	35 以下	—	40 以下	—
洗い試験で失われる量 (%)			1.0 以下	7.0 以下

5.2 製造骨材の品質規格

製造骨材の品質規格は、JIS A 5308「レディミクストコンクリート」附属書 1 (規定) レディミクストコンクリート用骨材に示されている骨材の品質に準じた。なお、JIS A 5308 において、砕砂および砕石については、JIS A 5005「コンクリート用砕石および砕砂」の規定によるとされているが、項目が少ないため JIS A 5308 を参考として試験項目を設定した (表-3)。

6. 施工実績と問題点

6.1 施工実績

平成 21 年 12 月に掘削を完了 (L=2,612m, うち C 級地山 L=2,354m) し、覆工は平成 22 年 2 月に打設を完了した。掘削ずりを用いた骨材製造については、概ね当初想定に近い地質分布であったことから、計画通りに製造することができた。掘削ずりを利用した覆工コンクリート、吹付けコンクリートの品質は、フレッシュコンクリート、および硬化コンクリート (設計基準強度) を全て満足する品質を有するコンクリートで施工を行うことができた。

6.2 施工における問題点と推定原因

掘削ずりの岩質が当初想定と異なった区間では、製造骨材の粒度分布、形状が変化し、吹付けコンクリート、覆工コンクリートとともに、コンクリート圧送時の配管閉塞が発生することがあった。配管閉塞発生時のコンクリート性状と、その原因を以下に示す。

(1)コンクリートの性状は、保水性、流動性が悪く、材料分離を生じやすい状態であった。この原因としては、掘削ずりが節理間隔の小さい層状岩であったため、製造された骨材が葉片状に細長くなり、粒度の粗い骨材

になってしまったことが考えられる。

(2) コンクリートの性状は、荒々しく、流動性が悪い状態であった。その原因としては、トンネル深度が深くなると硬質な層となり、当初想定以上の硬質な頁岩、砂岩が出現したために、破砕設備に負荷が大きくなり、規格範囲内ではあるが、粒度の整わない粗い細骨材 (粗粒率 3.1) が製造されていた。

その細骨材の粒度分布を図-4に示す。

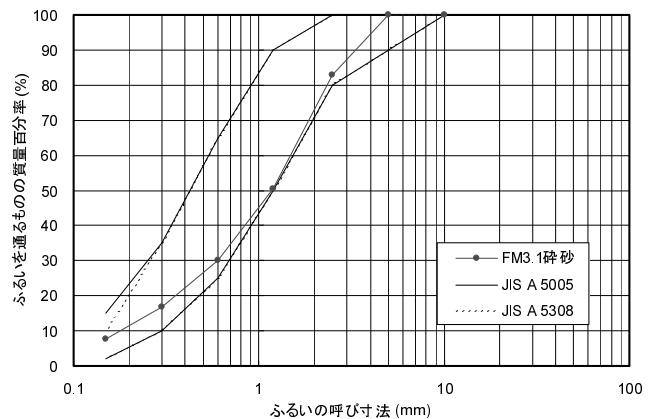


図-4 細骨材の粒度分布

6.3 施工における対策

コンクリートの品質確保において、施工中、下記の対策を逐次実施した。

- (1) 原則月 1 回の試験練りと、骨材の品質が大きく変化した場合に試験練りを実施し、骨材の品質 (特に、密度、粒度分布) に応じて、単位水量、細骨材率および単位セメント量などを修正した。
- (2) 施工条件 (打込み完了時間、季節変動など) を考慮

し、適切な混和剤（高機能型 AE 減水剤を基本とし、適宜、高性能 AE 減水剤を使用）を選定し添加した。

- (3) 覆工セントルの配管ラインを見直し、配管切替段階において、最短圧送距離となるように改善し、コンクリートポンプへの負荷を低減した。
- (4) 経時変化が大きい時期においては、適切に流動化剤を添加することにより、コンシステンシーを改善し、ポンプ圧送性を確保した。

7. まとめ

これまでの山岳トンネル工事で掘削ずりを骨材有効利用できなかった背景には、

- ①掘削ずりの岩質が一定でなく、骨材製造能力にばらつきが生じる。
- ②トンネル施工規模がある程度以上ない場合、骨材製造設備を新設して製造する利点がない。
- ③骨材製造設備には大規模な設備用地が必要となり、周辺環境への配慮も必要となる。

などの課題があるものと思われる。

トンネル延長 $L=2,612\text{m}$ と施工規模が大きい本工事では、これらの課題に対して、骨材製造設備については施工場所近傍の既存設備を調査し、既存設備を増設して利用することとし、骨材品質のばらつきについては製造段

階での前破碎処理、配合の再見直しや施工設備への負荷を低減することなどで解決を図った。

その結果、吹付けコンクリート、覆工コンクリートともに、所定の要求品質を確保し、トラブルなく施工を進めることができた。単位セメント量増加による初期収縮や乾燥収縮の発生が懸念されたが、打設完了後、7ヶ月後の2010年9月時点ではひび割れは確認されていない。ポンプ圧送性確保についても、閉塞することなく施工し、掘削ずりのコンクリートへの有効利用は一定の成果を上げた。

掘削ずりを覆工コンクリートに利用するという新たな発想でのトンネル施工事例として、本施工例が今後の参考になれば幸甚である。

謝辞：本工事施工に際してご指導いただきました、中部地方整備局紀勢国道事務所の皆様に、本紙面を借りてお礼申し上げます。

【参考文献】

- 1) 江藤幸記, 村山正巳, 橋詰順一, 近久博志: 中央構造線を NATM で掘る -九州新幹線 第2 今泉トンネル-, トンネルと地下, Vol.24, No.10, pp.29-39, 1993.

Summary Environmental protection has recently been one of the key social issues. In the construction of the Takamaruyama Tunnel, tunnel muck was renewed and reused as aggregate for shotcrete and lining concrete. Tunnel muck is generally used as invert backfill, embankment or landfill materials in most cases. There are, however, few examples of use as concrete aggregate because ensuring quality is difficult.

This paper describes the background for effective use of excavated materials as concrete aggregate, problems in planning and construction phases and results of reuse of tunnel muck.

Key Words : Tunnel, Lining Concrete, Shotcrete, Aggregate, Tunnel Muck