

# 縦断勾配 11.7%で本坑と避難坑を結ぶ斜め連絡坑の掘削実績 Excavation Performance connecting main tunnel and evacuation tunnel with a vertical gradient of 11.7%

齋藤 拓海\*      宮西 昭宏\*\*  
Takumi Saito      Akihiro miyanishi  
平工 哲嗣\*\*\*      諏訪 至\*\*\*\*  
Satoshi Hiraku      Itaru Suwa

## 要 約

本工事は、本坑、避難坑、および避難連絡坑を施工する工事であり、本坑と避難坑の高低差が大きいことに特徴がある。そのため、それらを結ぶ避難連絡坑のうち、車道用避難連絡坑は、縦断勾配が11.7%と大きく、さらに避難連絡坑は本坑および避難坑と斜角で接続する。

本稿では車道用避難連絡坑を安全かつ確実に施工するために実施したいくつかの工夫点について報告する。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 車道用避難連絡坑施工における課題
- § 3. 施工実績の報告
- § 4. まとめ

### § 1. はじめに

(仮称)岐阜山県第一トンネルは、広域的なネットワークを形成する東海環状自動車道(延長160km)の一部として建設する延長4.9kmの長大トンネルである。当工区は、岐阜市側より本坑2601m、避難坑2567mおよび避難連絡坑(人道用6箇所、車道用1箇所)を施工する。

本トンネルの特徴の1つは、本坑と避難坑の高低差が大きいことである。そのため、それらを結ぶ避難連絡坑の設計は特殊となり、特に車道用避難連絡坑の縦断勾配は11.7%と大きく、さらに本坑および避難坑と斜角(本坑との交差角40°、避難坑との交差角41°)接続する設計であった。

このような特殊な条件の避難連絡坑を安全かつ効率的に掘削するために、接続部の形状を見直すとともに施工方法を計画した。本稿ではその施工実績を示す。

\* 西日本(支)岐阜山県トンネル(出)  
(現:勝川山田(工))

\*\* 西日本(支)岐阜山県トンネル(出)

\*\*\* 西日本(支)岐阜山県トンネル(出)  
(現:国際事業本部工事部工事課)

\*\*\*\* 土木設計部設計二課

本工事周辺の地形・地質は、東西面に伸びる主稜線は浸食されやすい砂岩や泥岩が分布している。また、南北斜面は急崖地形となっていて、裾部において崖錐地形が発達している。

本トンネルは、中部地方の西南日本内帯における領家帯の北側に位置する。美濃帯堆積岩コンプレックス上麻生ユニットのチャートや砂岩が分布しており、山地の南斜面の袖部には崖錐堆積物が堆積している(図-1参照)。

### § 2. 車道用避難連絡坑施工における課題

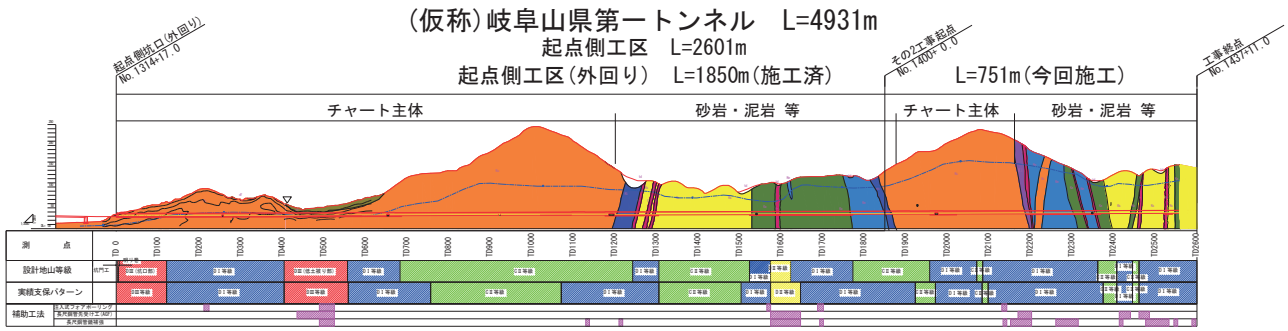
車道用避難連絡坑は、延長3000m以上のトンネルに設ける設備であり、災害発生時に緊急車両が通行できることを目的として設置される。当初設計では、緊急車両が旋回できるようにするため、車道用避難連絡坑と避難坑の接続部において両方の断面を拡幅させる計画であった。

当初設計における3点の課題について以下に述べる。

#### 2-1 避難坑交差部の複雑な断面形状(課題①)

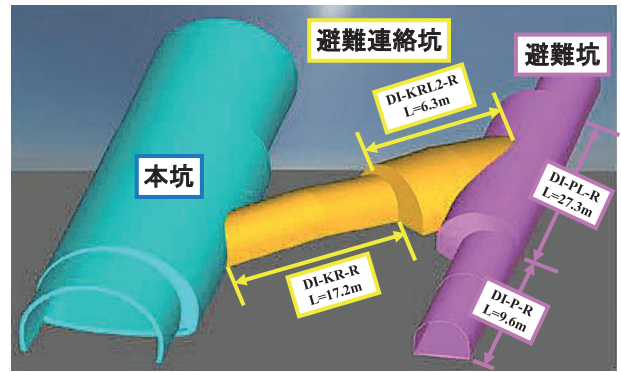
当初設計では、緊急車両の旋回時における軌跡を考慮して避難坑は、DI-P-R(18.7m<sup>2</sup>:L=9.6m)らDI-PL-R(30.8m<sup>2</sup>:L=27.3m)へと断面を変化させる計画であった。また、避難連絡坑は、DI-KR-R(18.7m<sup>2</sup>:L=17.2m)らDI-KRL2-R(46.1m<sup>2</sup>:L=6.3m)と断面を変化させる計画であった。このように、各トンネルが複雑に断面を変化しながら交差する計画となっていた(図-2参照)。

避難坑交差部においては、断面の大きい避難坑を先行



図一 地質縦断面

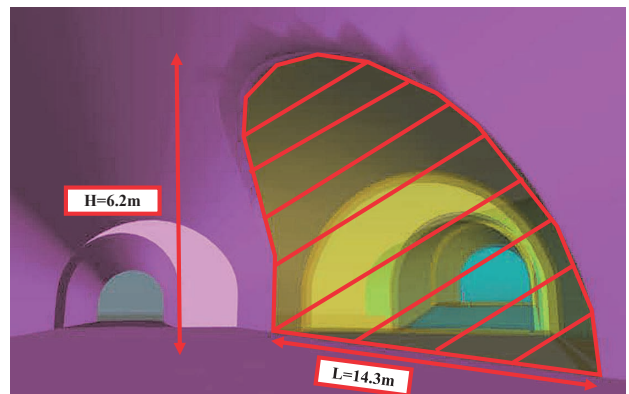
して掘削し、その後断面の小さい避難連絡坑を掘削する施工手順が一般的である。しかし、当該箇所では、避難坑拡幅断面 (DI-PL-R) より避難連絡坑拡幅断面 (DI-KRL2-R) の方が大きいため、この施工手順では、避難連絡坑を施工するとき、交差部において避難坑の鋼製支保工を天端付近まで切断する必要がある。また、避難坑脚部の鋼製支保工も 10.7 m (11 基) 切断し、断面を切り上げながら避難連絡坑の施工を行うことになる。この施工手順では、交差部施工時に周辺地山の緩みが生じやすく、掘削時の安全性および長期安定性に課題があった (図一3 参照)。



図二 当初設計全体図

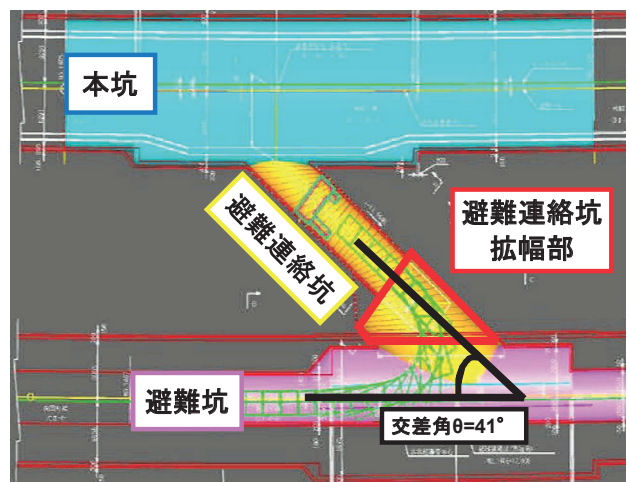
2-2 避難連絡坑と避難坑の交差部が斜角 (課題②)

一般的に本坑と避難坑を結ぶ避難連絡坑は直角に接続する。しかし、当工区は本坑と避難坑の高低差が大きく、本稿で述べる車道用避難連絡坑では、高低差が 1.3 m ある。当初設計では車両が通行可能な縦断勾配 (12%以下) にするために避難連絡坑の平面距離を延長し、避難連絡坑と避難坑を交差角 41° で接続する設計となっている (図一4 参照)。



図一3 避難坑との交差部

車道用避難連絡坑と避難坑との交差部は、比較的硬質なチャートが分布する区間に選定されている。しかし、交差角 90° と比べて交差角 41° で接続した場合、既往の研究成果より 1.5 倍程度大きい応力が交差部に発生するとの報告もあり<sup>1)</sup>、交差角 41° で接続することによって、一般的な交差角 90° で接続するトンネルに比べて不安定化しやすいことが懸念された。



図一4 当初設計平面図

2-3 覆工打設時における施工性 (課題③)

避難坑交差部の覆工を施工するには、DI-PL-R と DI-KRL2-R 用の 2 基のセトルが必要となる。また、DI-PL-R と DI-KRL2-R は一体で打つ必要があるが交差角 41° で接続するため、DI-PL-R 施工時に楕円状に 14.3 m (図一3) 程度の大きな開口ができてしまうため構造的に不安定になることが懸念された。さらに、開口の幅がセトルのスパン長以上となり、2 回に分けてコンクリート打設を行う必要があることから、妻型枠の施工が非常に困難となる。当該区間の覆工は、当初設計で非鋼繊維混入コンクリートを用いることになっている。また、非鋼繊維混

入コンクリートは流動性が劣るため、DI-KRL2-R 打設時の充填不足が懸念された (図一5 参照)。

### §3. 施工実績の報告

前述の課題を満足させるために実施した対策を以下に示す。

#### 3-1 複雑な交差部の形状の単純化 (対策①)

避難連絡坑は、DI-KRR に統一して、避難連絡坑の断面形状を1パターンとした。ただし、緊急車両の旋回が可能となるよう避難坑 DI-PL-R 断面を 30.8 m<sup>2</sup> から 61.6 m<sup>2</sup> に変更した (図-6 参照)。

このとき、DI-PL-R の断面積が 50 m<sup>2</sup> 以上となり、規格が小断面トンネルから一般的なトンネルに変更となった。鋼製支保工は H100→H125、ロックボルトは L=2 m→4 m、コンクリート吹付けは t=100 mm→150 mm、覆工厚は t=200 mm→300 mm へとランクアップした (図-7 参照)。

変更に伴い使用機械、掘削工法を見直す必要があった。下記に変更内容をまとめる。

#### <使用機械の変更について>

- ・避難坑の鋼製支保工の建込みは、ドリルジャンボ (2B1BS) で行っていたが、鋼製支保工の重量が 1.4 t/基から 1.7 t/基となったことからドリルジャンボ (2B1BS) での建込みが困難となり、支保工建込みエレクタ (2B2BS: 1000 kg 級, 写真-1) を採用した。
- ・支保工建込みエレクタは大型重機で、通常の避難坑断面 18.7 m<sup>2</sup> を通過することができないことから、施工手順を本坑側から避難連絡坑を施工し、路盤を 20 cm 程度盤下げすることで支保工建込みエレクタを搬入し、DI-PL-R の施工を行う手順に変更した。

#### <掘削工法の変更>

DI-PL-R の断面が大きくなったことから、掘削工法を全断面掘削から上半先進掘削に変更した。

#### <避難連絡坑の施工について>

本坑側から避難連絡坑の施工を実施したため、本坑と避難連絡坑の施工を同時に行うこととなり、以下のことに配慮する必要があった。

- ①発破災害防止のために本坑を通行する車両 (覆工打設時の生コン車等) を一時通行止めにする必要があった。
- ②避難連絡坑ずり出し時のダンプトラックとの接触災害防止に配慮する必要があった。

しかし、断面を一定にしたことで、断面変化時に費やす測量、掘削時のあたり取り、支保工間を繋ぐ溶接作業の時間を省略することができ、施工性が向上した。

また、避難坑と接続する避難坑連絡坑断面が小さくなったことから、避難坑の支保工切断範囲を縮小することができたため、交差部の地山の緩みを抑制し、安全性および品質の向上に有効であった。避難連絡坑の施工状況を写真-2~5 に示す。

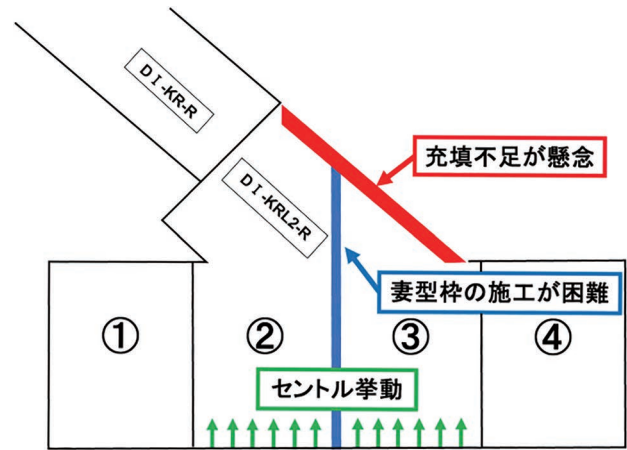


図-5 避難坑との交差点

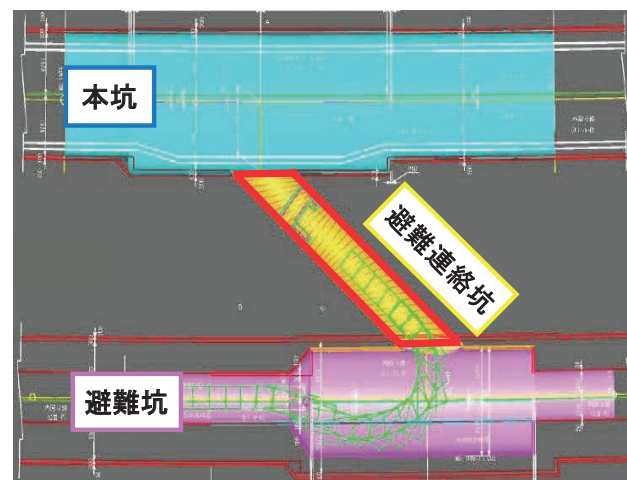


図-6 見直し後の平面図

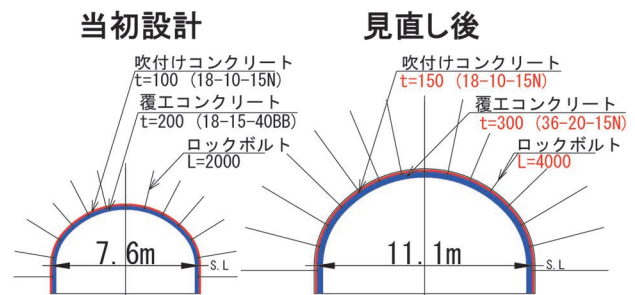


図-7 支保パターン (DI-PL-R) 比較図



写真-1 支保工建込みエレクタ



写真一2 避難連絡坑掘削状況



写真一4 避難連絡坑施工完了



写真一3 避難連絡坑建込み状況



写真一5 避難連絡坑交差部

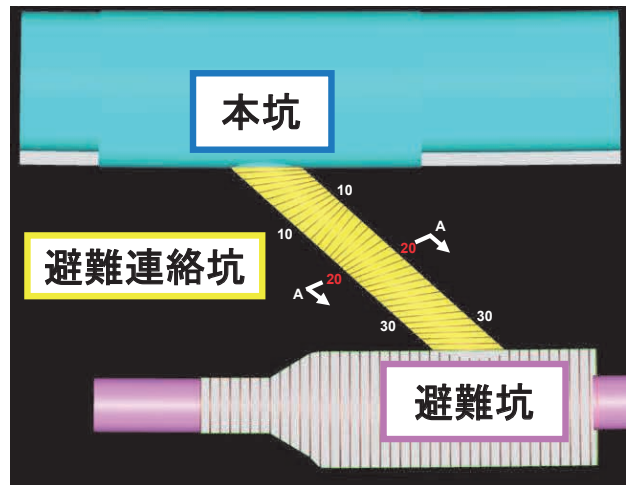
<避難坑の施工について>

支保工建込みエレクタを追加することによって機械費用が増加した。また、機械の入れ替え時間が発生したことなど、経済的にデメリットがあった。しかし、ドリルジャンボでの鋼製支保工の建込みは、建込み時の鋼製支保工による挟まれ災害等が懸念されるが、支保工建込みエレクタを使用し、鋼製支保工を確実に把持できることで、安全性が大きく向上するメリットがあった。

3-2 斜め支保工の採用 (対策②)

前述したように、交差角が41°の場合、接続部において、避難連絡坑の鋼製支保工を広範囲にわたり切断する必要があった。しかし、交差部では応力集中が懸念されることから、できるだけ鋼製支保工を切断しないように斜め支保工を採用した。斜め支保工では通常1mピッチで配置する鋼製支保工を平均0.75mピッチで密に配置して、地山の緩み抑制(避難連絡坑側の鋼製支保工の切断数の減少)を図った(図一8参照)。

また、斜め支保工は、左右で支保工と支保工の間隔が違うこと、図一9に示すように11.7%の勾配により左右脚部の高さも違うことから、建込み時の測量時間は、通常と比べて4倍の時間(40分)が必要であった。さらに



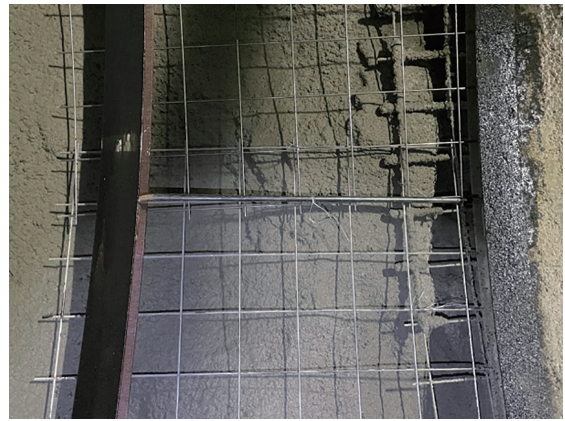
図一8 支保工配置図

通常の鋼製支保工の接続部は、筒状のさや管が配置され、そこに継ぎ材を差し込んで固定する構造となっているが、斜め支保工では、さや管の高さや位置が1基ごとに異なり、継ぎ材長も1基ごとに異なることから、施工開始時には、さや管に差し込む方式は困難と判断して溶接で固定していた。このため支保工の建込みに60分を要しており、長時間の切羽作業が必要であった。そこで、建込み時間を短縮するために3次元CADを有効利用して、継

ぎ材長，さや管の位置高さを事前に把握して予めさや管を配置することで，通常の施工のように継ぎ材を差し込む方式に変更することができ(写真一6)，建込みが20分でできるようになった(表一1参照)．これにより切羽内での測量を含む支保工建込みの作業時間を100分から60分へと40%短縮し，安全性を向上することができ，さらに施工時間短縮により地山の緩みを抑制が可能となり，長期の品質確保に有効であった．

3-3 吹付覆工コンクリートへの変更(対策③)

避難連絡坑については対策①により断面を一定としたため，セントルを追加する必要はなくなった．しかし，避難坑 DI-PL-Rについては，断面が大きくなったため，セントルは断面の大きいものを追加する必要があった．41°で交差することから，避難連絡坑との取り合い部の開口は14.3mと覆工コンクリートの1打設長である10.8mより大きく，取り合い部を2回に分けて打設する必要があり，妻型枠の設置が非常に困難であった．また，打設時のセントルの挙動と品質および出来栄えが懸念された．そこで，通常の覆工コンクリートから，これと同等以上の耐力を有する吹付コンクリートによる覆工に変更した．吹付での覆工では一般の層間の縁切りになる防水シートの施工を行わないため，1次吹付コンクリートの拘束によるひび割れが懸念された．このため非鋼繊維補強吹付コンクリートを採用し靱性を向上させることで，ひび割れによる剥落を防止した．あわせて，非鋼繊維補強吹付コンクリートの標準配合は36 N/mm<sup>2</sup>で，通常の覆工コンクリート18 N/mm<sup>2</sup>より高強度であるため，耐久性の



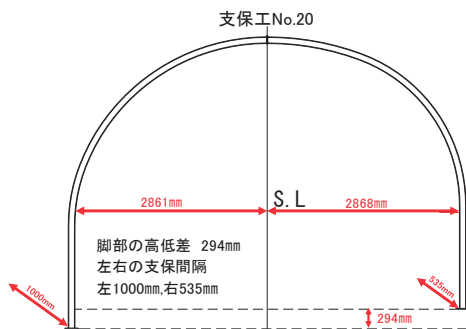
写真一6 鋼製支保工接合完了状況



写真一7 導水工施工完了



写真一8 吹付覆工施工状況



図一9 A-A断面 支保パターン図

表一1 サイクルタイム比較表

工種	当初予定(分)	実績(分)
掘削	60(発破)	180(発破+機械)
ズリ出し	40	60
一次吹付	20	20
支保工 建込み	測量	10
	建込み	25
二次吹付	40	60
ロックボルト	45	70
合計	240	450(490)

※( )内は溶接作業時



写真一9 吹付覆工施工完了

向上が期待できた。導水処理については、覆工に水圧をかけないという基本条件から、10 m 毎に水抜き鋼管を設置し、ドレーンにより下方に集水し、覆工に水圧をかけない構造とした（写真一7）。

施工日数を比較すると吹付覆工の施工日数は準備工含め合計6日であり、バラセントルを用いた覆工の施工日数31日と比べる25日短縮することができた。このように、吹付覆工では断面の変化に幅広く対応できるため複雑な断面や小断面トンネルの覆工に適していることが分かった。吹付覆工の施工状況を写真一8, 9に示す。

#### §4. まとめ

以下にまとめを示す。

- (1) 避難坑の断面を変更し、避難連絡坑断面を一定にしたことで、避難坑の支保工切断部を縮小することができた。交差部の地山の緩みを抑制し、安全性・品質が向上した。
- (2) 斜め支保工を採用することで鋼製支保工による支保

耐力向上につながった。しかし、今回のような縦断勾配が急な避難連絡坑の場合には施工性が劣り、切羽での作業時間が増加することが課題である。今後同様の施工を行うときには、さらなる工夫を検討していきたい。

- (3) 吹付覆工を採用することで複雑な断面形状の変化に対応できるため、避難坑のような小断面トンネルには有効である。また、覆工コンクリートでは、充填不足が懸念されたが吹付コンクリートは目視確認を行いながら施工することができ、充填不良を防止できた。また、セントルを用いないことから組立、解体作業が無く、工期短縮が図れ、経済性に優れるとともに組立解体時の事故のリスク削減に繋がる。

#### 参考文献

- 1) トンネル工学委員会 技術小委員会 山岳トンネル補助工法改訂部会：トンネルライブラリー第20号 山岳トンネルの補助工法－2009年版，P=320-321, 2009/09