

旧坑道と交差・近接するトンネルの調査・設計

藤原年生¹・吉岡知哉²・片山武³

¹中国地方整備局 松江国道事務所（〒690-0017 島根県松江市西津田2丁目6-28）

E-mail:fujihara-t87gm@cgr.mlit.go.jp

²正会員 (株)オリエンタルコンサルタンツ 関西支店（〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3丁目2-18）

E-mail:Yoshioka-tmy@oriconsul.com

³(株)オリエンタルコンサルタンツ 関西支店（〒530-0005 大阪府大阪市北区中之島3丁目2-18）

E-mail:katayama-tk@oriconsul.com

当該トンネルは，事前調査の結果から砂鉄採掘跡に残存する旧坑道の切羽への出現やトンネル本体に近接する可能性が指摘されていた．このため，トンネル施工に伴う旧坑道崩壊による天端崩落・緩みの拡大やトンネル供用後の旧坑道老朽化に伴う崩壊による荷重作用や変状発生が懸念された．

旧坑道の分布性状が，施工法の選定や安全性，事業費・工程に大きく影響すると考え，旧坑道の三次元測量ならびに岩盤健全度評価を実施した．この調査結果を踏まえて，エアモルタルによる旧坑道の充填対策，トンネル本体はインバートストラットによる早期閉合工法を計画することで，施工時・供用後の構造安全性の向上を図った．

本稿は，旧坑道と交差・近接する起点側坑口から約60m区間において実施した調査・設計について報告するものである．

Key Words : existing mining tunnel, cross and adjacent, early closure, backfilling

1. はじめに

一般国道9号湖陵・多伎道路は，緊急輸送道路の確保および第3次医療施設への速達性の向上等を目的とした島根県出雲市湖陵町三部から多伎町久村に至る延長4.5kmの自動車専用道路である．

このうち二部トンネルは，新第三紀中新世の大森層砂岩が分布する丘陵地を最大土被り40mで計画された延長200mの山岳トンネルである．（図-1）

現地条件として，事前調査の結果から起点側坑口の数十m区間に砂鉄採掘跡の旧坑道が交差・近接することが確認されたため，施工時および供用後の安全性を重視した設計が求められた．しかし，詳細設計段階における旧坑道の情報は僅少であり，分布や地質性状が不明瞭な状態であった．旧坑道の分布性状が，施工法の選定や安全性，事業費・工程に大きく影響すると考えたため，旧坑道の正確な性状把握も求められた．

本稿は，図-2に示す二部トンネルと旧坑道の近接区間において実施した調査・設計について報告するものである．

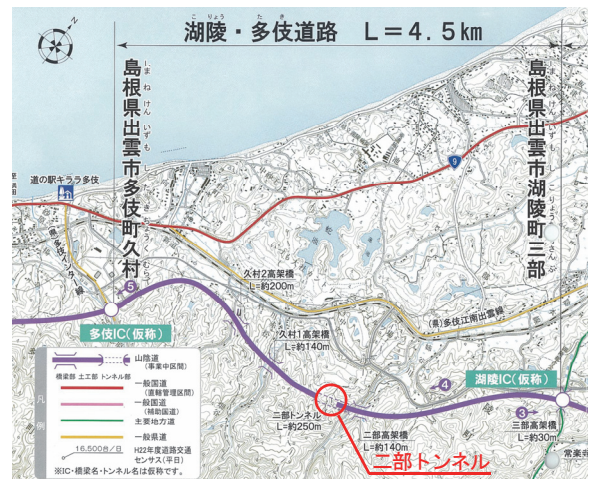


図-1 位置図

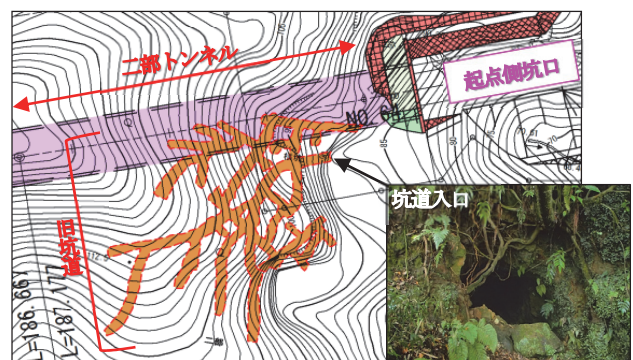


図-2 計画平面図

2. 地形および地質概要

旧坑道が近接する起点側坑口部は、前方に本線と直交する林道が位置しており、林道に沿って二級河川十間川系姉谷川が北流し、姉川沿いは低地の発達が乏しく、全体に急斜面を呈している。

地質は、新第三紀中新世の大森層砂岩を主体とし、部分的に礫岩の狭在層(層厚2m程度以下)がトンネル本線と平行して東西方向に走向する地層構成である。図-3に示すように、起点側坑口より17m地点までトンネル天端部に強風化砂岩(N値50以下, RQD=0)が連続して出現し、17m地点坑奥にはCL～CM級の硬質な砂岩が分布しており、砂鉄分の含有が確認された。旧坑道は、この硬質な砂岩区間(砂鉄含有)に向け採掘されたものと推測された。

3. 旧坑道近接区間の検討課題

事前調査の結果から、起点側坑口付近に旧坑道(φ2.0m程度で無普請の空洞)の存在が推測され、切羽への出現やトンネル本体に近接する可能性が指摘されていた。

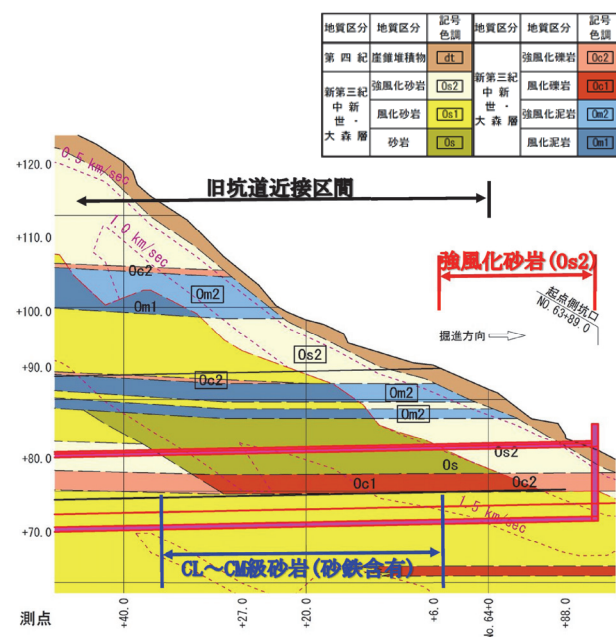


図-3 地質縦断面図(起点側坑口)

旧坑道がトンネル施工の影響で崩壊した場合、天端崩落や緩みの拡大が懸念され、またトンネル供用後に老朽化で崩壊した場合には、再変位による荷重作用や変状発生が懸念された。このため、トンネル設計上の課題として以下の点が考えられた。

- 1) 坑道の分布性状が施工法の選定や安全性、事業費・工程に大きく影響するため、事前にその位置や形状、安定性を正確に把握する必要があった。
- 2) 設計にあたっては、坑道の詳細な分布性状を踏まえ、施工中の安全性およびトンネル本体供用後の安定性が確保できる空洞対策、支保構造、掘削工法を検討する必要があった。

4. 旧坑道近接区間の調査・設計

4-1. 坑道調査

(1) 三次元測量

旧坑道に対し、空洞ボリューム算定や施工法選定への活用を念頭に三次元レーザ測量(図-4)を実施した。測量の結果、No.64+0～No.64+60の約60m区間にわたりトンネル上部から側方(L側)の広範囲に分布し、図-5に示すように、事前調査にて想定された範囲より広範囲かつ複雑に分布していることが判明した。

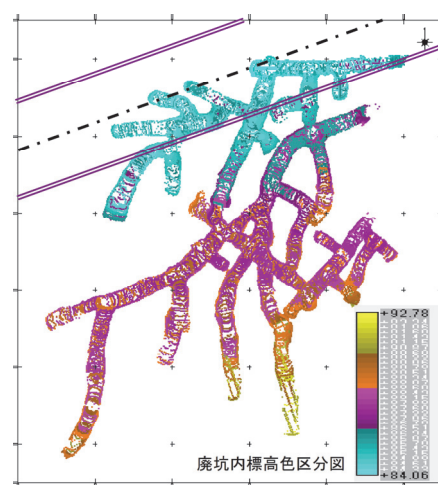


図-4 旧坑道の三次元測量結果

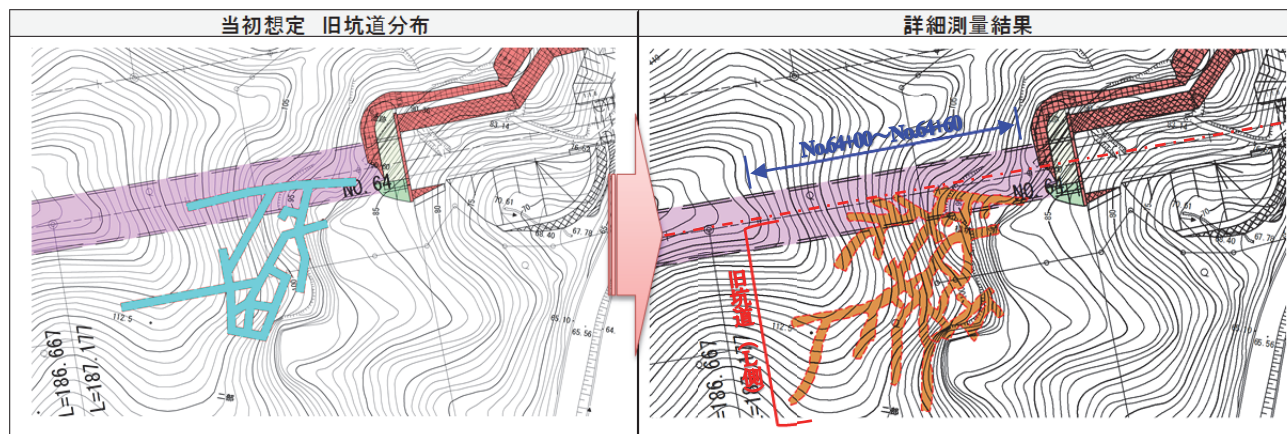


図-5 旧坑道分布の対比

(2) 岩盤健全度評価

旧坑道は無普請の素掘り空洞(写真-1)であるため、坑道内部の地質状況ならびに坑道内作業安全性の確認を目的とした岩盤健全度評価を実施した。評価方法は、坑道内の地質や底質堆積物の分布・特性を確認し、崩落危険箇所を抽出した。抽出した危険箇所に対し不安定性や崩落規模から総合的に危険度を評価し、作業時の安全性確保を目的とした事前対策工の基礎資料として活用した。

また、旧坑道内での調査時にポータブルガス検知器を携帯することで、施工時の坑道内空気環境の安全性も確認した。



写真-1 旧坑道内現況

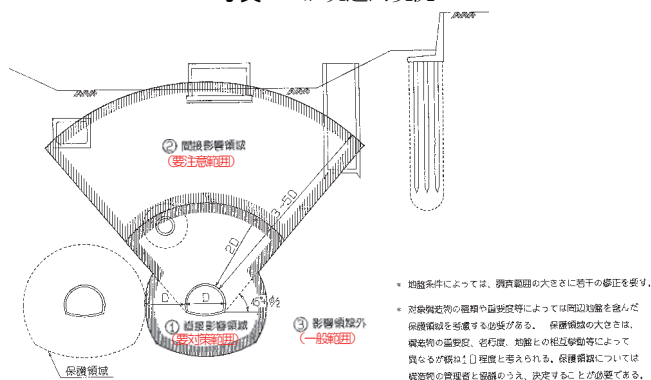


図-6 近接施工の影響領域

4-2. 坑道充填計画

坑道調査結果を踏まえ、トンネル掘削時の安全性向上と切羽停止による工程ロスの回避を目的として、切羽到達前の旧坑道内からエアモルタルによる先行充填対策を計画した。

(1) 充填対策範囲の設定

充填範囲の設定は、経験的手法による近接度評価とし、「構造物等に近接した山岳トンネル設計施工に関する研究報告書(日本トンネル技術協会)」(図-6)を参考に、トンネル構造として安定確保の為に必要な既設坑の「保護領域」と、新設坑の「直接影響領域(要対策範囲)」が干渉する範囲に対して充填対策を講じるものとし計画した。

旧坑道崩壊に伴う影響として、「CASE1: トンネル施工時の旧坑道への影響」と「CASE2: トンネル供用後の旧坑道崩壊による影響」が想定されたため、両ケースの影響照査を実施し、範囲が大きい方を充填範囲として設定し、空洞約590m³を充填対象とした。(図-8)なお、CASE2における坑道掘削径(D)は、作用する土荷重範囲を伴った崩壊が想定されるため、想定崩壊高1mを加えた3.0mとして設定した。(図-7)

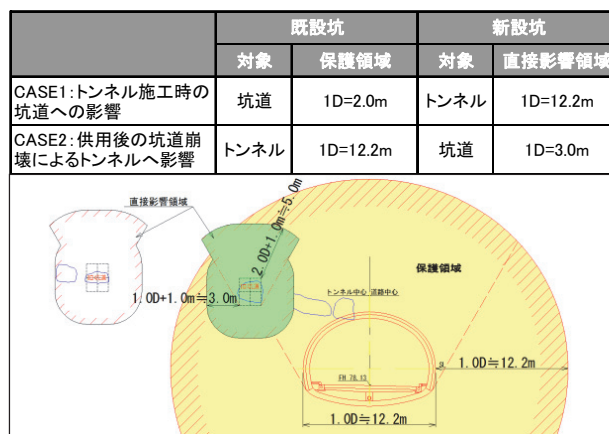


図-7 近接施工の影響照査

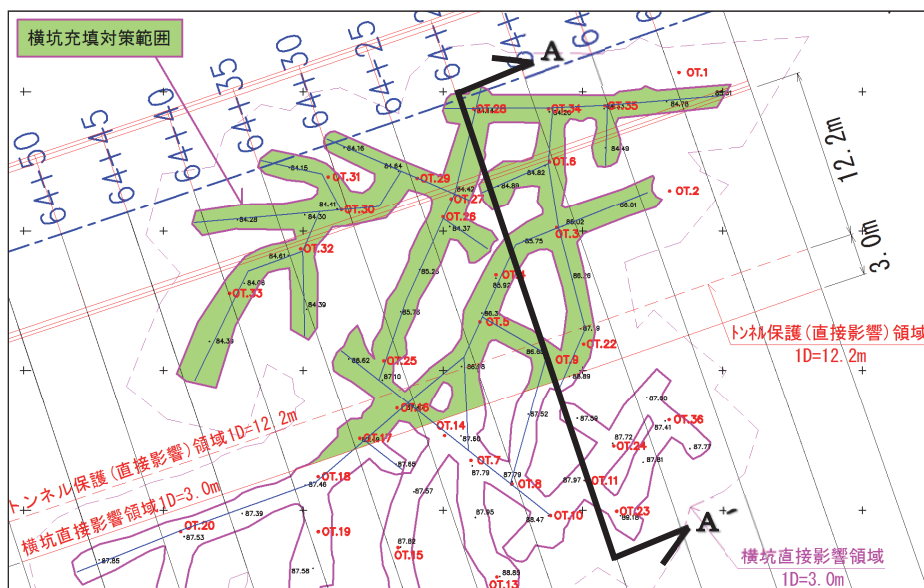


図-8 旧坑道充填対策範囲

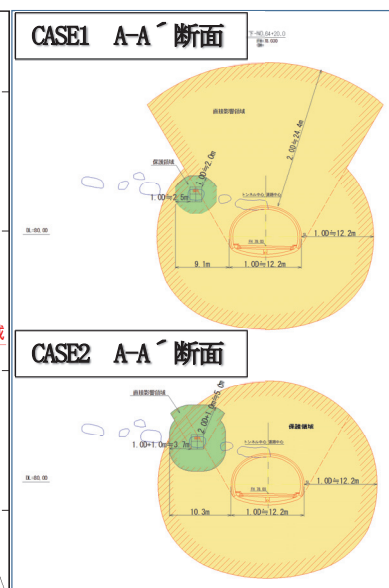


図-9 A-A'断面(近接影響照査)

(2) 事前対策工

旧坑道は、無普請の素掘り断面であるため、充填作業時の安全確保を目的とした事前補強対策を計画した。事前対策箇所は、岩盤健全評価にて不安定性評価Aと判定した崩落危険箇所を対象とした。(表-1)

不安定性評価Aの想定岩塊は、10～60cm程度と規模が小さい為、ハンマー等による「叩き落とし工」を基本として計画した。(計11箇所)

また、旧坑道入口付近については、資材搬入などの作業通行頻度が高いことに加え、狭小断面により資機材の接触が懸念されること、崩落した岩塊が散見されることに配慮し、「モルタル吹付け工($t=3\text{mm}$)」を計画した。(計 10m^2 程度)

表-1 事前対策必要性評価

不安定性評価	評価内容
A	開口亀裂を伴い、崩落の可能性が最も高いため、事前対策が必要と判断。
B	亀裂は分離しているが、開口を伴わないため、Aに比べて崩落の可能性は低く、充填作業中の自然崩落や資機材接触による崩落の危険性は低いと考え、事前対策を計画しない。
C	亀裂が密着しているため、崩落の可能性は低いと考え、事前対策を計画しない。

(3) 充填施工計画

充填施工方法については、施工条件を踏まえ、トンネル本坑内(切羽到達時の逐次充填、トンネル貫通後の事後充填)とトンネル本坑外からの事前充填(旧坑道内、地表面)にて比較検討した結果、旧坑道入口から進入してトンネル本坑掘削の到達前に充填作業を完了することで、切羽停止による工程ロスの解消や本坑掘削時の安定性確保が可能となる旧坑道内からの事前充填(トンネル本坑外)を計画した。

充填材は、施工性ならびに経済性に優れるエアモルタルを採用した。

充填作業計画は、坑奥側かつ標高が低いトンネル側からを基本とし、木製型枠を用いた仕切り壁によるブロック割を計画し、配管(塩ビ管)による圧送充填を計画した。(図-10)

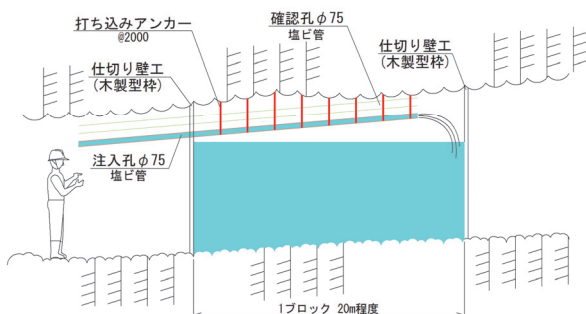


図-10 旧坑道閉塞工 充填概要図

4.3. 支保構造および掘削工法の検討

旧坑道との近接影響が懸念される区間（ $L=45.0\text{m}$ ）のトンネル本体は、過去の採掘による緩みに伴う荷重や坑道分布の偏りによる偏圧が懸念されたため、剛性の高い支保構造が求められた。また、トンネル掘削による更なる緩みの抑制や、万一の充填不足や崩落を想定した安全性についても担保する必要があった。(図-11)

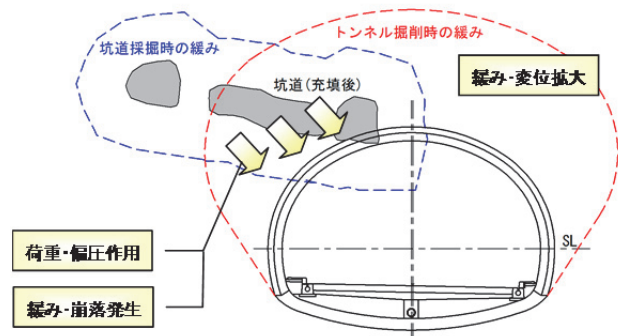


図-11 旧坑道近接区間における課題

これらの課題を解決するため、当該区間はインバートストラット(吹付コンクリート併用)による早期閉合を採用するとともに、前後の鋼製アーチ支保工を補強プレートで連結した一体構造を採用した。リング閉合効果に加え、トンネル軸方向についても支保剛性の向上を図ることで、施工時だけでなく、供用後における将来的な構造安定性の向上を図った。

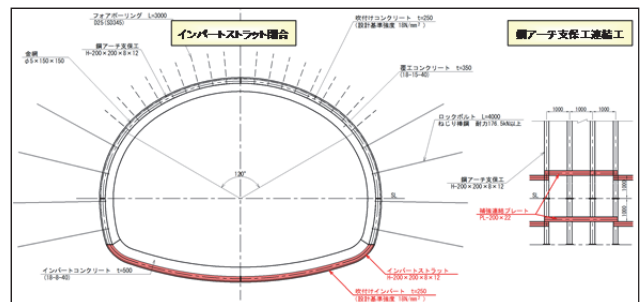


図-12 トンネル本体の対策工模式図

閉合距離については、緩み・変位抑制の観点から極力短くすることが望ましいが、一方で閉合距離が短いと作業安全性の低下や別途鏡面の安全対策(鏡ボルト等)が必要となり不経済となることが懸念された。

当該区間は土被りが浅く、地山の押し出し等による過大な変形は想定しにくいことから、施工実績等を参考に表-2に示す上下半での施工性ならびに安全性に必要なベンチ長を確実に担保したうえで、2.0m程度のスパンでのインバートストラット閉合を計画した。(図-13, 14)

表-2 必要ベンチ長と閉合距離

項目	距離	備考
上半ベンチ長	3.0m	施工時の安全性と下半盤からの施工性を考慮
下半ベンチ長	2.0m	インバートストラット施工時の安全性を考慮
閉合距離	2.0m	施工性と効率性から2.0m毎の閉合、最大閉合距離(上半からの離れ)は7.0mとする。

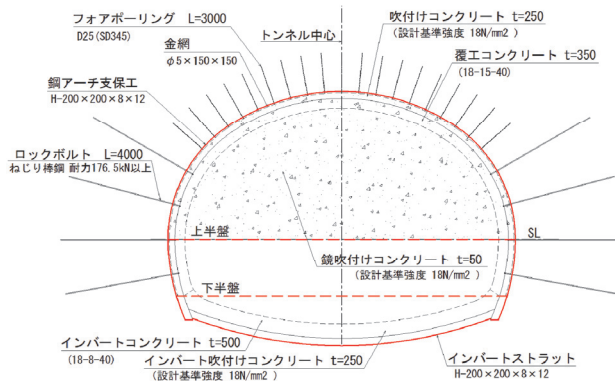


図-13 支保パターン図(早期閉合区間)

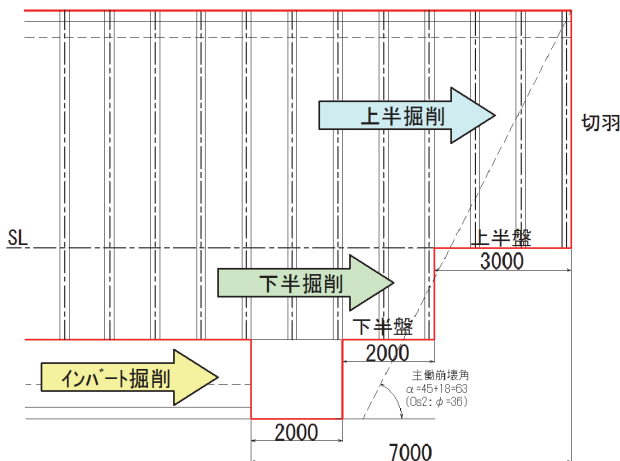


図-14 早期閉合方法(ベンチ長と閉合距離)

5. おわりに

今回、事前調査の段階で確認された砂鉄採掘跡の旧坑道と交差・近接する区間に対し、綿密な調査の実施と調査結果を踏まえた安全かつ合理的設計により、以下の結果が得られたと考える。

- 1) 当初想定以上の坑道の広範囲な分布が設計段階で判明し、工事着手後の事業費拡大や工期遅延リスクを抑制できた。
- 2) 坑道内の作業可否を事前に確認したことで、経済的かつ施工安全性の高い坑道内からの先行充填を計画できた。また充填範囲の設定では、将来的な坑道崩壊の可能性を考慮することで、供用後の構造安定性についても担保した。
- 3) トンネル本体設計では、支保構造のランクアップや補助工法の追加を行うことなく、標準パターンを基本とした支保工のリング閉合によりコスト増加を最小限に留めるとともに、支保工と覆工での二重リング構造構築により施工時・供用後の安全性を確保した。

参考文献

- 1) 構造物等に近接した山岳トンネル設計施工に関する研究報告書 H4.3 日本トンネル技術協会 P.23

(2015.8.7 受付)

SURVEY AND DESIGN OF THE TUNNEL CROSS AND ADJACENT THE EXISTING MINING TUNNEL

Toshio FUJIWARA, Tomoya YOSHIOKA and Takeshi KATAYAMA

The results of the preliminary investigation indicated a possibility that the tunnel encounters or runs adjacent to the existing tunnel excavated for mining of iron sand. Therefore, there are concerns over potential collapse of the tunnel crown and expansion of loosening zone due to collapse of the existing mining tunnel during construction and additional loading and damage to the tunnel due to collapse of the existing mining tunnel resulting from its aging after opening of the tunnel.

Since it was considered that the exact location and depth of the existing mining tunnel would significantly affect selection of construction methodology, safety during construction, overall project cost and construction programme, three dimensional survey of the mining tunnel and geological assessment of bedrock was conducted. With reference to these investigation results, particular measures were implemented to improve safety during construction and after operation of the tunnel by adopting backfilling of the mining tunnel with air mortar and early closure of the invert struts during excavation.