

大和御所道路水泥トンネルに近接する廃坑がトンネル施工に及ぼす影響と対策について

加藤 翔¹・村岸 捺世²

^{1,2}近畿地方整備局 奈良国道事務所 工務課 (〒630-8115 奈良県奈良市大宮町3-5-11)

京奈和自動車道路 大和御所道路御所区間8工区は、御所南ICから五条北ICをつなぐ7.2kmの区間である。主に山間部に路線を計画していることから、区間の大部分がトンネル構造となっている。その一つである水泥トンネルでは、起点側坑口近傍に鉱山の廃坑道が確認された。トンネル掘削にあたり、坑内の安全に支障をきたす恐れがあることから、廃坑の対策工法を検討する必要がある。そのため、坑口及び廃坑道の位置を詳細に調査した。調査の結果、廃坑道がトンネル断面に交差し、また1D範囲内に坑道が存在することが判明した。そのため、トンネル施工時の影響が懸念されることから坑道の状態によって対策工法を複数立案し、検討を行った。

キーワード 廃坑 トンネル 安全対策 廃坑対策工 1D 充填材

1. はじめに

京奈和自動車道は京都と和歌山を結ぶ延長約120kmの高規格幹線道路で、図-1に示すように関西大環状道路の重要な路線の一つとして供用を目指している。そのうち、大和御所道路は大和区間と御所区間で構成される延長約27.2kmの道路である。南部13.4kmの御所区間は橿原市から五條市までの4市を通過し五條道路へと接続する。これらは高速道路や主要国道と連携することで相互のネットワークを形成し近畿大都市圏での時間短縮を図るための重要な役割を担う。



図-1 関西大環状道路

御所区間のうち御所南ICと五條北IC間にあるトンネルの一つである大和御所道路水泥トンネルは、御所市朝町地先から御所市五百家地先をぬける計画延長上り1,172m、下り1,220mのトンネルである。今回の懸案

事項の廃坑道は図-2に示すように、大和御所道路水泥トンネル北工区工事の工区内に存在する。そのため、トンネル施工の際に影響を及ぼす可能性がある。本論文では、廃坑道とトンネルの位置関係の調査及びそれに基づいたトンネル施工時における対策について報告するものである。

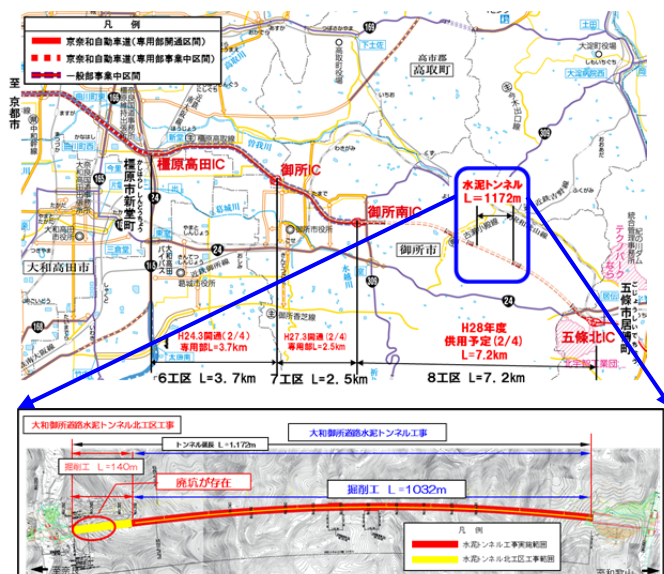


図-2 御所区間8工区及び水泥トンネル

2 廃坑道がトンネルに近接する際の課題

トンネルに近接して廃坑道がある場合、トンネル掘削時に切羽崩壊やインバート陥没、それに伴う安全性の低下及び工事工程の遅延や工事費の増額につながる。さらに施工中に影響が発生しない場合でも、開通後に覆工コンクリートやトンネル支保工の変状が起こることも否定できない。

よってこれら予想される事態を回避する必要があるため、水泥トンネルの本線掘削と並行して廃坑の調査を行った。

3 廃坑の事前内部調査について

(1) 第一回内部調査とその結果

平成 26 年 12 月に水泥トンネルの掘削を開始し、それに並行して廃坑についての情報収集を行った。その結果、学識者より銅を採掘していた鉱山であったこと、坑口は過去に土砂で埋めて閉塞したなどの状況を得た。さらにトンネル切羽が翌年に到達することから平成 27 年 11 月に入坑調査を行った。

トンネル上部の立坑より入坑調査した結果、

- ①最深部は水泥トンネル本坑より深い
- ②トンネル上部にも坑道があり、坑道最深部とトンネル上部の坑道に滞水があること

が確認出来た。これらを踏まえて、最深部への二次調査を実施した。また調査中に地元住民から起点坑口側の廃坑坑口は少し掘削すればすぐ出現するとの情報が得られたため、ミニバックホウで掘削を試みたところ、廃坑内の滞水と地山の支持力不足で掘削は不可能であった。以上を踏まえ、再調査が必要なことから第二回調査が実施された。

(2)第二回内部調査及び3Dレーザ測量について

平成 28 年 1 月～2 月にかけて起点側廃坑坑口付近の伐採及び掘削を行い、入坑調査を行った。その結果、

- ①奥行き約 40m 程度で坑道の崩壊を確認。
- ②3D レーザ測量により、廃坑道がトンネルインバート部と干渉することが確認。



写真-1.2 廃坑坑口及び内部（水泥トンネル起点側）

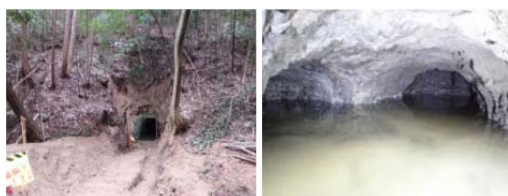


写真-3.4 廃坑坑口及び内部（水泥トンネル上方側）

3 月に起点側廃坑内に安全設備を設置し、坑道最深部の内部調査を実行。No.96+75 付近で崩壊閉塞が確認出来た。また、廃坑道内を専用機器にて 3D レーザ測量を行い、トンネルとの位置関係を調査した。

4. 廃坑調査の結果

以上の調査結果より、図-3 は廃坑とトンネルとの位置を 3D 図面にしたものである。上部から下ってきた廃坑が図の①で本坑下部を交差し、カーブを描きながら図の②で坑口付近で交差している。また交差時にトンネルインバートに干渉していることが図-4 で確認できる。

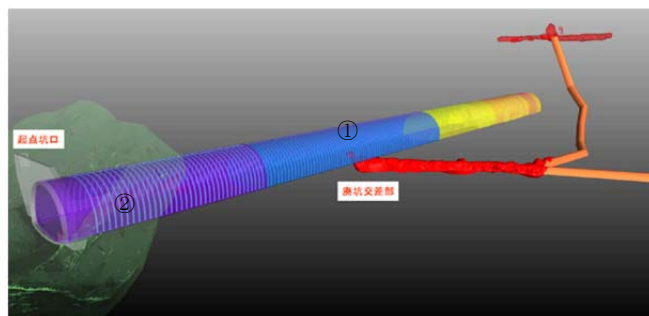


図-3 3D 図面

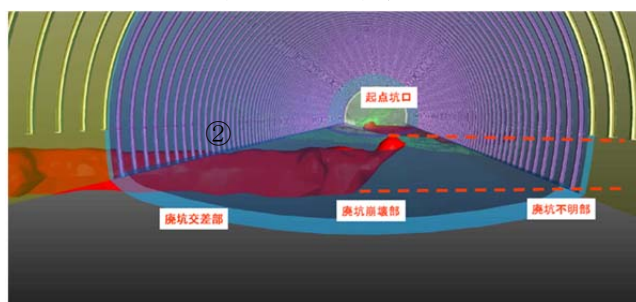


図-4 3D 図面（インバートとの干渉部）

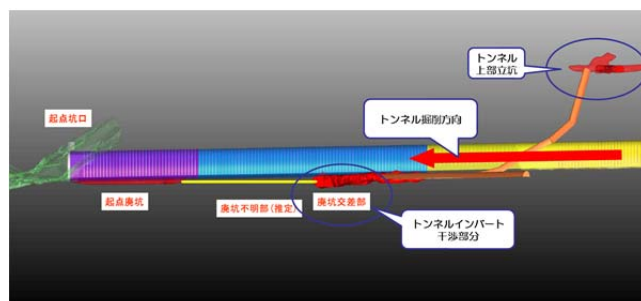


図-5 3D 図面（トンネルと廃坑道の位置関係）

これらの調査結果から廃坑道の内部の状態及びトンネルとの位置関係によって区間毎の対策工の検討を行った。その結果、

- 区間 A : 坑道内の状態が確認され、空洞かつ滞水している。
- 区間 B : トンネルより 0.5D 以内で坑道が崩落しており、内部が確認できない
- 区間 C : トンネルより 1.0D 以内で坑道内部が空洞もしくは崩落か不明部
- 区間 D : 坑道内の状態が確認され、空洞かつ滞水なしと分類し、図-6 のようにそれぞれ対策工 A～D として対策を行う。

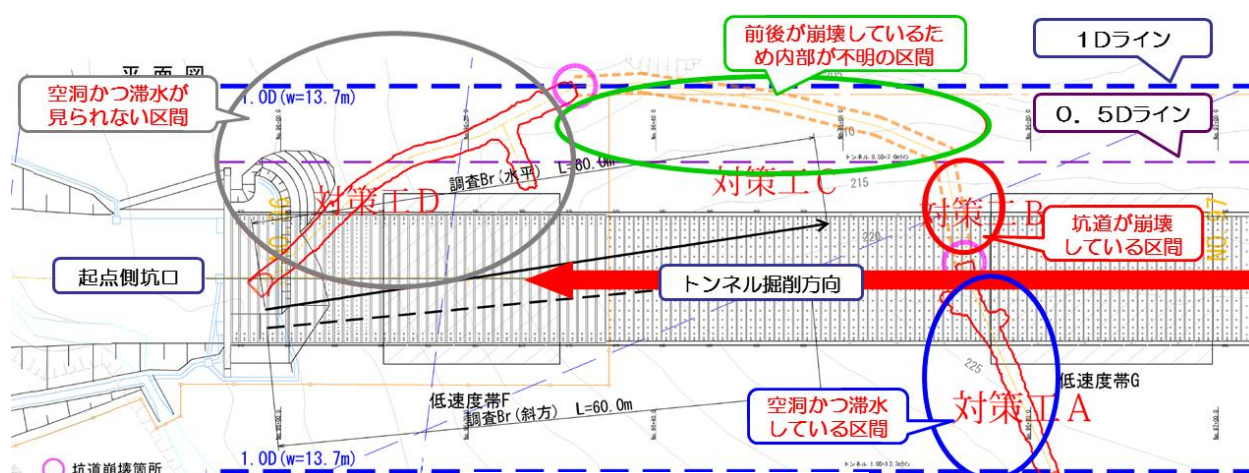


図-6 トンネル対策工の分類

5. 廃坑対策工について

坑内の安定化を図るための対策として、廃坑へトンネル切羽から1.0D (Dはトンネルの外径を指す) 以内に充填材を注入する工法を行う。

この1.0D以内とは、鉄道総合技術研究所発行の「既設トンネル近接施工対策マニュアル」内に記載の近接度が要対策範囲であることを指すものを準用している。

また、事前に学識者へのヒアリングを行い、1D内に充填材を入れ、トンネル坑内の安全を保つことで了解を得た。充填材は材料選定の結果、可塑性エアモルタル、高発泡ウレタン、流動化処理土の三種類を対策工A～Dに対応して使用した。

また廃坑を充填する際に、鉱山の権利者の許可無く坑道内へ充填作業を行って良いのかという問題も起こったが、事前に鉱山の権利に関する謄本を管理している近畿経済産業局へ確認を行い、この鉱山が廃坑になった時点で権利が放棄されていることを確認した。

(1) 対策工A

対策工A区間は写真-5のように廃坑道内部が空洞かつ滞水が確認された箇所である。



写真-5 対策工A区間の内部状況 (滞水あり)

そのため、充填材には水と接触しても消泡しにくく、水により分離や希釈されにくい可塑性エアモルタルを採用した。これは従来の流動状のエアモルタルを可塑性にすることにより、水に強く、限定注入が可能で、小さな隙間からの漏出が防止できる改良エアモルタルである。作業工程を以下に示す。

- ①廃坑付近まで通常掘削を行い、充填断面の切羽へ鏡吹付けを行い補強する。
- ②注入のための鋼管を打設する。このとき、注入の位置がずれることを防止するため先孔掘削を行う。
- ③可塑性エアモルタルを充填し (図-8)、坑道内の安定化を図る。

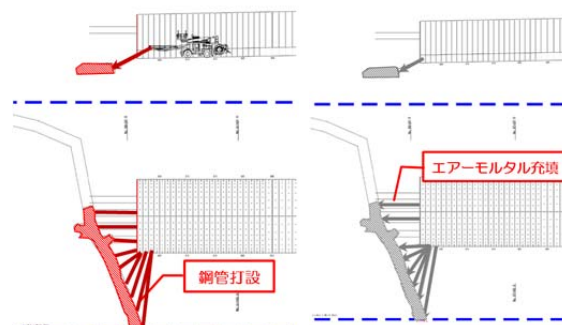


図-7,8 工程②及び③の模式図



写真-6 対策工Aの施工状況 (鋼管打設)

(2) 対策工B

対策工Bは写真-8より内部が崩壊している可能性が高いため、細かい隙間に充填材を詰めて安定化を図る必要がある。



写真-8 坑道の崩壊状況 (対策工Aの先が埋まっている)

対策工Aで用いた可塑性エアモルタルでは細かい隙間への充填は不可能なため、充填材として高発泡ウレタンを採用した。

高発泡ウレタンはKCF-12とKCF-40の二種類があり、KCF-12は12倍、KCF-40は40倍に発泡する。そのため、少量で空洞を充填でき、比重が小さいために坑道内に大きな荷重が作用しない。固化時間は1～2分で、溜まり水に対しては硬化するが、発泡倍率は空気中よりも小さくなる。圧縮強度はKCF-12が1.0(N/mm²)、KCF-40が0.17(N/mm²)であるため、トンネル内部に近接する対策工B区間ではKCF-12を採用した。

工程は以下の通りである。

- ① 崩壊不明部である廃坑交差部より約3m手前まで掘削を行う。その間に全ての切羽にt=5cmの鏡吹付を状上半部に行う。
- ② 充填管の打設前に詳細な位置把握のためドリルジャンボにて探り削孔を行う（探り削孔はトンネル1.0Dラインと推定廃坑の交差点へ到達するようにする）。

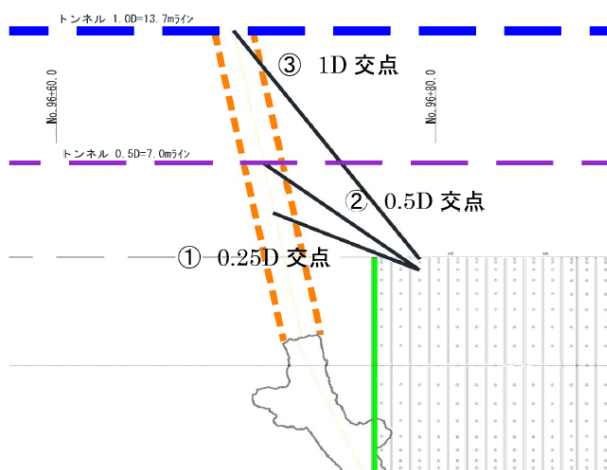


図-9 探り削孔モデル図

- ③ 廃坑位置を把握した後、1.5m間隔で注入管を打設する。

- ④ 廃坑崩壊不明部へ高発泡ウレタンを充填する。
以上の作業により坑道内の安定化を図る。

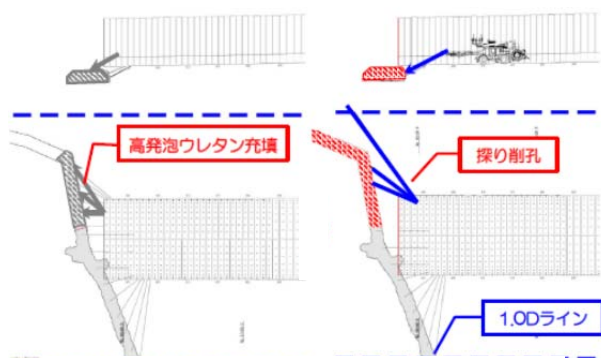


図-10,11 対策工B 工程②及び④の模式図



写真-9 発泡ウレタン注入の状況

(3) 対策工C

対策工Cは坑道崩壊が不明部であるので、坑道の崩壊時と空洞時の両方の対策を考える必要がある。



写真-10 坑道の崩壊状況 (対策工Dの先が埋まっている)

作業工程は以下の通りである。

- ① 予測される廃坑近傍まで上半掘削で掘り進み、補強のため上半に鏡吹付を行う（No.96+33 付近）。
- ② トンネル縦断方向 10m ごとに廃坑道へ向け最大 15m の深さまで探り削孔を行い、廃坑の位置及び崩壊しているか、空洞であるかの状態の確認をする。

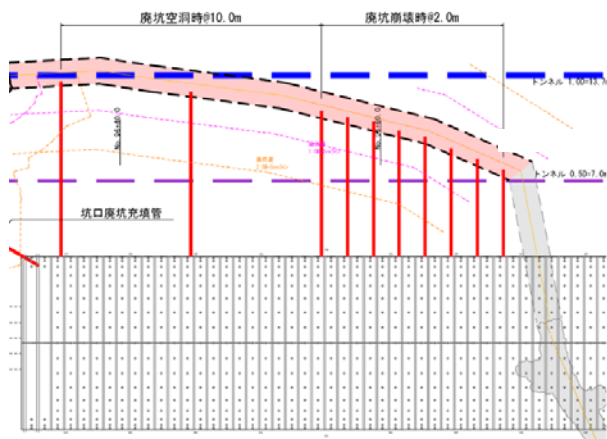


図-12 廃坑不明部への鋼管の打設間隔

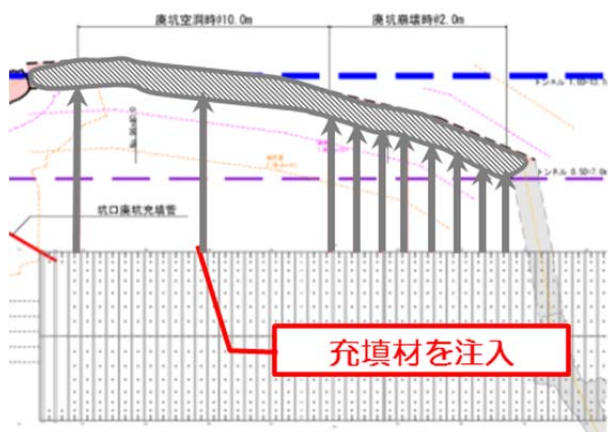


図-13 廃坑不明部へ鋼管打設後に充填

③ 廃坑不明部の注入を行う。図-12 のように坑道内崩落時と坑道内が空洞時の2パターンで施工する。崩落が起こっている場合は発泡ウレタンを充填する。強度ではKCF-12がKCF-40に勝るが、経済性ではKCF-12が15.3万円/㎡、KCF-40が5.0万円/㎡であり後者が有利である。当区間では、対策工Bより離れた坑道の充填のため強度的に問題ないと判断し、KCF-40を採用した。

1) 廃坑崩落の場合

- i. 注入管（φ114.3mm）を同一箇所から2本ずつ（図-13 参照）、2.0m 間隔で打設する。
- ii. 高発砲ウレタン（40 倍発砲）充填材を注入する。

2) 廃坑空洞の場合

- i. 注入管を（φ114.3mm）を1本ずつ（図-14 参照）、10.0m 間隔で打設する。
- ii. 流動化処理土（場外プラントより運搬）を充填する。

このときの鋼管長及び打設角度は探り削孔の結果で決定する。以上の作業より坑道内の安定化を図る。

(4) 対策工D

対策工D区間の充填材は流動化処理土を採用した。これは土砂に大量の水を含む泥水と固化材を混合して整正したスラリー状の処理土で、狭小な空間や締め固めの困難な箇所などの埋め戻しや充填に用いられる。専用プラントから流動化処理土を運搬し、空洞に注入する。流動性が高いため小さい空隙への充填も可能であり、価格も安価である。ただし溜まり水がある場合適用困難であるが、対策工Dでは事前調査で溜まり水が無いことが分っているので問題はないと判断し、採用した。



写真-11 対策工D区間の内部状況（空洞かつ滞水なし）

作業工程は以下の通りである。

- ① トンネル内部から充填管を打設し、廃坑充填はコンクリートポンプ車にて圧入する。
- ② 坑口内部には障壁を設ける。この障壁はコンクリートブロック等で作成し坑道との隙間はモルタルでふさぎ、隔壁上部はVP管でエア抜を作る。
- ③ 充填確認はエア抜き孔から溢れた後にポンプ車の圧力ゲージが上昇した地点とする。

図-14 は上記の模式図である。

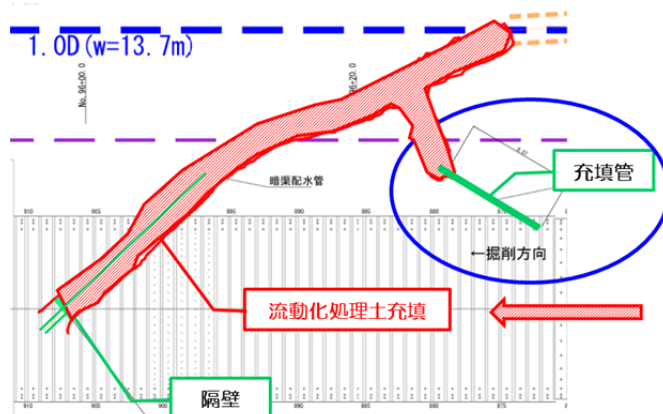


図-14 対策工Dの施工図

6. まとめ

廃坑道の調査及び対策工を行ったのは、何よりも第一に施工時の安全確保が目的である。廃坑道がトンネルに近接する中で何が起ころうともおかしくない中、どうすれば安全性を確保できるかが焦点となった。また供用後にもトンネルが変状するなど重大事故につながる恐れがある。そのため、事前に対策工を行うことで事故を未然に防ぐ取り組みを行った。今回は事前情報をもとに廃坑の調査及び対策工の立案を行い、実際に対策工A、Bまで施工を行った。調査時の困難な点として、廃坑道がトンネルの周りにどのように近接しているのかを正確に判断すること、規模が不明なため、どの程度充填材を充填すれば良いのかが苦労した点である。

その中で、様々な文献や学識者の助言により対策工の方法を固めることができた。

今後も細心の注意を払いながら事故無く供用に向けて事業を推進していく。

謝辞

本論文の作成にあたっては大和御所道路水泥トンネル北工区工事の受注者である(株)竹中土木の皆様には資料の提供や助言など様々な面でご協力をいただきました。ここに感謝の意を示します。

参考文献

- 1) 公益財団法人鉄道総合技術研究所（1995）既設トンネル近接施工対策マニュアル
- 2) NEXCO(2015)設計要領 第3編トンネル編