

全面面導水パネルを施工されたトンネル の覆工コンクリート調査手法の提案

村田 純孝¹・山本 秀樹²・北澤 隆一³・高山 博行⁴・渡邊 一俊⁵
・谷田貝 友裕⁶

¹正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 交通基盤事業本部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)
E-mail: sumitaka.murata@tk.pacific.co.jp

²正会員 パシフィックコンサルタンツ (株) 交通基盤事業本部
(〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目22)
E-mail: hideki.yamamoto@tk.pacific.co.jp

³ (株) ウォールナット 調査部 (〒190-0002 東京都立川市幸町1-19-13)
E-mail: kitazawa@walnut.co.jp

⁴栃木県日光土木事務所 保全部 (〒321 1414 栃木県日光市荻垣面2390-7)
E-mail:takayama01@pref.tochigi.lg.jp

⁵栃木県日光土木事務所 保全部 (〒321 1414 栃木県日光市荻垣面2390-7)
E-mail:watanabe31@pref.tochigi.lg.jp

⁶栃木県日光土木事務所 保全部 (〒321 1414 栃木県日光市荻垣面2390-7)
E-mail: yatagait01@pref.tochigi.lg.jp

全面面導水パネルを施工されたトンネル内で一部異常箇所が確認され、面導水パネル背面の覆工コンクリートが土砂化している状況であったため、早急に詳細調査を実施し、本対策工を実施する必要があった。対策工法及び対策範囲を判断するにあたり、覆工コンクリートの詳細調査が必要となるが、従来の接触型レーダ探査では、面導水パネルがあるため、調査の実施が困難な状況であった。そこで、非接触型レーダ探査機を用いて、覆工コンクリートの調査を実施した。併せて、過年度成果である壁面展開画像（面導水パネル設置前）の確認、ドリル削孔やシュミットハンマー試験による現地試験を実施し、補強工対策の設計を実施した。

本報告は、導水パネルを設置され覆工面が直接目視確認できないトンネルに対して、新たな調査手法の検討結果を報告するものである。

Key Words : *Non-contact radar, Tunnel inspection, Water conducting panel, Pcl construction method*

1. はじめに

日光土木事務所管内の金精トンネル（昭和40年竣工）は、群馬県と栃木県の県境の豪雪地に位置し、冬季には豪雪のため、閉鎖される道路になっている。また、漏水が多い（冬季の閉鎖時期には、大きな側氷が確認されている）ため、平成20年度の補修工事により全線に亘って面導水パネルが設置されている。

平成29年度春の閉鎖開放時に、道路パトロールを実施した際、面導水パネル下部に異常（パネルのはらみ等）

が見られたため、下端部の一部を撤去（写真-1）したところ、一部路面に土砂が出ている状態が確認された（土嚢3～4袋程度の土砂を確認）。面導水パネルを一部撤去して、覆工面を目視確認したところ、湧水（漏水）とともに覆工に穴（空洞）が確認され、穴周辺の覆工コンクリートは土砂化している状態であり、手で崩壊するような状況であった（写真-2）。

漏水箇所が側壁部であったため、当て板工+平鋼（アンカー併用）による応急措置（写真-3）を行ったが、安全性の確保のために、次年度の春の閉鎖開放時に間に合



写真-1 応急措置状況（面導水パネル一部撤去，緊急点検時）



写真-2 覆工面の状態（緊急点検箇所）



写真-3 応急措置（当て板工+平鋼（アンカー併用））

わせるためにも、早急に調査を実施し、冬季閉鎖期間（12月～4月の4か月間）にて施工が完了できる抜本的な補修対策工が必要な状態であった。

補修設計を実施するにあたり、対策範囲の選定が必要であったが、面導水パネルが設置されているため、従来用いられている接触型レーダ探査では覆工コンクリートの状態の調査ができない問題があった。

本稿は、全面面導水パネルを施工されたトンネルの覆工コンクリートにおいて、本対策工を実施する上で新たな調査手法を報告するものである。

2. 詳細調査時の問題点と対応策

(1) 調査時の問題点

面導水パネルの破損に際し、通常であれば、「①面

表-1 調査数量

調査項目	調査数量	備考
非接触型レーダ探査	2測線	100m程度
壁面展開画像の確認	1箇所	過年度成果
ドリル削孔	4箇所	地山確認含む
シュミットハンマー試験	4箇所	

導水パネル撤去」、「②覆工の目視確認」、「③接触型レーダによる巻厚と背面空洞調査」、「④削孔調査」が必要となる。

しかしながら、現状で面導水パネルが剥落対策も兼ねているためパネル撤去状態での供用安全性が確保できない（面導水パネルに劣化したコンクリートが堆積している可能性がある）、迂回路がないため通行止めが困難である、面導水を仮に撤去して調査したとしてもその後の対応（崩落してきた場合、再設置では対応できない可能性が大きい）に不明瞭な点が多い、などの問題が存在していた。

そのため、従来想定される前述した調査対応が難しい状況にあった。

(2) 対応策

対応策として、全面撤去が難しいことから、「①部分的な面導水撤去」を実施し、直接覆工コンクリートを確認するために、「②ドリル削孔主体の調査」を実施し、「③過去の壁面撮影画像（面導水設置以前）を用いた調査」を実施した。

それに加えて、調査範囲の抽出のために、「④新技術となる走行型非接触電磁波レーダ探査」を試行導入した。

非接触型レーダ探査は、これまで巻厚空洞調査においては実績を有していたが、全面面導水パネル設置状態での実績はなかったため、初の試みとなっている。

3. 調査概要

(1) 調査数量

表-1に、各項目の調査数量を示す。

ドリル削孔、シュミットハンマー試験、壁面展開画像の確認は、非接触型レーダ探査にて抽出した調査範囲にて実施した。

(2) 非接触型レーダ探査

非接触型レーダ探査は、写真-4のアンテナを車両に設置し、写真-5のように走行しながら計測を実施した。

非接触型レーダ探査の特徴としては、時速50km程度で走行しながら巻厚・空洞確認ができるため交通規制が不要であり、アンテナの位置を変えることにより任意に



写真-4 非接触型アンテナ



写真-5 非接触型レーダ探査状況

測線を変更することができる。また、表層からの45cm程度までは探査が可能である（接触型のレーダ探査は、一般的に表層から約1m程度まで探査可能である）。

計測は、緊急点検を実施した箇所的前後50m程度とし、アーチ部の2測線にて実施した。

(3) 壁面展開画像の確認

平成15年度に実施されていた覆工面デジタル測定（レーダ計測：トンネルキャッチャーTC2での取得画像）を用いて、非接触型レーダ探査にて抽出した範囲にて、面導水パネル設置前の覆工コンクリート表面状況の確認を実施した。

(4) ドリル削孔及びシュミットハンマー試験

ドリル削孔は、覆工コンクリート及び覆工背面状況の確認を行うために実施した（図-1）。

調査方法（写真-6）は、面導水パネルを一部カットし、レッグハンマー等を用いて覆工コンクリートの削孔を実施した。なお、削孔は、覆工背面の地山まで到達する深さまで実施した。

覆工背面の地山状況は、検尺棒による簡易的な貫入試験により、検尺棒を地山に向かって突く際の硬さ加減にて、判断を行った。

シュミットハンマー試験は、覆工コンクリートの強度を面的に把握するために実施した。

調査方法は、シュミットハンマーを用いて、覆工面の反発度により、覆工コンクリートの圧縮強度の推定値により、確認を実施した。

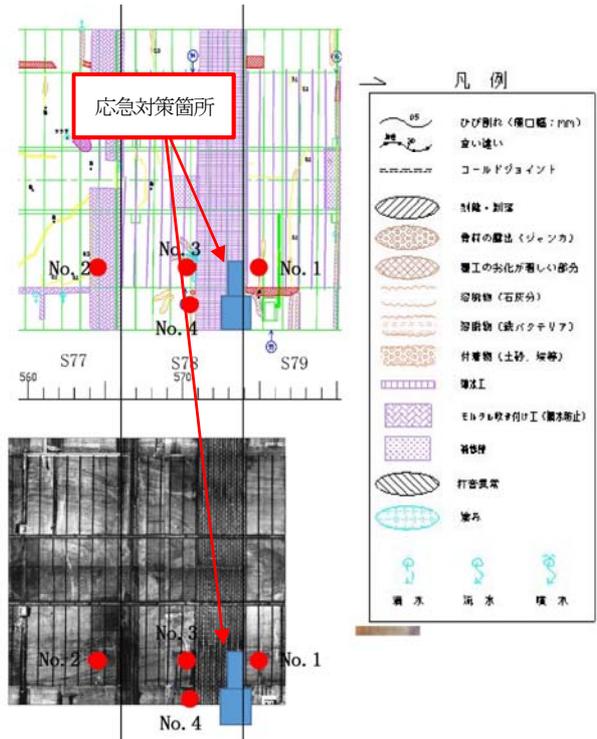


図-1 ドリル削孔及びシュミットハンマー試験の調査位置

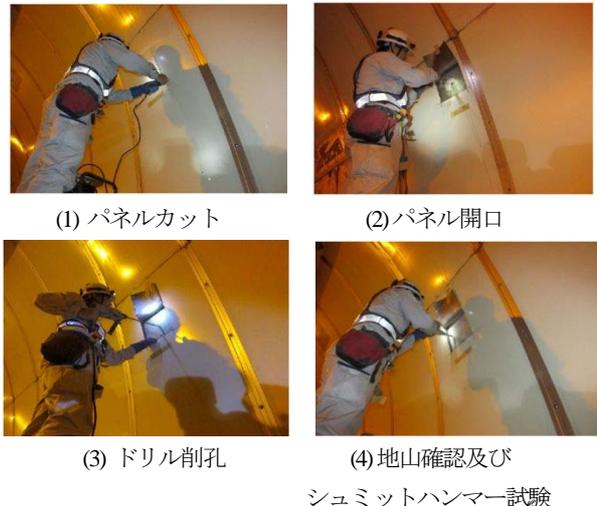


写真-6 ドリル削孔及びシュミットハンマー試験状況

3. 調査結果

(1) 非接触レーダ探査

非接触レーダ探査結果（図-2）より、L=572mの付近にて巻厚異常（脆弱部）の反応と思われる箇所が確認され、その他の箇所では反応は見られなかった。

巻厚異常の反応範囲が、緊急点検時に覆工コンクリートに穴が開いていた箇所（脆弱部）と位置が一致しており、面導水パネルが設置されていても、覆工コンクリートの巻厚・背面空洞の異常反応をとらえることができた。また、レーダ探査結果より、覆工コンクリートの脆弱部の範囲は局所的であると思われる。

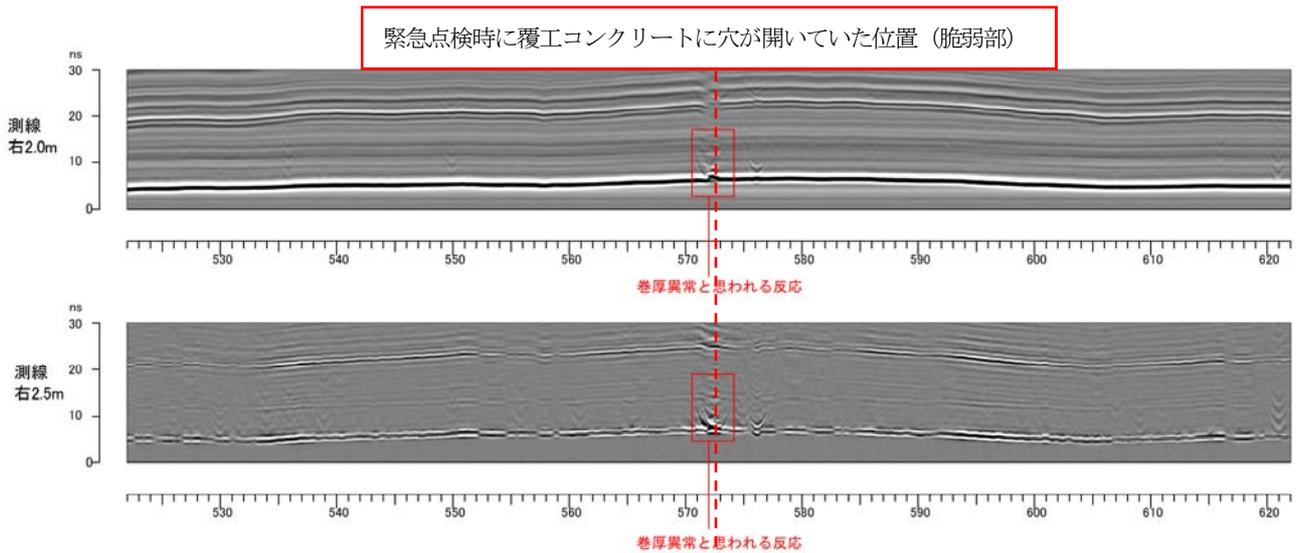


図-2 非接触レーダ探査結果 (L=530m~620m付近)

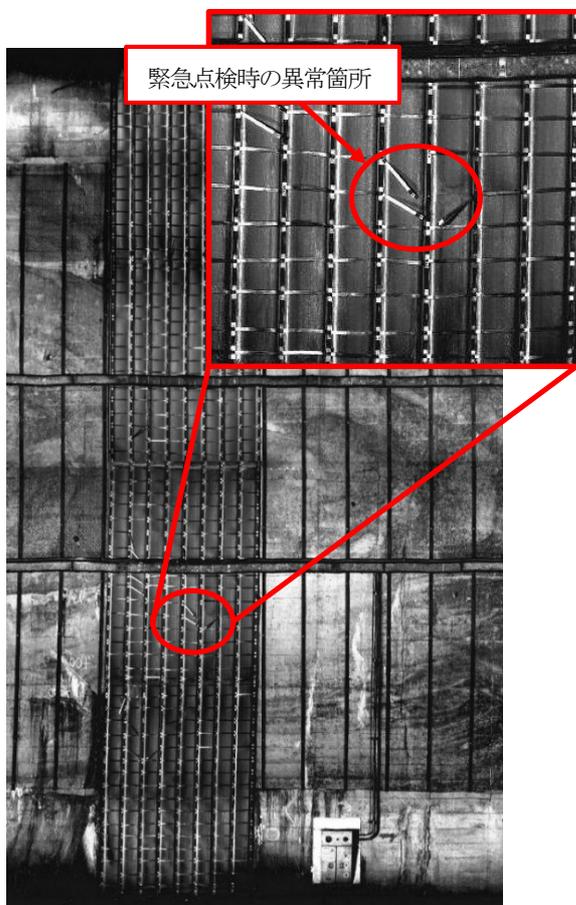


写真-7 過去の壁面展開画像 (L=570m~575m付近)

(2) 壁面展開画像による確認

非接触レーダ探査により、抽出を行った範囲 (L=570m~575m) にて壁面展開画像 (写真-7) の確認を実施した結果、導水樋の取付金具と思われる箇所が一部破損が見られ、この部分の覆工が劣化 (アンカーが確保できていない) 可能性がある (H15.10点検時には既往導水樋が設置されていたため目視できていない)。

表-2 調査結果

調査箇所	推定圧縮強度	覆工厚	地山状況
No.1	44.2N/mm ²	41cm	堅固な状態
No.2	43.7N/mm ²	24cm	堅固な状態
No.3	43.2N/mm ²	44cm	堅固な状態
No.4	51.0N/mm ²	70cm以上	堅固な状態

(3) ドリル削孔及びシュミットハンマー試験結果

表-2に調査結果の一覧を示す。

シュミットハンマー試験による推定圧縮強度では、40N/mm²以上の結果であったことから、覆工コンクリートの強度は設計基準強度以上確保されていることが確認できた。

ドリル削孔した箇所での検尺棒による簡易的な貫入試験により、覆工背面の地山状況は堅固な状態であることが確認された。

以上のことから、応急措置を行った箇所 (覆工コンクリートの脆弱部) の周辺は健全な状態であることが確認された。

4. 対策工の検討

(1) 対策範囲の決定

図-3に調査前に想定していた、対策範囲である「最大対策範囲 (30m程度)」 (既存の導水樋設置位置と覆工コンクリートの表面状態より判断)、「最小対策範囲 (9m程度)」を示す。

詳細調査結果により、覆工コンクリートの脆弱部は、L=572m付近の局所的な範囲であることが確認されたことから、当初想定していた「最小区間である9m (スパン79を包含する延長)」を対策工の範囲とした。

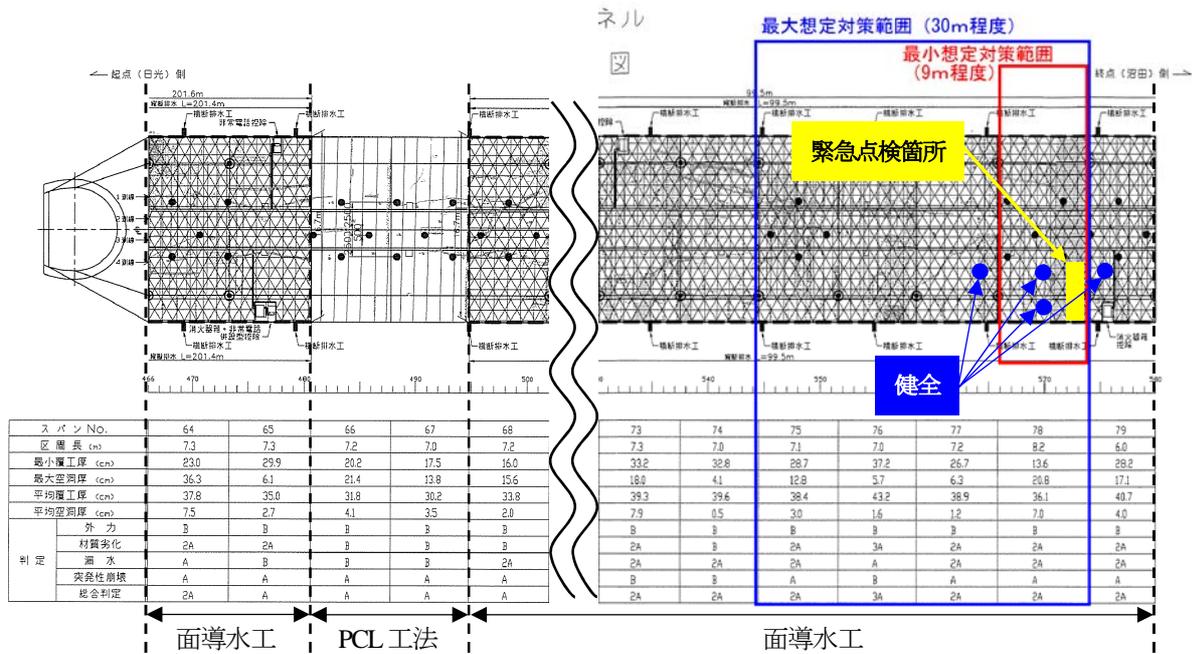


図-3 対策工の範囲

表-3 補強対策工の比較表

	覆工改築工	埋設型枠工	PCL工法
概念図			
特徴	<ul style="list-style-type: none"> • NATMによる新たなトンネル工事を実施 ⇒漏水対策及び補強対策が可能 • 工事が大掛かりになる 	<ul style="list-style-type: none"> • 埋設型枠を設置 • 漏水対策が別途必要 • 作業の大半が人力 ⇒作業工期の増加 	<ul style="list-style-type: none"> • 既設のPCL板を設置 • 漏水対策及び補強対策が可能 • 金精トンネルにて施工実績あり
経済性 (直工費)	3,500千円	2,000千円	2,000千円
評価	冬季閉鎖 (12月~4月) の限られた期間で施工が可能であり, 既存の区間にて施工実績のある「PCL工法」を選定する		

(2) 補強工設計の検討

補強工設計の設計思想としては、既存の覆工コンクリート自体が劣化しているため、既存のコンクリートに耐荷力を期待することは難しい。

そのため、覆工打換え工や内巻き工などの既存のコンクリートの補強を目的とした工法選定になる。

表-3に、上記の考え方により作成した補強対策工の比較表を示す。

冬季の閉鎖期間 (12月~4月までの4か月) の限られた期間で施工が可能であり、本トンネルでの施工実績がある (写真-8) ため、事前に作製したPCL板を設置するPCL工法を選定した。



写真-8 金精トンネルの既設のPCL設置区間



写真-9 面導水パネル撤去後の覆工コンクリートの状況



写真-10 スピンアームによるPCLの設置状況



写真-11 受台を用いたPCL板の設置状況

6. PCL工事

(1) 面導水パネル撤去後の覆工コンクリートの目視による確認

PCL板の設置に先立ち、対策範囲の既設の面導水パネルを撤去し、撤去範囲の覆工コンクリートを目視確認したところ（写真-9）、非接触レーダ探査にて巻厚異常と思われる反応の箇所（L=572m）と覆工コンクリートが目視にて実際に劣化している箇所（湧水等により土砂化している箇所等）と一致していることが確認できた。

これより、面導水パネルを設置された状態でも非接触型レーダ探査により、覆工コンクリートの状態を確認できることが実証された。

(2) PCL工事の概要

PCL工事は、防水シート工を設置し、PCL板を設置する位置の墨出しを行い、スピンアーム（写真-10、PCL板の設置機械）を用いて、PCL板を所定の位置に設置する。PCL板は左右一組でセットになっており、片方のPCL板を設置後、受台（写真-11）を中央に据えて残りの片方を設置する。PCL板設置後に、裏込め注入工を実施し概ね終了となる。

PCL工事は、片側交互通行でも規制替えを適宜しながら作業が可能な工法であるが、今回の施工現場のように、全面通行止めで作業をし、安全性と施工性を確保することにより、工期の短縮や工事の品質向上につながると思われる。なお、全面通行止めにて工事を行う際には、通行規制状況（全面通行止めにできる期間はあるか、迂回路はあるか）などを考慮して、補修工法および施工計画を検討していくことが必要になると思われる。

現場立会い時は、PCL工事のみであったが、後日無事PCL工事の施工が当初の計画通り（春の閉鎖開放前（4月以降）までに）完了した報告を受け、PCL工法に

て限られた工期内に補強対策工の対応が可能であったことが確認された。

7. まとめ

全面導水パネルが施工されたトンネルの覆工コンクリートについて、詳細調査、補強対策工及びPCL設置工事の現場立会いを実施し、下記の知見が得られた。

面導水パネルを施工されたトンネルの覆工コンクリートの調査において、非接触型レーダ探査により、パネルを撤去せずに、覆工コンクリートの巻厚異常範囲の抽出を実施できた。

過年度（H15年度）に壁面展開画像を実施していたため、面導水パネル設置前の覆工コンクリート状況を確認することができた。このことより、変状展開図のスケッチだけでなく、トンネル内の展開画像を撮影することは、トンネルを管理していく上で有益な情報になると思われるので、定期的にトンネルの全線の展開画像を撮影しておくことが望ましい。

ドリル削孔やシュミットハンマー試験による現地試験は、実際の覆工コンクリート状況を確認することができるため、実施することが望ましい。その際、今回のように非接触型レーダ探査等の非破壊検査により調査範囲を決めることが有効だと思われる。

実際の覆工コンクリートの表面状況を目視確認した結果（PCL工事時）、非接触レーダ探査結果と覆工コン

クリートの劣化範囲は同様の位置となっていることが確認された。これより、非接触型レーダ探査は面導水パネルを設置されたトンネルにて、覆工コンクリートの状態を調査するのに有益な手法であることが実証された。

PCL工法の施工現場の立会いを実施し、当初の設計通り、無事に施工されていることを確認できた。PCLの施工は、安全面と施工性（片側交互通行だと、受台の設置の際に、規制替えが必要になるなど）の観点から、今回のように全面通行止めにて施工することが望ましいと思われる。

謝辞：PCL工事の現場立会いに際し、現場責任者であった松本一夫氏（（株）日泉技工）には、現場対応でお忙しい中、質疑応答など大変丁寧に対応していただきました。ここに深く感謝致します。

参考文献

- 1) 山本秀樹, 重田佳幸, 小平哲也, 安田亨, 北澤隆一, 成澤行雄：走行型計測による覆工巻厚・空洞探査技術について, トンネル工学報告集, 第 25 巻, I-22, 2015.11.
- 2) 山本秀樹, 重田佳幸, 小平哲也, 安田亨, 北澤隆一, 名古屋淳：走行型計測によるトンネル覆工巻厚・空洞探査技術の開発, 土木学会第 70 回年次学術講演会, 2015.9.

(2018.8.10 受付)

PROPOSAL OF CONCRETE SURVEY METHOD FOR TUNNEL CONSTRUCTED ENTIRELY WATER CONDUCTING PANEL

Sumitaka MURATA, Hideki YAMAMOTO and Ryoichi KITAZAWA and Hiroyuki TAKAYAMA and Katsutoshi WATANABE and Tomohiro YATAGAI

A part of tunnel constructed entirely water conducting panels was identified as aberrant parts, and the concrete on the back of the surface water conducting panels turned into earth and sand. So that it was necessary to carry out detailed investigation as soon as possible and implement this countermeasure work. A detailed survey into concrete was necessary on deciding a mean and range of construction, but the investigation by the conventional contact type radar exploration was difficult because of the water conducting panel. Therefore, we investigated the concrete using non-contact type radar probes. We designed countermeasure work for reinforcement.