

論文・報告

PC グラウト充填調査と再注入工事

～圧入方式による PC グラウト再注入～

PC grout filling survey and reinjection work

織田 章男 *1
ODA Akio

丸山 輝芳 *2
MARUYAMA Teruyoshi

愛知 郁花 *3
AICHI Ayaka

加藤 健太 *4
KATO Kenta

赤穂 健斗 *5
AKAHO Kento

春日井 久 *6
KASUGAI Hisashi

川口高架橋は、名神高速道路 大垣 I C の東に位置する水門川と用水路を跨ぐ 1964 年に供用を開始した橋長 145.8 m の 4 径間連続 PC ポストテンション T 桁橋であり、1 主桁を 4 ブロックに分割したプレキャスト桁を架設している。PC 鋼材は、単純桁として緊張する 1 次鋼材（支間部）および 2 次鋼材（支点部）、連続桁とするために緊張する 3 次鋼材が配置されている。これにより、定着具や鋼材の配置は上縁定着や下縁定着、曲げ上げ・曲げ下げがあり、PC グラウトの未充填部が生じやすい構造となっている。

本稿では、①未充填箇所の調査方法、②イオン量調査方法、③空隙量調査方法、④グラウト再注入（KK グラウト）方法について報告する。

キーワード：PC グラウト充填調査、PC グラウト再注入、圧入工法、防錆剤

1. はじめに

PC グラウト材料は、1990 年代中頃になってからノンブリーディング型が標準となったが、1980 年代前半までは一定量のブリーディングを許容したものが主流であった。このため、定着部等の注排出位置付近ではブリーディングによる空隙の発生割合が多かった。また、下り勾配箇所では先流れによる未充填箇所も多く発生している。高速道路会社では、PC グラウト再注入工事における施工管理基準の策定に必要な基礎データの収集を目的として、2021 年度に全数削孔調査を含む試験施工工事（I 桁橋、T 桁橋を対象）が発注された。PC グラウト再注入の方法として、圧入方式、真空ポンプ併用方式、自然流下方式の 3 種類についてそれぞれ 3 工事に分けて発注され検証を行ってきた¹⁾。

本稿では、圧入方式における PC グラウト再注入（防錆剤入り）を行った工事に関して報告する。

2. 工事概要

工 事 名：名神高速道路（特定更新等）川口高架橋 PC グラウト再注入工事

発 注 者：中日本高速道路株式会社 名古屋支社

工事場所：大垣市川口地内～今福町地内

工 期：2021 年 12 月 10 日～2023 年 2 月 28 日（15 ヶ月）

主な工種：PC グラウト充填調査（削孔調査） 1654 箇所、PC グラウト充填調査（放射線透過法） 8 箇所、PC グラウト塩化物イオン量調査 8 箇所、空隙量調査 535 箇所、PC グラウト再注入 545 箇所

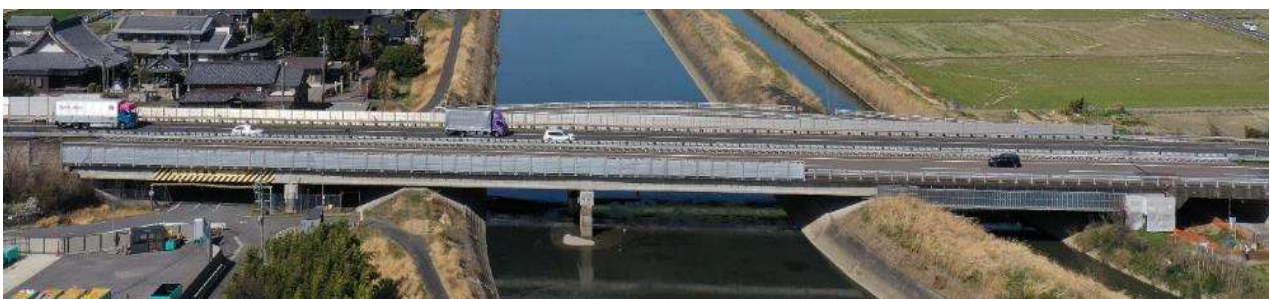


写真 1 川口高架橋の全景

*1 川田建設㈱東京支店工事部 上席工事長

*2 川田建設㈱名古屋支店工事部工事課 担当工事長

*3 川田建設㈱名古屋支店工事部工事課

*4 中日本高速道路㈱名古屋支社羽島保全・サービスセンター 課長

*5 中日本高速道路㈱名古屋支社名古屋工事事務所更新工事区 係長

*6 川田建設㈱名古屋支店技術部技術課 課長

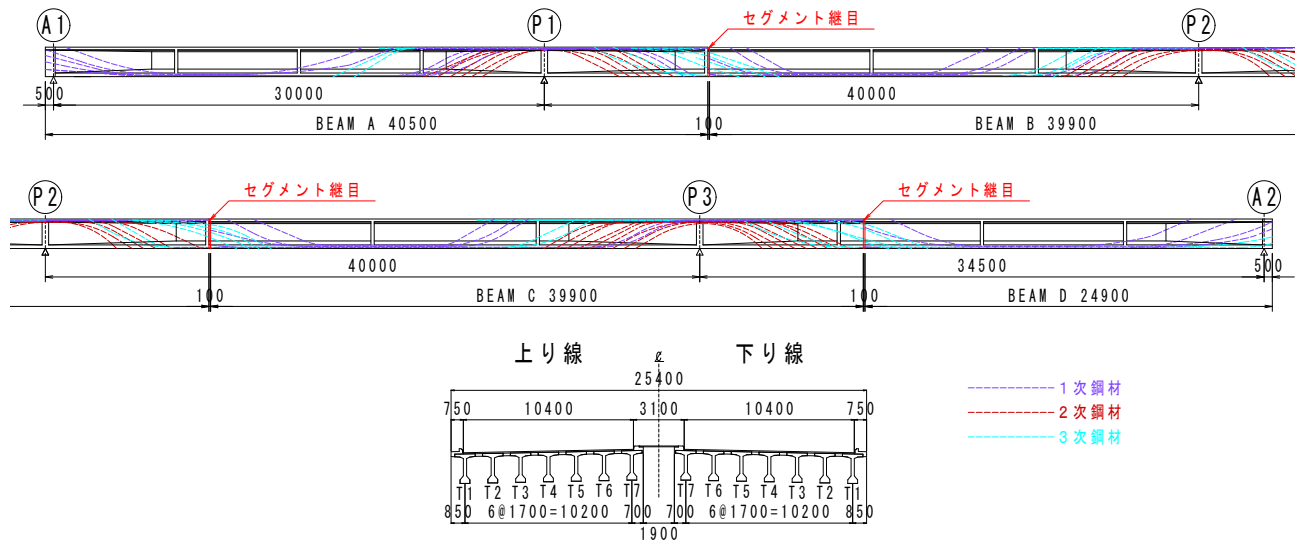


図1 側面図・断面図

3. 調査・施工概要

本橋は、橋長 145.8 m の 4 径間連続 PC ポストテンション T 桁橋（1964 年供用開始）であり（写真 1）、上下線分離の 7 主桁（上下線合わせて 14 主桁）である（図 1）。1 主桁を 4 ブロックに分割したプレキャスト桁を架設するため、PC 鋼材は単純桁として緊張する 1 次鋼材（支間部：20 本）および 2 次鋼材（支点部：24 本）、連続桁とするために緊張する 3 次鋼材（18 本）が配置されている。これにより、鋼材の定着は、当時では一般的な上縁定着（1 次・2 次）に加え、下縁定着（3 次）もあり、発注前の調査により PC グラウトの未充填箇所が多数確認されていた。

以下より、本工事で実施した調査および PC グラウト再注入の施工概要について報告する。

(1) PC グラウト充填調査（削孔調査・放射線透過法）

RC レーダー（鉄筋探査機）にて鉄筋およびシース位置の探査を実施し、PC 鋼材配置箇所を調査した。削孔調査として主ケーブルの両端部各 1 箇所を削孔（全数）し、PC グラウトの充填状況および PC 鋼材の状況を調査した（図 2）。未充填箇所については、削孔箇所より CCD カメラを挿入し、未充填箇所の確認を目視にて行った。また、PC グラウト再注入の充填状況を確認するために、PC グラウト再注入の前後で放射線透過法を実施した（8 箇所）。

放射線透過法に加えて PC グラウト充填状況を目視でも確認するため、再注入する PC グラウトには既存グラウトと区別できるように着色させた PC グラウトを 8 箇所使用した。結果は、すべて PC グラウトが充填していることを確認した。しかし、一部既存 PC グラウトと新規 PC グラウトの境界部分に黒い陰影が確認された

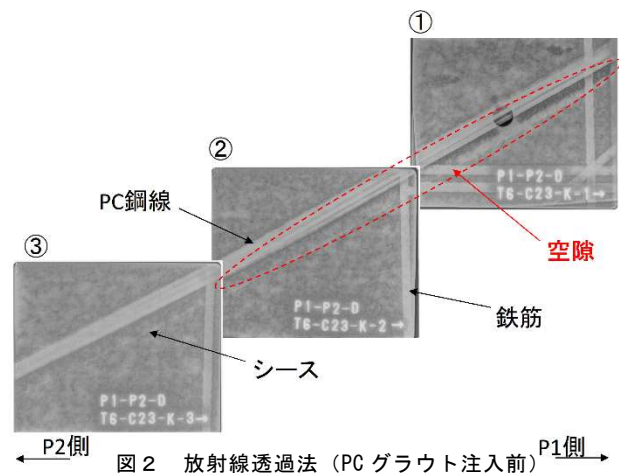


図2 放射線透過法（PC グラウト注入前）

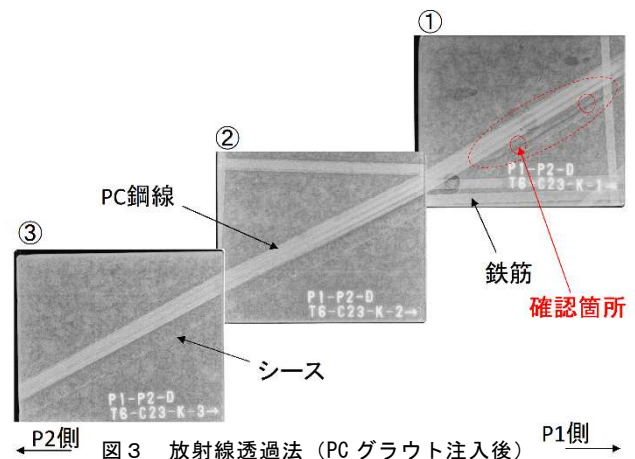


図3 放射線透過法（PC グラウト注入後）



図4 陰影部グラウト注入確認

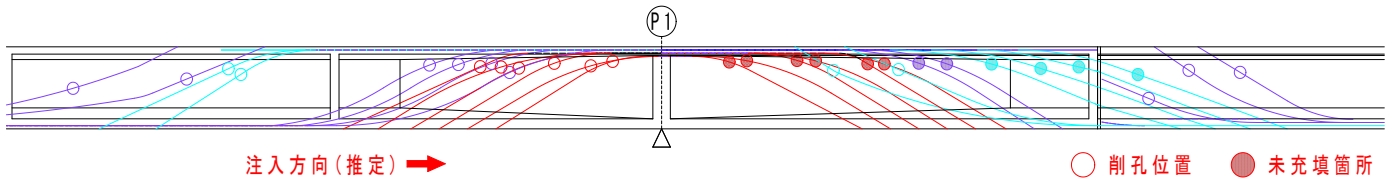


図5 削孔調査箇所（例）

（図3，図4）。その部分を削孔調査した結果，確実に充填されていることが確認できた（図4）。本橋梁は，連続桁のため既存PCグラウト注入の際に下り勾配が発生する鋼材配置となっており，多くの下り勾配部において未充填箇所が発見された。なお，上下フランジ等部材厚が大きい箇所については放射線透過法では調査ができないため，ウェブ分のみを調査し削孔を行った（図5）。

(2) PC 鋼材腐食状況調査

PCグラウト充填調査孔より CCD カメラを挿入し，PC鋼材の健全度をプレストレストコンクリート構造物の補修の手引き「PCグラウト再注入工法」²⁾ に準じて

PC鋼材の腐食状況から判定した（図6，表1）。健全度調査の判定結果（調査数1654箇所）は，「健全度0・1」がほとんど（1643箇所：99.3%）であったが，一部に「健全度2～5」（11箇所：0.7%）が認められた（内「健全度5」は2箇所）。

なお，今回「健全度5」のPC鋼材破断が2箇所確認されたが，安全性の照査を行った結果，いずれの断面も破断後の安全率が2.0以上あり，「H24道路橋示方書」の安全率1.7と比較して安全側であったため安全性は確保されていると判断しPCグラウト再注入を実施した。

(3) PC グラウト塩化物イオン量調査

建設当時のPCグラウトに含まれていた塩化物イオン量を調査するために，支間中央付近のシース内の既存PCグラウト（1箇所10g以上）を採取し，JIS A 1154「コンクリート中に含まれる塩化物イオン分析の試験方法」により，塩化物イオン量の調査を行った（写真2）。調査数は8箇所，塩化物イオンの定量は「電位差滴定法」により試験した（写真3）。PCグラウト中のイオン量に



図6 CCDカメラによる調査結果

表1 PC 鋼材の健全度判定

健全度	PC鋼材の腐食状況	質量減少率の目安
0	錆がない	なし
1	錆があるが、薄錆（表面錆）である 除錆前 除錆後	1%程度未満
2	点状の錆が目立つ 除錆前 除錆後	1～2.5%程度
3	断面欠損が目立つ 除錆前 除錆後	10%程度
4	PC鋼材の径が小さくなっている 除錆前 除錆後	10%程度以上
5	PC鋼材が破断している	—



写真2 既存PCグラウト採取



写真3 電位差滴定法による試験

については現行の基準を満足する結果であった（平均 0.18 kg/m^3 ，最大 $0.21 \text{ kg/m}^3 \leq$ 規格値 0.30 kg/m^3 ）。

(4) シース空隙内の腐食環境調査

PC 鋼材腐食状況調査により、健全度 4 以上の 10 箇所において「シース空隙内の腐食環境調査」を実施した。試験内容は「pH 試験」「塩化物簡易測定」「携帯型蛍光 X 線（写真 4）」「粉末 X 線回析」「イオンクロマト」を実施した。

試験結果一覧を 表 2 に示す。

以上の結果から、PC 鋼材の発錆の原因は PC グラウト中の塩化物ではなく、外部（例えば融雪剤等）から塩化物が供給されたことによると考えられる。

表 2 腐食環境調査試験結果一覧

試料名	pH 平均	塩化物簡易測定 Cl (mg/L) (ppm)	携帯型 蛍光 X 線 Cl (ppm)	イオンクロマト 塩化物イオン量 (kg/m ³)	Fe ₃ O ₄	α -FeOOH	β -FeOOH	γ -FeOOH
① グラウト	—	—	ND	0.35	—	—	—	—
鉄	10.5	0	—	—	—	—	—	—
② 鉄	10.5	≥ 50	27203	—	○	○	—	○
③ グラウト	—	—	ND	—	—	—	—	—
鉄	12.0	検出不可	—	—	—	—	—	—
④ 鉄	10.25	10	20650	—	○	○	—	○
⑤ 鉄	11.5	5	—	—	—	—	—	—
⑥ グラウト	—	—	8024	3.02	—	—	—	—
鉄	10.5	5	64510	2.83	○	○	—	○
⑦ グラウト	—	—	1158	3.61	—	—	—	—
鉄	9.25	2	67039	0.09	○	○	—	○
⑧ 鉄	12.0	2	—	—	—	—	—	—
⑨ 鉄	12.5	50	—	—	—	—	—	—
⑩ 鉄	12.25	50	—	—	—	—	—	—
縦締め 鉄	—	—	12128	—	○	○	—	○

(5) 空隙量調査



写真 4 携帯型蛍光 X 線による測定

空隙量調査とは、PC グラウト未充填箇所の容積を推定する調査である。今回の空隙量調査には真空法を採用した。真空法とは削孔調査でシースに開けた孔（調査孔）を利用し、シース内を真空にしていくなかに圧力センサおよび気体用流量センサにより、シース内の圧力および排出された空気の流れを測定することで、空隙の体積を推定する調査方法である（図 7）。この調査結果を踏まえて PC グラウト再注入工に必要なグラウト量および注入口削孔位置を決定する。

(6) PC グラウト充填性能試験

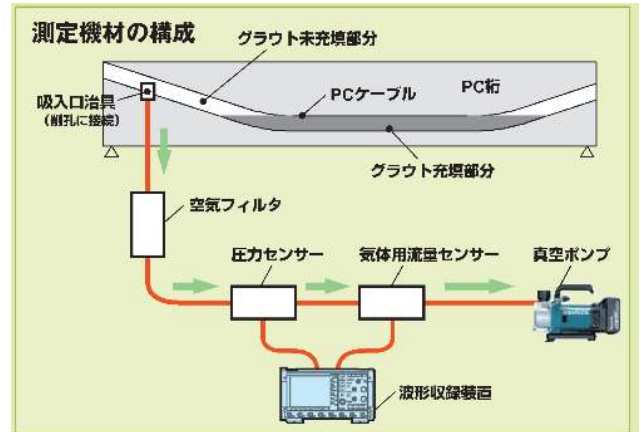


図 7 空隙量調査の構成

PC グラウト充填性能試験とは、PC グラウト再注入を実施する前に行う再注入用 PC グラウトの充填性能を評価する試験である。試験方法は、PC グラウト再注入時に外圧を加えない場合と加える場合の 2 種類に分類される。外圧を加えない場合の適用試験は「二重円筒管試験」（図 8）³⁾ を実施し、外圧を加える場合の試験は「細径管試験」（図 9）⁴⁾ を施工前に実施する。今回の圧入工法（KK グラウト工法）は、後者の「細径管試験」を実施した。

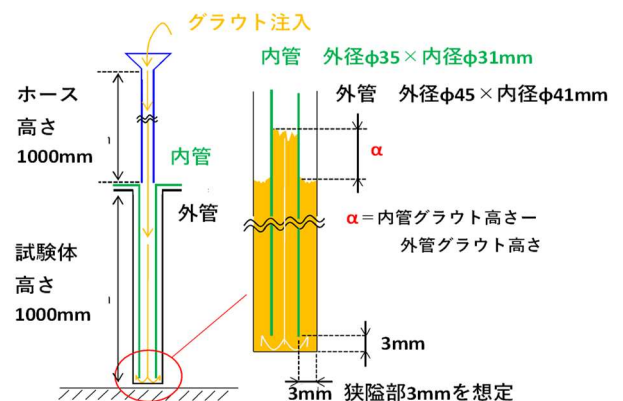


図 8 二重円筒管試験

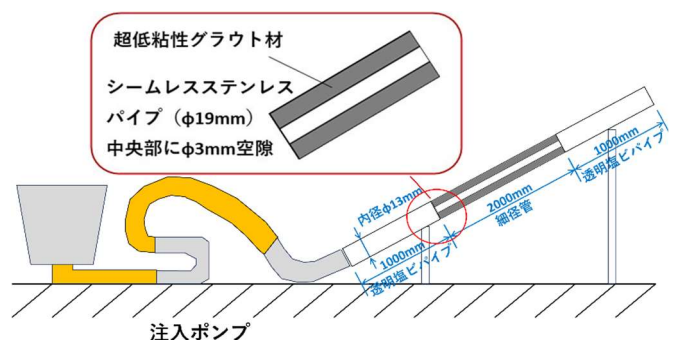


図 9 細径管試験

細径管試験は、3 mm の PC グラウト充填不足箇所の狭隘部を想定して、外圧のある圧入工法や真空工法を適用する場合における PC グラウト再注入材の充填性能を評価する方法である。試験体の構成は、内径 13 mm の透明塩化ビニルパイプ 1 000 mm+内径 3 mm の細径管 2 000 mm+内径 13 mm の透明塩化ビニルパイプ 1 000 mm を傾斜角度 30 度の架台に設置した後、PC グラウトを細径管に通過させ透明塩化ビニルパイプの中央まで注入する。本工事では、4 種類（超低粘性・着色剤入超低粘性・低粘性・着色剤入低粘性）の PC グラウトで細径管試験（試験体：各 3 体）を実施し、すべての材料について通過を確認した（写真 5）。



写真 5 細径管試験の実施状況

(7) PC グラウト再注入施工

未充填部の PC グラウト再注入は、圧入工法（KK グラウト工法）にて行った。圧入工法は、2 穴式のため PC グラウト充填調査で使用した調査孔（ $\phi 25$ ）および追加で 1 箇所削孔（ $\phi 25$ ）を行い施工する（写真 6）。2 つの穴のうち高さの低い孔を注入口とし、高い孔を排出口とする（図 10）。なお、排出口が未充填部の最上部とは限らないため、排出口から PC グラウトが排出されても完全に充填されたことにはならない。排出口より上部の空隙部に PC グラウトを充填するため、外径 4 mm の細径チューブを排出口から最上部に差し込み、排出用のグラ

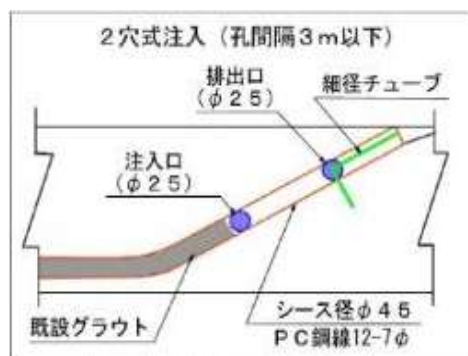


図 10 細径チューブの配置

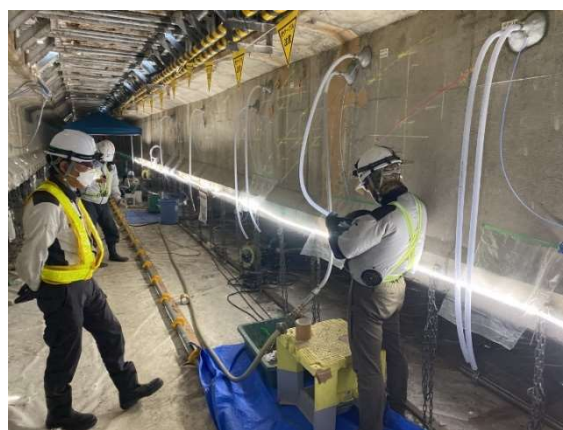


写真 6 PC グラウト再注入状況



写真 7 細径チューブより排出確認

ウトホースと一緒に固定する。その細径チューブより PC グラウトが排出されたことで充填完了とした。PC グラウト材料には、低粘性型と超低粘性型の 2 種類を用いた。PC グラウト再注入は圧入方式（防錆剤入り）を採用し、注入口（下部孔）から注入し、排出口（上部孔）から PC グラウトが排出されたことを確認し注入完了とした（写真 7）。その後、充填確認を放射線透過法にて実施したところ、完全に充填されていることが確認できた。また、滞水が確認された箇所については、事前に掃除機等にて排出した後にグラウト再注入を実施した。なお、本工事における圧入工法は、気化性防錆剤を圧入後、この防錆剤を混和した防錆グラウトを注入する工法のため、PC グラウトの未充填箇所（空洞）が生じて PC 鋼材の腐食を抑制することを実験的に確認している⁵⁾。

(8) 今後の課題

これまでの研究で PC グラウトの充填不足がブリーディングの先流れにより発生するとされていたため、PC グラウト充填調査（削孔調査・放射線透過法）は勾配部を中心に行った。しかし、再注入完了後にコンクリート内部の空洞等を調査できる「超音波パルスエコー法（超音波試験機：PD8050）」にて調査を行ったところ、本工事で削孔調査した箇所（勾配部など）ではない水平部でも未充填のおそれのある箇所が発見された（写真 8、写真 9）。このことから、配置されている PC 鋼材全長に亘った充填調査を行う必要があると考えるが、時間と費用を要するため費用対効果等を考慮した調査や施工方法を早期に確立する必要があると考える。

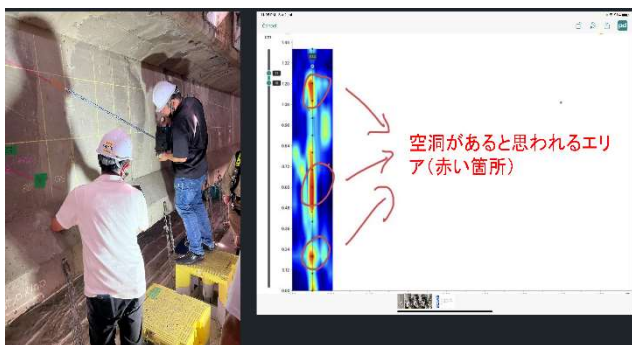


写真 8 超音波試験機による調査

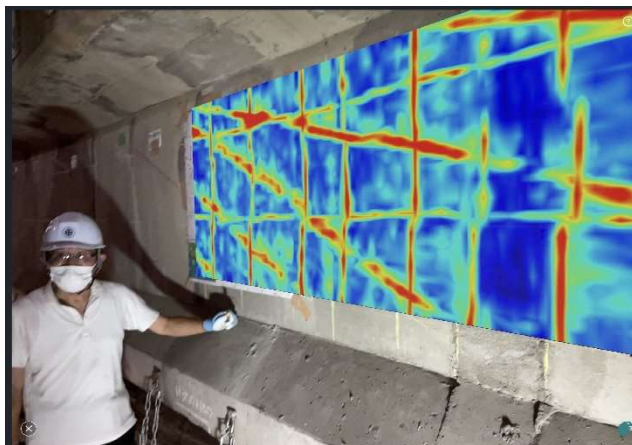


写真 9 AR 技術による試験結果の投影

参考文献

- 1) 萩原ら：グラウト再注入における確実性確保への取り組み，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，vol.31，pp.267-270，2022.10
- 2) (一社)プレストレストコンクリート建設業協会：プレストレストコンクリート構造物の補修の手引き[PC グラウト再注入工法]，2020.4
- 3) 二重円筒管試験：JSCE F 534 PC グラウトの材料分離抵抗性試験方法（案），2018
- 4) 細径管試験：JSCE F 534 PC グラウトの材料分離抵抗性試験方法（案），2018
- 5) 川口ら：再注入用防錆グラウトの適用性と防錆性能に関する検討，プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，vol.31，pp.259-262，2022.10

4. おわりに

本工事は、2023 年 2 月末に無事故・無災害で完了しました。

最後に、中日本高速道路株式会社 羽島保全・サービスセンター様はじめ、計画・施工にあたり、ご指導・ご支援を頂きました関係各位に深く感謝の意を表します。また、本報告が全国に存在するプレストレストコンクリート構造物に対する PC グラウトの充填調査および再注入の参考となれば幸いです。