

コンクリート補修部の再劣化でお困りではないですか？

自然災害による損傷や経年劣化で耐力が低下したコンクリート構造物の
躯体内部から健全化(接合補強)して長寿命化を実現させる…**オンリーワンテクノロジー**

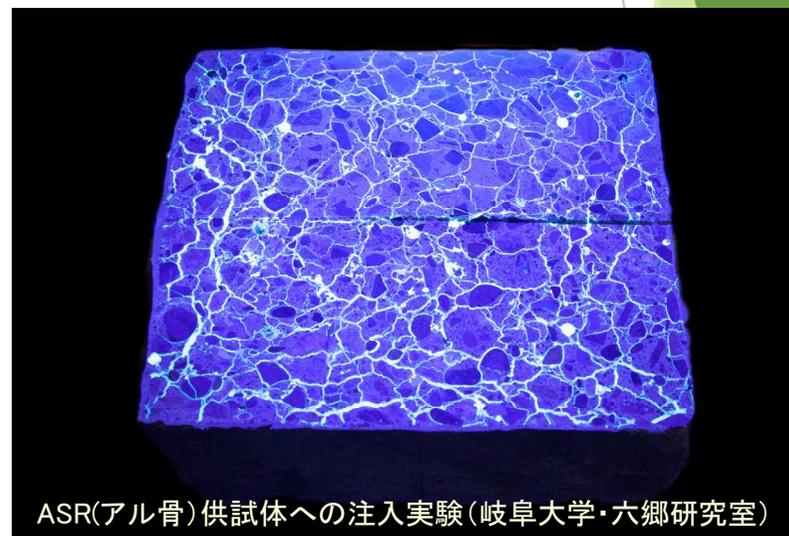
I P H 工 法

Inside **P**ressure **H**ardening
(内圧充填接合補強工法)

土木学会 技術評価証 (第0020号)
工法特許 (第5074118号)
国土交通省 NETIS (No. CG-070007-V) H.30年3月掲載終了



一般社団法人 I P H 工法協会



IPH工法（内圧充填接合補強工法）

● 開発者

SGエンジニアリング株式会社（広島市西区草津東1-11-51）

● 実証実験協力研究機関

広島大学大学院（東広島市鏡山1-3-2）

東京工業大学大学院（東京都目黒区大岡山2-12-1）

筑波大学大学院（つくば市天王台1-1-1）

岐阜大学大学院（岐阜市柳戸1-1）

名古屋大学大学院（名古屋市千種区不老町）

京都大学大学院 インフラ先端技術共同研究講座（京都市西京区京都大学桂）

東京大学大学院（東京都文京区本郷7-3-1）

ジェイアール総研エンジニアリング株式会社（国分寺市光町2-8-38）

● 工法研究&工法普及団体

一般社団法人 IPH工法協会 本部（広島市西区草津東1-11-51）

中部支部（名古屋市中区橘1-1-20）

IPH工法の要点説明



便宜上、IPH工法は低圧樹脂注入のジャンルに区分されていますが、**他の注入工法とはその目的が全く違います。**

一般的に、低圧樹脂注入は、躯体内部に雨水が浸入しないように表面のクラックを塞ぐことを目的としています。当工法はコンクリート構造物を**内部から接合補強し、躯体を一体化(緻密化)させ、耐力を回復させる**ことを目的とします。

独自開発の「**穿孔**」、「**空気抜き**」、「**安定的な超低圧**」により、従来の低圧樹脂注入では不可能とされていた躯体表面から30cm以上(最大実値170cm)への注入や、0.1mm以下(最小実証値0.01mm)への充填を安定的に実現します。当工法は構造物内の空気(隙間)と樹脂を置換し、**内部の微細部まで浸透させ、加圧状態で固化し、躯体を内部から接合補強(一体化)**します。

この注入により設計数値以上に耐力が回復することは土木学会で実証されました。また鉄筋周りも樹脂で被覆するので腐食進行を防ぎます。健全化された構造物はその結果として漏水も遮断します。

技術名称：コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工法

評価報告書 序

地震被害等を受けたコンクリート構造物の復旧や、経年による劣化や地盤変状等により生じたコンクリート構造物のひび割れの補修や補強に樹脂注入工法が多用されている。

しかし、一般的な工法は、コンクリート表面のひび割れ位置から樹脂を注入しているため、微細ひび割れへの充填度合いに不安定要素を含んでいる。これに対して、微細なひび割れまで流動性の高い樹脂を浸透することで高密度の充填を行い、鉄筋コンクリート部材の強度回復、内部鉄筋の付着強度の回復、ならびに防錆効果等を高める注入工法が開発され、平成 23 年に既に土木学会の技術評価を得ている。

本工法は注入器取付け位置を穿孔し、コンクリート内部から流動性の高い樹脂を低圧で注入することで、微細なひび割れまで十分に注入でき、高密度の充填が可能な工法である。今回は、前回の評価から 5 年を経過したことで、この間に注入システムに大幅な改良が行われ、樹脂の注入性が向上したことから、新しく技術評価を受けたいと委託側から申し出があり、それに対応することになったものである。

今回の技術評価においても、コンクリート構造物の維持管理への適用を主体に考えているが、コンクリート部材強度の回復や耐力の向上も見込まれるものとなっている。委員会では、本工法の適用範囲およびコンクリート部材強度の回復や耐力の向上について確認を行った。

以上の成果を「コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工指針（案）」の形に取りまとめ、本書に掲載した。本指針（案）は、コンクリート構造物におけるIPH工法を実施するにあたって、考慮すべき各種のポイントを体系的に整理したものである。本指針（案）の活用により、本工法が普及し、今後も一層発展していくことを期待している。

公益社団法人 土木学会 技術推進機構

「コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工法」に関する技術評価委員会

委員長 二羽 淳 一 郎

土木学会技術評価証

(注入工法で唯一の土木学会技術評価証)

第0020号

技術評価証

【技術名称】

コンクリート構造物における
IPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工法

【依頼者】

SGエンジニアリング株式会社

【有効期間】

下記発行日から5年間

【技術評価】

技術評価委員会は、評価を依頼された「コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工法」の評価対象項目について厳正かつ慎重に審議を行い、以下のとおり評価した。

1. 「コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工法」の適用

「IPH工法（内圧充填接合補強工法）」は注入器取付け位置を穿孔し、コンクリート内部から流動性の高い樹脂を低圧で注入することで、微細なひび割れまで十分に注入でき、高密度の充填が可能な工法である。維持管理への適用を主体に考えているが、コンクリートの部材強度の回復や耐力の向上も見込まれる。本工法の適用範囲およびコンクリート部材強度の回復や耐力の向上について確認した。

2. コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工指針（案）

コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）に適用する「コンクリート構造物におけるIPH工法（内圧充填接合補強工法）の設計施工指針（案）」について、内容は適切であり、IPH工法（内圧充填接合補強工法）を本指針（案）に基づいて実施しても問題がないことを確認した。

以上

平成 29 年 3 月 23 日

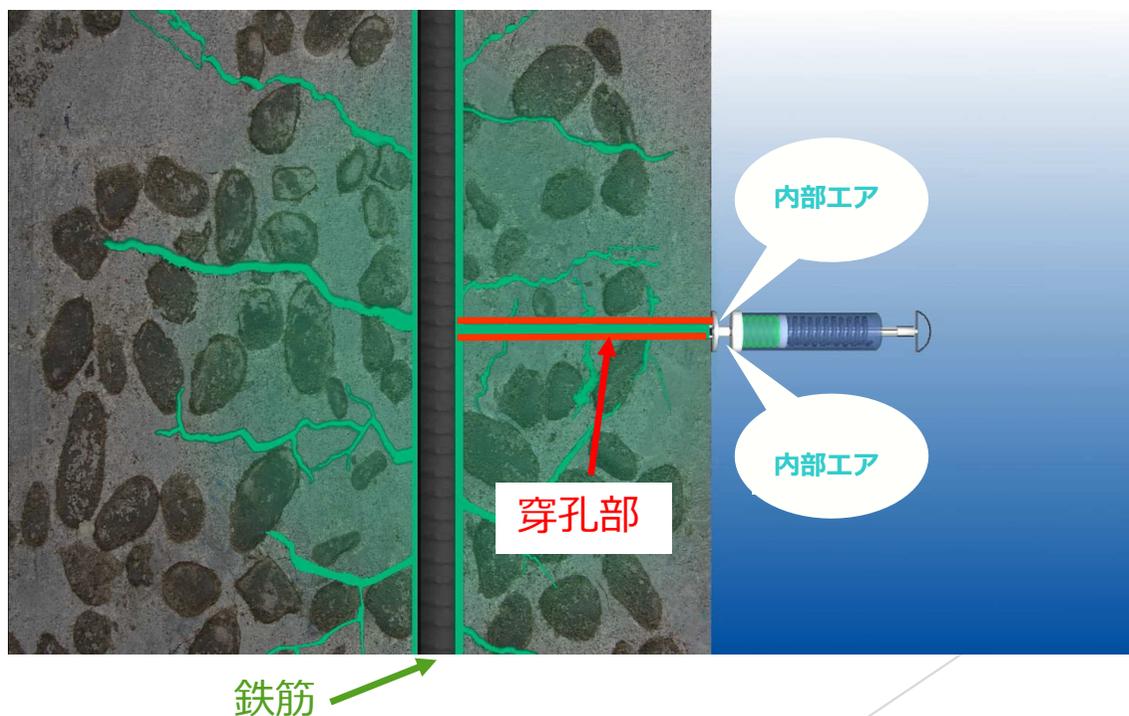
JSCE 公益社団法人 土木学会
会長 田代 民浩

IPH工法3つの特長

- ① 躯体に穿孔 → $\Phi 7\text{mm}$ 、7cm程度
- ② 空気抜き → 注入器と台座に秘密
- ③ 超低圧 → 0.06N

閉鎖されたクラックの微細部まで樹脂を充填、
加圧状態で固化、→ **コンクリートを接合、緻密化、一体化させます**

樹脂充填のイメージ図

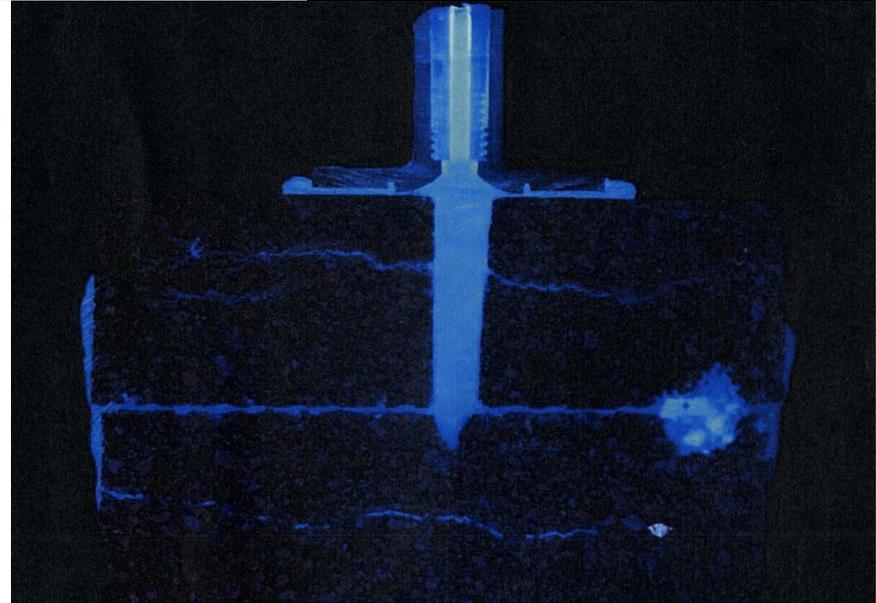
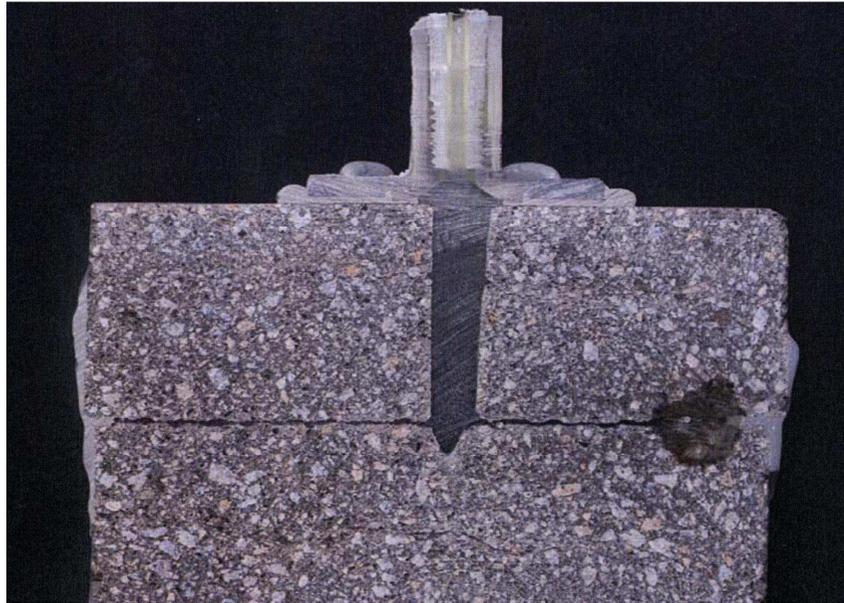


空気抜きの原理説明（動画）

どのように充填するか -①

IPH工法の注入実験

於：SGエンジニアリング(株) 実験室



IPH工法のコア写真

於：JR西日本神戸線 三宮工区



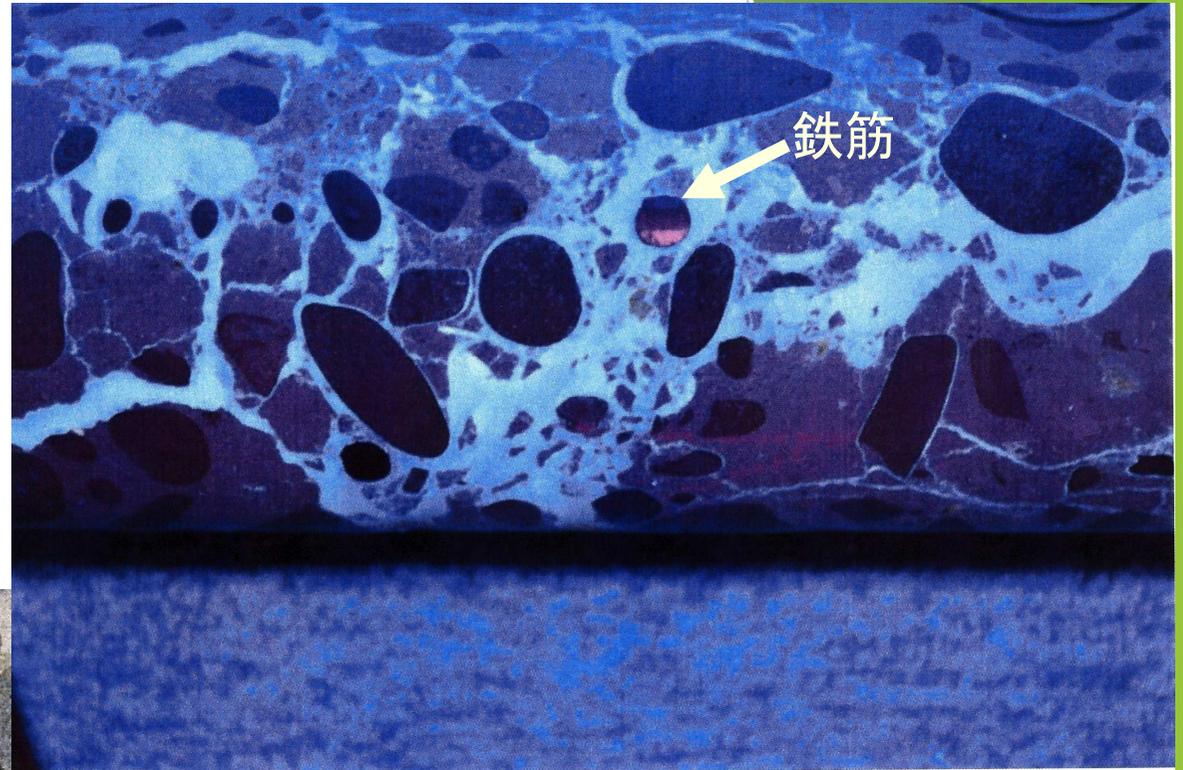
→
注入

※左端から注入、93cmまで注入を確認しました。

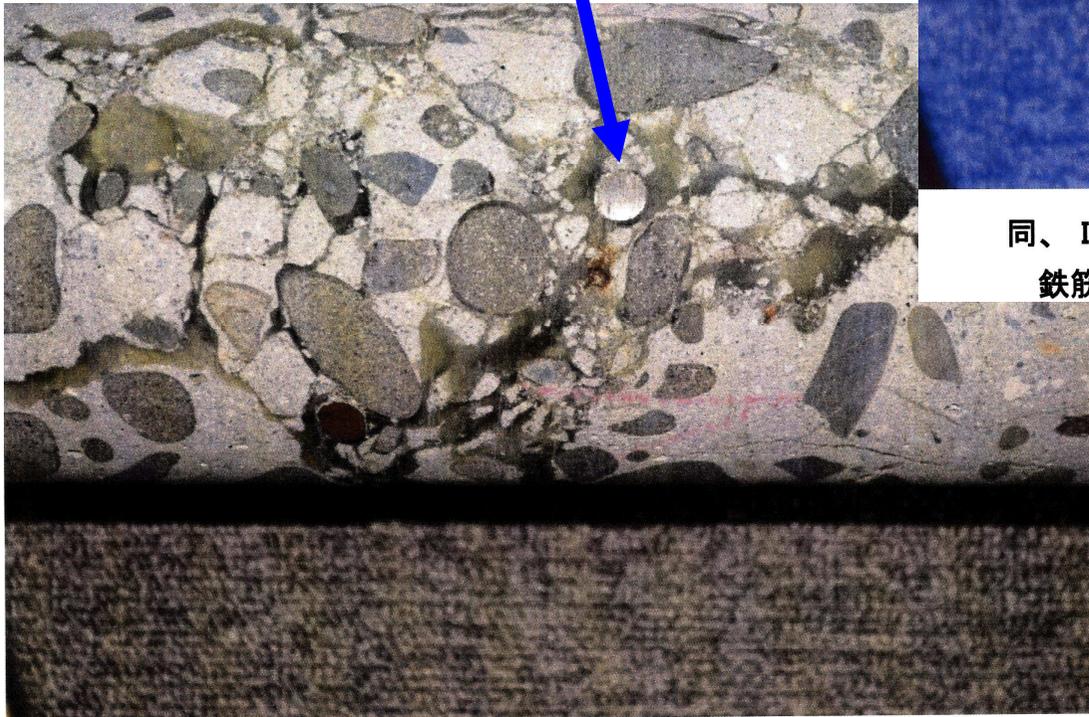
どのように充填するか-②

鉄筋周りへの充填状況

(JR西日本神戸線 三宮工区)



鉄筋



同、IPH内圧充填接合による注入確認をブラックライトにより行う
鉄筋周囲の充填密度及び粗骨材周囲の空隙に十分注入されている

地震による梁部の損傷をIPH内圧充填接合補強注入完了後の注入状況を
コア抜きにより確認した

どれだけ耐力が回復するか

実証実験 柱状供試体の性能回復実験 於：広島大学大学院工学研究科

耐震性の低い既存構造物内の柱を想定した柱状供試体の破壊試験後に、IPH工法による補修をし、その後、再度同様の破壊試験を実施し、補修による性能回復の検証をする。



1 せん断破壊試験後、補修前状況
柱状供試体（製作時 N-02）



2 欠損部の修復状況
使用材料 IPH#600



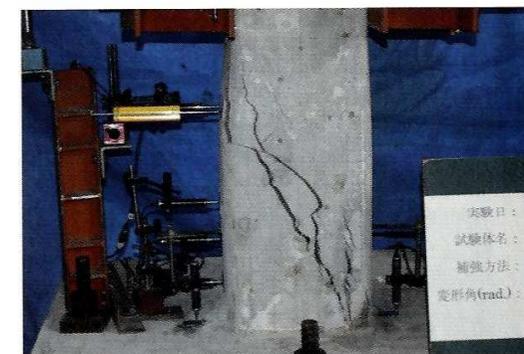
3 エポキシ樹脂低圧注入状況
IPHカプセル
注入圧力 0.06N/mm²



4 補修完了状況
表面研磨仕上げ



5 せん断破壊試験状況
正側 1/50 第1回目



6 せん断破壊試験状況
負側 1/50 第1回目
せん断破壊位置は、注入位置ではなくオリジナルコンクリート。

結 論



補修前のせん断破壊試験では、水平変形角 1/200 で斜めひび割れが発生し、正側 1/100 第1回目では耐力を維持していたが、負側 1/100 の载荷中にひび割れが一気に拡大し終局した。

補修後の同試験では、正側 1/50 第1回目では耐力を維持していたが、負側 1/50 を目指す途中でひび割れが拡大し終局した。以上の結果、本柱状供試体の製作時と補修後を比較すると水平耐力が10～30%上昇し、補修による補強効果の発現が判明した。

最大耐力等

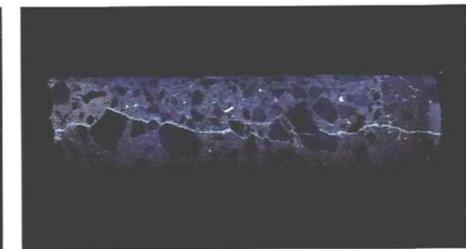
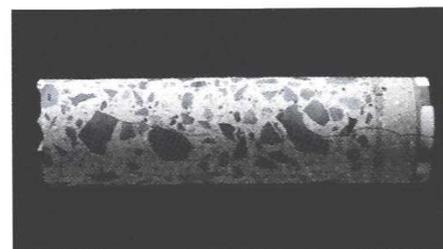
試験体名	最大耐力 (正) (kN)	最大耐力 (負) (kN)	最大耐力 (正負平均) (kN)	回復率	Qmu (kN)	Qsu (kN)
N-01 製作時 N-1 補修後	228.4 275.1	237.5 265.1	232.9 270.1	1.160	227.9	212.4
N-02 製作時 N-2 補修後	127.8 163.7	129.7 178.9	128.8 171.3	1.330	174.1	120.0

Qmu : 曲げ耐力計算値 Qsu : せん断耐力計算値

注入剤 (E-396H) の充填状況

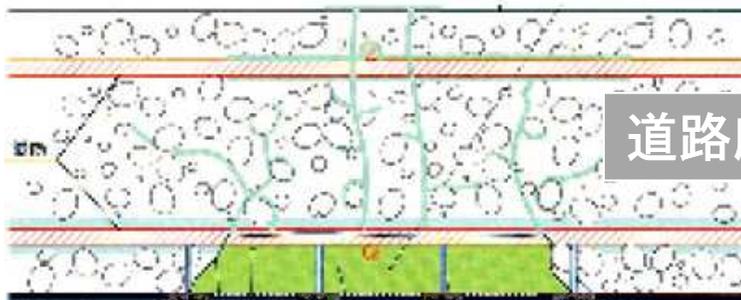
ブラックライト照射評価

高流動のエポキシ系注入剤が、エア混入も無く高い密度で充填されています。

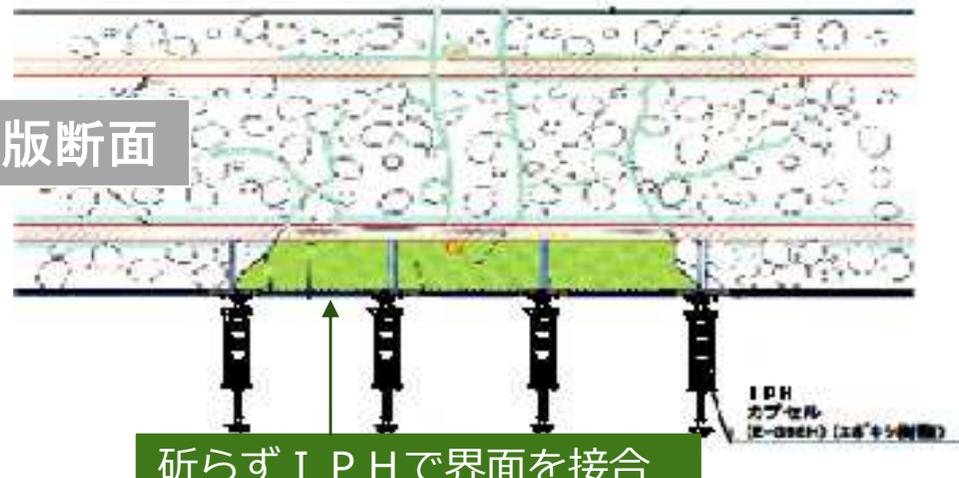


どれだけ強固に接合するか

高速道路や橋梁の床版(下面)断面修復箇所界面の
付着強度を確認するための実験です。



道路床版断面



従来工法 → 研って左官

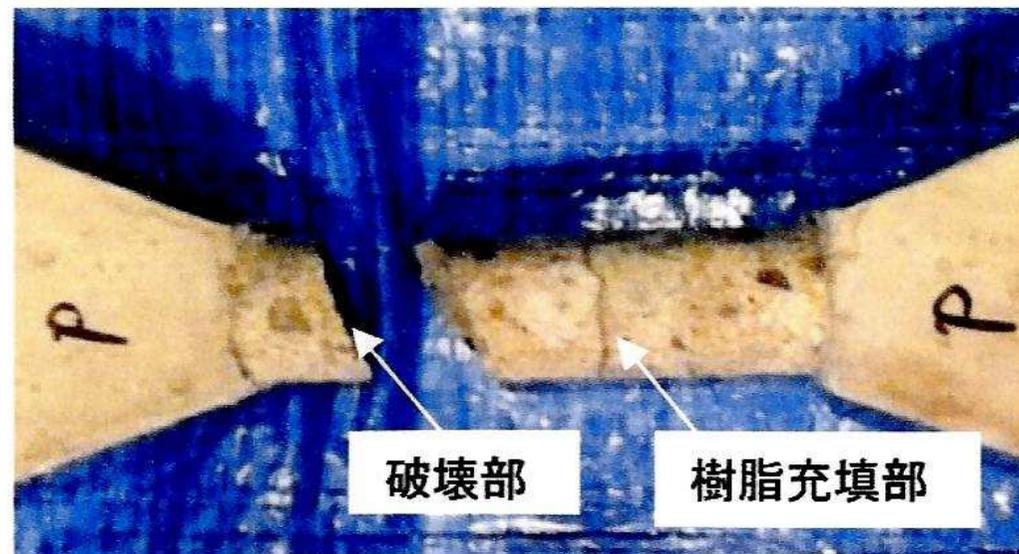
研らずIPHで界面を接合

実証実験 樹脂の付着性能の評価実験 於：岐阜大学工学部（六郷研究室）



25mm コア引張供試体の破壊状況(全体)

引張試験



25mm コア引張供試体の破壊状況(一例)

IPH工法 使用材料

E-396H

低粘度高流動エポキシ樹脂

特長

- ・微細クラックへの注入が可能です。
- ・混合液の可使時間が長く、作業性に優れています。乾燥面だけではなく、湿潤面や漏水箇所にも高い硬化力・接着力を発揮します。

荷姿

18kg (3kg×6セット)

主剤	エポキシ樹脂溶液	2kg/缶
硬化剤	変性ポリアミン	1kg/ポリ容器

E-396H は、JWWA (公益社団法人日本水道協会) の水質基準51項目を全てクリアしているので、水道施設や農業施設でも使用しています。



第 14104346001-01 号 page 1/6
2014 年 (平成 26 年) 11 月 06 日

試験報告書

依頼者 S G エンジニアリング株式会社

一般財団法人
日本食品分析センター
東京都渋谷区元代木1-5-2番1号



検体 エポキシ樹脂 品名E-396H

表題 浸出試験

2014 年 (平成 26 年) 10 月 08 日当センターに提出された上記検体について試験した結果をご報告いたします。

本報告書を他に掲載するときは当センターの掲載権をお守りください。

一般財団法人
日本食品分析センター

IPH工法 施工手順

1日目

下地処理

劣化部・ひび割れ部をVDRダイヤモンド吸塵システムで研磨、欠損部はIPH#600で補修し注入ポイントをマーキングする。

穿孔

注入カプセル取付位置を水循環型のIPHミストダイヤモンドで穿孔する。

台座取付

注入ポイントにピックアップシールを用い、JP台座を取り付ける。
(低温時等、高速硬化の必要な場合には、クイックシールを使用する。)

ひび割れシール

注入ポイント以外のひび割れ箇所は、洩れ防止のためピックアップシールで密閉する。(高速硬化の必要な場合には、クイックシールを使用する。)

2日目

注入

IPHカプセルを取り付け、E-396Hを注入する。
(低温時等には、硬化の早いA-396MSCを使用する。)

3日目

撤去・清掃

注入カプセル及びピックアップシールを取り除く。

表面処理

VDRダイヤモンド吸塵システムで平坦に研磨し、IPH#300を塗布する。
硬化後、無機系通気型撥水塗料セラブレンドP-5000で塗布仕上げをする。

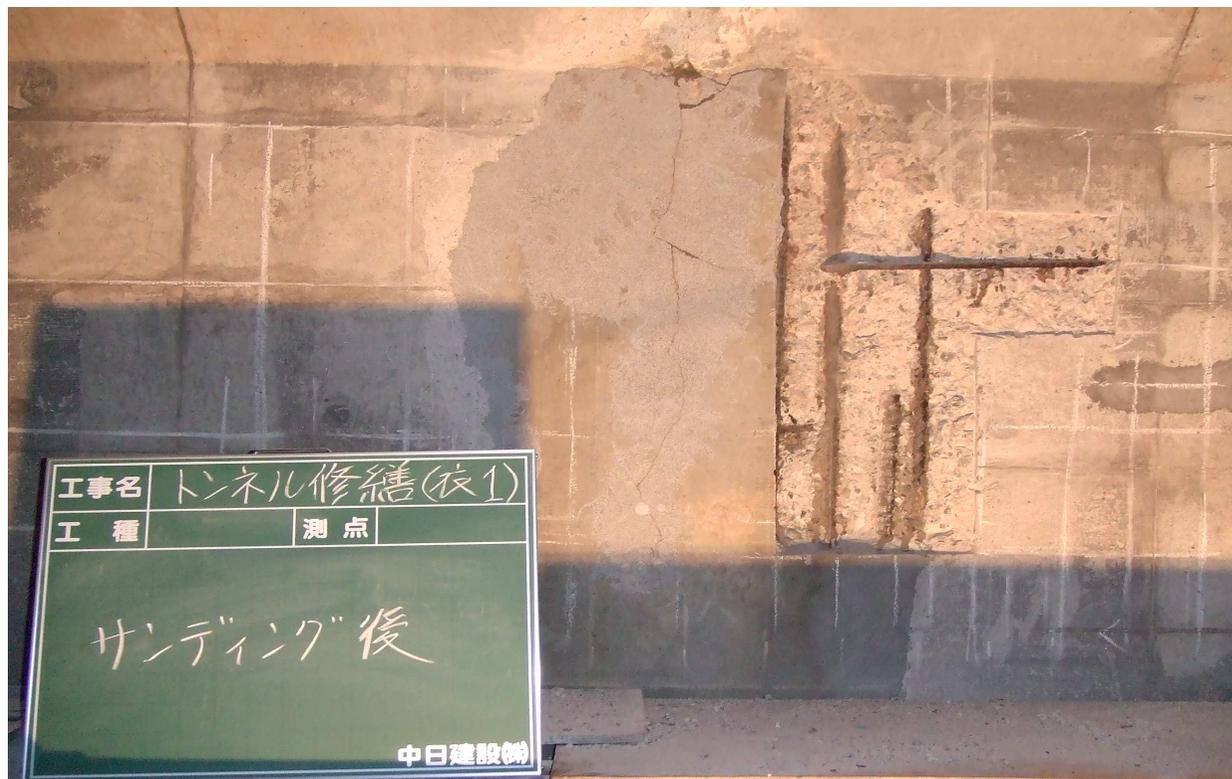
IPH工法の他工法との比較

IPH工法は他の低圧樹脂注入工法とは施工目的が違うので比較できません。断面修復を例にして在来工法と比較しました。

断面修復工法比較表

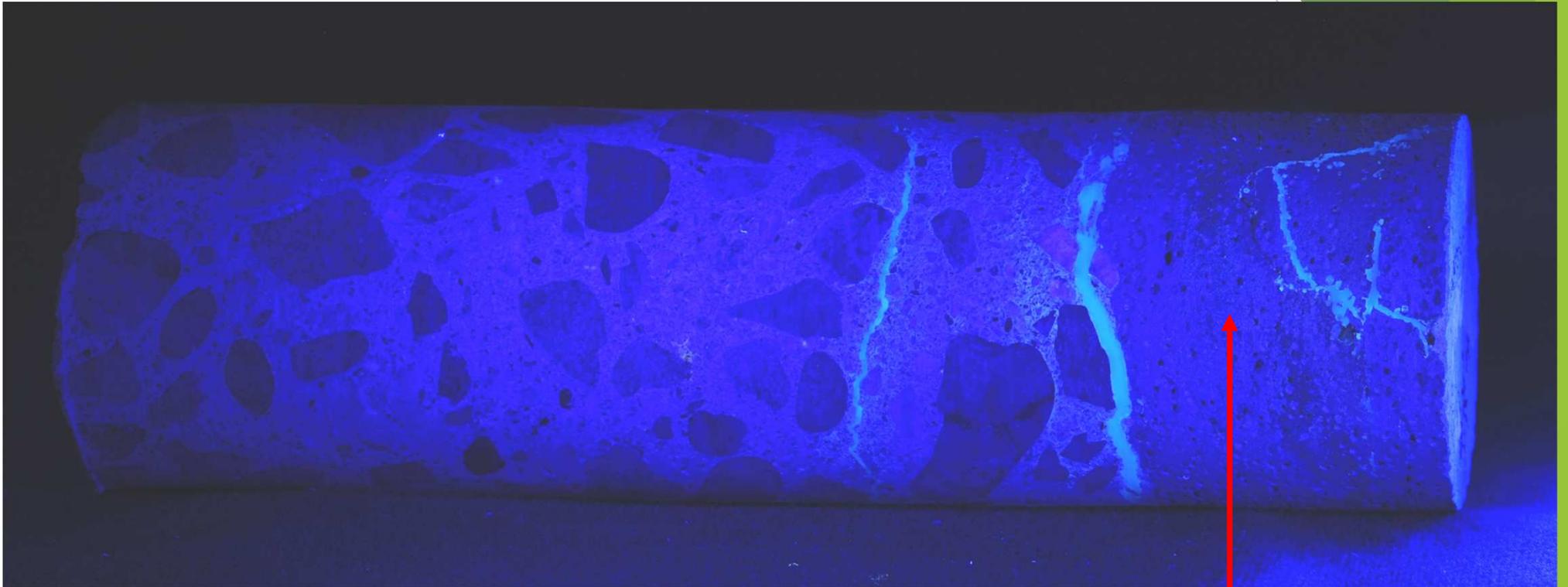
項目	名称 はつり撤去+埋戻し（小断面） （ポリマーセメントモルタル充填）	はつり撤去+埋戻し（大断面） （ポリマーセメントモルタル吹付）	IPH工法（内圧充填接合補強） （ポリマーセメントモルタル充填・エポキシ樹脂注入）
概要図	<p>欠損部 鉄筋</p> <p>コンクリートをはつり後 ポリマーセメントモルタルで 埋戻し</p>	<p>コンクリートポンプ</p> <p>吹付けノズル</p> <p>圧縮空気</p>	<p>鉄筋</p> <p>スラブ下底</p> <p>表面保護材 セラブレンドP-5000 (圧入器用接着剤)</p> <p>充填層</p> <p>カプセル (E-3000) (E-1000)</p> <p>新築修繕材</p> <p>IPH-1-600 鉄筋防錆・中硬化材料 (ポリマーセメントペースト) IPH-100</p>
工法概要	欠損部のコンクリートをはつり取り、腐食鉄筋には防錆処理を施し、ポリマーセメントモルタルで埋戻す。	欠損部のコンクリートをはつり取り、腐食鉄筋には防食処理を施し、厚付けモルタルを吹付ける。	欠損部のコンクリートをはつり取らずに、剥離部のひび割れや、ジャンカや、鉄筋周囲等の空隙部にエポキシ樹脂を細部に渡り注入を行う。但し、既に剥落している箇所については、防錆処理後、無収縮ポリマーモルタル充填工法を施しエポキシ樹脂を注入する。
工法特長	最も一般的な工法として用いられている。躯体構造との付着性は初期接着1.5N/mm ² 以上としている。モルタルの付着性能に依存する工法である。	断面修復の深い箇所や広い範囲の箇所への適用が出来る。一度に厚塗り（50mm～100mm）の施工が可能である。	コンクリートをはつり取らずに施工出来る為、コンクリート廃材が極めて少ない。また、鉄筋とコンクリートが剥離している場合でも、エポキシ樹脂を注入する為、確実な密着が確保出来、工期の短縮が図れる。
考察	鉄筋とコンクリートが剥離している場合は、健全な箇所まで入念に、はつり取る必要があるが、完全なるポリマーモルタル充填が確保出来ず界面接着にムラが生じる恐れがある。	埋戻しに制約がない為に、奥深くまで劣化部分を除去し、ポリマーセメントモルタルを充填できる。設備機器が大きく設置場所の確保が必要である。またはつり及び吹付け作業である為、騒音・粉塵・産廃が懸念される。周囲に住居がある場合は、上記の対策が必要である。	全般的には工期短縮であるが、欠損部補修箇所については、無収縮ポリマーモルタル充填修復後、更にエポキシ樹脂注入の為、工程は増える。
中性化及び塩害対策	特記仕様に準ずる。	特記に準ずる。	特記仕様に準ずるが、亜硝酸リチウム系塗布材を塗布することにより鉄筋を錆から守る。
漏水部の施工性	状況により、止水工法と併用する事により可能である。	状況により、止水工法と併用する事により可能である。	多量の漏水の場合は、止水工法と併用するが、少量であれば注入する事により漏水を喰い止める事が出来る
鉄筋とコンクリートの付着性	良好（但し、充填具合によりムラが生じる）	良好（但し、硬化前に漏水が生じれば付着強度は望めない）	完全付着の為、鉄筋の防錆と躯体の増強回復とが図れる。
環境配慮性	はつり作業の為、騒音及び粉塵が生じる。	はつり作業の為、騒音及び粉塵が生じる。	はつり作業を行わない事を基本とし、騒音及び粉塵が生じない。躯体と欠損断面修復材との接合体
総合評価	○	△	◎
耐久性	10年未満	10年～15年	15年～30年
ライフサイクルコスト30年間	3～4回施工	2～3回施工	1～2回施工

過去に施工した断面修復部分の再劣化





L=20cm



過去に補修した部分

どれだけ効果が持続するか



経過観察現場 瀬戸中央自動車道与島PA(香川県:昭和63年施工) 平成30年6月撮影



大宮橋（愛媛県）の施工事例（動画）

I P Hの品質管理について

弾性波に基づくトモグラフィ技術およびその利用

背景

- 事後保全型から予防保全型へ、構造物の維持管理思想が大きく変わろうとしている
- 上記を実現するために、コンクリート内部の損傷を的確かつ定量的に評価可能な非破壊検査・モニタリング手法の確立が喫緊の課題となっている。
- 「弾性波に基づくトモグラフィ技術」は上記の課題を解決する革新的技術として注目を

弾性波に基づくトモグラフィ技術とは(トラクション2016/8/22等)

【利用技術】

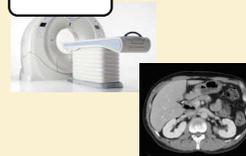
地震波やX線を、材料（コンクリート）中を透過する弾性波に置き換えて、内部の損傷を評価

震源探査



地震波（P波，S波）を利用して震源探査

X線CT

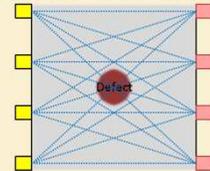


X線を利用して内部の密度を把握

【本手法の特長と種類】

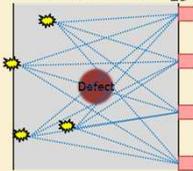
波線追跡法を用いることにより、弾性波の発信時間、発信位置が未知でも、材料の速度構造を求めることが可能。
構造物の種類や欠陥の規模に応じて適用方法を選択可能。

【弾性波トモグラフィ】センサ



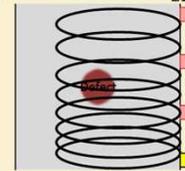
縦波の伝達時間から速度構造を評価
(入力位置および発信時間が必要)

【AETトモグラフィ】センサ



縦波の伝達時間から速度構造を評価
(入力位置および発信時間が必要)

【表面波トモグラフィ】センサ



縦波の伝達時間から速度構造を評価
面波伝達時間から入力周波数に応じた深さ部分の評価

IPHの品質管理について

弾性波に基づくトモグラフィ技術およびその利用

維持管理フローの将来像

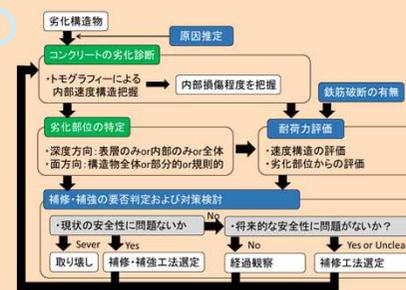
維持管理において効果的に対策（補修・補強）を実施するために、

- ①事前調査による損傷部位の特定
- ②構造安定性などの性能評価

を適切に行うとともに、

- ③対策後の効果確認
- ④それに対する性能の向上効果

を実施する必要がある。
これに資する非破壊検査手法として「弾性波を利用したトモグラフィ手法」を活用する。



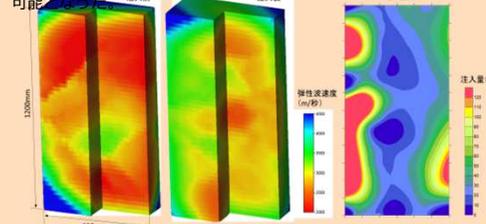
補修評価に対する適用事例

○IPH工法の注入評価

柱構造物へのIPH工法による注入状況



トモグラフィ法による注入前後の三次元速度分布*注入前後の弾性波速度を比較することにより、注入の効果を3次元で視覚的に評価可能



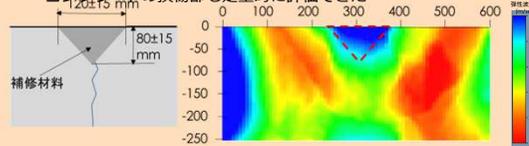
○Vカット充填部の評価

ボックスカルバート漏水部におけるVカット充填工法の適用



非破壊検査協会秋季大会（平成28年10月6日、7日@仙台）にて発表

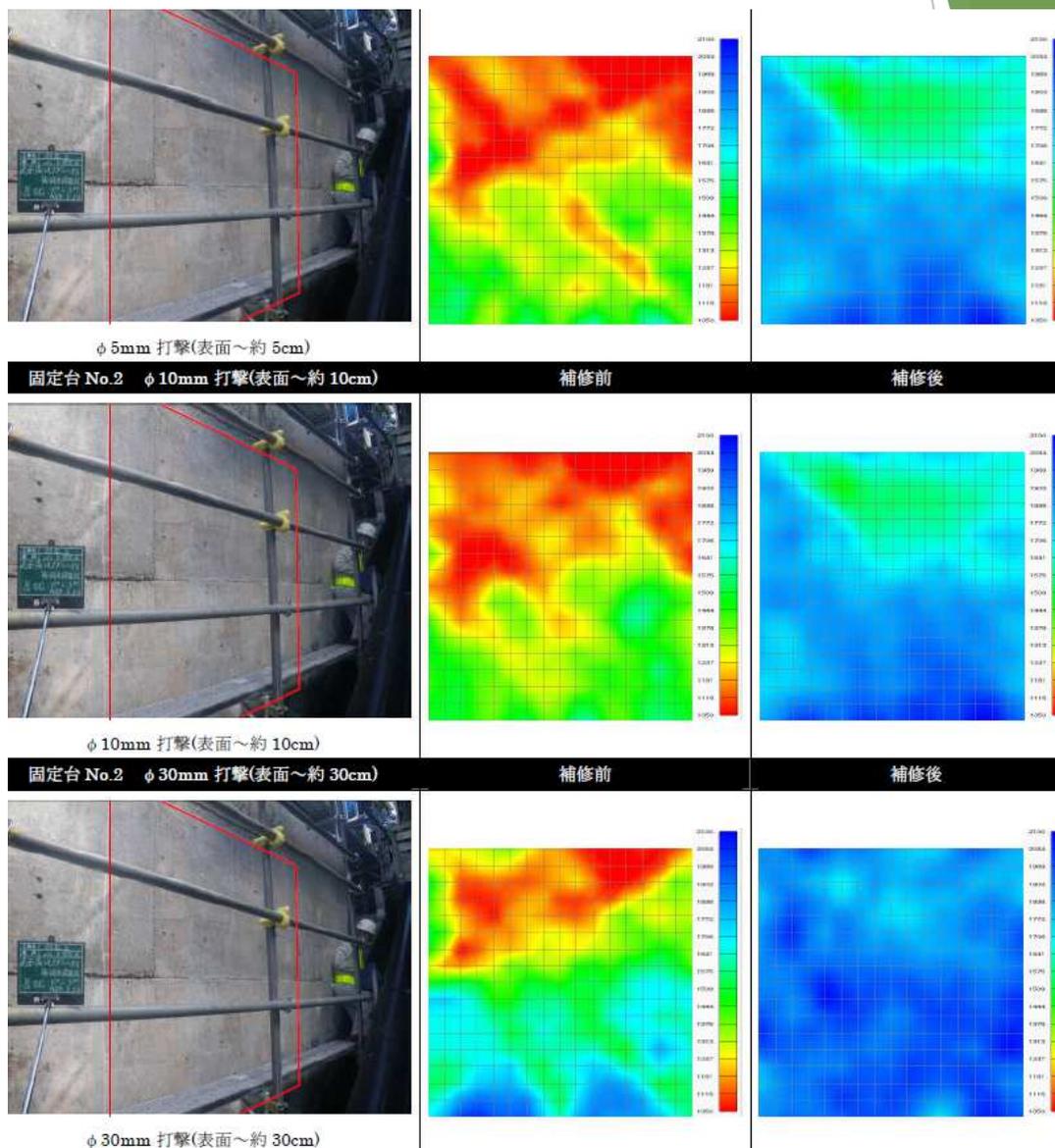
Vカット充填工法適用部に対して三次元弾性波トモグラフィを適用することにより、充填状況の評価とともに、除去時に生じた母材コンクリートの損傷部も定量的に評価できた



コンクリート構造物の補修、補強、アップグレードシンポジウム（平成28年10月13日、14日@京都）にて発表

IPHの品質管理について

水力発電所
送水管架台での実証実験



ご清聴有難うございました



(お問い合わせ先)
一般社団法人 IPH工法協会 事務局(大西、上田)

広島市西区草津東1-11-51

TEL (082) 961-5781 FAX (082) 272-7276

MAIL info@iph-v.com HP iph-v.co