

第14回技術講習会～コンクリートの品質確保～

ポステンPC構造物の補修設計事例について ～ ポステンPC桁グラウト未充填調査と補修計画 ～



株式会社 巽設計コンサルタント

土木部 西口 崇

〒743-0023

山口県光市光ヶ丘5番1号

TEL 0833-71-0112 FAX 0833-72-0333

<http://www.tatsumisekai.co.jp>

— 内 容 —

1. 1 ポステンPCT桁の損傷

1. 1 調査結果概要

1. 2 ポステンPCT桁の損傷

1. 3 ポステンPC桁の変状原因の推定

1. 4 施工時の損傷原因の推定

2. PCグラウトの充填調査手法

2. 1 PCグラウトの充填調査のPC構造物への適用事例

2. 2 PCグラウトの充填調査手法一覧

3. 調査計画および調査報告

3. 1 調査方針

3. 2 調査概要

3. 3 PCグラウト充填度調査方法および対策検討フロー

3. 4 調査箇所の選定

— 前章に続く —

3. 5 電磁波レーダ法によるPC鋼材・鉄筋位置探査

3. 6 インパクトエコー法によるグラウト充填状況調査

3. 7 インパクトエコー法によるグラウト充填度の判定

3. 8 微破壊検査とCCDカメラ

4. 調査結果および補修計画

4. 1 未充填箇所の割合

4. 2 補修計画(グラウト充填不良)に関する基本方針

4. 3 グラウト再充填工法の選定

4. 4 グラウト再注入工法 比較表(1案・2案)

4. 5 グラウト再注入工法 比較表(3案・4案)

おわりに



1. ホンデンPCT桁の損傷

1.1 調査結果概要

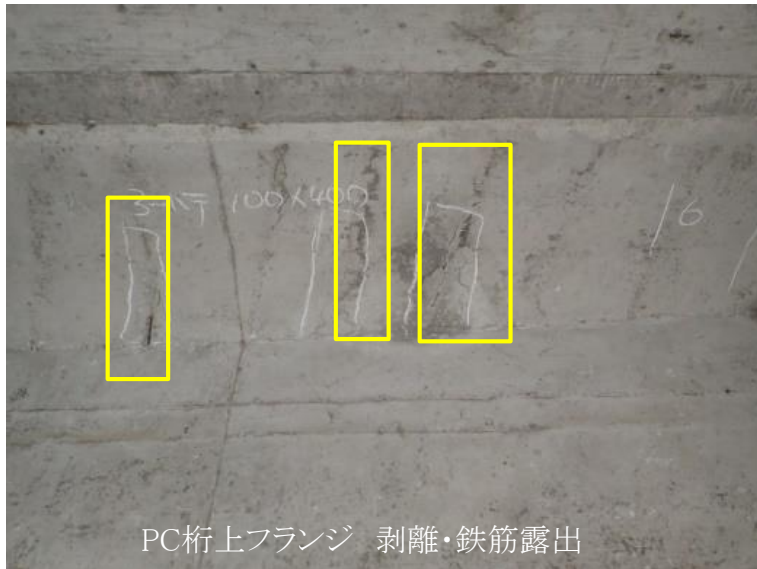
橋 梁 諸 元

橋 梁 名	A橋
竣 工 年 度	昭和47年(1972年)竣工 (48年経過)
橋 長	83.000 m
全 幅 員	8.500 m
交 差 条 件	河川(二級河川)
上 部 工 形 式	3径間 ポストテンション単純PCT桁
下 部 工 形 式	逆T式橋台 T型橋脚
基 礎 形 式	直接基礎
斜 角	右80° 00' 00"
適 用 基 準	プレストレストコンクリート道路橋示方書 1968年(昭和43年)

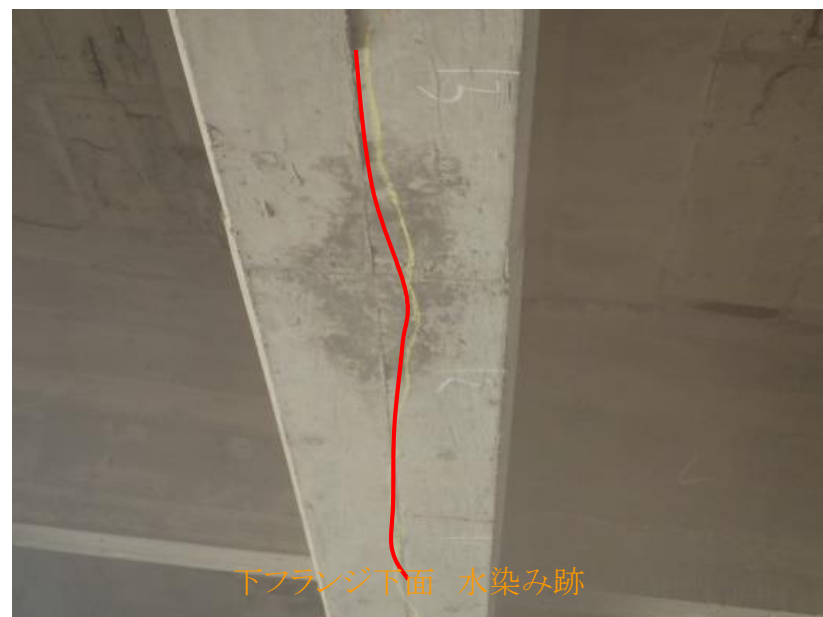
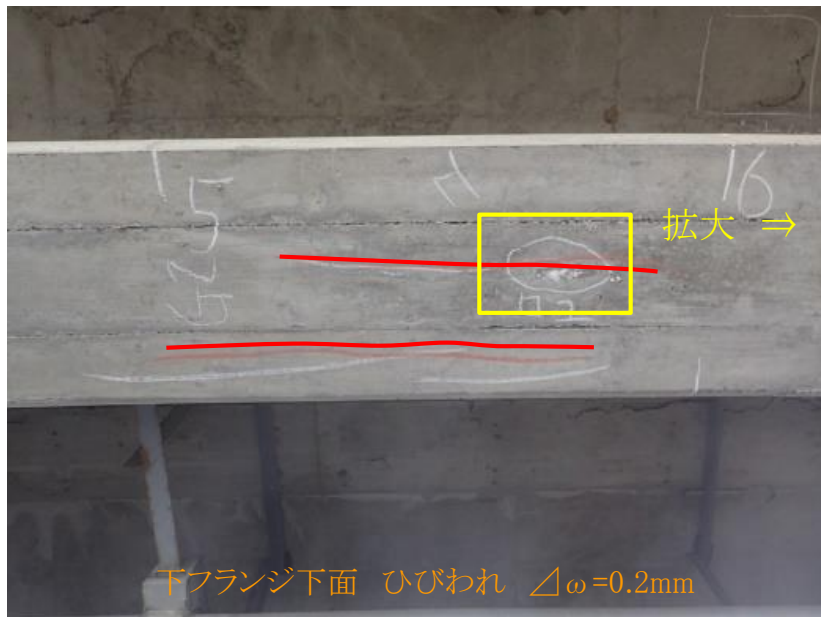
現 況 写 真



1.2 ポステンPCT桁の損傷



1.2 ポステンPCT桁の損傷



1.2 ポステンPCT桁の損傷



1.3 ポステンPC桁の変状原因の推定

部材・部位		変状	顕在原因の推定
主桁	ウェブ・上フランジ	<ul style="list-style-type: none"> 主桁で採取したコアと剥離部に貝殻が確認された。 主桁には、コンクリートのうき、剥離・鉄筋露出が確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> 横桁の中性化試験と塩化物イオン試験結果から、内在塩分および中性化による鉄筋腐食膨張によると考えられる。 施工不良(初期欠陥)によるかぶり不足と考えられる。 初期欠陥(かぶり不足)と中性化および内在塩分に起因する複合劣化の可能性が考えられる。
	下フランジ下縁	<ul style="list-style-type: none"> シースの沿った橋軸方向ひびわれが確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> グラウト不良の空隙部に水が侵入し、鋼材が腐食膨張したことによる可能性が考えられる。
	端部	<ul style="list-style-type: none"> 全主桁の端部にPCケーブルに沿ったひびわれが確認された。 全主桁端部に方向性を伴わない不規則なひび割れ発生が確認された。 	<ul style="list-style-type: none"> 原因は不明である。

1.4 施工時の損傷原因の推定

👍 損傷原因の推定

本橋において、桁下面縦方向ひび割れや桁腹部シース沿いのひび割れの発生原因は以下の表1.2-1のとおり推定し、これらが複合して発生したと考える。

表1.2-1 既設ポストテンション方式PC桁の損傷原因の推定(1)

損傷原因		可能性	備考
a	シース内空隙部に浸透した水の凍結膨張	○	既設ポストテンション橋のPC鋼材調査および補修・補強指針P21
b	グラウト注入前シース内滞留水の凍結膨張	○	上縁定着がケーブルの半数を占めている。
c	プレストレス導入による横ひずみの発生	○	収縮ひずみをスターラップ鉄筋が拘束する。
d	過大なグラウト注入圧による横ひずみの発生	△	当時のグラウトポンプの性能から可能性は低い。
e	アルミ粉末による膨張圧	×	一時的な膨張反応であり可能性は著しく低い。

1.4 施工時の損傷原因の推定

表1.2-1 既設ポストテンション方式PC桁の損傷原因の推定(2)

損傷原因		可能性	備考
f	コンクリートとグラウトの熱膨張係数、乾燥収縮の相違による内圧	△	既往の報告が存在しない。今後の課題となる。
g	自己収縮の鉄筋拘束による引張ひずみ	○	高強度早強コンクリートを用いている。
h	コンクリートの劣化等	×	SEM・EDX分析の結果、ASRを生じている骨材は確認されなかった。さらに黄鉄鉱の分析試験を行った結果、膨張性骨材である黄鉄鉱は検出されなかった。

凡例 ○:可能性あり。 △:不明または低い。 ×:可能性は著しく低いまたは可能性はない。

出所:プレストレストコンクリート工学会 第21回論文集(2012年10月)

「PCグラウトに関する非破壊調査システムの開発」

(株)国際建設技術研究所 川谷泰山他に加筆して作成した。



2. PCグラフィットの充填調査手法

2.1 PCグラウトの充填調査のPC構造物への適用事例

解説 表3.3.1 PCグラウト充填調査のPC構造物への適用事例

	調査方法	適用条件	適用断面形状・部位・鋼材種別
非破壊検査	放射線透過法	<ul style="list-style-type: none"> 部材厚さ500mm未満 (対象部材表側と裏側に作業スペースが確保できること) 	T桁、I桁:ウェブ、箱桁:ウェブ
	打音振動法	<ul style="list-style-type: none"> PC鋼材が直線状に配置されていること 	床版横締めケーブル 横桁横締めケーブル
	広帯域超音波法	<ul style="list-style-type: none"> シースかぶり厚さ250mm以下 (解説 表3.3.2参照) 	T桁、I桁、スラブ桁:ウェブ、 箱桁:ウェブ・床版、 床版横締めケーブル
	インパクトエコー法	<ul style="list-style-type: none"> [空隙の大きさ]/[空隙までの深さ]が0.25程度 (シース径の4倍程度まで) 	T桁、I桁、スラブ桁:ウェブ、 箱桁:ウェブ・床版
微破壊検査	削孔調査	<ul style="list-style-type: none"> シースかぶり厚300mm程度 (電磁波レーダ等シース位置出し、ドリル等削孔およびシース開削が可能な深さ) 	制限なし

出所:既設ポストテンション橋のPC鋼材調査および補修・補強指針

(公社)プレストレストコンクリート工学会「2016.9 P23

2.2 PCグラウトの充填調査手法一覧

項目		非破壊検査				微破壊検査	
検査手法		放射線透過法	打音振動法	広域帯超音波法	インパクトエコー法	削孔調査	
確認方法		目視確認	応答波形による確認				目視確認
長所		・確認が容易	検査が簡易に可能	検査が比較的簡易	検査が簡易に可能	確実性がある	
短所		<ul style="list-style-type: none"> ・調査時間が長い。 ・部材厚により使用範囲が限定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・判断に技術力が伴う。 ・横締めPC鋼材しか適用できない。 	<ul style="list-style-type: none"> ・判断に技術力が伴う。 ・機器が大きい。 ・コストが高い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・判断に技術力が伴う。 ・PC鋼材の間隔により使用範囲が限定される。 	<ul style="list-style-type: none"> ・全調査に削孔が必要となる。 	
費用(万円/本)		約10万円	約1.7万円	約20万円	約5万円	約1.6万円	
評価	主ケーブル	○	×	○	○	○	
	横締め	△	○	△	△	○	



X線撮影



広域帯超音波法



削孔調査



打音振動法



インパクトエコー法

※赤字は不採用の理由



3. 調査計画および調査報告

3. 1 調査方針

👉 調査方針

- 今回の調査は、グラウト充填不良の主ケーブルの数量を推測するための基礎資料収集し、補修計画を立案することを目的とした。
- 数量を確定するためには、全PC桁の全ケーブルを調査し、充填不良ケーブル数、未充填の長さおよび状態を特定することが必要である。
- 経済性の観点から変状の顕著なPC桁およびケーブル位置と比較的健全なPC桁を抽出し、充填不良箇所傾向を把握することを基本方針とした。
- 当該調査は、インパクトエコー法の衝撃入力をするためのPCケーブルの配置形状や微破壊調査時のコンクリート削孔に伴う鉄筋やPC鋼材の損傷を防止するために電磁波レーダを用いて鋼材位置探査を実施する。

3. 2 調査概要

- 非破壊検査であるインパクトエコー法によるPCグラウトの未充填調査は、上縁定着部のPCケーブルは、PC桁の標準断面(ウェブ厚20cm)において実施する。
- 拡幅部に位置しているケーブルは、PC鋼材シースの約4倍程度($\phi 45 \times 4 = 165\text{mm}$)以下のかぶり厚さ部分において行う。
- 微破壊検査である削孔+CCDカメラによる当該調査は、端部横桁を避け、空隙の可能性が高い桁端部定着具背面を選定し行う。
- 下フランジに発生しているPCケーブルの沿ったひび割れ箇所を調査する。
- 未充填箇所が確認された場合、未充填長さの測定調査は、フレキシブル細鋼線を用いて概略の長さを測定する。

3.3 PCグラウト充填度調査方法および対策検討フロー

出所:プレストレストコンクリート工学会 第21回論文集(2012年10月)

「PCグラウトに関する非破壊調査システムの開発」に加筆

(株)国際建設技術研究所 川谷 泰山 他

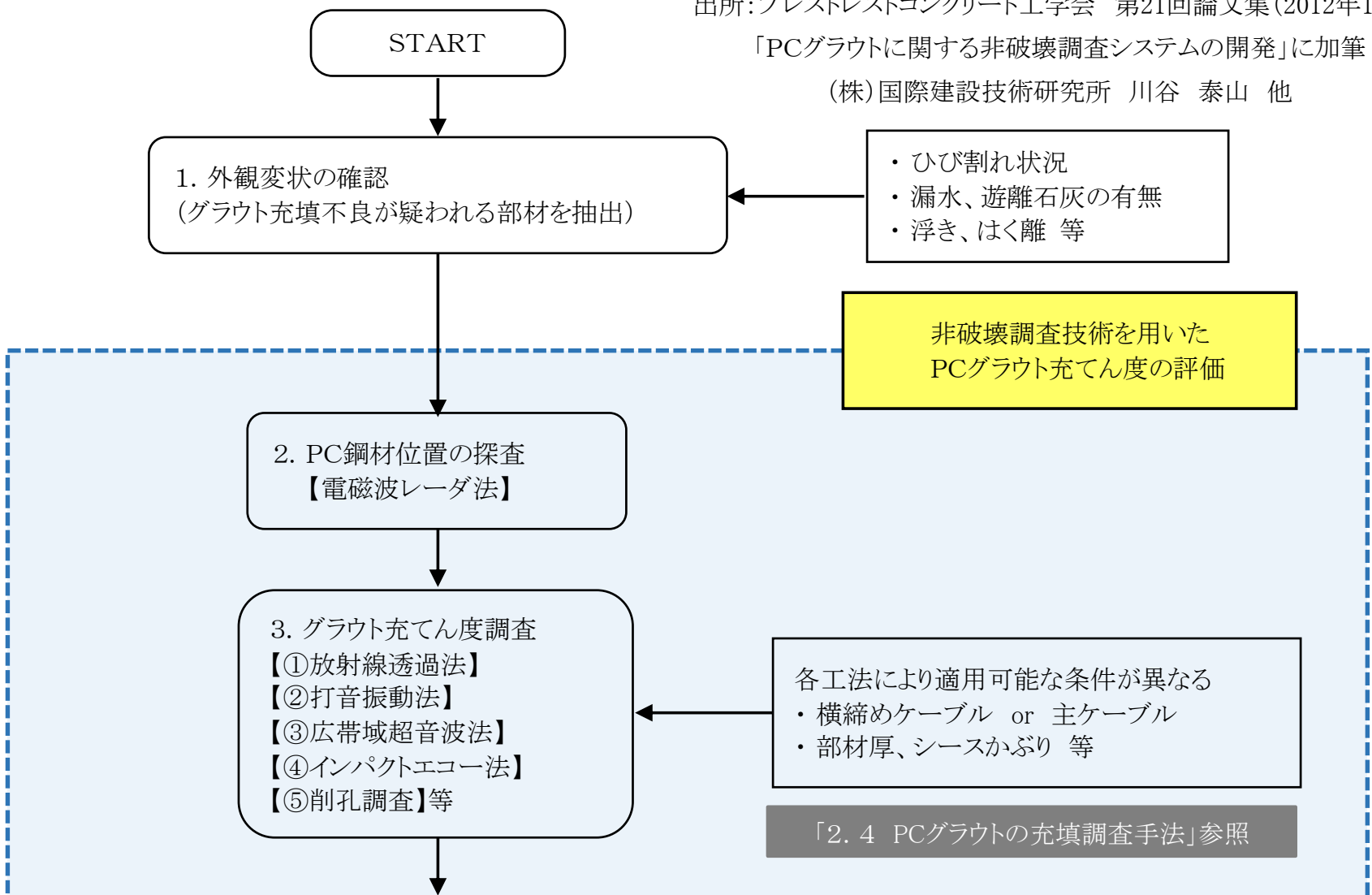
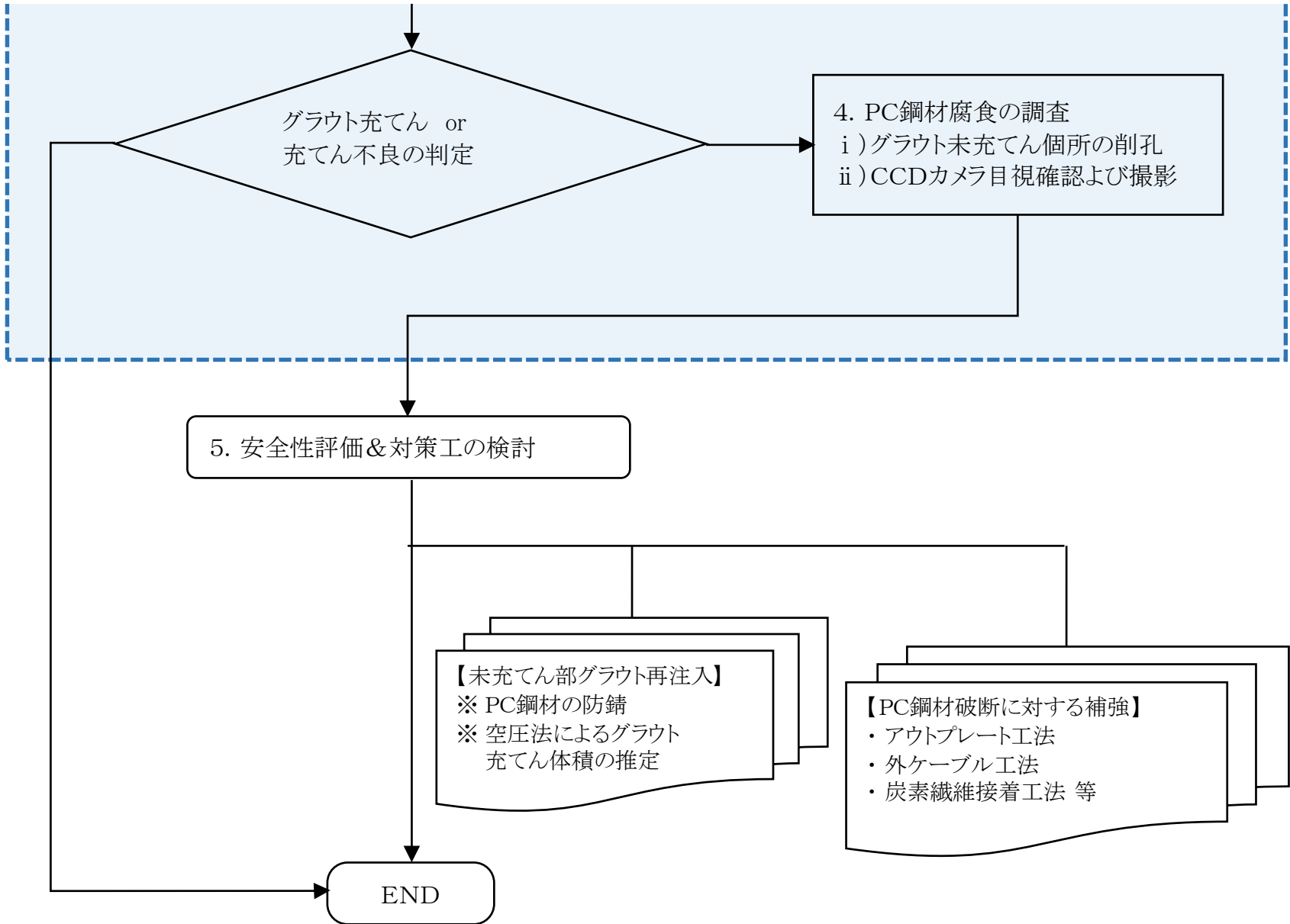


図1. 2-1 PCグラウト充填度調査方法および対策検討フロー

3.3 PCグラウト充填度調査方法および対策検討フロー



3.4 調査箇所を選定

➤ 形状寸法図

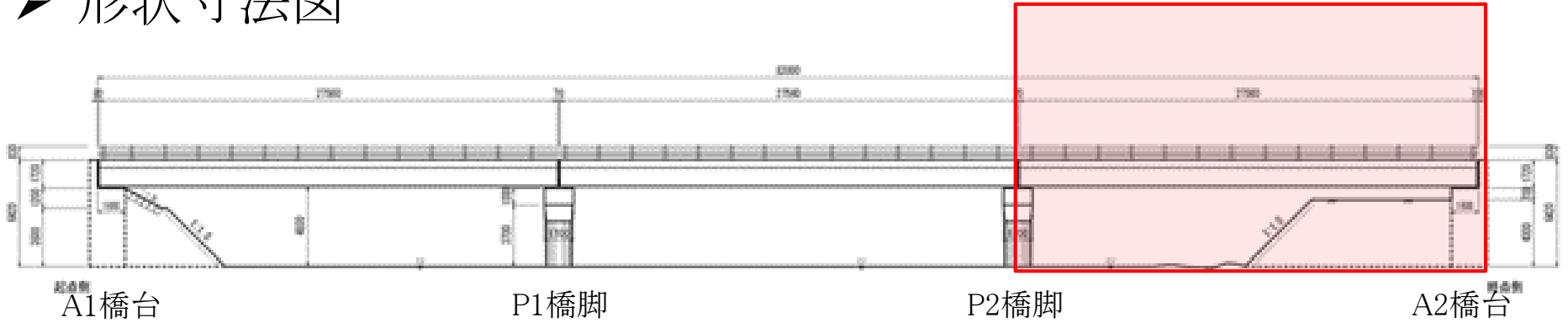


図2.2.1 一般側面図

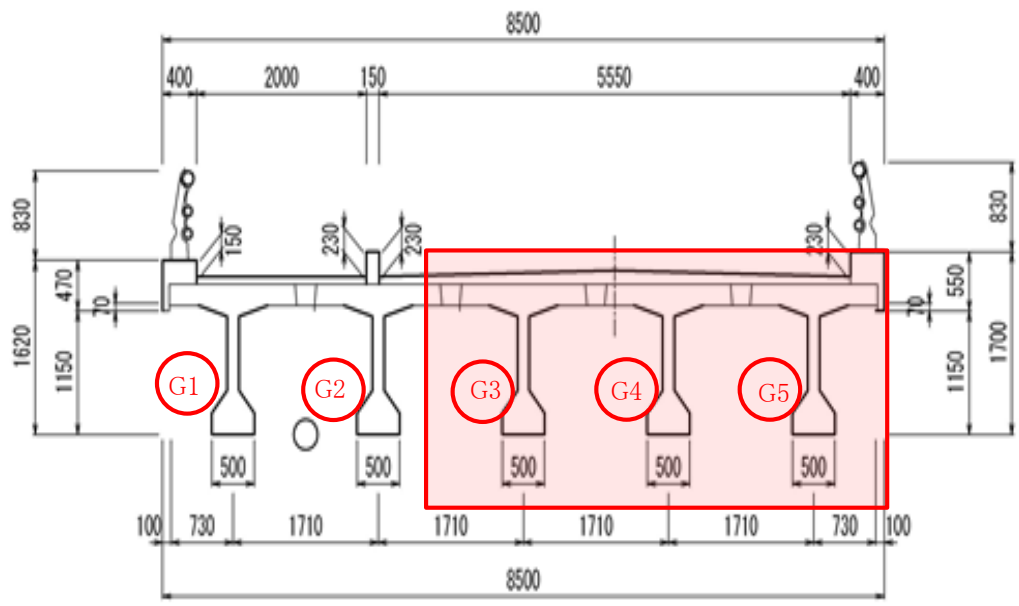
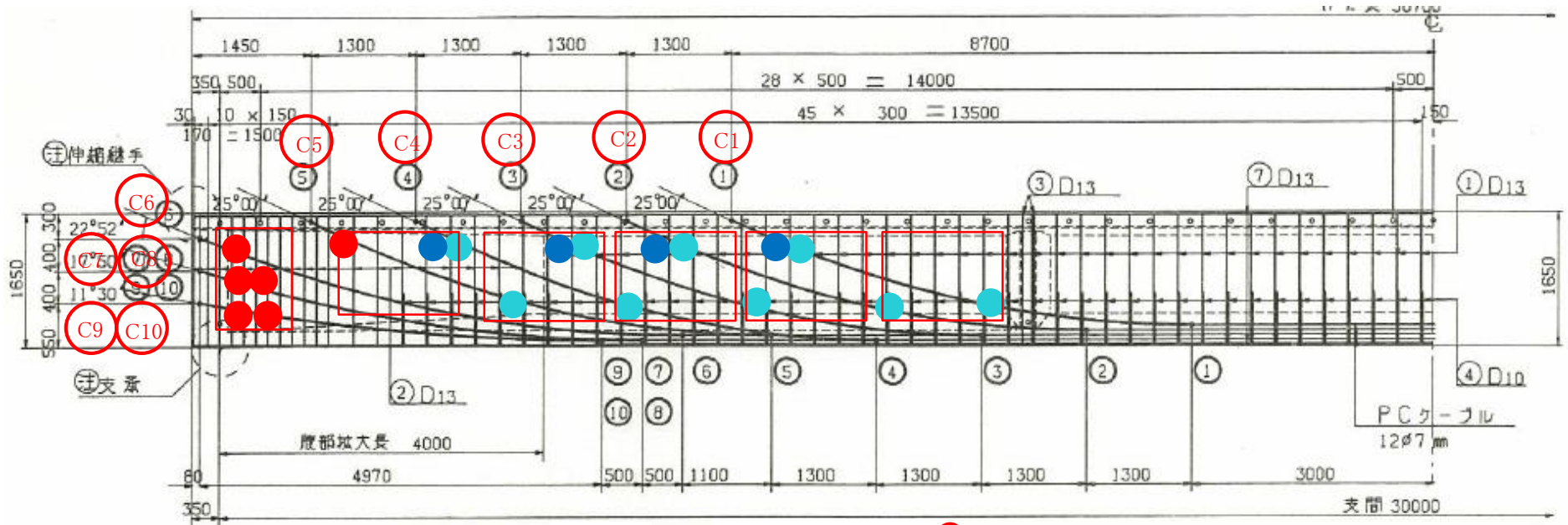


図2.2.2 標準断面図

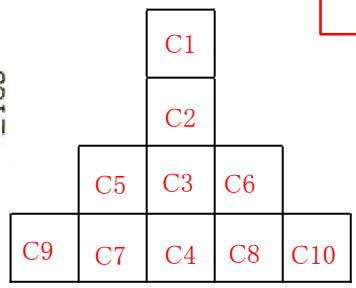
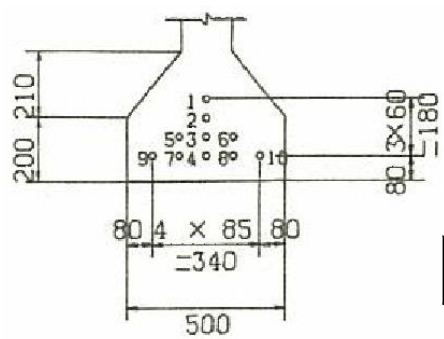
- ### 調査箇所を選定理由
- ① 径間長の1/3程度は橋梁点検車なしで河川から調査可能となる。
 - ② G3・G・G5桁は、比較的健全な桁、中程度の損傷、重度の損傷など損傷のばらつきがあり、全橋の傾向が把握できる。
 - ③ 橋梁点検車の作業半径を考慮すると車道側の桁を点検することが効率的となる。
 - ④ 河床からの点検可能範囲があるため、片側交互通行の車両規制時間が短縮され、地域住民への負担が軽減する。

3.4 調査箇所を選定

側面図 Not to scale



PC鋼線位置図 Not to scale



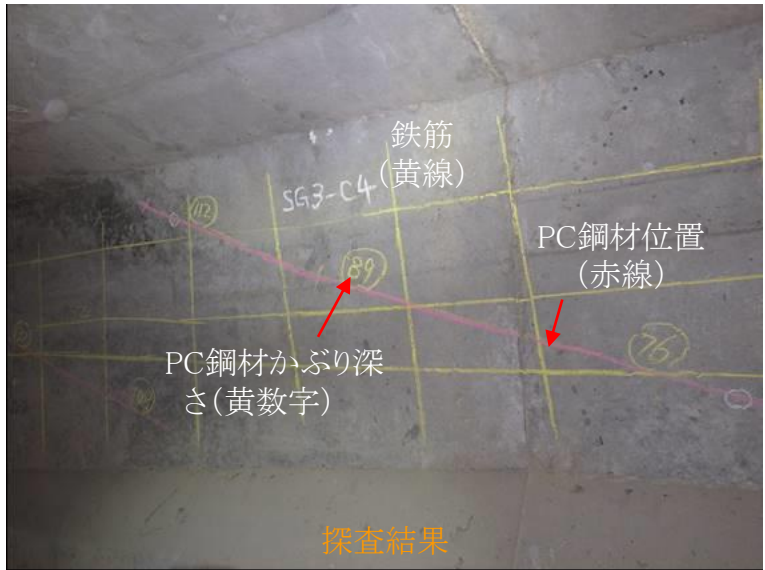
- 凡例
- IE法調査箇所
 - 削孔+CCDカメラ調査位置、桁端定着部のケーブルは、両側から行う。
 - IE法で充填不良の疑いありと判定されたものが対象 40%程度を想定した。
 - 電磁波レーダによる鋼材位置探査

調査箇所を選定理由

- かぶりの大きい場合、あるいは極端に小さい場合は検出精度が劣るため、一般には、【空隙の大きさ】／【空隙までの深さ】が0.25程度（シース径の4倍程度）までが適用範囲とされていることを考慮して選定した。

※ PC鋼線の配置は、建設省 標準図より推定

3.5 電磁波レーダ法によるPC鋼材・鉄筋位置探査

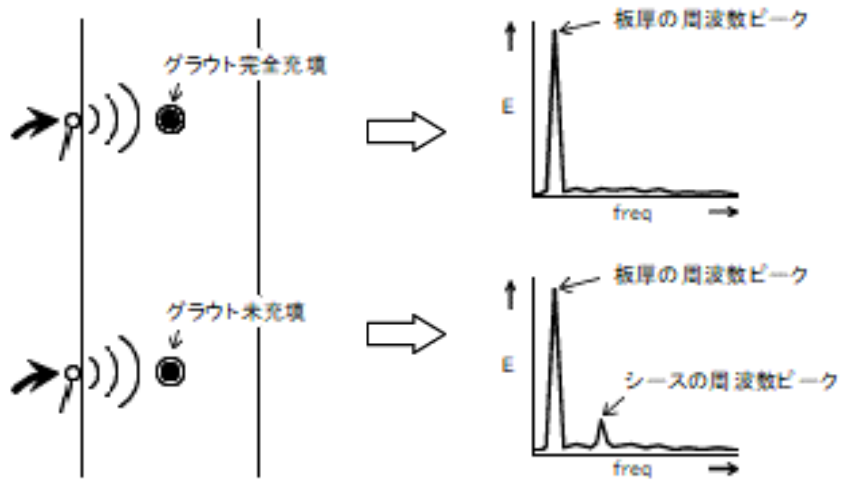


3.6 インパクトエコー法によるグラウト充填状況調査

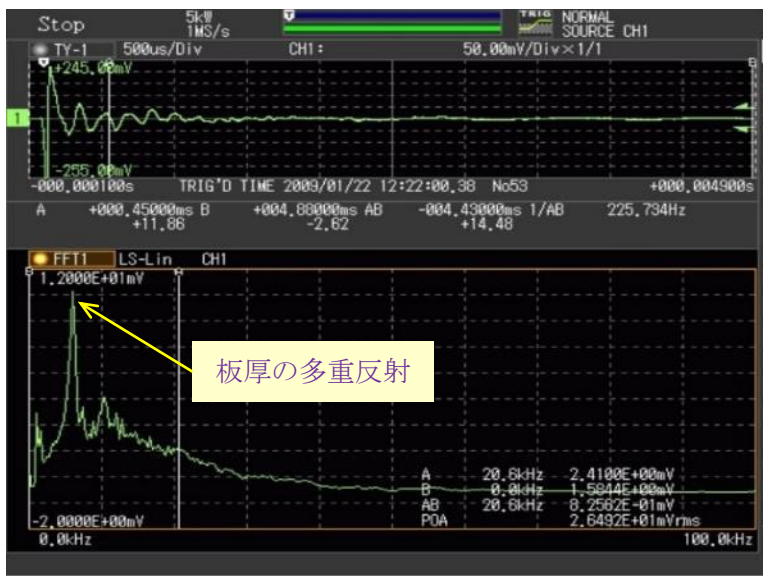
☞ グラウト充填状況調査[インパクトエコー法]

- インパクトエコー法は、躯体表面を打撃して入力した弾性波がシー ス表面と躯体表面の間で多重反射する現象を測定する手法である。
- シース内にグラウトが充填されている場合、表面から到達した弾性 波がグラウトを介してシースを通り抜けていくが、グラウトがない場 合はシース内の空気層との界面で弾性波が反射される。シースか ら反射された弾性波は、躯体表面でまたシース方向に反射されて、 これを何度も繰り返す多重反射の現象が現れる。

3.6 インパクトエコー法によるグラウト充填状況調査



グラウト充填度と受信波の周波数スペクトル



測定波形例(かぶり110mm)

3.6 インパクトエコー法によるグラウト充填状況調査



インパクトエコー法の測定状況



インパクトエコー法の測定状況(センサとインパクト)



インパクトエコー法の測定状況(波形収録機)



電磁波レーダによる鋼材位置探査



インパクトエコー法の測定状況



コンクリート削孔



シーす開削

3.7 インパクトエコー法によるグラウト充填度の判定

☞ インパクトエコー法によるグラウト充填度の判定

- 充填度の判定:表1. 3.1の4段階(○:充填、×:充填不良、△:充填不良の可能性あり、※:判定困難)の基準

☞ 留意点

- インパクトエコー法では、コンクリート打設時の締め固め不足などによりシース表面とコンクリートにわずかな空隙(肌すき)が生じていると、そこで生じるエコーの影響でシース内にグラウトが充填されていても充填不良と判定する場合もある。
- ☞ インパクトエコー法による判定と実際のグラウト充填度の関係を表1. 3.2に示す。

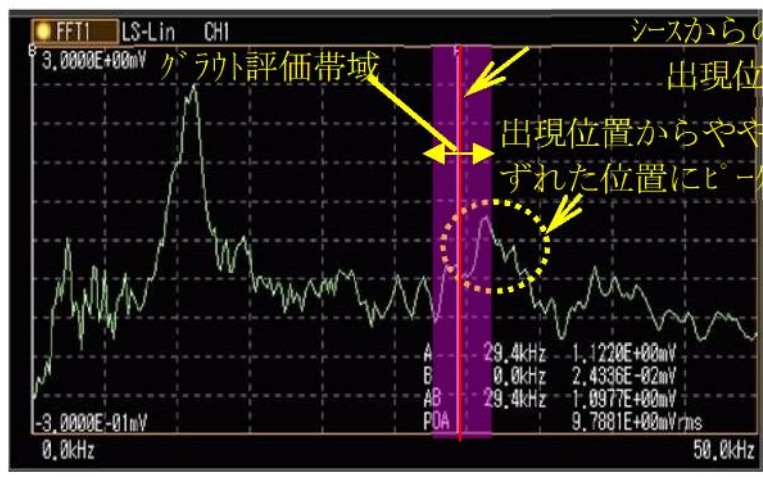
3. 7 インパクトエコー法によるグラウト充填度の判定

表1. 3.1 インパクトエコー法によるグラウト充填度の判定

評価	周波数分布の特徴	備考
○ 充填	<p>部材厚のエコー</p> <p>シースからのエコー出現位置</p> <p>グラウト評価帯域</p> <p>FFT1 LS-Lin CH1 1.9000E+01mV 24.6kHz 3.0752E+00mV 0.0kHz 1.4694E-01mV AB 24.6kHz 2.9288E+00mV POA 4.2622E+01mVrms 50.0kHz</p>	<p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 部材厚位置でピークがある。 グラウト評価帯域に明瞭な<u>ピークがない</u>。
× 充填不良	<p>シースからのエコー出現位置</p> <p>グラウト評価帯域</p> <p>エコーの出現位置にピークが出現</p> <p>FFT1 LS-Lin CH1 9.0000E+00mV 13.6kHz 2.9152E+00mV 0.0kHz 4.5354E-01mV AB 13.6kHz 2.4818E+00mV POA 1.7954E+01mVrms 50.0kHz</p>	<p>特徴</p> <ul style="list-style-type: none"> 部材厚位置でピークがある。 エコー出現位置に、<u>明瞭なピークが認められる</u>。

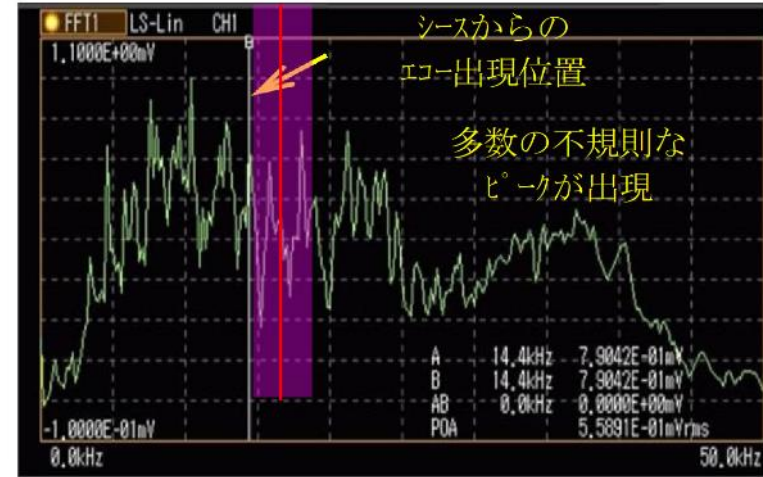
3.7 インパクトエコー法によるグラウト充填度の判定

△
充填不良の可能性あり



- 特徴
- エコー出現位置からずれているがグラウト評価帯域内に明瞭なピークが認められる。
- 要因
- ひび割れの影響
 - シース、鉄筋の周囲等にコンクリートの内部に欠陥（豆板や空隙など）があり反射源が存在する場合
 - かぶり深さ測定の見誤差



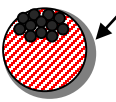
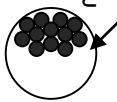

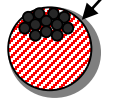
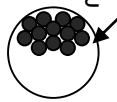
※
判定困難



- 特徴
- ピークが多数見られ判定ができない。
- 要因
- ひび割れの影響
 - 隅角部や断面形状が急激に変化している箇所（上下フランジ、横桁）の影響

3.7 インパクトエコー法によるグラウト充填度の判定

表1.3.2 インパクトエコー法による判定とグラウト充填度

インパクトエコー法の判定	実際のグラウト充填状況	
○ 充填	<p>上縁のごくわずかな空隙</p> 	<ul style="list-style-type: none"> グラウトが完全に充填されている。 または断面のほとんどの部分にグラウトが充填されている。
× 充填不良		<ul style="list-style-type: none"> グラウトが未充填または充填不良 ただし、下記も充填不良と判定される場合がある。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>シース外面と コンクリートの肌すき</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>グラウトの収縮による シース内面とグラウトの肌すき</p>  </div> </div>
△ 充填不良の可能性あり		<ul style="list-style-type: none"> グラウトが未充填または充填不良 ただし、下記も充填不良の可能性ありと判定される場合がある。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>シース外面と コンクリートの肌すき</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>グラウトの収縮による シース内面とグラウトの肌すき</p>  </div> </div>
※ 判定困難	—	<ul style="list-style-type: none"> シースのかぶりが深すぎる、または浅すぎるためエコーの有無を判別できない。 ひび割れや隅角部、並行ケーブルなどからの反射波や回析波の影響で有意な波形が得られない。 表面劣化などの影響で適切な弾性波が入力できない。

3.8 微破壊検査とCCDカメラ

☞ グラウト充填状況およびPC鋼材の腐食状況の調査

- インパクトエコー法でグラウト充填不良が疑われるケーブルやインパクトエコー法が適用できないケーブルについては、シースをドリル削孔で開削し、CCDカメラを孔内に挿入してグラウトの充填状況および鋼材の腐食状況を調査する。

☞ 調査要領

- 鋼材探査で桁に明示した主ケーブルの位置の真上をハンマードリルで削孔し、露出させたシースを慎重に開削したのち、シース内にCCDカメラを挿入して内部の状況を観察および写真撮影する。
- 削孔作業は、電動ドリル(削孔径 Φ 25mm)でPC鋼材を傷つけないように、電磁波レーダで測定したケーブルのかぶりを目安に手前でドリルを止め、そこからはマグネットロッドなどでシースの位置を探りながら慎重に削孔を進める。

3.8 微破壊検査とCCDカメラ

- 充填不良が確認されたケーブルについては、充填不良区間を予測するために削孔穴からワイヤーを挿入し長さを調査する。
- 調査後は、各削孔箇所を無収縮モルタルで復旧する。なお、充填不良のあった箇所については、腐食雰囲気緩和する錠剤を孔内に投入したのちに埋め戻す。



削孔用ハンマドリル



メタルセンサリール



CCDカメラ(工業用ビデオスコープ)

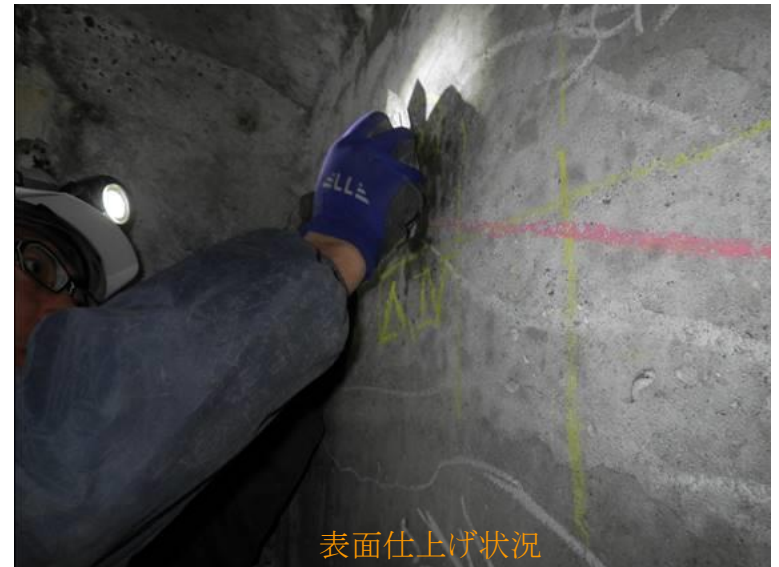
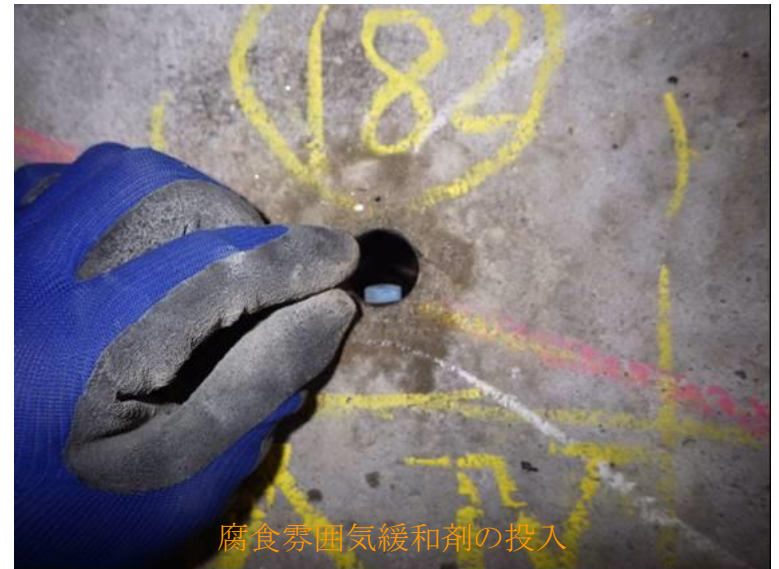
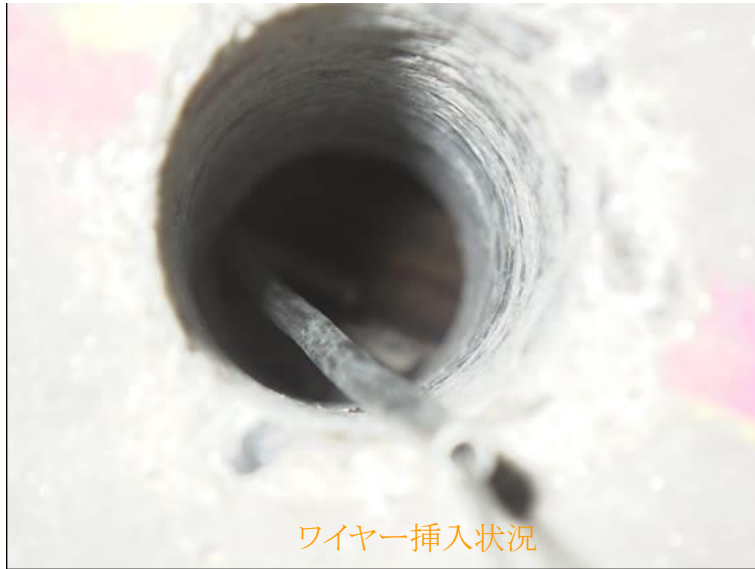
3.8 微破壊検査とCCDカメラ



3.8 微破壊検査とCCDカメラ



3.8 微破壊検査とCCDカメラ





4. 調査結果および補修計画

4.1 未充填箇所割合

- ▶ グラウトの未充填調査を行った結果、下表のように調査箇所数59箇所中7か所の未充填箇所が確認された。これは全ケーブルの12%にあたる。

表1.1 各ケーブルのグラウト充填状況調査結果総括

径間	桁番号	調査箇所数	グラウト充填状況				備考
			充填	充填不良 (空隙小)	充填不良 (空隙大)	未充填	
P1-P2	G2、G3	3	2	0	1	0	
P2-A2	G1	2	2	0	0	0	
	G3	18	17	0	1	0	
	G4	18	15	1	2	0	
	G5	18	16	0	2	0	
計		59	52	1	6	0	
充填不良率				(1+6)/59=11.8%			

4.2 補修計画(グラウト充填不良)に関する基本方針

◇ グラウト充填不良に関する基本方針

- グラウト未充填が判明したことにより、シース内のPC鋼材が腐食される環境にあることが考えられる。そこで、PC鋼材の腐食に対する基本方針を以下に示す。

目 的		対 策
i	PC鋼材の劣化の進行を止める。	<ul style="list-style-type: none">腐食しているPC鋼材の表面に不動態被膜を再生し腐食の進行を止める。グラウト内に浸透している塩化物イオンによる再劣化対策を講じる。
ii	PC鋼材が破断した場合に備える。	<ul style="list-style-type: none">シース内にグラウトを充填しPC鋼材と主桁コンクリートとの付着を図り、PC鋼材が破断した場合の路面への飛び出しやプレストレスが解放されないように備える。
iii	橋面上縁定着部からの劣化因子の進入を阻止する。	<ul style="list-style-type: none">防水層の敷設および浮きが生じている上縁定着部の後打ちコンクリートはこれを撤去し再構築する。

4.3 グラウト再充填工法の選定

▶ PCグラウトの再注入工法

種 別	団 体	特 色
真空グラウトポンプによる方法	NEXCO、PC建協	<ul style="list-style-type: none">真空ポンプを用いた場合には、空間の圧力が下がることから補修工事においてグラウトの未充填が生じた場合には、その空間は真空率の割合だけ縮小すると考えられる。
排気口を設け片側からグラウトを注入する工法	鉄道総研	<ul style="list-style-type: none">排気口を用いてグラウトを注入する方式では、排気口より上部側にはグラウトは注入されない。また未充填の空間が狭い場合には、排気管の施工が困難である。

▶ これらを改善したグラウトの再充填工法の比較を次ページに示す。


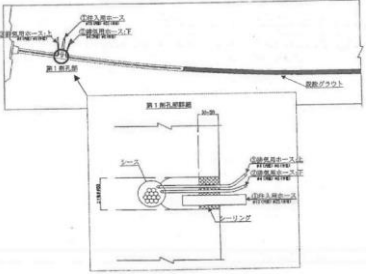
4.3 グラウト再充填工法の選定

➤ PCグラウトの再注入工法

種 別	団 体	特 色
真空グラウトポンプによる方法	NEXCO、PC建協	<ul style="list-style-type: none">真空ポンプを用いた場合には、空間の圧力が下がることから補修工事においてグラウトの未充填が生じた場合には、その空間は真空率の割合だけ縮小すると考えられる。
排気口を設け片側からグラウトを注入する工法	鉄道総研	<ul style="list-style-type: none">排気口を用いてグラウトを注入する方式では、排気口より上部側にはグラウトは注入されない。また未充填の空間が狭い場合には、排気管の施工が困難である。

➤ これらを改善したグラウトの再充填工法の参考比較を次ページに示す。

4.4 グラウト再注入工法 参考比較表(1案・2案)

		1案	2案
工法名		PC-Rev工法	グラウト再注入工法(従来工法)
開発会社		中日本高速技術マーケティング、オリエンタル白石	鉄道総研マニュアル
NETIS番号		KT-180080-A	—
工法概要		PCグラウト充填不足部を補修する工法で、従来はグラウト再注入工法で対応していた。本技術の活用により、僅か15.5mm径の削孔だけで補修処理を完結でき、また精度の良い空洞量推定を併用することで適切な注入量管理ができ、高い施工品質を確保できる。	グラウト充填不足部に調査孔を削孔し、シース内の状況確認をした後、注入孔を削孔し、注入準備を行う。検測尺により空洞を推定した後、PCグラウトを注入して、後処理を行う。
概略図			
経済性 (NETIS登録価格)	直工額	867,500円/10箇所 (19.9%低下)	830,000円/10箇所
	比率	1.06	1.00
評価		△	—
工期・工程 (NETIS登録工期)	日数	3日/10箇所	3日/10箇所
	比率	1.00	1.00
評価		○	○
現場条件		<ul style="list-style-type: none"> ・注入孔からの離隔90cm以上確保できること。 ・作業スペース(材料置場、機材置場を含む)が7m²以上あること。 ・足場上に真空グラウトポンプを置く必要がある。ポンプ質量 250から50kg 	<ul style="list-style-type: none"> ・PCグラウト充填不足部にφ80mm程度のコア孔を削孔できること。
評価		△	△
施工性	調査削孔	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔径φ15.5mmを真空固定式回転ドリルで削孔。 ・負荷電流と鉄粉センサでシース検知。 ・極小径で回転式削孔のため、構造物への負荷が少なく、直進性も高い。 ・二重のシース検知システムで、ドリルを制御。 	<ul style="list-style-type: none"> ・削孔径φ25mmをハンマドリルで削孔。 ・ドリルコントローラでシース検知。 ・市販工具のため、扱いが容易。 ・削孔寸法や打撃による構造物への影響が懸念される。
	評価	◎	△

4.4 グラウト再注入工法 参考比較表(1案・2案)

工法名		1案	2案
開発会社		PC-Rev工法	グラウト再注入工法(従来工法)
施工性	シース開削	<ul style="list-style-type: none"> ・手動回転式の専用治具で、削孔外径に沿ってシースを開削。 ・PC鋼材の損傷を回避。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバーとハンマでシースをこじ開ける ・PC鋼材に損傷を与えないように、細心の注意が必要。
	評価	◎	△
	本削孔	<ul style="list-style-type: none"> ・調査孔を兼用できるため、不要 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバーとハンマでシースをこじ開ける ・PC鋼材に損傷を与えないように、細心の注意が必要。
	評価	◎	△
	空洞量推定	<ul style="list-style-type: none"> ・真空法による空洞推定法。 ・推定精度が高い(約20%)。 ・漏気が激しい場合は、補修が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・検測尺による空洞長測定。 ・推定精度はバラツキが大きい(約110%)。 ・検測尺の挿入可能な空洞断面を測定。
	評価	◎	△
	注入準備	<ul style="list-style-type: none"> ・専用のバッカー式注入口。ボルトを回転させるだけで固定。 ・必要な耐圧性能を保有し、施工性も良好。 	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ホースの挿入が必要 ・エポキシ樹脂系シーリング材でパイプ、ホースを固定。
	評価	◎	○
	PCグラウト再注入	<ul style="list-style-type: none"> ・真空ポンプ+小型スネークポンプ ・無脈動で閉塞リスクが低い。真空のため充填性が良い。 ・スネークポンプの解体清掃が煩雑。 	<ul style="list-style-type: none"> ・手押しポンプを使用。操作が簡便。 ・脈動による閉塞リスクがある。 ・注入量が数リットル程度の少ないものに適用。
評価	○	△	
注入材料	通常環境	<ul style="list-style-type: none"> ・超微粒子系セメントを用いた超低粘性グラウト ・充填性に優れる。可使時間が長い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・低粘性グラウト ・経済性に優れる。
	評価	◎	◎
	塩害環境	<ul style="list-style-type: none"> ・超微粒子系セメントを用いた超低粘性グラウト+カルシウムアルミネート ・塩化物イオンを固定化する。充填性に優れる。可使時間が長い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩害イオンに対する抑制効果がない。
評価	◎	×	
総評	<ul style="list-style-type: none"> ・施工実績:13件 ・極小削孔径で施工できることにより、既設構造物への影響を軽減でき、施工性も向上することから、工期短縮も可能となる。 ・真空法により精度良く空洞量を推定でき、再注入量の充填度管理ができる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工実績は多い。 ・新設のPCグラウトを踏襲している。 ・空洞量を精度良く推定できないため、再注入量の管理ができない。 	
総合評価	◎: 今回の調査結果によって判明した内在塩分によるPC鋼材およびシース管の腐食を抑制できるとともに、3案、4案より経済性で優位であるため推奨案とする。	×: 使用材料が内在塩分によるPC鋼材およびシース管の腐食に対応していない。また、削孔径が大きく、部材への影響度が大きい。	

4.5 グラウト再注入工法 参考比較表(3案・4案)

		3案	4案									
工法名		リパッシブ工法	KKグラウト注入工法									
開発会社		ピーエス三菱、神戸大学	川田建設株式会社、キレスト株式会社、中部キレスト株式会社									
NETIS番号		KT-120108-A	KT-180107-A									
工法概要		PCグラウト充てん不足部を亜硝酸リチウムを用いて補修する工法で、本技術の活用により、腐食したPC鋼材が再不動態化されるため、品質と耐久性が向上する。	空洞部へのKK防錆剤圧入による防錆処理に変えたことにより、シース内に空洞が残存する場合でもPC鋼材の腐食を抑制するため、既設PC構造物の耐久性が向上する。また、防錆剤を混入したKKグラウト注入に変えたことにより、残留塩分に起因するマクロセル腐食を抑制するため、既設PC構造物の耐久性が向上する。									
概略図		<p>腐食抑制メカニズム</p> <ol style="list-style-type: none"> 水溶液中のO_2が鋼面に到達 鋼層内のO_2が溶液中に移動 鋼層内O_2量が$[O_2] < [O_2]_{crit}$へ変化 腐食した鋼材表面が再不動態化 	<table border="1"> <thead> <tr> <th>部位</th> <th>空洞部</th> <th>既存グラウトとの境界部</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>想定される劣化</td> <td>空洞部に水が供給され、PC鋼材の露出部で腐食が生じる。</td> <td>塩分を含む既存グラウトと再グラウトとの境界部でマクロセル腐食が生じる。</td> </tr> <tr> <td>補修方法</td> <td>空洞部に粉末状の防錆剤を圧入する 対象：空洞部の空間</td> <td>防錆剤を混入したグラウトを注入する 対象：グラウト材料</td> </tr> </tbody> </table>	部位	空洞部	既存グラウトとの境界部	想定される劣化	空洞部に水が供給され、PC鋼材の露出部で腐食が生じる。	塩分を含む既存グラウトと再グラウトとの境界部でマクロセル腐食が生じる。	補修方法	空洞部に粉末状の防錆剤を圧入する 対象：空洞部の空間	防錆剤を混入したグラウトを注入する 対象：グラウト材料
部位	空洞部	既存グラウトとの境界部										
想定される劣化	空洞部に水が供給され、PC鋼材の露出部で腐食が生じる。	塩分を含む既存グラウトと再グラウトとの境界部でマクロセル腐食が生じる。										
補修方法	空洞部に粉末状の防錆剤を圧入する 対象：空洞部の空間	防錆剤を混入したグラウトを注入する 対象：グラウト材料										
経済性 (NETIS登録価格)	直工額	1,780,000円/10箇所 (114.46%低下)	1,400,000円/10箇所 (68.67%低下)									
	比率	2.14	1.69									
評価		×	×									
工期・工程 (NETIS登録工期)	日数	5日/10箇所 (66.67%増加)	5日/10箇所 (66.67%増加)									
	比率	1.67	1.67									
評価		×	×									
現場条件		<ul style="list-style-type: none"> 注入孔からの離隔50cmまで近接できること。 作業スペース(材料置場、機材置場を含む)が10m²以上あること。 	<ul style="list-style-type: none"> 作業スペース(主桁間の空間60cm程度以上)が確保できること。 作業スペース(主桁間の空間60cm程度以上)が確保できること。 現場においては、グラウト作業管理者を選任し、必ず配置させること。 									
評価		△	△									
施工性	調査削孔	<ul style="list-style-type: none"> 削孔径φ25mmをハンマドリルで削孔。 ドリルコントローラでシース検知。 市販工具のため、扱いが容易。 削孔寸法や打撃による構造物への影響が懸念される。 	<ul style="list-style-type: none"> コンクリートドリル等を用い、空洞部のできるだけ両端部に削孔する。 ドリルコントローラでシース検知。 市販工具のため、扱いが容易。 削孔寸法や打撃による構造物への影響が懸念される。 									
	評価	△	△									

4.5 グラウト再注入工法 参考比較表(3案・4案)

		3案	4案
工法名		リパッシブ工法	KKグラウト注入工法
開発会社		ピーエス三菱、神戸大学	川田建設株式会社、キレスト株式会社、中部キレスト株式会社
施工性	シーす開削	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバーとハンマでシーすをこじ開ける ・PC鋼材に損傷を与えないように、細心の注意が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバーとハンマでシーすをこじ開ける ・PC鋼材に損傷を与えないように、細心の注意が必要。
	評価	△	△
	本削孔	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバーとハンマでシーすをこじ開ける ・PC鋼材に損傷を与えないように、細心の注意が必要。 	<ul style="list-style-type: none"> ・ドライバーとハンマでシーすをこじ開ける ・PC鋼材に損傷を与えないように、細心の注意が必要。
	評価	△	△
	空洞量推定	<ul style="list-style-type: none"> ・検測尺による空洞長測定。 ・推定精度はバラツキが大きい(約110%)。 ・検測尺の挿入可能な空洞断面を測定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・検測尺による空洞長測定。 ・推定精度はバラツキが大きい(約110%)。 ・検測尺の挿入可能な空洞断面を測定。
	評価	△	△
	注入準備	<ul style="list-style-type: none"> ・排気ホースの挿入が必要 ・エポキシ樹脂系シーリング材で注入キャップを固定。 	<ul style="list-style-type: none"> ・一つの空洞部に対し注入口と排出口をそれぞれ一か所ずつ設ける2穴式とし、通気が確認できる場合
	評価	○	○
注入材料	PCグラウト再注入	<ul style="list-style-type: none"> ・ベッセル管(自然流下方式) ・長時間の低圧注入。 ・管の設置、処理が煩雑。 	<ul style="list-style-type: none"> ・グラウトポンプを用いグラウトを注入する。 ・グラウトが排出口より排出することを確認し、注入・排出口を閉める。 ・管の設置、処理が煩雑。
	評価	○	○
	通常環境	<ul style="list-style-type: none"> ・高流動低粘性グラウト ・可使時間が長い。 	<ul style="list-style-type: none"> ・空洞部に粉末状のKK防錆剤を圧入することで、PC鋼材を防錆する。
評価	○	○	
塩害環境	<ul style="list-style-type: none"> ・亜硝酸Li水溶液による浸漬+亜硝酸Li添加補修材 ・速効性のある防食効果。 ・亜硝酸のコスト高。 	<ul style="list-style-type: none"> ・既存グラウト部に多量の塩分が含有する場合は、防錆剤を混入したKKグラウトを注入することで、マクロセル腐食を抑制する。 ・鋼材の腐食状況によって使用材料が異なる。 	
	評価	◎	○
総評	<ul style="list-style-type: none"> ・施工実績: 51件 ・経済的で、特許料が計上されていないと思われる。 ・亜硝酸リチウム水溶液注入工を実施し、速効性のある防食効果が期待できる。 	<ul style="list-style-type: none"> ・施工実績: 一件 ・経済的で、特許料が計上されていないと思われる。 ・KKグラウトの成分が不明である。 	
総合評価	○: 今回の調査結果によって判明した内在塩分によるPC鋼材およびシーす管の腐食を抑制できるが、1案より経済性に関して劣る。また、削孔径が大きく、部材への影響度が大きい。	○: 今回の調査結果によって判明した内在塩分によるPC鋼材およびシーす管の腐食を抑制できるが、1案より経済性に関して劣る。また、施工実績および使用材料の成分が不明である。	

※ 以上の比較表から部材への損傷程度が少ないPC-Rev工法を選定した。

おわりに

- 今回の調査は、経済性の観点から、グラウト調査箇所を少なく選別して、全体の未充填箇所を推測する手法を採り入れた。今後の課題として、その妥当性の検証を行わなければならないと考えている。
- また、今回のPC構造物の補修設計を行うについて、初期欠陥を持った構造物の耐久性がいかに損なわれているかを目の当たりにした。
- 次の言葉を紹介して発表を終わります。

「良いコンクリートもセメント、水及び骨材を練り混ぜたものであり、悪いコンクリートもセメント、水及び骨材を練り混ぜたものである。

両者の差は、コンクリートについての知識と施工についての正直・親切の程度の差からおこるものである。

よって、「良いコンクリートを作るには、セメント、水及び骨材のほかに、知識と正直・親切を加えなければならない。」ことになる。

吉田徳次郎博士:土木学会誌の第39 巻第12 号(昭和29 年12 月)より引用



ご清聴有難うございました。



株式会社 異設計コンサルタント

〒743-0023

山口県光市光ヶ丘5番1号

TEL 0833-71-0112 FAX 0833-72-0333

<http://www.tatsumisekai.co.jp>