

PC グラウトの設計・施工および充てん検査について

— 第二東名高速道路 中一色川橋（下り線） —

青木 圭一*1・菅 浩一*2・落合 勝*3・齊藤 大輔*4

1. はじめに

プレストレストコンクリート橋（以下、PC橋）におけるグラウトは、PC鋼材との一体性を確保するとともに防錆効果としての役割を果たしている。このため、グラウトの確実な充てんは橋梁の耐久性上、非常に重要な要素である。

しかしながら、グラウトの充てん状況は、直接的に観察することができない。近年、中日本高速道路株式会社（旧日本道路公団）では、グラウト注入時や硬化後の充てん検査方法として、シーズ内にセンサを取り付けて充てん度を確認する方法¹⁾や非破壊検査による検討^{2) 3)}を行ってきた。その結果、グラウト充てん性の検査方法がほぼ確立され、

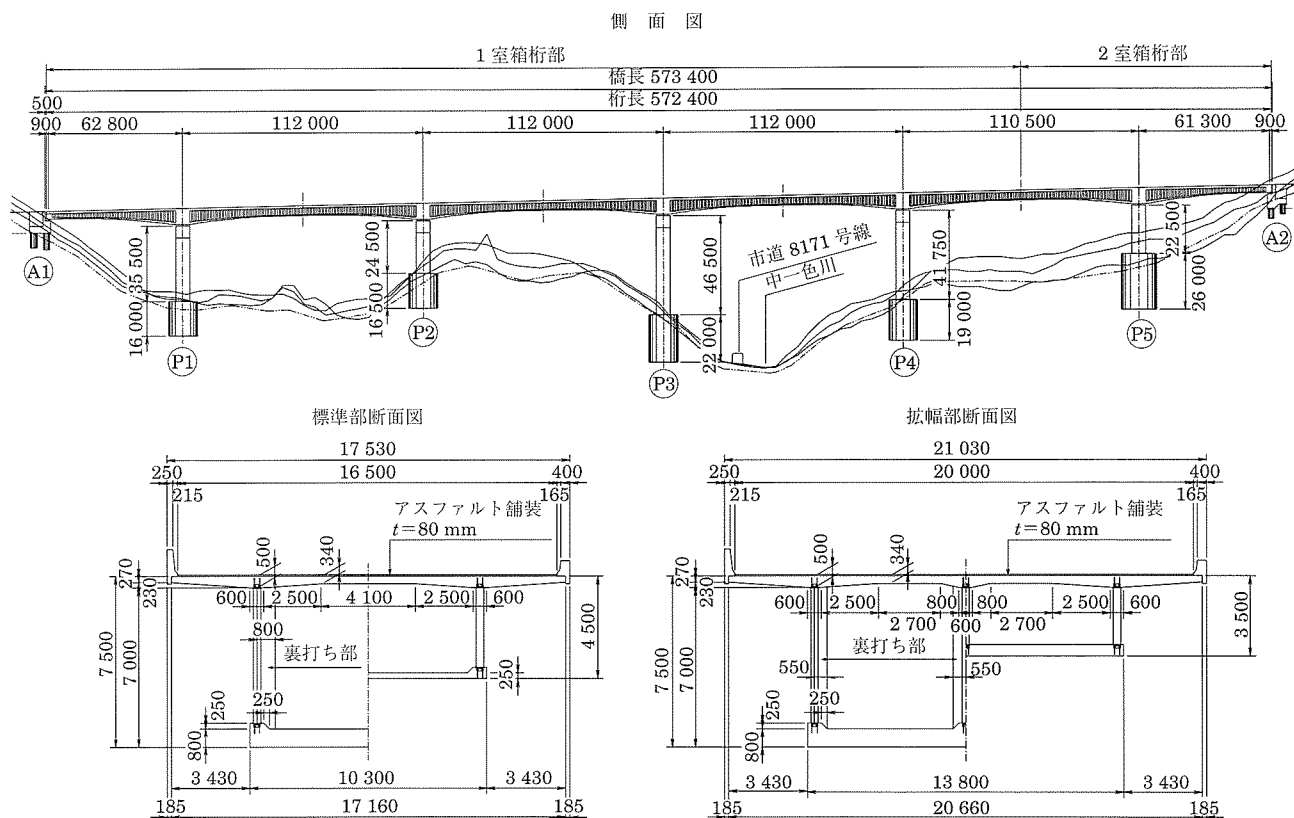


図 - 1 橋梁一般図



*1 Keiichi AOKI

中日本高速道路(株) 横浜支社
横浜技術事務所 技術指導第三
課 課長



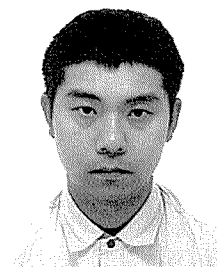
*2 Kouichi SUGA

中日本高速道路(株) 横浜支社
清水工事事務所 清水東工事区工
事長(現 中部地区支配人付豊川
管理事務所 工務担当課長)



*3 Masaru OCHIAI

オリエンタル建設(株) 東京支店
技術部 設計チーム



*4 Daisuke SAITOU

オリエンタル建設・日本高圧
コンクリート共同企業体

平成 16 年 4 月発行の構造物施工管理要領⁴⁾に規定された。

第二東名高速道路の中一色川橋（下り線）では、上記の施工管理要領に準じて、注入口のほか中間注入口を設け、注入作業の段階に応じて順次注入口を移動してグラウトを注入するステップバイステップ式注入方法や内部センサを用いたグラウト充てん検査を行っている。また、張出し施工終了後には、2種類の非破壊検査による内ケーブル PC グラウトの充てん確認検査を予定している。本稿では、これら PC グラウトの新技术を適用した、PC グラウトの設計、施工、品質管理に関する実施報告と、これから実施予定である非破壊試験による充てん検査の概要について述べるものである。

2. 橋梁概要

本橋は、第二東名高速道路の静岡県静岡市（旧清水市）に位置する橋長 573.4 m、最大支間 112.0 m の 6 径間連続波形鋼板ウェブ箱桁橋である。施工方法は、移動作業車を用いた張出し架設工法であり、架設ケーブルに内ケーブルを、完成ケーブルに外ケーブルを用いた内外併用方式を採用している。図 - 1 に本橋の橋梁一般図を示し、その概要を以下に示す。

工事名：第二東名高速道路 中一色川橋（PC 上部工）
下り線工事

発注者：中日本高速道路(株) 横浜支社 清水工事事務所
施工者：オリエンタル建設(株)

日本高圧コンクリート(株)
特定建設工事共同企業体

工事場所：静岡県静岡市清水区小河内

工期：H 15.11.27 ~ H 19.03

橋長：573.4 m

支間：62.8 m + 3@112.0 m + 110.5 m + 61.3 m

幅員：16.5 m ~ 20.0 m

線形：平面線形 $R = -4000$ $A = 1250$ $R = 3700$

縦断線形 $i = 1.992\% \sim 2.000\%$

平面図 (P1)

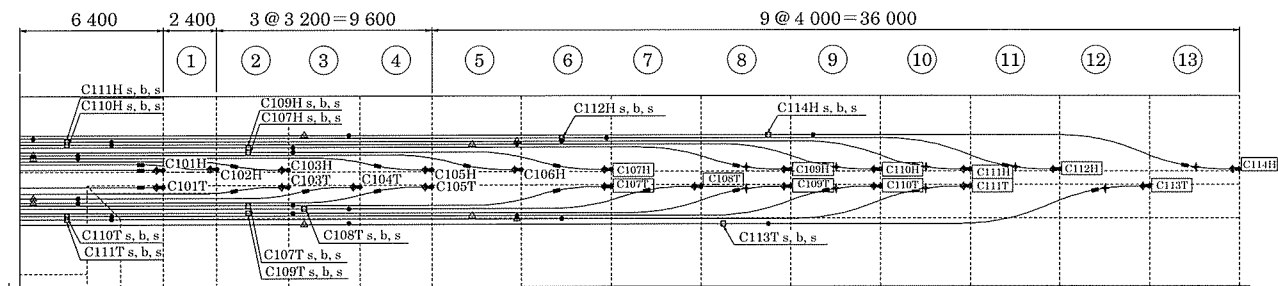


図 - 2 内ケーブル配置図

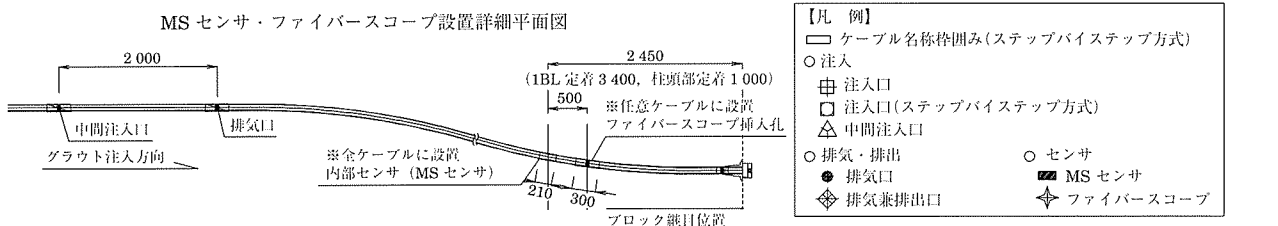


図 - 3 グラウト注入・排気・排出口配置図 (P 1)

横断線形 $i = -2.6496\% \sim 2.9975\%$

3. グラウト設計

3.1 設計概要

グラウトの設計は、シースへのグラウトの充てんを確保するとともに、適切な検査が行えるように施工の簡易性や確実性を考慮することが必要である。そのためには、ケーブル配置やグラウトの流動性および注入・排気・排出口の位置を適切に設定し、さらに内部センサを適切な位置に配置するとともに、非破壊検査可能なケーブル配置とすることが重要である。

3.2 内ケーブルの配置

内ケーブルの配置は、グラウト硬化後に行う非破壊検査の精度がケーブルの配置間隔や深さに影響を及ぼすため、図 - 2 に示すように上床版に 1 段配置とした。

使用するシースは、その空隙率がグラウト充てんに影響を与えるため、実験⁵⁾により充てん性が確認されている 12S15.2 に対応する内径 80 mm のものを使用した。なお、シースの材質は耐久性および打設時のつぶれ等を考慮して高密度ポリエチレンシースとした。

3.3 グラウト注入計画

グラウトの充てんを確実に進めるように、ポンプやグラウトホースに作用する圧力が制限値以内となるように、注入・排気・排出口の配置を行った（図 - 3）。ここで、グラウト注入時の圧力制限値は各ホースの最小破裂圧力に対し

4 倍の安全率を考慮し、ポンプホースで 2.0 MPa、グラウトホースで 0.6 MPa 以下に設定した。ケーブル長が長くグラウト注入時にこれらの圧力制限値を超える場合には、ステップバイステップ方式の注入方法を採用することとした。

グラウト注入時におけるグラウトホース、シースの注入流量と圧力損失の関係は、施工マニュアル⁶⁾や過去の実験から表 - 1 に示される値を用いた。ステップバイステップ

表 - 1 流量と圧力損失の関係

	内径 (mm)	注入流量 (ℓ/min)	m 当たりの圧力損失 (MPa/m)
ポンプホース	25.4	10	0.022
グラウトホース	19.0		0.059
シース	80.0		0.008

方式の中間注入口には、再注入時に連行される空気を排出するため中間注入口からグラウト注入方向の後方 2.0 m の位置に排気口を設けた (図 - 3 の左下図参照)。また、計算上ステップバイステップ方式が必要ない場合においても、不測のトラブル発生に備え、20 m 程度に一箇所中間注入口を設けるものとした。この場合も、ステップバイステップ方式と同様に注入方向の後方 2.0 m の位置に排気口を設けた。

表 - 2 に圧力損失の計算結果の一例を示す。これによると、C110H ケーブルは注入グラウトホースの注入圧力が制限圧力を超えている。このような制限圧力を越えるケーブルについては、ステップバイステップ方式を適用し再度注入圧力損失計算を行い、中間注入口を適切に配置することでグラウトの充てん性を確保できるグラウト注入計画とした。なお、注入確認を行うためのシース内に取り付けたセンサ (以下、MS センサ) およびファイバースコープの設置位置を図面に明記し、現場作業を確実にこなすように努めている。

4. グラウトの品質管理および施工

4.1 主要材料

本橋に用いた内ケーブルのグラウトに関する主要材料を表 - 3 に示す。

4.2 日常管理試験

日常管理試験におけるブリーディング率、体積変化率の測定は、従来のポリエチレン袋に替わり鉛直管を用いた管

表 - 3 グラウトに関する主要材料

		主桁架設ケーブル (縦締め内ケーブル)
P C 鋼材	PC 鋼材の呼び名	12S15.2
	PC 鋼材の記号	SWPR7BL
シ ース	鋼材断面図	1664.6 mm ²
	仕様	高密度ポリエチレンシース
	内径	80 mm
	外径	95 mm
グラ ウト ホ ース	空げき率	66.90 %
	呼称サイズ	19
	仕様	テロンブレードホース
グラ ウト	内径	19 mm
	外径	26 mm
	セメント	普通ポルトランドセメント
	混和剤	ノンブリージング型非膨張タイプ

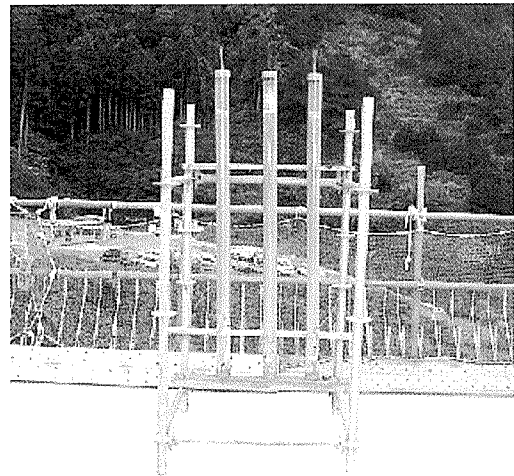


写真 - 1 鉛直管試験

表 - 4 品質管理試験結果

		測定値	規格値
水結合材比 (%)		43.0	45 以下
流動性 (秒)		16.5	14 ~ 23
ブリーディング率 (%)		0.00	0.3 以下
体積変化率 (%)		0.00	± 0.5 以内
塩化物 含有量 (kg/m ³)	水+セメント	0.058	0.30 以下
	混和剤	0.008	
	合計	0.066	

表 - 2 圧力損失の計算結果 (例)

ケーブル 番号	注入流量 (ℓ/min)	部材	内径 (mm)	部材長さ (m)	圧力損失 (MPa / m)	注入圧力 (MPa)		制限圧力 (MPa)	判定
						各部材	累計		
ステップ バイ ステップ	10	排出グラウトホース	19.0	2 000	0.059	0.118	0.118	≥ 0.6 < 2.0	NG
		シース	80.0	76 820	0.008	0.615	0.733		
		注入グラウトホース	19.0	2 000	0.059	0.118	0.851		
		ポンプホース	25.4	30 000	0.022	0.660	1.511		
ステップ	10	排出グラウトホース	19.0	2 000	0.059	0.118	0.118	< 0.6 < 2.0	OK
		シース	80.0	40 510	0.008	0.324	0.442		
		注入グラウトホース	19.0	2 000	0.059	0.118	0.560		
		ポンプホース	25.4	30 000	0.022	0.660	1.220		
ステップ	10	排出グラウトホース	19.0	2 000	0.059	0.118	0.118	< 0.6 < 2.0	OK
		シース	80.0	36 310	0.008	0.290	0.408		
		注入グラウトホース	19.0	2 000	0.059	0.118	0.526		
		ポンプホース	25.4	30 000	0.022	0.660	1.186		

理試験で行った。この試験は、高さ 1.7 m の鉛直管に PC 鋼材を挿入し、1.5 m の高さまでグラウトを下から注入し、その変化率を測定する管理方法である (写真 - 1)。なお、流動性試験は JP 漏斗試験による流下時間によって管理した。日常試験結果の一例を表 - 4 に示す。

4.3 グラウトの施工

(1) シースの設置

シースの端部は、雨水やレイタンス処理水の侵入を防止するために、シースキャップを設けて密封した (写真 - 2)。

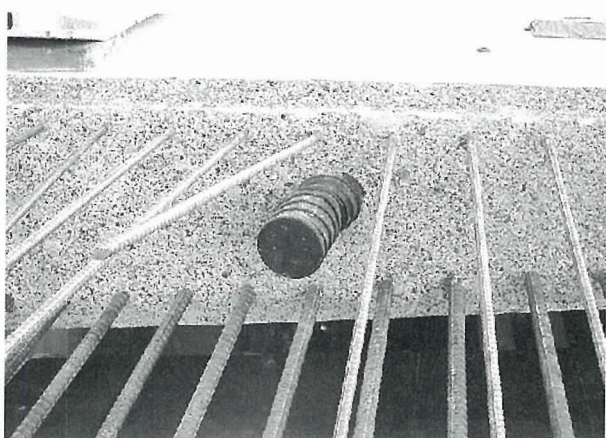


写真 - 2 シースキャップ

(2) グラウトホースの設置

グラウトホースは、半透明のテロンブレードホースを使用し、注入・排気・排出口が判別できるようにホースの色分けを行い、シースに取り付けた位置からできるかぎり横引きなどは行わず、床版上面に立ち上げた (写真 - 3)。なお、グラウトホースの設置箇所は、コンクリート打設時に桁表面から 3 cm 程度の深さで箱抜きしておき、グラウト終了後にポリマーセメントモルタルを打設し、その上から塗布材による防水処理を施した。

(3) シースの気密性および導通の確認

シースの気密性は、グラウト注入口から最遠端の排出口以外の排出口をいったん塞ぎ、シース内にコンプレッサーにて圧縮空気を送り、最遠部から勢いよく空気が排出されることにより確認した。また、導通の確認はすべての排出口を一箇所ずつ開閉して、勢いよく空気を排出させて行っ



写真 - 3 グラウトホースの配置

た。気密性と導通の確認が終了した後、グラウトホースには確認終了の目印となるようなものをつけて未確認のホースと区別した。

(4) グラウトの注入

グラウトの注入は設計において計画した注入口から行い、ポンプホースの注入圧力と流量をグラウト流量計で管理しながら行った。注入時のポンプホースの圧力を表 - 5 に示す。なお、グラウトの練混ぜは、狭い橋面上でも移動等を容易にするために、一体型のミキシングプラントを設置して行っている (写真 - 4)。

表 - 5 流量計圧力結果

	Step 1		Step 2		再加圧
	開始	最終	開始	最終	
C110HL	0.85	1.10	0.95	1.15	1.20
C110TL	0.85	1.10	0.90	1.25	1.30
C110TR	0.70	1.05	0.90	1.00	1.25
C110HR	0.80	1.20	1.00	1.25	1.35
設計値	0.660	1.220	0.660	1.186	...

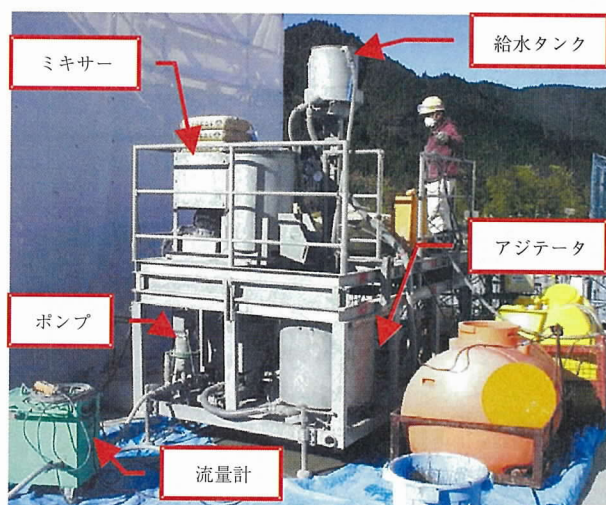


写真 - 4 ミキシングプラント

排気口および排出口ではグラウトホースに空気だまりが残らないように、一様な品質のグラウトが排出されることを確認した後、さらに約 5 秒排出してからグラウトホースを閉塞した。グラウトホースの閉塞は、2 度折りすることで閉塞後の再加圧に耐えられるようにした。なお、写真 - 5 に示すように、閉塞したグラウトホースは橋面から 1.0 m 以上立ち上げてグラウトが硬化するまで保持している。

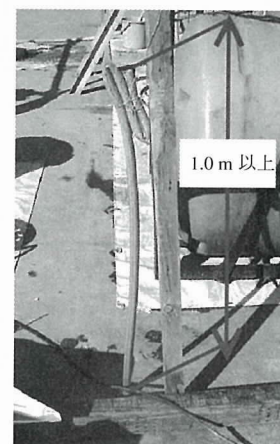


写真 - 5 グラウトホース保持

5. 充てん確認

グラウト充てんの確認は、従来から実施されている①グラウトホースからの流出による確認、②立会い（施工者（グラウト作業管理者）＋発注者）、③流量計による確認、などの充てん確認事項に加え、グラウト注入時にはMSセンサやファイバースコープによる充てん確認を行い、さらにグラウト硬化後には非破壊検査による充てん確認を行う予定である。次項以降にこれらの充てん検査の概要を記す。

5.1 グラウト注入時の充てん検査

グラウト注入時の充てん確認検査として、MSセンサによる確認およびファイバースコープによる確認を行った。MSセンサは、1ケーブルに対して1箇所、ファイバースコープは、P1-P4では8BL以降、P5では9BL以降に配置した。MSセンサは、センサ周辺の媒質の放熱値を測定してその出力差により媒質を特定し、電圧値を読み取ることでグラウト充てんの確認を行うものである（写真-6）。

MSセンサによる計測結果を図-4に示す。グラウト注入前は、11 mV程度の出力電圧であったものが、グラウト通過後に急激に変化し1 mV程度となっている。その後、2 mV程度まで上昇しているが、これはグラウトが充てんされたことで流れがなくなり、センサの放熱が少なくなったことを示している。

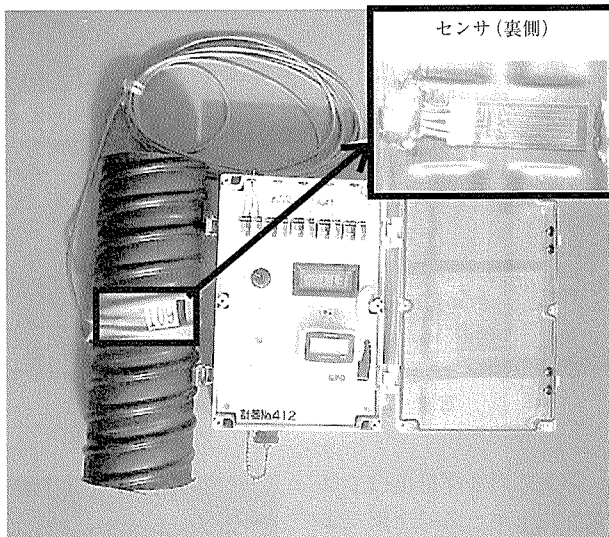


写真-6 MSセンサおよび測定器

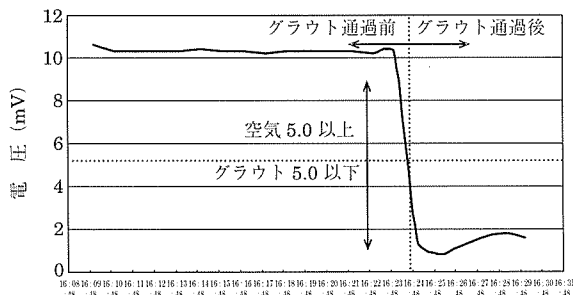


図-4 MSセンサの計測結果

ファイバースコープは、あらかじめ設けた挿入孔からファイバースコープを挿入し目視にて確認を行うものである（写真-7）。ファイバースコープで撮影したグラウト通過後のシース内の状況を写真-8に示す。

また、中一色川橋では、試験的にワイヤレス充てん検知システムを用いて、グラウト注入の確認を行った。ワイヤレス充てん検知システムとは、RFID（Radio Frequency Identification）技術を活用しており、センサおよびセンサインターフェース付きRFIDタグをコンクリート中に設置することにより、シース管にグラウトが注入されたかどうかを外部から無線通信により確認するシステムである。その特長は、無線方式であるため、橋体外部にリード線等を出ないことや結線の必要がないことであり、そのため、外部からの劣化因子の侵入がないことである。ワイヤレス充てん検知システムの構成を図-5に示す。このシステムのグラウト充てんの判断基準は、空気中におけるセンサ部電極間の電圧値が約1320 mV（今回試験的に用いたシステムでの理論値）でほぼ一定であるのに対し、シースにグラウトが充てんされた直後では計測電圧が大きく低下することを利用したものである。ワイヤレス充てん検知システムの計測結果を図-6に示す。

5.2 グラウト硬化後の充てん検査

本橋においては、試験施工的な意味合いも含めてグラウ

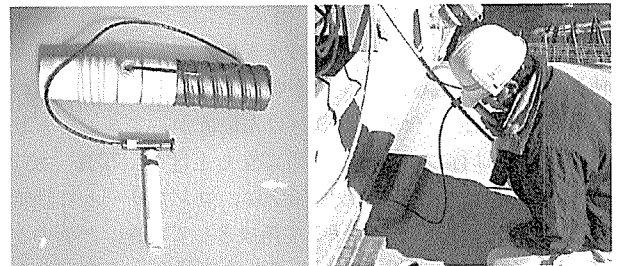
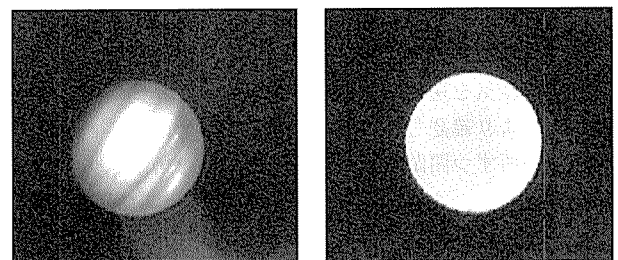


写真-7 ファイバースコープと目視状況



（グラウト通過前） （グラウト通過後）

写真-8 シース内状況

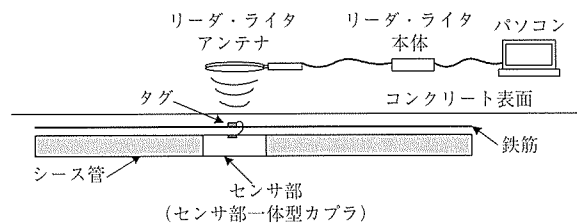


図-5 ワイヤレス充てん検知システムの構成

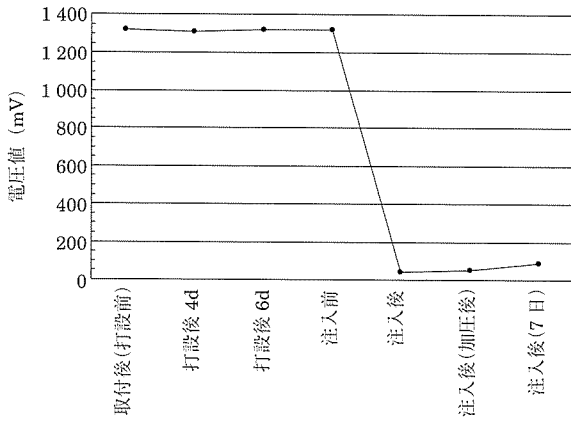


図-6 ワイヤレス充てん検知システムの計測結果

システムと広帯域超音波システムの2種類の非破壊検査を予定している。計測箇所は、各ケーブルの10 mごとに設けた測点内の3割程度を任意に抽出し、非破壊検査を行う予定である。以下にそれぞれのシステムの概要を記す。

(1) マルチパスアレイレーダ法

マルチパスアレイレーダ法は、電磁波レーダを利用してアンテナから発信された電磁波が電気的特性の異なる物質(たとえば、鉄筋や空隙)で反射されて戻ってくる性質を利用して床版内部の状況を調査するものである。図-7に示すように、多極化アンテナの一つの元素から発信した電波を複数の元素で受信することで面的な計測が可能であり、鉄筋などの透過しがたい物質があってもシース内の探査が可能である。さらに、3次元半透明画像で検査結果を表示できるため床版内部の認識が容易である。マルチパスアレイレーダ装置を写真-9に示す。

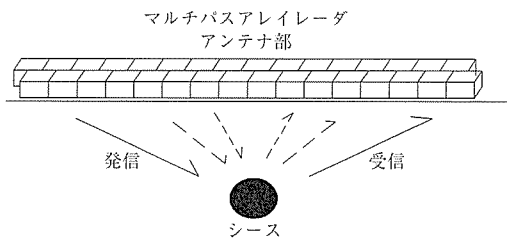


図-7 マルチパスアレイレーダシステム概要

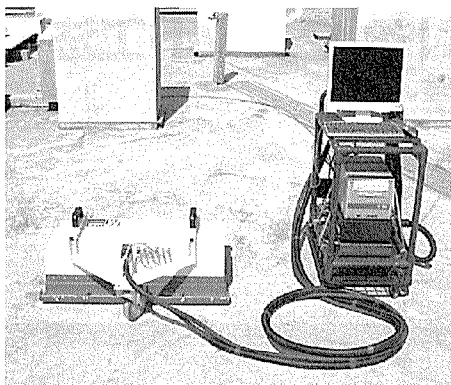


写真-9 マルチパスアレイレーダ

(2) 広帯域超音波検査システム

広帯域超音波検査は、図-8に示すように床版上に探触子を配置し、シースからの反射波を利用してケーブル内のグラウト検査を行う。空シースは充てんシースに比べ、反射波の強度が大きく異なる性質を利用する。また、ケーブル配置間隔が狭い場合、図-9に示すように近接するシースからの情報が交錯し、その影響により誤計測が生じるおそれがあるため、探触子間隔をシースに沿って長くとり、床版表面とシース間を反射するシース重複反射波のみを受信する方法とした。写真-10に広帯域超音波検査装置を示す。

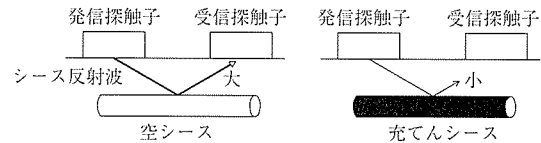


図-8 床版内の超音波伝搬模式図

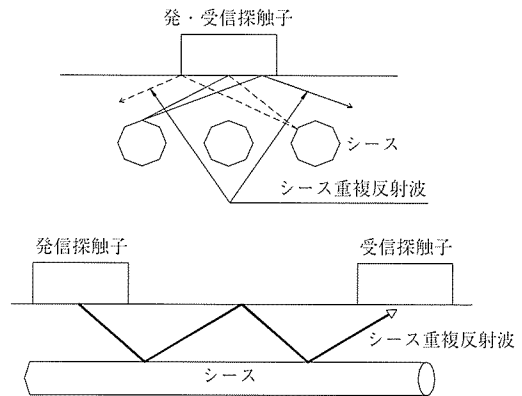


図-9 シース重複反射波模式図

6. おわりに

中一色川橋の施工は、平成17年12月末現在、P1橋脚は張出し施工を終了し、側径間の閉合作業中、P2、P4橋脚は柱頭部の施工を終了、P3、P5橋脚の張出し施工は残すところ1、2ブロックである。この後、P2、P4の張出し施工が平成18年9月頃まで予定されている。このように、現在張出し施工は最盛期を迎え、あわせてグラウト施工も頻繁に行われている。そのグラウト施工は、MSセンサおよびファイバースコープなどを用いたグラウト注入時の充てん度確認によって確実に進んでいる。今後もグラウトの重要性を認識して品質および施工の管理を行っていくことが大切であると考えられる。なお、グラウト硬化後の非破壊検査は、2回に分けて計画しており、その1回目は平成18年2月～3月頃の実施予定である。これにより、グラウト注入時の検査結果とあわせた橋梁全体のグラウト充てん性確認を行うことができると考えられる。それと同時に、MSセンサを長期間経過後に測定した場合の電圧値の変化や配線の耐久性の確認することも計画していることも付け加えておく。

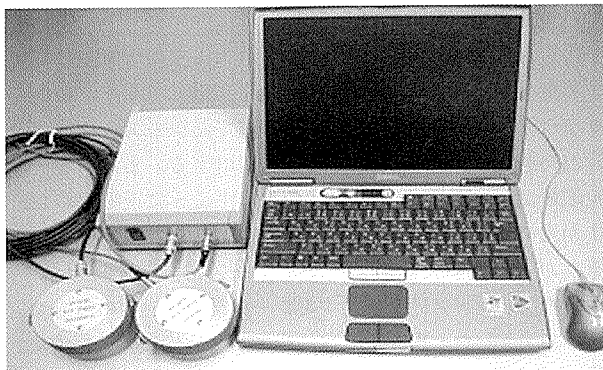
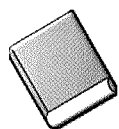


写真 - 10 広帯域超音波検査装置

参考文献

- 1) 正司, 青木, 大城, 細野: センサーによるグラウト充てんの確認について, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集第・部, PP.631 ~ 632, 2003.9
- 2) 青木, 本間, 原: 非破壊検査 (広帯域超音波探査法) による内ケーブルの PC グラウトの充てん検査, 第 13 回, 第 13 回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, PP137 ~ 140, 2004.1
- 3) 原, 本間, 青木: 非破壊検査 (電磁波レーダ探査法) による内ケーブル PC グラウトの充てん検査, 第 13 回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, PP141 ~ 144, 2004.10.
- 4) 構造物施工管理要領, 日本道路公団, 2004.4.
- 5) 亀山, 青木, 大城, 高木: PC グラウトの注入実験 (その 1) - 部分モデルによる充てん性確認結果一, 土木学会第 58 回年次学術講演会講演概要集第・部, PP.635 ~ 636, 2003.9
- 6) PC グラウト & プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル (改訂版), (社) プレストレスト・コンクリート建設業協会, 2002.10.

【2006 年 1 月 19 日受付】



新刊図書案内

PC技術規準シリーズ

外ケーブル構造・プレキャストセグメント工法 設計施工規準

頒布価格: 会員特価 4 000 円 (送料 500 円)

: 非会員価格 4 725 円 (送料 500 円)

社団法人 プレストレストコンクリート技術協会 編
技報堂出版