

## PC橋の耐久性向上に対する取組みについて

(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会 耐久性委員会 委員長・徳良 賢一\*

## 1. まえがき

近年、橋梁のライフサイクルコストを最小にすることが重要であり、その考えがまとまりつつある。ライフサイクルコストの骨子は、建設コストと供用年間の維持管理コストを合わせた費用が最小になることで、そのため建設コスト縮減とともにとくに耐久性の高い橋が要求されてきている。

これらの社会情勢を鑑み(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会(PC建協)では、常設部会のほかに特別委員会「ミニマムメンテナンス共同研究委員会」(建設省土木研究所と共同研究)、塩害地区を対象にした「飛沫帯耐久性委員会」、全般の耐久性を検討する「耐久性委員会」を設け活動をしている。PC建協では平成9年4月よりグラウトにノンブリーディング材を使用することとし、耐久性委員会ではその内容を「本誌 第40巻 第3号」に発表した。その後もPC橋の耐久性を図るべくさまざまな検討を続けており、今回は以下の5項目について報告する。

## (1) ノンブリーディンググラウト

アンケート調査により実施状況等を把握した。また、流動性管理を練混ぜ試験で、施工性や残留空気の発生状況をグラウト注入試験により確認した。これらをもとにその経過をまとめており、現在グラウトマニュアルを改訂中である。

## (2) プレグラウトPC鋼材

施工実態調査を行い施工マニュアルを作成した。

## (3) 非鉄シース

鋼製シースに優る特徴を生かしたり、また、厳しい腐食環境下でのシースとして期待されており、今後使用していくのに必要な検討を行った。

## (4) 構造細目

外ケーブルの維持管理に必要な構造細目を検討するにあたりアンケート調査を行った。その他の構造細目も検討を進めている。

## (5) グラウト充填度の非破壊検査

グラウトの充填度は、既設および新設橋のPC鋼材の耐久

性に影響を及ぼす。PC橋の品質を確保するために充填度の非破壊検査方法の検討・開発を進めており、その経過をまとめた。

## 2. ノンブリーディンググラウト

## 2.1 概要

わが国でPC橋が施工されるようになって約50年経過している。その間、PCグラウトは混和剤や施工機械、施工方法の改良が重ねられ、ブリーディングタイプグラウトから低ブリーディングタイプグラウトへ、さらにノンブリーディングタイプグラウトへと改善されてきた。

PC建協では平成9年4月よりすべての工事において、ノンブリーディングタイプグラウトを使用することとした。この移行の経緯は、本誌第40巻第3号に報告されている。その後、平成10年8月に2回目のアンケート調査を行い、移行後の実態調査を行った。また耐久性委員会では、ノンブリーディングタイプグラウトの特徴の一つである注入時の粘性が、施工性や残留空気の発生にどのように関わっているか調査するため注入試験(平成10年10月)を行った。その際、辻群馬大学教授の指導をいただき、高粘性グラウトの流動性試験に適したJPルートによる測定試験を行った(JPルートは平成11年版「コンクリート標準示方書規準編」に記載)。

以下に、PCグラウトに対するPC建協の取組みの経緯や「PCグラウト施工マニュアル」の改訂、アンケート調査などについて報告する。

## 2.2 ノンブリーディングタイプグラウトに対するPC建協の取組み

平成5年4月 新グラウト材料および施工機械等についての調査研究(施工部会年度課題)

平成6年7月 耐久性委員会設置

平成6年9月 PCグラウト注入試験(第1回)

平成7年3月 PCグラウト注入試験(第2回)

平成8年7月 「PCグラウト施工マニュアル」改訂

平成8年9月 「PCグラウト研修会」の実施

平成8年9月 PC建協方針の提示

① グラウト注入時資格者(PCグラウト研修会受講者)の作業立会

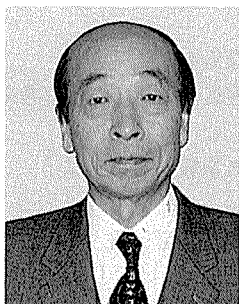
② PCグラウト流量計の採用

③ グラウト診断パトロール(本部、支部)の実施

④ ノンブリーディングタイプグラウトへ移行し、平成9年4月より完全実施

平成9年5月 PCグラウト注入試験(L=150m)

平成9年8月 品質管理のための、塩化物含有量測定法などの検討



\* Ken-ichi TOKURA

ピーシー橋梁(株) 特別顧問

平成10年7月 PCグラウトの粘度測定試験

傾斜管式グラウト粘度測定器で3種類の混和剤（GF630, GF1700, GF1720）を使用した各グラウトの粘度を測定しB型回転粘度計測定値と比較した。

平成10年8月 アンケート調査

平成10年10月 PCグラウト注入試験

- ① ノンブリーディング・粘性型グラウト注入試験を行い、グラウト温度や混和剤ごとの先流れ状況および残留空気の発生状況について確認試験を行った。
- ② B型粘度計でグラウト温度ごとに粘度を測定した。混和剤ごとにグラウト温度とJ14ロート、JPロート流下時間、B型回転粘度計による粘度の測定を行い、混和剤ごとにそれらの相関を調べた。

平成11年8月 PCグラウト注入試験

ケーブル角度、グラウト粘度を変化させたグラウト注入確認試験を行った。ケーブル12S12.7、シースφ65、ケーブル角度5度、10度、15度でノンブリーディング・粘性型グラウトGF1720、コンベックス208ネオT（以降CB208ネオTと記す）の注入試験により残留空気発生状況確認を行った。

平成11年12月 グラウトマニュアルの改訂（予定）

上記をもとに施工部会でグラウトマニュアルの改訂

2.3 グラウトマニュアルの改訂

グラウトマニュアルの改訂のポイントは下記のとおりである。

(1) 従来タイプグラウトの削除

ノンブリーディングタイプグラウトへの全面移行に伴い従来タイプグラウトの記述を削除した。

(2) グラウト粘度とJ14ロート流下時間の見直し

ノンブリーディングタイプグラウトの粘度は、グラウト温度などにより変化するので、J14ロート流下時間を見直し、JPロート流下時間も併記した。

(3) 排気口の追加

下り勾配部に注入する場合は、残留空気を排出するため下り勾配の頂点付近に排気口を設置することにした(図-1)。

2.4 PCグラウト流量計

PC建協では、PCグラウト流量計の使用は平成9年4月より3年間を試用期間とし、平成12年4月から全工事で使用するようにしている。

PCグラウト流量計には、印字式流量計のほかに注入状況が確認できるチャート式流量計の使用を提案している。

チャート式流量計の特徴は次のようである。

- ① 瞬時流量、瞬時圧力がグラフ化されて施工後でも注入状況が明確になる。
- ② 注入中に注入圧や注入流量を確認することにより、トラブル防止になる。

チャート式流量計のアウトプット例を図-2に示す。

2.5 グラウトアンケート

グラウトアンケートは、ノンブリーディンググラウトに移行してからの使用混和剤、グラウトホース径、施工機械、注入長、注入圧、施工性等の実態調査と施工にあつ

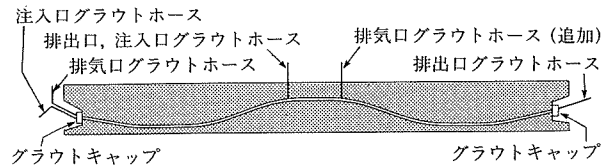


図-1 排気口設置

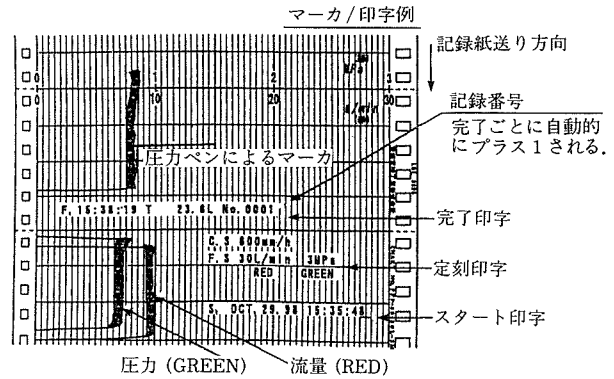


図-2 チャート式流量計アウトプット例

ての点検・管理方法の調査である。グラウトアンケートの主な回答について報告する。

(1) 実態調査(主ケーブル)

- ノンブリーディングタイプグラウトの施工性が良いまたは普通と回答した比率……………95%
- ノンブリーディング・粘性型グラウトの使用比率…39%
- 流量計の使用比率……………28%
- グラウトキャップの使用比率……………49%
- 使用グラウトホース径……………φ12～φ25mm
- 最大注入長100m以上の橋梁……………64橋
- 上記橋梁の最大注入圧……………1.0～2.5MPa  
(注入圧が上がる場合はグラウトキャップが変形する場合がありますので注意を要する。)

(2) 点検・管理方法の調査

回答の上位項目と重要と思われる項目について記す。

① コンクリート打設前に行っている方法について

- グラウトホースが折れ曲がり閉塞しないように配置し、鉄筋などに緊結する。
- ジョイント部はホースバンドを使用する。
- グラウトホースを色分けし、ケーブル番号等をつける。
- グラウトホースにワイヤー等を挿入して保護し、小口にはビニールテープを巻く。
- コンクリート打設前にグラウトホースの通気確認を行う。
- シース組立て後速やかに保護パイプまたはPC鋼材を挿入する。
- シース配置後、ガス切断や電気溶接は行わない。

② コンクリート打設中、および打設直後に行っている方法について

- 打設直後にシースの中に挿入されているPC鋼材を動かす、万一セメントミルク等が入った場合にも閉塞しないようにする。

- 打設中にバイブレータをシースに当てない。
  - 打設直後にシースにエア通しをする。
- ③ グラウト注入前、および注入作業中に点検・管理として行っている方法について
- グラウト注入前にエア、水通しをする。
  - グラウト機器等の予備を用意する。
  - 注入圧を確認し、注入圧の調整を図りグラウトの連続注入を行う。
  - 品質管理を徹底する(材料、計量、練混ぜ、温度、流下時間)。

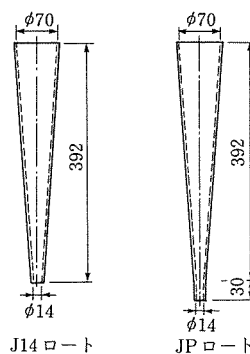


図-3 JPポート

- ④ グラウト全般に対して改善、改良すべきと考えていることについて

- グラウトの不要な方法の開発・普及
- グラウトの材質・性質の改善
- シース・グラウトホース・注入口の改善・改良
- グラウト機械の開発・改良

- ⑤ グラウトの確実な施工を行うための、現場単位での職員や作業員の教育について

- 教育が必要と回答した比率……………89%
- 内容、方法等について
  - PC橋におけるグラウトの目的および必要性、重要性の教育
  - 施工手順の教育(チェックリスト、手順書の作成)
  - グラウトトラブル事例および災害事例による教育
  - ポンプ、流量計等の機器の使用法および点検整備の教育

## 2.6 JPポートについて

耐久性委員会では、辻 群馬大学教授の指導のもと、JPポートの試作を行い、J14ポート流下時間、B型回転粘度計との相関を調べた。JPポートはJ14ポートの先端に長さ30mmの流出管をもったものである(図-3)。流出管をもつことにより、流出口での乱れが少なくなり粘度の測定に適し測定精度も向上すると報告されている<sup>1)</sup>。

混和剤ごとのJPポート流下時間とB型回転粘度計の相関を示す(図-4)。

GF1720とCB208ネオTのJPポート流下時間とJ14ポート流下時間の相関を示す(図-5)。

JPポート流下時間はJ14ポート流下時間の1.5倍～2.0倍となっている。また、流出形状が流下終了直前に糸状へ明確に変化し測定精度が向上する。

## 2.7 おわりに

PCグラウトはノンブリーディングタイプグラウトに移行し、ブリーディングが発生しないことや従来タイプに比べ粘性が付与されたこと、練混ぜ直後の流動性を保持する時間が長くなったことなどにより、品質、性能は向上しており、またミキサー、ポンプ、流量計、接続金具などの施工機械の改善により施工性も向上している。

これからも確実にPCグラウトが施工されるように開発、改良を重ねていく必要がある。

- ① 工事規模に合ったミキシングプラントの開発を行い、施工性の改善と省力化を図る。
- ② より施工性、注入性能が良いグラウト材料を開発す

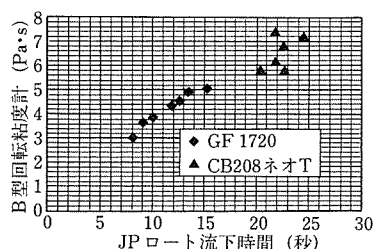


図-4 B型回転粘度計とJPポート流下時間

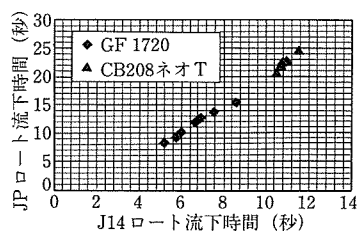


図-5 J14ポートとJPポート流下時間

る。

- ③ グラウト研修会を実施し、PCグラウト作業者の技術の向上を図る。

注入試験にあたり、(株)エヌエムビー、極東鋼弦コンクリート振興(株)(フォセコ・ジャパン・リミテッド)、三菱マテリアル(株)、エフ・ピー・ケー(株)の協力を得た。

## 3. プレグラウトPC鋼材

### 3.1 概要

PCグラウトの品質向上と省力化・コスト削減への要求に対して、セメントグラウトの注入に代わりPC鋼材にあらかじめ常温硬化型のエポキシ樹脂を塗布し、その上をポリエチレン製シースで被覆した「後硬化型PC鋼材(プレグラウトPC鋼材)」が、床版横締めPC鋼材として日本道路公団をはじめとして各方面で使用されるようになってきた。

このプレグラウトPC鋼材は、温度一経過時間により樹脂が硬化し、コンクリートと一体となる新しい材料であり<sup>2)</sup>、取扱いには細心の計画立案が必要である。そこで、PC建協では、施工実態調査を実施し、その結果を踏まえて「プレグラウトPC鋼材施工マニュアル」を作成したのでここに報告する。

### 3.2 施工実態調査結果

施工実態調査は、プレグラウトPC鋼材を使用している全

工事を対象（平成2年～平成10年7月現在）に実施し、139件の工事実績に関するデータが得られた。

以下に、調査の主な項目について、その結果を示す。

- (1) 発注者別使用実績……約60%が日本道路公団の工事で使用されている(表-1)。
- (2) 使用鋼材種別……SWPR19 1S21.8および1S28.6で全体の85%である(表-2)。
- (3) 使用箇所……建築部材を除くと約90%が床版横締め鋼材として使用されている(表-3)。
- (4) 材料納入から緊張までの期間……約80%が1ヵ月以内に緊張を完了している(表-4)。
- (5) 樹脂の硬化確認……鋼材メーカーでは、テストピースを用いた硬化促進試験で硬化確認を行い樹脂の品質を保証している。約17%の工事で現場養生による硬化確認が行

表-1 発注者別使用実績

発注者	件数
日本道路公団	84
建設省	8
地方自治体	18
JR	3
その他公団	10
その他	15
農水省	1
計	139

表-2 使用鋼材種別

鋼材種別	件数
1S12.7	2
1S15.2	1
1S17.8	2
1S19.3	9
1S21.8	85
1S28.6	32
PC-BAR φ32	5
PC-BAR φ26	2
その他	1
計	139

表-4 受入れから緊張までの期間(重複回答)

材料受入れから緊張までの期間	計
2週間以内	24
2週間以上1ヵ月以内	76
1ヵ月以上2ヵ月以内	25
2ヵ月以上3ヵ月以内	5
3ヵ月以上	1
その他	20
計	151

表-3 使用箇所

使用部位	件数
床版横締め	122
鉛直締め	6
その他	11
計	139

表-5 樹脂硬化の確認方法

方法	件数
テストピース	17
余長切断部材	7
なし	115
計	139

表-6 PC鋼より線の機械的性質

呼び名	直径(mm)	公称断面積(mm <sup>2</sup> )	降伏荷重(kN)	引張荷重(kN)	伸び(%)	リラクセーション値(%)	
						N	L
19本より17.8mm	17.8 +0.6 -0.25	208.40	330以上	387以上	3.5以上	8.0以下	2.5以下
19本より19.3mm	19.3 +0.6 -0.25	243.70	387以上	451以上	3.5以上	8.0以下	2.5以下
19本より21.8mm	21.8 +0.6 -0.25	312.90	495以上	573以上	3.5以上	8.0以下	2.5以下
19本より28.6mm	28.6 +0.6 -0.25	532.40	807以上	949以上	3.5以上	8.0以下	2.5以下

※降伏荷重は0.2%永久伸びを生じる荷重とする。  
 ※リラクセーション値は規格引張荷重の70%を初期荷重として、1000時間後の荷重低下率を示す。  
 またNは通常品、Lは低リラクセーション品を示す。

われている(表-5)。

### 3.3 「プレグラウトPC鋼材施工マニュアル」の概要

- (1) 本マニュアルの内容として特記すべき項目
  - ① 使用箇所を床版横締めに限定した。
  - ② PC鋼材種類をSWPR19の1S17.8, 1S19.3, 1S21.8, 1S28.6の4種類に限定した。
  - ③ 材料の特殊性から、使用条件を規定し製造者責任と使用者責任の範囲を明確にした。
- (2) プレグラウトPC鋼材の概要および特性

#### ① P C 鋼 材

プレグラウトPC鋼材は、図-6に示すようにPC鋼材に常温硬化型の樹脂を未硬化なグリース状の状態で塗布し、ポリエチレンシースで被覆したものである。表-6にPC鋼材の仕様、表-7にポリエチレンシースの仕様を示す。

#### ② 樹 脂

エポキシ樹脂は常温硬化型であるが、単独では硬化せずアミン系の硬化剤を配合することにより硬化が開始し、硬化促進剤の添加量をコントロールすることにより硬化までの時間を任意に設定できるものである。図-7に樹脂の硬化特性を示す。また、樹脂の硬化は、温度の影響を受け温度が高くなれば硬化までの時間は短くなる。したがって、硬化促進剤の添加量の決定、すなわち硬化樹脂タイプの選定は、PC鋼材の緊張時期、コンクリートの硬化温度等を考慮した施工計画に基づいて決定する必要がある。表-8に硬化樹脂タイプの種類と使用条件を示す。

### 3.4 施 工

#### (1) プレグラウトPC鋼材使用条件

プレグラウトPC鋼材は、硬化樹脂が温度と経過時間により硬化する特性を有しているため、使用条件を誤ると緊張前に樹脂が硬化し緊張不能となる危険性がある。したがって、本マニュアルでは、材料に関する使用条件を以下のように規定し、この規定を逸脱した場合のトラブルは、基本的に使用者が責を負うこととした。

- 材料入荷から緊張までの期間は、1ヵ月以内とする。  
 材料保管時温度およびコンクリート硬化温度の上限值

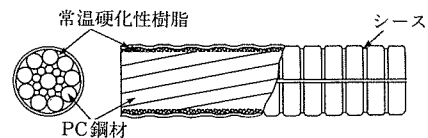


図-6 プレグラウトPC鋼材

表-7 シースの仕様

呼び名	外 径 (mm)			シース厚さ (mm)
	凸 部	凹 部	リップ部	
19本より17.8mm	25.0 +2.0 -2.0	20.5 +2.0 -0.5	31.0以下	1.20以上
19本より19.3mm	26.0 +2.0 -2.0	21.5 +2.0 -0.5	33.0以下	1.20以上
19本より21.8mm	29.0 +2.0 -2.0	24.5 +2.0 -0.5	36.0以下	1.20以上
19本より28.6mm	36.0 +2.0 -2.0	31.5 +2.0 -0.5	45.0以下	1.50以上

※シース厚さは凸部の値とする。

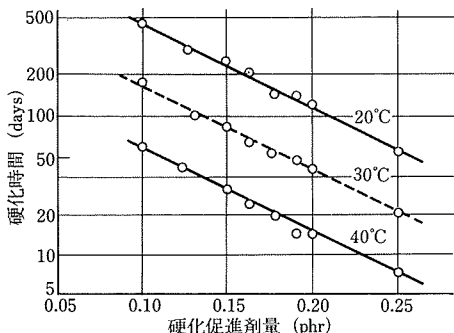


図-7 樹脂の硬化特性

表-8 プレグラウト用樹脂の種類

タイプ	使用条件
通常	保管時最高温度 25℃以下, コンクリート硬化時最高温度60℃以下
暑中	保管時最高温度 40℃以下, コンクリート硬化時最高温度75℃以下
寒冷地	使用環境での月平均気温 0℃以下, コンクリート硬化時最高温度55℃以下

※寒冷地タイプの選定に必要な気温は、施工地域の理科年表などによるデータを参考としてよい。

※寒冷地タイプは、鋼材搬入から緊張までの月平均気温が0℃以下が採用条件であり、保管温度も同様な管理となるため、保管には十分な注意が必要である。

※納入から緊張までの期間は1ヵ月とする。

を表-9に示す値とした。

(2) 材料受入れ検査および保管管理

プレグラウトPC鋼材は、PC鋼材に塗布された樹脂が硬化して初めて、所期の性能が保証されることとなる。したがって、材料受入れ時には、樹脂の充填状況、樹脂漏れの有無等、本材料の特殊性に即した受入れ検査項目と検査方法について規定した。

また、保管については、表-9の材料保管時の温度の規定に対し保管管理温度を計測し確認するとともに、記録の保管について規定した。

(3) 施工要領

施工要領は、プレグラウトPC鋼材固有の項目について管理項目と注意事項を作業手順に従って記述した。

以下に作業手順および施工要領の概要を示す。

- ① 保管場所から橋面上への移動
  - 玉掛けは、繊維ベルトを使用する。
- ② プレグラウトPC鋼材保持用の鉄筋(棚筋)の配置
  - 棚筋は、丸鋼仕様を原則とする。
- ③ アンカープレートの設置と固定
  - アンカープレートは先付けを標準とする。

表-9 保管温度およびコンクリート硬化温度

樹脂タイプ	保管時温度	コンクリート硬化温度
通常型	25℃以下	60℃以下
暑中型	40℃以下	75℃以下

※保管時とは、型枠内に配置しコンクリートが打設されるまでの時間を含む。

- ④ PC鋼材の展開およびアンカープレートへの挿入
  - 鉄筋上を引きずってはならない。
  - 端部キャップは、樹脂漏れ防止のため緊張直前まで外さない。
- ⑤ プレグラウトPC鋼材と棚筋との結束
  - 結束は、ビニール被覆線を用いることを原則とする。
- ⑥ コンクリート打設
  - PC鋼材に直接バイブレーターを当ててはならない。
- ⑦ アンカープレート前面の清掃
  - アンカープレート前面に付着したセメントペーストを除去し、プレート表面を平滑にする。
- ⑧ ポリエチレン被覆の除去
  - ポリエチレン被覆の切断は、PC鋼材を傷つけないよう木工鋸またはナイフ等で行うこと。
- ⑨ グリップの取付け
  - グリップは、アンカープレートに垂直に取り付けること。
- ⑩ グリップ前面の樹脂除去(グリップ部分は除去しない)
  - グリップ前面より突出したPC鋼材に付着している樹脂を拭き取ること。
- ⑪ 緊張
  - 緊張管理は、荷重計示度と伸びにより行うこととする。緊張端引張力および伸び量の計算は、下記の値によってよい。

$$\mu = 0.1, \lambda = 0.003, E_p = 1.9 \times 10^5 \text{ (N/mm}^2\text{)}$$

⑫ 後処理

3.5 今後の展望

プレグラウトPC鋼材は、平成2年に初めて使用され現在まで9年の実績となった。そのほとんどが床版横締めで使用されているものの、その実績は飛躍的に増加している。

従来の工法でのシース配置からPC鋼材切断・挿入・緊張・グラウトの一連の複雑な作業に対して、とくにグラウトが不要であることは、省力化・品質向上等に結びつき、各方面から強く求められてきたことである。

今後は床版横締めのみならず、縦締め(主方向)の大容量マルチケーブルの開発が望まれる。

4. 非鉄シース

4.1 概要

塩害地域や、凍結防止剤散布などの腐食環境下におけるPC橋の耐久性向上の必要性が強く求められており、従来品(鋼製シース)に優る耐腐食性が高い非鉄シースの本格的実用化に向けた調査・研究がここ数年、建設省・日本道路公団などの指導のもとPC建協において進められてきた。そして新設橋の品質向上を目的に、非鉄シースの試験施工も実施されはじめてきている。肉厚のポリエチレン(PE)、ポリ

プロピレン (PP) 等の高分子材料の非鉄シースは、その固有の各種化学物質に対する耐久性と水密性などにより厳しい腐食環境下においてもPC鋼材の防食効果が高く、また内面の形状によっては従来の鋼製シースに比べ、通常の使用状態でのフレッチング疲労の防止効果も大きいとも言われている。つまり非鉄シースと、確実なグラウトの組合せによる二重防錆構造によって、PC鋼材の耐久性を一層向上させることが可能となる。

PC建協では、長年にわたる非鉄シースの調査・研究・実験の成果を踏まえ、国際化を睨み海外文献や基準(案)との整合を考慮し、ポストテンション内ケーブル用非鉄シースの要求性能および試験基準(案)をまとめたのでその概要を紹介する。

4.2 非鉄シースの開発経緯

表-10に非鉄シースに関する国内外の研究論文や文献などの概要と経緯を示す。現在海外においては、fibが非鉄シースの規準を作成中であり、わが国においても同様の整備が急務と考えられる。

4.3 非鉄シース試験基準(案)

PC建協では、前項4.2に示した国内における各種の研究や諸外国の文献および基準(案)の現状を踏まえ、「非鉄シース

試験基準(案)」を作成したので以下にその概要を報告する。

なお、基準(案)の作成にあたって、現在のところ最もまとまっている fib Report Draft No.3を参考にしたので、各試験項目の説明は、このfib Reportと対比して行う。また、各試験項目の荷重や規定値については、現在検討中であるため別の機会に報告する。

(1) 要求性能

① 材料の要求性能

非鉄シース材料に対する要求性能は、①密度や線膨張係数などの物性に関するもの、②塩化物、アルカリ、酸などに対する抵抗性(耐薬品性)、③紫外線やオゾンなどに対する抵抗性(耐候性)、④コンクリート材料に悪影響を与えないといった事項が要求される。

●物性に対する要求性能

物性に対する規定は、強度や硬度および熱軟化に対する性質を確保することが中心となる。これに伴う試験は、密度・引張強さ・破断時伸び率・脆化温度等があり、これらにより総合的に判断する。

●耐薬品性

耐薬品性試験は、コンクリート材料(セメントおよび混和剤)に含まれる化学物質に対して、シースそのものが劣化し

表-10 文献の概要と経緯

文献および発行者	概要および試験項目	文献および発行者	概要および試験項目
平成4年11月 建設省土木研究所 化学研究室	①PC桁実物大載荷試験(鋼製シースと非鉄シースとの比較) ・ひび割れ発生荷重 ・破壊荷重 ・ひび割れ挙動比較試験 ・グラウト充填試験 ②非鉄シース単体によるグラウト充填試験	平成9年2月 「Plastic Ducts for Enhanced Performance of Post-Tensioning Tendons」 (ポストテンションケーブルの能力を高めるプラスチック製ダクト) FIP notes. Dr.HR Ganz	PEシースを使用した構造物の設計・施工に必要な技術データの要約の報告書 ①設計上の特性 ・シースの摩擦係数の提案 ・引抜きせん断試験(付着長) ・疲労特性(実物大の桁の繰返し載荷試験) ・迷走電流防護について ②施工上の特性 ・シースとの支持間隔の提案 ・最小曲げ半径の提案(すり減り量との対応) ・グラウト充填試験
平成4年11月 「非鉄シース実用化への基礎試験」 プレストレスト・コンクリート建設業協会	①シースの品質確認試験 ②押抜きせん断試験 ③温度降下による縦ひび割れ確認試験 ④グラウト注入試験 ⑤グラウト充填確認試験	平成10年9月 「Acceptance Standards for Post-Tensioning Systems」 (ポストテンションシステム標準仕様) PTI GUIDE SPECIFICATION USA1998	①付着のあるPC鋼材に適用するプラスチックシースの一般的要求事項 ・付着特性 ・シースの内断面積(鋼材断面積に対するシース断面積の最小比率) ・配置施工上の事項 ・コンクリートの流動圧とシース支持点荷重 ・シースの長さ方向の曲げ剛性温度変化に対する耐熱性 ・PC鋼材定着具とシースの接続耐力 ・グラウトの注排部材との接続強度 ②プラスチックシースの材料特性について
平成7年9月 「PEシース実用化試験報告書」 プレストレスト・コンクリート建設業協会	建設省土木研究所の指導のもとポストテンションPCケーブル用シースとしてのPEシースを新たに開発し、実用化に向けた試験研究を実施。試験研究に基づいた品質基準および設計施工マニュアルの作成も同時に行っている。 ①シースの品質確認試験 ②押抜き試験(付着の性能確認) ③温度変化によるひび割れ発生確認試験 ④実物大PC桁を用いた試験 ・施工性確認試験 ・グラウト充填試験(PC桁を解体し確認) ・摩擦係数測定試験 ・シースのすり減り抵抗試験 ・載荷ひび割れ挙動比較試験 鋼製シースとPEシースとの比較試験	平成10年10月 「Corrugated Plastic Ducts Internal, Bonded Post-Tensioning Draft No.3」 (インターナル・ボンデッドポストテンション用コルゲートプラスチックシース 第3草稿) fib Report Commission 9	材料試験, 部材試験, 組立て施工試験の3つで構成されており, 要求性能, 試験方法, 試験荷重および判断基準などが記述されており, 現在最終段階のドラフトのようである。 ①PEシースの材料試験 ②特性試験
平成8年8月 「Durable Bonded Post-Tensioned Concrete Bridge」 (高耐久性ボンド式ポストテンション・コンクリート橋梁) 英国コンクリート学会 特別照査委員会報告書 (技術報告第47号)	高耐久性ボンド式ポストテンション橋梁の設計と施工のための新しい規格と工法を示す。その中でPEシースの採用が提案されている。 ①シースシステムの圧力試験 ②PEシースの最小肉厚の提案 ③シースおよびコンクリートの最小付着長さについての試験		

ないことを確認するために行われる。ただし、ポリエチレン等の高分子材料は、各種の化学物質に対して高い抵抗性を有しており、本規定ではとくに性能試験を省略した。

• 耐 候 性

耐候性試験は製品としての非鉄シースが、現場の保管条件においても十分な初期性能を確保できるよう、その条件を規定するために行われるものである。

② シースシステムの要求性能

シースシステムを構成する部品としては、シース、継手、グラウト注入・排気管、シール材などがあるが、これらの部品がもつべき要求性能と、組み立てられたシースシステムとしての要求性能をまとめると以下のようになる。

- 施工時荷重、温度変化に対して、つぶれ・割れ・破損・モルタル漏れなどを起こさないこと。グラウト注入圧力(荷重)に対して、破損・グラウト漏れを起こさないこと。
- コンクリートとの間に、十分な付着性能を有すること。
- PC鋼材の挿入と緊張に際して、支障を来さないすり減り抵抗性をもつこと。
- 緊張材との間の摩擦抵抗が、従来製品と同等以下であること。
- グラウトの注入に際して、十分な充填性をもつこと。
- 施工組立て時に求められる剛性や可塑性をもつこと(柵筋間隔・最小半径)。
- 組立て時等の作業性(施工性)の良いこと。

(2) 試験基準

① 材料試験

表-11に、前項に示した材料としての要求性能を確保するために必要と思われる材料試験の項目と方法をfib基準と比較して示す。ただし、ここで示す試験方法は、fib基準ではポリエチレン(PE)以外にポリプロピレン(PP)なども対象としているが、PC建協基準(案)では、現在一般的に用いられている高密度ポリエチレン(PE)に限定しているため、試

験項目に差が生じている。

② シースシステム試験

表-12に、前項で示したシースシステムとしての要求性能を確保するために必要と思われる試験の項目と方法を示す。なお、PC建協基準(案)の試験方法や基準値については現在検討中であり、ここでは項目の比較を中心に記している。また、fib基準とPC建協基準(案)では、水密性や電気抵抗性、すり減り抵抗性、付着性能等に対する要求性能に差があるため、試験方法も異なっており、今後さらに検討が必要である。

4.4 おわりに

PC建造物の耐久性をさらに向上させる方法の一つが、PC鋼材の確実な耐久性を確保することである。環境条件の厳しい所での使用、性能設計の導入に伴うPRC構造の採用や、プレキャスト化などに向けてもPEシースの採用は有効である。

今後は施工の簡素化と確実性を増すためにも、シースジョイントの改良、PC定着具工法の違いを含め、定着装置との確実なジョイントなどの問題を解決し、より耐久性の高いシースシステムとしていくことが重要である。

5. 構造細目

5.1 概 要

PC橋の耐久性向上の観点から構造細目について十分検討することが必要である。まず耐久性に関するポイントを認識することが重要であり、考慮すべき項目を列記する。

- ① 今後の維持・補修・取替え、さらに検査・点検までの対処をしやすい構造を前もって用意しておく。
- ② 構造形式の多様化、新材料の取込み、スペックの改訂などに追従できるよう配慮する。
- ③ 施工の確実さ、容易さ、さらに急速性が可能な構造とする。

これらの事項を考慮しておくことで、ひいては建造物の長寿命化・延命を図ることができ、ライフサイクルコストの低減に繋がる。

表-11 材料試験の項目と方法

No.	海外文献 (fib 第9委員会)		PC建協基準 (案)	
	項 目	試験方法	項 目	試験方法
1	密度 (g/m <sup>3</sup> )	DIN 53479	密度 (g/cm <sup>3</sup> )	JIS K-6760
2	融体のマスフロー速度	ISO 1133	メルトフローレート	JIS K-6760
3	硬 度	ISO 2039-1	デュロメーターD硬さ試験	JIS K-6760
4	時間と温度による影響の押込み試験			
5	シャルピー衝撃試験	ISO 179/1		
6	引張衝撃試験	ISO 8256		
7	引張応力度伸び量	DIN 53455	引張強さ、破断伸び	JIS K-6760
8	外部応力亀裂	ASTM-D-1693-70, ISO 6252	耐環境亀裂試験	JIS K-6760
9	ビカー-VST B50	ISO 306	ビカット軟化点試験	JIS K-6760
10	線膨張係数	DIN 53752	※特性試験(耐熱性試験)にて行う	
11	弾性係数	DIN 53457		
12	紫外線による脆化		耐候性試験	JIS K-1415
13	カーボン含有量			
14	カーボン均値性			
15			脆化温度	JIS K-6760
16			加熱老化抗張力残率	JIS K-6723

表-12 シースシステム試験の項目と方法

No.	海外文献 (fib 第9委員会)		PC建協基準 (案)	
	項目	試験方法	項目	試験方法
1	シースの曲げ特性	支間1mの3ポイント曲げ試験で20mmたわむときの荷重と2分後の荷重を測定。また除荷した際の残留変形量および2分後の残留変形量を測定。	シースの曲げ特性	摩擦係数や配置誤差が規定の範囲内にあるためには、シースの必要剛性が確保されていなければならない。本試験はシースの剛性を確保するためのものである。
2	可撓性	中央部に接続具を有する試料(長さ1.1m)を直立固定させ、曲げテンプレートに沿って左右2回ずつ800mmの幅で曲げる。2分後に鋼製ブランジャーを挿入する。	可撓性	曲線配置されたシースは、曲げの力により破損したり継手が外れたりしないことが必要である。本試験は適用シースの最小半径で曲げた状態において水密試験で確認するものである。
3	シースの水平方向荷重への抵抗性	試料(長さ1.1m)をベース(長さ0.5)に乗せ、直径12mmの円筒形単部を有するブランジャーによりリブ以外の2ヵ所に載荷する。載荷の箇所は試料中央とし150mm離隔する。荷重(F1)は内径(d1)により規定されている。	局部荷重試験	シースには、棚金にセットした状態の打設コンクリート荷重や浮力荷重が集中的に作用するが、これらの荷重に対してもシースがつぶれたり、破損したりしない強度をもつことが必要である。本試験は、このような集中荷重載荷と外圧試験との併用により、強度を確認するものである。
4	シースシステムの材軸方向荷重抵抗性	試料(長さ1.1m)にコネクターを接続し10分間強制変形あるいは荷重をかける。強制変形量はコネクターとベース間におけるシースのフリーな長さ1mにつき10mmとする。		
5	シースシステムの水密性	No.2~4の試験で使用した試料(長さ1.1m)を用い規定の曲げ半径に曲げ、50kPaの水圧を5分間かける。内水圧、外水圧の順で試験する。	外圧試験	シース単体およびジョイントを組み立てた状態で、打設コンクリートの外圧により内部にセメントモルタルなどが流入してシースが閉塞しないことを確認する試験である。
6	シースの耐摩耗性	試料(長さ0.1m, 幅1/8周)2片を鋼材(引張強度70%の緊張力を与えた状態)に挟み、回転しないように注意し、750mm移動させる。その後一番薄い肉厚を測定する。	すり減り抵抗試験	PC鋼材緊張時において、曲線配置部のシース内面にはPC鋼材の面圧が作用したままPC鋼材が移動するため、シースの表面が削り取られることになる。このような状態においてもシースに穴があくことなどが無いような固さが必要である。本試験はこのような抵抗性を確認するものである。
7	tendon の付着特性	試料(1辺がPC鋼材径の10倍の長さの立方体)は支持面が反力台に接するように取り付け、加力試験を行う。	付着性能試験	構造物の終局時の耐荷力や耐久性を確保するためには、ひび割れ発生部位外では部材コンクリートとシースの間の付着が確保されていることが重要である。本試験はこのような抵抗性を確認するものである。
8	システムの承認試験	実大試験で行う 第1段階試験：実大システム組立て 第2段階試験：水密試験 第3段階試験：緊張/摩擦試験 第4段階試験：グラウト試験 第5段階試験：電気抵抗試験		

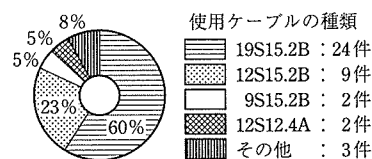
近年、外ケーブル構造が採用されるケースが増加してきている。外ケーブル構造は部材断面内に配置されるPC鋼材本数が少ないため、部材厚を薄くすることができ、大容量のPC鋼材の使用が可能で経済性・施工性が向上する構造であり、またPC鋼材の維持・管理が容易に行えるなどの長を有している。しかし鋼材が部材外に露出していること、鋼材が定着部、偏向部のみで固定されること、大容量の鋼材が使用されることなどに対して構造細目を検討することとし、アンケート調査および国内外の文献調査を行ったので報告する。

5.2 アンケート調査結果

定着部の保護、点検など施工上から見て構造細目に反映できる項目に着目して、外ケーブル構造の橋梁に対してアンケート調査を行った。平成9年10月現在における施工中を含む40橋に対して、平成10年8月に実施したアンケート結果の主要点について以下に示す。

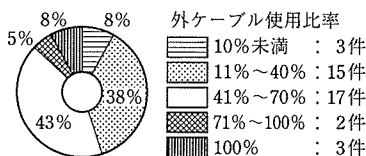
① 使用ケーブルの種類

大型ケーブル, 19S15.2Bの使用が60%を占めている。



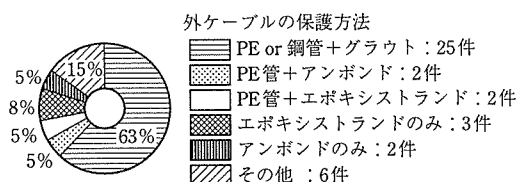
② 外ケーブル使用比率

比率を重量比で(外ケーブル)/(全ケーブル)として表した場合を示す。



③ 外ケーブルの保護方法

PE管または鋼管にグラウト充填の場合が大半を占めている。

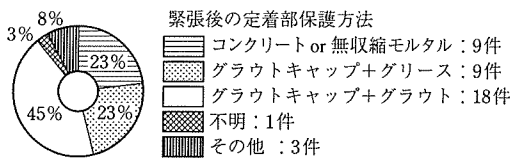


④ 緊張後の定着部保護方法

グラウトキャップを用いてグラウト充填する方法が45%

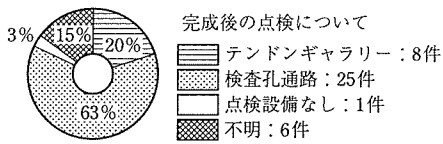


を占める。



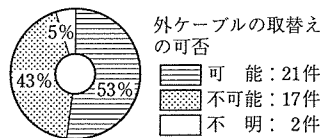
⑤ 完成後の点検について

検査孔通路を63%が設けている。



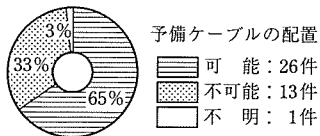
⑥ 外ケーブルの取替えの可否

約半数が取替え可能となっている。



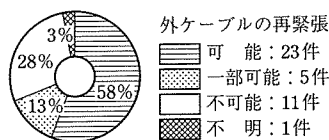
⑦ 予備ケーブルの配置

約65%の橋梁は予備孔を設けることで予備ケーブルが配置可能となっている。



⑧ 外ケーブルの再緊張

約半数が再緊張可能としている。



5.3 主要な構造細目について

ケーブル定着端部に関する構造細目について、調査結果を記す。

(1) ケーブル端部定着部

雨水などの浸入の可能性のある定着部の後埋めコンクリートの打継目や、グラウトホースの橋面露出部は、水の浸入経路とならないように液状防水膜等により、防水処理を行っている(図-8~12)。

(2) 伸縮継手部

伸縮装置付近からの水や融雪剤侵入を防ぐ構造とする必要性から非排水構造とすることを原則とするが、万が一の場合を考えて樋などの排水装置を併設している。すなわち、漏れた水を適切に早く排水することにより、定着部や支承部に水が届かないようにし、水が溜まらないような工夫がされている(図-13)。

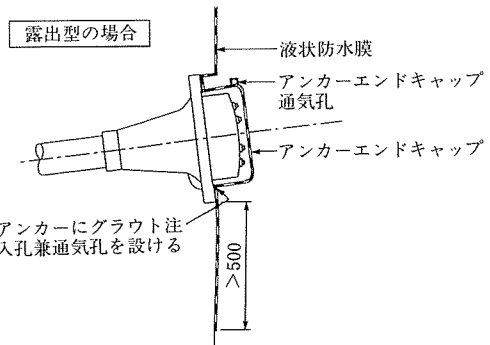


図-8 定着部付近の構造例1

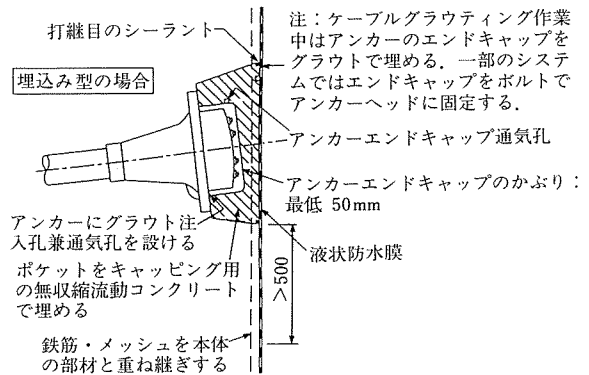


図-9 定着部付近の構造例2

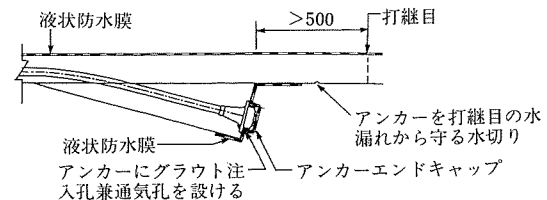


図-10 定着部付近の構造例3

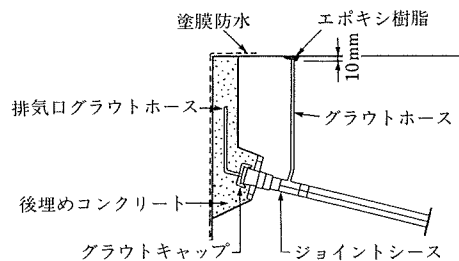


図-11 定着部付近の構造例4

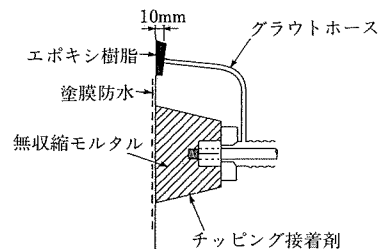


図-12 横締めPC鋼棒の後埋め処理の例

(3) 床版部

雨水の内部浸透による鋼材の腐食を防ぐという長期的な要求性能を満たすことが重要である。そのためには、

- ① コンクリート表面は平坦性を保持して高品質の床版

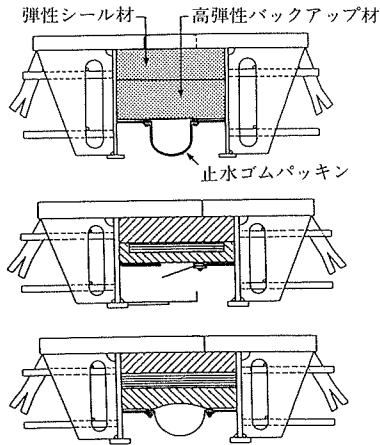


図-13 非排水構造継手の例(案)

防水を施工する

- ② 舗装と防水層との間に滞留する水分を速やかに排水ますまで導水する装置や床版に排水孔等を設けて排水できるようにする(図-14)

などに留意しなければならない。

(4) 橋台ギャラリーの設置

支承付近、伸縮継手、PC鋼材定着部の状況等を点検・監視およびメンテナンスを可能にするための空間を設置することを基本とする(図-15, 16)。さらに、PCケーブルの取替え、再緊張を前提とする場合には橋台パラペット背面に緊張室を設けることにより行える(図-17, 18)。

5.4 おわりに

構造細目については、最近外ケーブルの外套管に透明シースが用いられる(日本道路公団)など、新しい技術・工法の発展に伴い、今後とも絶えず改良・工夫を加えていくことが必要である。また、このとき追加することばかり考えるのではなく、新技術・新工法を使用することにより省略できる部分を削り取り、より合理的で耐久性のある構造とすることが必要である。

6. グラウト充填度の非破壊検査

6.1 概要

ポストテンション方式PC橋では、シースとPC鋼材の間にグラウトを充填しPC鋼材を保護することは、PC橋の性能と耐久性を確保するために重要であり、また既設橋の耐久性を検討するうえで、非破壊検査によるグラウト充填度の確認が重要になっている。さらに、非破壊検査によるグラウト充填度の確認は、新設橋の品質保証にも有効である。

PC建協では、平成8年より日本道路公団と共同で、PCグラウトの非破壊検査手法の適用性に関する研究を進めてきている。ここでは、主ケーブルグラウトの非破壊検査を主眼に、各種非破壊検査手法の適用性と課題および実用化へ向けての取組みなどについて報告する。

6.2 非破壊検査手法の適用性と課題

(1) 非破壊検査手法の概要

現在コンクリート構造物に適用されている主な非破壊検査手法の概要を以下に述べる。

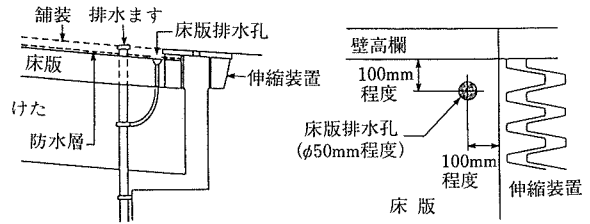


図-14 床版部の排水構造例 (日本道路公団「設計要領第Ⅱ集」より)

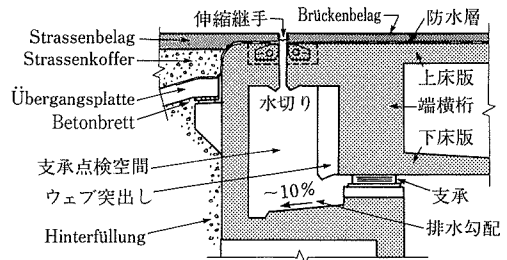


図-15 支承周り点検ギャラリーの例(案) (スイス・チューリッヒ工科大クリスチャンメン著「鉄筋コンクリート橋」より)

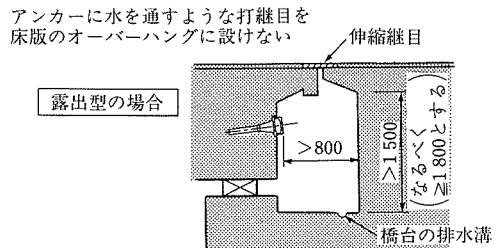


図-16 主桁端部の点検用スペース構造例

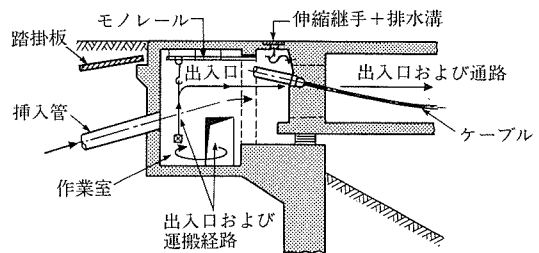


図-17 橋台ギャラリー構造例1 (財先端建設技術センター資料より)

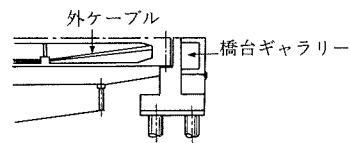


図-18 橋台ギャラリー構造例2

① 電磁波反射法(RCレーダー法)

電磁波反射法とは、電磁波をコンクリート中に放射し、コンクリートと電気的特性が異なる物質(鋼材、空洞など)との境界面での反射波を受信することにより、非破壊的にコンクリート内部の性状を知ろうとするものである。ただし鋼製シースでは、シース表面で電磁波が反射されてしまうため、内部のグラウト状況までは判別できない。したがって、現時点では電磁波反射法は、主ケーブルのグラウト

ト充填度確認方法としては適用できない。ただし、今後使用が増加すると思われる非鉄シースに対しては有効である。

② 赤外線撮影法（赤外線サーモグラフィ法）

コンクリート表面近くに空洞や剥離部分が存在すると、気温などの温度変化に伴い健全部と欠陥部に表面温度差が生じる。この温度差を赤外線カメラで観察し、得られた温度分布画像から空洞や剥離の位置を推定するもので、コンクリート構造物の外壁の剥離や、床版舗装の浮きなどの検査に用いられている。

PCグラウトでは、注入時のグラウト材の熱や硬化熱によるコンクリート表面の温度差を観察したが、コンクリート部とシース内の温度差が大きくなること、表面温度が均一化されることなどにより、シース位置およびグラウト充填を判別することはできなかった。

③ 超音波透過法

超音波透過法は、コンクリート中を伝播する縦波が、物性の異なる空洞やシースなどの環境で波動が乱れ、伝播特性（伝播速度、受信波波形、受信波形のスペクトル）の差異として現れることを利用し、シース位置およびグラウト充填度を推定しようとするものである。波長が短く周波数の高い超音波ほど、また超音波発・受振子が小さいほど検出精度が高くなるが、コンクリート中の減衰が大きく、実構造物の適用範囲は厚さ20cm程度に制限される。また発・受振子の技術開発は、古くからの命題で革命的な技術開発が必要であるが、現在でもほとんど進展が見られず、今後相当の時間と費用がかかるものと考えられる。

④ X線透過法

X線が物質を透過するとき、物質内の電子との相互作用（光電効果、トムソン散乱、コンプトン散乱、電子対生成）により、透過後のX線の強さは、物質の種類と厚さによって変化する。この性質を利用して物質透過後のX線の強弱を像に表すことにより、コンクリート内部の状況を確認しようとするのが、X線透過法である。

イメージングプレート（IP）法は、コンピューターで画像

処理することにより、高感度の画像が得られる。しかし、画像処理機が東京と大阪にしかなく、移動できないために画像処理に時間と費用がかかる。撮影可能な部材厚は、50cm程度までである。また、撮影時には放射線安全管理区域として半径5mの範囲が立入禁止区域になる。

⑤ 衝撃弾性波法（打音振動法）

超音波以外の弾性波を利用した方法として、衝撃弾性波法がある。PC鋼材両端の定着具近傍にAEセンサーを取り付け、一端をハンマー等で打撃したときの他端での受信波の伝播特性（伝播時間、受信振幅、スペクトル）からシース内グラウトの充填度を推定するものである。超音波と異なり大きなエネルギーを有していることから、減衰が小さくより速くまで伝播するので、マスコンクリートのような厚いコンクリートの探査も可能である。弾性波の入力方法はほかに、機械式打撃装置であるばね式ポインターを用いる方法、圧電素子を積層させた高出力パルサを用いる方法などがある。

床版や横桁横締め鋼材のグラウト充填度調査として実績があるが、主ケーブルではほとんど実績がない。

(2) グラウトの充填度評価方法としての適用性と課題

以上より、各非破壊検査手法の主ケーブルグラウト充填度評価方法としての適用性をまとめると表-13のとおりとなる。適用性があるのは、衝撃弾性波法、超音波透過法、X線透過法である。

6.3 非破壊検査手法の実用化への取組み

主ケーブルグラウトの充填度評価手法として適用性がある3方法のうち、超音波透過法とX線透過法は、局所的な調査に適しており、衝撃弾性波法はケーブル全長の概略調査に適している。主ケーブルグラウトの調査では、まず衝撃弾性波法でケーブル全長の概略調査を行い、疑いの生じたケーブルについては、超音波透過法あるいはX線透過法で局所的に詳細な調査を行うことが有効であると思われる。しかし、衝撃弾性波法は主ケーブルグラウトの調査実績がなく、不明な点が多いことから、適用性を検討するために試験桁による確認試験を行った。

表-13 グラウトの充填度評価方法としての適用性と課題

手 法	調 査 対 象		現状の問題点	適用性	課 題
	全長概略調査	局部調査			
電磁波反射法 (RCレーダー法)		●	・鉄筋が多数あると、より深い部分の情報のとれない。 ・鋼製シースでは、シース内部の状況は判別できない。	×	—
赤外線撮影法 (赤外線サーモグラフィ法)	●	●	・コンクリート表面まで有効な温度差が生じず、適用困難	×	—
超音波透過法		●	・伝播距離はコンクリート厚さ20cm程度まで ・PC鋼材平行配置は不可能 ・透過超音波の振幅、伝播速度に注目するだけでは評価困難	△	・特化した信号処理方法、解析方法の開発および発・受振子の革命的な技術開発が必要
X線透過法		●	・部材厚さ50cm程度が適用限界 ・放射線管理区域の設定が必要 ・測定時間（X線照射時間）が長大 ・PC鋼材平行配置部は不可能	○	・さらに厚い部材に適用するため、可搬型装置の高出力化が必要。ただし、取扱い、作業性の問題がある。
衝撃弾性波法	●		・床版・横桁横締め鋼材の実績のみ ・ケーブル全長の未充填か否かの判定程度 ・定着具の直接打撃・受信が必要	○	・指向性の高い弾性波入力方法の開発 ・多点測定方法や解析方法の開発 ・主ケーブルへの適用性の検討

また、既存の方法以外の新たな検査方法についても検討を行っているので、以下にこれらについて概要を述べる。

(1) 衝撃弾性波法の適用性の検討

① 試験桁による適用性の検討

主ケーブルは、配置形状が複雑で長く、隣接して配置されている。また既設橋では、定着具近傍での弾性波の入出力も難しいなど、床版や横桁横締めと異なる点が多い。このため、これらの影響を確認するために、試験桁による適用性確認試験を行った。試験桁は長さ35mのポストテンションT桁で、グラウトの充填状況を主ケーブルごとに変えている。

図-19に試験桁の仕様を、表-14に試験概要と結果を示す。

② 実橋による適用性の検討

上記の試験により、定着具を直接打撃し反対側の定着具で受信できれば、長さ35m程度までは、グラウトの有無の判定は可能であることが分かった。今後、さらに長く複雑な形状のケーブルによる試験を行い、衝撃弾性波法の適用限界を検討する予定である。

(2) 新たな検査手法の検討

① 中性子による検査方法の検討

中性子は、金属やコンクリートのように質量の大きな物質でも同様な透過性を示すが、水素原子には、大きな減衰また反射されるといった特徴をもっている。つまり中性子は、PC構造物の主構成材料である、コンクリートや鉄筋またPC鋼材やシースは透過し、内部の空隙あるいは水溜まりなど水素原子量の差があると減衰、反射により透過量に変化を生じることになる。この性質を利用して、グラウトの充填度を評価しようとするものである。検査用の線源には、密封された微量の放射性同位元素(カリホルニウム)を用いることから、取扱いに特別な資格や許可は必要ない。また計測時間が短く、装置は小型で軽量などの特長がある。

中性子によるグラウト充填度評価方法の適用性を検討するため、試験桁による確認試験を行った。用いた試験桁は、衝撃弾性波法の適用性確認試験に使用したもの(図-19)である。図-20に試験概要を、図-21に試験結果を示す。ただし、今回は試験を行った直後で整理ができていないため

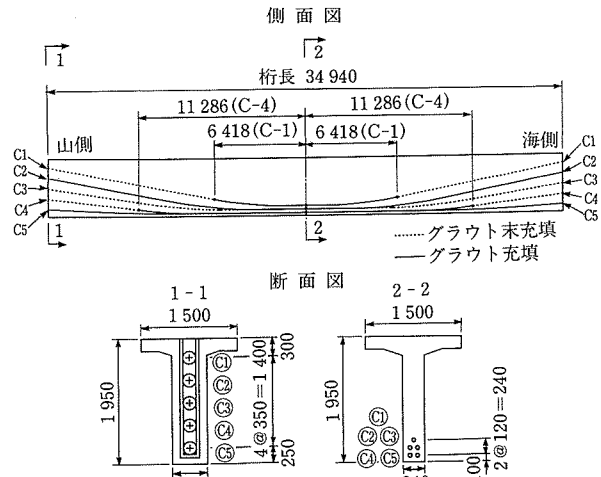


図-19 試験桁の仕様(グラウトの充填状況)図

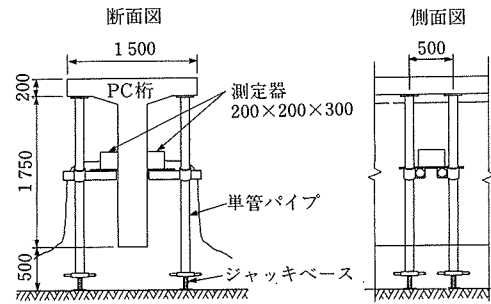


図-20 中性子による試験概要図

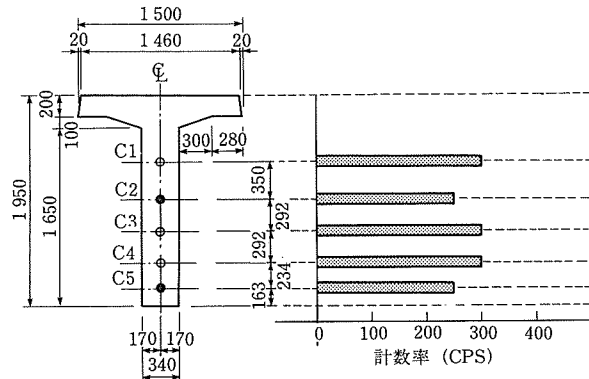


図-21 中性子による試験結果

表-14 試験桁による衝撃弾性波法確認試験

	A 社	B 社	C 社
入力方法	「積層型送信パルサ」 ・圧電素子を複数枚積層し、各素子を同時に荷電して出力することにより、再現性良く、安定したデータを採取できる。	「ばね式ポインター」 ・機械式打撃装置で、打撃信号のばらつきが少ない。	「ハンマー」 ・4種類のハンマーの特性を比較し、打撃に適するハンマー1種類を選定
測定位置	・入出力位置は、桁端部および側面にて実施	・入出力とも桁端部より実施。打撃位置、センサー位置は定着具(アンカープレート)	・入出力位置は、桁端部および側面にて実施
結果	・桁側面から送受信した場合、隣接ケーブルの充填状態の影響を受けていることを確認 ・積層型送信パルサの実用性を確認	・グラウトが未充填の判別は可能。4割以上充填は判別困難 ・桁端部からの送受信でも、隣接ケーブルの充填状態の影響を受ける。	・桁端部からの送受信は、グラウト未充填の判定指標となり得る。桁側面からの送受信では、判定困難
課題	・各社とも総じて、以下の2項目を問題点としている。 ①隣接ケーブルの影響 ②かぶり厚の大きい箇所での判定の難しさ 衝撃弾性波法を実橋の主ケーブルで実用化するには、上記の問題点の解消が必要である。しかし、現状ではとくに有効な解決策は提案されていない。		

結果の一部を示すのみとする。

グラウトの充填されているC2, C5ケーブルの計数率が、グラウトの充填されていないC1, C3, C4ケーブルより小さな値となった。これは、C2, C5ケーブルのグラウトに含まれる水素原子(水分)により、中性子が減衰または反射されたためと考えられ、中性子によりグラウトの充填度を評価できる可能性のあることが分かった。今後、得られた他の試験データの整理・分析を行い、主ケーブルグラウトの充填度評価方法としての適用性を検討する予定である。

② センサーによる充填確認方法の検討

この方法は、新設橋のグラウト充填度の確認方法として検討しているもので、あらかじめシース内部に小型のセンサーを埋め込んでおき、このセンサーにより空気・水・グラウト等シース内部の物質を確認しようとするものである。センサーは、物質の電導度を計測するものと、放熱抵抗値を計測するものの2種類である。ここでは、放熱抵抗値を計測するセンサーを用いた試験の概要を述べる。

基礎試験として、シースをコンクリートに埋め込んだ供試体を作成し、空気とセメントグラウトの放熱抵抗値を計測した。図-22に供試体を、表-14に計測値を示す。空気とグラウトの放熱抵抗値に明らかな差があり、検知可能であることが分かった。引き続き実橋により、実用化を考慮した適用性確認試験を行う予定である。

6.4 おわりに

現状では、一つの非破壊検査手法で主ケーブルグラウトの充填度を評価することは不可能であり、いくつかの方法を組み合わせる必要がある。したがって今後は、検査手法の研究・開発を進めるとともに、上部構造

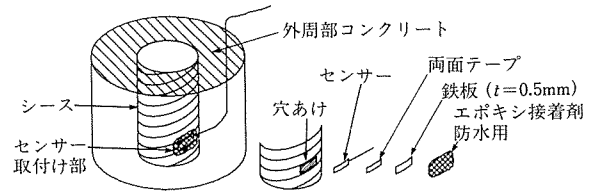


図-22 放熱センサー供試体

表-14 放熱抵抗値

シース内空気	シース内グラウト	出力差
7.9 mV	2.2 mV	5.7 mV

別、配置形状別、長さ別など、主ケーブルの特徴と、各非破壊検査手法の特徴を組み合わせた総合的なグラウト充填度評価手法を検討していくことが必要である。

これまでの検討にあたっては、(株)フジエンジニアリング、非破壊検査(株)、(株)国際建設技術研究所、日制エンジニアリング(株)の協力を得た。

参考文献

- 1) 浦野, 池田, 辻: 第18回土木学会関東支部技術検討発表会講演概要集, PCグラウトの流動性試験方法
- 2) 材寄, 南, 小林: アフターボンドPC鋼材の諸特性について, プレストレストコンクリート, pp.91~98, 1990.7

文責: PC建協耐久性委員会  
 委員長 徳良 賢一  
 委員 赤間 淳一  
 大田 豊  
 齋藤 基文  
 佐藤 幸一  
 森 哲哉

【1999年9月20日受付】