

## 主桁ケーブルの PC グラウト再注入法

|               |           |
|---------------|-----------|
| (財) 鉄道総合技術研究所 | ○新田 耕司    |
| 同 上           | 正会員 鳥取 誠一 |
| 同 上           | 吉田 幸司     |
| 興和コンクリート株式会社  | 赤間 淳一     |

### 1. はじめに

これまで、鉄筋コンクリート (RC) 構造物の変状に対しては多くの補修・補強法が検討されてきたが、プレストレストコンクリート (PC) 構造物は元来耐久性に富むことから、補修・補強法についてはあまり検討されてこなかった。

しかし、近年、一部 PC グラウトの充填不良に伴う変状が懸念されるようになってきた<sup>1), 2)</sup>。

PC グラウトの充填不良は、PC 単純桁長手方向の主ケーブルで生じやすいと考えられる。これは、PC 単純桁の主ケーブルが一般に桁端部で曲げ上げ配置されることと、以前用いられていた PC グラウトがある程度のブリーディングを発生させるものであったため、他の部位に比べて PC グラウト充填不良の発生確率が高くなったものと考えられる。ただし、最近ではノンブリーディングタイプの PC グラウトの使用が一般的になっており、PC グラウトの信頼性は以前に比べて大きく向上している。

このような背景から、本研究では、既設 PC 構造物の補修方法を提案するために、実物大の供試体試験を用いて主ケーブル PC グラウトの再注入法について検討することとした。

### 2. 現行の補修法とその課題

目視検査等により、主ケーブル近傍に変状が認められた場合には、主ケーブルおよび鉄筋の探査、はつり調査、再注入補修の手順により作業がなされる。

主ケーブルの探査には電磁波法が一般に用いられているが、現状ではどの程度の周波数を有する機器を用いればよいのか必ずしも明確にされていない。

補修に際しては、数箇所のはつり調査が必要であるが、PC グラウトの充填状況を非破壊検査により把握できれば、この調査を大幅に軽減できる。この点に関しては、X 線法により、PC グラウトの充填状況を比較的明瞭に捉えられることが示されている<sup>1), 2)</sup>。しかし、一般に X 線法による測定範囲は狭く、測定効率も低いため、現状では X 線法を全面的に用いるのは困難な状況にある。

再注入補修は、図 1 に示すように、シースに沿って孔を 2 箇所削孔し、孔間の通気を確認した後に、PC グラウトを再注入する方法がとられている。

しかし、この方法には次に示すような改良の余地が残されている。

- ① 孔間の通気が確認できない場合には、通気が確認できるまで別の孔を削孔する必要があり、補修作業が煩雑になる。
- ② 再注入により孔間には確実に PC グラウトが充填されるが、孔間外の範囲における充填性が不明である。

そこで、PC 桁端部を模擬した実物大供試体試験等により、上述の主ケーブルおよび鉄筋の探査から再注入補修に至る一連の課題を検討することとした。

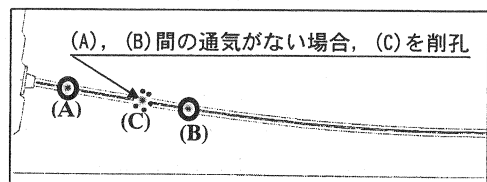


図 1 既往のグラウト再注入方法

### 3. 主ケーブルおよび鉄筋の探査

再注入補修に際しては、まず PC 鋼材が配置されているシースと鉄筋の位置を、非破壊検査により探査する必要がある。一般に、コンクリート中の鋼材探査には電磁波法が用いられる<sup>4)</sup>。この方法は、コンクリート表面からアンテナ送信された電磁パルス波が、コンクリートとは比誘電率等の電氣的性質が異なる鋼材表面で反射する性質を利用して、鋼材の位置を探査するものである。ところで、一般に電磁波には周波数が小さいほど、深部鋼材に到達するが、分解能が低下する性質がある。そこで、本試験ではかぶり<sup>5)</sup>が 50~100mm の鉄筋に対しては 1GHz 程度、かぶり<sup>5)</sup>が 200~300mm のシースに対しては 800MHz 程度の周波数の電磁パルス波を送信する機器により探査し、鋼材の位置をコンクリート表面にチョーキング表示した。

はつり調査の結果、シースおよび鉄筋の位置は、チョーキング表示した位置と概ね一致していた。以上より、かぶり<sup>5)</sup>の大きさに応じて、電磁波周波数を変化させて、鋼材を探査すれば、削孔作業による鋼材破断等を回避できることが確認された。

### 4. PC グラウト充填不良箇所の非破壊検査

前述のように、X 線法により、PC グラウトの充填状況を把握することは可能であるが、測定効率の面で難があるため、より簡易な非破壊検査法の開発が望まれている。そこで、本論では測定が比較的容易な中性子法に着目し、その適用性を検討することとした。

中性子法の測定原理を図 2 に示す。図中のコンクリートの左側に中性子放射線源、右側に検出器を設置し、コンクリートを透過する中性子量を測定することにより、コンクリート中の空隙を検出しようとするものである。図 2 (1) のように、コンクリート中に大きな空隙がない場合には、多くの中性子がコンクリート中の水の構成原子である水素と衝突し、熱中性子となって散乱するため、透過中性子量は大幅に減少する。一方、図 2 (2) のように、大きな空隙があると、空隙には水素がほとんどないため、透過中性子量の減少は僅かとなる。なお、本試験では中性子放射線源に Cf-252 (カリフォニウム)、検出器には He-3 を用いた。

測定状況を図 3 に示す。測定位置はシース位置と、その近傍でシースの影響を受けない箇所とし、供試体のウェブを挟んで、放射線源と検出器を設置した。

測定はグラウト再注入前後に行い、透過中性子量の変化を調べた。なお、1 箇所当たりの測定時間は 1 分で、測定自体は非常に容易である。測定結果を図 4 に示す。この結果から、グラウトの注入前後で中性子数量が減少していること、また、φ45 と φ65 のシースを比べると、空隙の大きい後の方がグラウト再注入によって、透過中性子量の減少割合が大きくなることわかる。なお、グラフの縦軸は一般箇所に対する中性子数量の割合を示している。僅かな実験の結果であるが、以上より、中性子法によっても、PC グラウトの充填状況ある程度判定できる可能性があると考えられた。しかしながら、既存の PC 桁の主ケーブル内に水が残存している場合、水分の影響で透過中性子数量が減少して、実際にはグラウト不良が存在するにも拘わらず、空隙がないという逆の判定結果を与えてしまう可能性もある。したがって、本法の適用に際しては、はつり調査を併せて行う等の配慮が必要である。

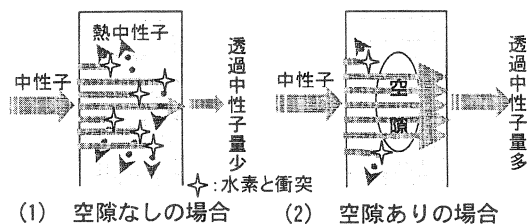


図 2 空隙の有無と透過中性子量の関係

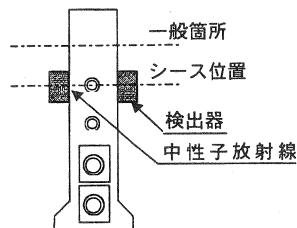


図 3 中性子法検査状況

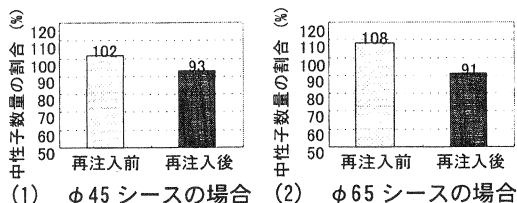


図 4 中性子線検査結果

## 5. 再注入補修の検討

### 5.1 基本的な考え方

「2. 現行の補修法とその課題」で示した現行の再注入補修法の課題に留意して、図5に示したような再注入補修法を考案した。考案法の特徴は以下のとおりである。

- ① 補修作業の効率化のため、削孔箇所を1箇所とする。
- ② 再注入時の空気抜きのため、シース内に排気ホースを挿入する。これにより、現行の再注入補修法に比べて信頼性の高いPCグラウトの充填が可能になる。

なお、図5のコンクリート供試体による再注入試験では、PCグラウトの流動状況を確認できないため、本論では、まず、透明シースを用いた注入試験を行い、PCグラウトの流動状況、充填状況を目視観察することとした。次いで、この透明シース試験で良好な結果が得られた条件に基づいて、図5のコンクリート供試体を用いた再注入試験を行った。

### 5.2 透明シースを用いた注入試験

#### (1) 試験条件

試験は図6に示した透明シースを用いて行った。5.1の②に示したように、いずれの供試体シースにも排気ホースを挿入した。シース内空間は狭隙であるため、排気ホースには内径 $\phi 4\text{mm}$ 、外径 $\phi 6\text{mm}$ と細径で、可撓性に富むフッ素樹脂系の材料を採用した。

透明シース供試体の全長は5mで、PC桁主ケーブル曲げ上げ部と同等の大きさである。PC桁の曲げ上げ端部にはPC鋼材定着部があり、主ケーブルの平行部には既設PCグラウトが充填していると想定されることから、透明シース供試体の両端部は密閉した。また、一般に、主ケーブル曲げ上げ部のPCグラウトが充填不良の場合には、定着部と既設PCグラウトとで囲まれる空間には、PC鋼材以外に再注入を阻害するような大量の物質は存在しないと想定されるので、本試験では両端部を密閉した透明シース内に、排気ホースを用いて、PCグラウトを注入することとした。

試験のパラメータは、①PCグラウトの種類(6種、表1参照)、②シース径( $\phi 45, 65$ )、③ケーブルの曲げ上げ角度( $9^\circ, 25^\circ$ )、④再注入位置(曲げ上げ上部、下部)、⑤注入ポンプの種類(手動、電動)である。

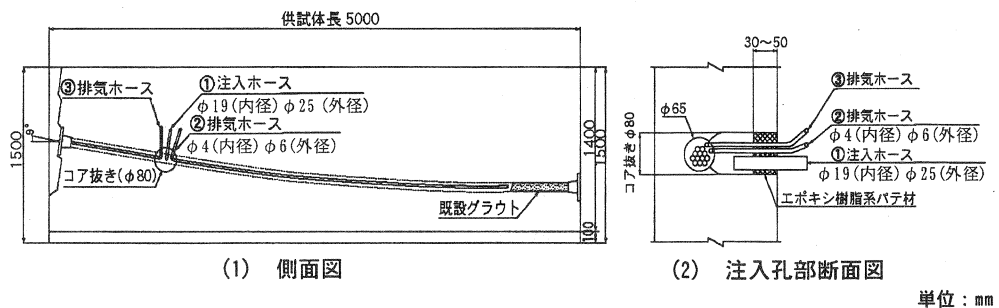


図5 新たに考案したグラウト再注入方法

単位: mm

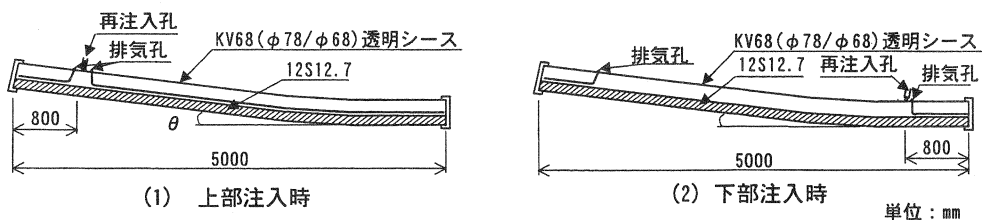


図6 予備試験用透明シース

単位: mm

表1 試験に用いた PC グラウト

| 記号  | PC グラウトの種類      | 混和材(剤)等の主成分*1                    | W/C (%) | グラウト温度 (°C) | ロート流下時間*2 (sec)     |
|-----|-----------------|----------------------------------|---------|-------------|---------------------|
| A   | 従来型             | 特殊リグニンスルホン酸化合物<br>高縮合芳香族スルホン酸化合物 | 34      | 33          | 22.4<br>JA ロート      |
| B-1 | ノンブリーディング高粘性型   | 高縮合トリアジン系化合物<br>水溶性高分子エーテル系化合物   | 45      | 31          | 9.6~10.0<br>JP ロート  |
| B-2 | 同上              | メラミン系高性能減水剤<br>増粘剤               | 45      | 34          | 14.8~15.5<br>JP ロート |
| C   | ノンブリーディング低粘性型   | 高縮合トリアジン系化合物<br>水溶性高分子エーテル系化合物   | 43      | 35          | 6.4~9.5<br>JP ロート   |
| D   | ノンブリーディング超低粘性型  | 超微粒子無機混和材<br>石灰系膨張材, 高性能減水剤      | 31      | 18          | 3.3<br>JP ロート       |
| E   | ポリマー微粒子セメント系注入材 | 超微粒子セメント<br>特殊ポリマーエマルジョン         | —       | 35          | 15.1<br>JA ロート      |

\*1: 材料メーカーによる公表データ

\*2: 2 段目は測定に用いたロートの種類

## (2) 試験に用いた PC グラウトの特徴とその品質

注入試験に用いた PC グラウトの種類, 水セメント比, ロート流下時間等を表1に示す。ロート流下時間は, 各々の PC グラウトに一般的に適用されるロートによる値であり, 同表中にロートの種類(JP, JA ロート)を併記した。JP ロートと JA ロートの流下時間の比は, PC グラウトの種類, 温度等によっても異なるが, 概ね 1/4 程度である。

同表中の A の PC グラウトは, ノンブリーディングタイプの PC グラウトが開発される以前に, 一般的に用いられていたもので, 本試験の比較材料として取り上げた。したがって, A の PC グラウトの場合には, 注入試験で相当量のブリーディングが生じることが想定される。

B-1,2 は「PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル<sup>5)</sup>」において定義されるノンブリーディング高粘性型に属する PC グラウトで, グラウト流下時に残留空気が発生せず, 硬化時に空隙が生じないと言われている。表1において, 上述の JP ロートと JA ロートの流下時間の比を考慮すると, B-1,2 の PC グラウトが最も高粘性であることがわかる。一般に, このタイプの PC グラウトは新設 PC 桁の主ケーブルに適用される。

C は上記マニュアルにおいて定義されるノンブリーディング低粘性型に属する。表1から, C の流下時間は高粘性型の B-1,2 よりも小さいことがわかる。このタイプの PC グラウトは, 横締め PC 鋼材などの隙間の小さい箇所への注入に適用される。

D は最近開発された PC グラウトで, 表1から, 流下時間は 3.3 秒で, 上記の低粘性型 C よりも相当に粘性が小さいことがわかる。ちなみに, 水の流下時間は 2 秒程度である。この PC グラウトは, 上記の C と同様に横締め PC 鋼材, あるいは既設 PC グラウトの再注入補修等への適用が考えられている。

E はコンクリートのひび割れ注入補修用に開発されたポリマー微粒子セメント系注入材であるが, 昭和 40 年代に建設されたプレキャストブロック PC 桁のグラウトの再注入補修に用いられたとの報告<sup>6)</sup>もあることから, 本試験においても取り上げた。

(3) 注入試験結果

PC グラウト注入時および硬化後における目視観察の結果を以下にまとめる。

- ① PC グラウト注入時には、表 1 のいずれの試験ケースも、シース内に PC グラウトが充填されることが目視確認された。なお、排気ホースから PC グラウトが排出された段階で、可能な範囲で再加圧して、確実に PC グラウトが充填されるようにした。以上より、施工条件に関わらず、排気ホースを用いることにより、PC グラウトの充填が可能なが把握された。
- ② PC グラウトの流下時間の相違により、注入時の流動状況には差がみられた。流下時間が非常に短い(粘性が小さい) D の PC グラウトは、シース内に配置した PC 鋼線を伝わって下端部まで流下し、その後、水平面を保ちながら上昇し、充填される傾向にあった。このため、万一、排気ホースの機能が十分でなくても、ある程度の充填が可能であると考えられた。一方、PC グラウトの粘性が高い場合には、グラウトがシース断面を満たしながら流下する傾向にあるため、排気ホースの機能が十分でない、充填性が著しく低下すると推測された。以上より、再注入補修の場合には粘性の小さな PC グラウトを用いるのがよいと考えられた。
- ③ 従来型の PC グラウト A あるいは E を用いた場合には、施工直後からブリーディングが生じ、硬化時には空洞が生じた。一方、他の PC グラウトの場合には、細かな気泡がシース上部に残存する場合もあったが、概ね満足すべき充填状況であった。以上より、再注入補修に際してもノンブリーディングタイプの PC グラウトを用いる必要のあることが把握された。

5.3 コンクリート供試体を用いた再注入試験

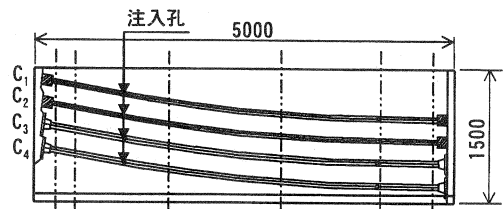
(1) 試験条件

主ケーブルの曲げ上げ端部を模擬したコンクリート供試体(図 7 参照)を用いて、PC グラウトの再注入試験を行った。試験条件は表 2 に示すとおりである。なお、最下段の C<sub>4</sub> ケーブルには、PC グラウト再注入前に水を 1l 注水して、ケーブル内の残留水が PC グラウトの充填状況に与える影響を調べた。

(2) 試験結果

再注入した PC グラウトの硬化後に、コンクリート供試体を切断し、PC グラウトの充填状況を調べた。その結果を以下にまとめる。

- ① いずれの主ケーブルも、上向き、下向き排気ホースの順に PC グラウトが流出し、排気ホースを設置した範囲は、PC グラウトが充填されたと推測された。また、再注入終了後に 0.5~0.8MPa の範囲で再加圧した。
- ② コンクリート供試体を切断調査した結果、再注入前に注水した C<sub>4</sub> ケーブル以外では、PC グラウトの充填状況が良好であった。C<sub>4</sub> ケーブルでは、排気ホースが到達しなかった部分で僅かに空隙が発生した。以上より、再注入補修に際して、シース内に残留水が認められる場合は、再注入前に残留水を排出するか、排気ホースを既設グラウト先端部まで確実に到達させる必要があると考えられた。



-----は充填状態確認のための切断位置を表す

図 7 コンクリート供試体側面図

表 2 コンクリート供試体による確認試験ケース

| ケーブル記号         | シース径 | PC グラウトの種類                       |
|----------------|------|----------------------------------|
| C <sub>1</sub> | φ45  | ノンブリーディング低粘性型                    |
| C <sub>2</sub> | φ45  | ノンブリーディング高粘性型<br>(表 1 の B-2 に相当) |
| C <sub>3</sub> | φ65  | ノンブリーディング高粘性型<br>(表 1 の B-1 に相当) |
| C <sub>4</sub> | φ65  | C <sub>2</sub> ケーブルと同じ           |

## 6. まとめ

主ケーブルの曲げ上げ部を模擬した実物大供試体により、PC グラウトの再注入補修試験等を行い、以下の結果を得た。

- ① 電磁波法により、PC 桁中の PC 鋼材、鉄筋を探查する場合には、各々のかぶりを考慮して、電磁波周波数の異なる機器を使用する必要がある。
- ② PC グラウトの充填状況に関する非破壊検査法として、中性子法の適用性を検討した結果、この方法によっても PC グラウトの充填状況がある程度把握できる可能性があることがわかった。ただし、シース内に水が残存している場合には、誤った判定となる可能性もあるため、はつり調査を併せて行う必要があると考えられた。
- ③ 排気ホースを用いることによって、確実な再注入補修が可能なが確認された。ただし、シース内に水が残存している場合には、再注入前に水を排出するか、排気ホースを既設 PC グラウトの先端まで到達させる必要のあることが把握された。
- ④ 再注入補修では排気ホースを適切に配置することが最も重要であるが、排気ホースの機能が十分でなくても、粘性の小さな PC グラウトを用いれば、ある程度の充填は可能と考えられた。その観点から、再注入補修では、粘性が小さくかつノンブリーディングな PC グラウトを用いるのが望ましいと考えられた。

## 7. おわりに

本研究は、運輸施設整備事業団の「運輸分野における基礎的研究推進制度」の一部として、一年の短期間に実施したものである。このため、検討内容にやや粗い面も残されている。しかし、試験は実物大供試体で実施しており、PC グラウトの再注入補修における排気ホースの活用方法についてはほぼそのまま実橋梁に適用できると考えている。本研究の成果が保守担当技術者の参考になれば幸いである。

また、本研究の実施に際しては、オリエンタル建設(株)林下敦氏、ドービー建設工業(株)濱田譲氏、日本鋼弦コンクリート(株)清水憲男氏、(株)富士ピー・エス太田豊氏、(株)ピー・エス神内隆行氏の各位より多大な御協力を頂いた。ここに謝意を表す次第である。

## 参考文献

- 1) 藤井学, 宮川豊章: PC グラウト充填状況の非破壊検査法, 土木学会論文集, 第 402 号/V-10, pp.15~25, 1989
- 2) 望月秀次, 本間淳史, 上東泰: 非破壊検査を用いた PC グラウトの点検と補修, プレストレストコンクリート, Vol.37, No.6, pp.67~74, 1995
- 3) 田村章一: PC 橋梁における横じめ工法の問題(I), 構造物設計資料, No.31, pp.19~22, 1972
- 4) 近藤純司, 東耕太郎, 大江弘, 斉藤啓一: 既設新幹線桁の PC ケーブル探查, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.1239~1242, 1995
- 5) プレストレスト・コンクリート建設業協会: PC グラウト&プレグラウト PC 鋼材施工マニュアル, 1999
- 6) 小林和夫, 宮川豊章, 杉江功, 森拓也: PC 構造物のグラウト不良とその補修のための後注入材料に関する実験, プレストレストコンクリート, Vol.36, No.3, pp.75~81, 1994