

PC グラウト充填不良に対する補修

鳥取 誠一*1・吉田 幸司*2・新田 耕司*3

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・補強法については必ずしも十分に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¹⁻⁴⁾。PC グラウトの充填不良は、PC 桁長手方向の主ケーブルと PC 桁同士を横方向に一体化する横締め PC 鋼材の問題に区分できる。

PC 桁の主ケーブルは、一般に桁端部で曲げ上げ配置されること、また、以前はある程度のブリーディングが生じる PC グラウトが用いられていたことから、PC グラウト不良は、桁端部で生じる確率が相対的に高いと考えられる。なお、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大きく向上している。

一方、横締め PC 鋼材には、一般に PC 鋼棒が用いられることから、PC グラウト不良により、PC 鋼棒が腐食破断した場合には、PC 鋼棒の突出やコンクリートの剥落といった第三者に対する影響が懸念される⁵⁾。

このような背景から、本論では、主ケーブル PC グラウトの再注入補修と、横締め PC 鋼棒の突出防止に関する実物大の供試体試験を行い、その補修法について検討することとした。

2. 主ケーブル PC グラウトの再注入補修

2.1 一般的な再注入補修法とその課題

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^{1,3)}。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、この方法には以下に示すような改良の余地が残されている。

① 孔間の通気を確認できない場合には、通気を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、本論では 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⁶⁾。

2.2 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、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⁷⁾。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気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、本試験ではかぶりが 50～100 mm の鉄筋に対しては 1 GHz 程度、かぶりが 200～300 mm のシースに対しては 800 MHz 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おおむね一致していた。以上より、かぶりの大きさに応じて、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。

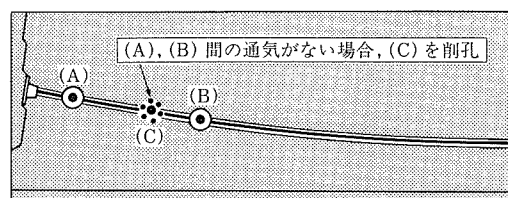


図 - 1 既往のグラウト再注入方法

*1 Seiichi TOTTORI：(財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部

*2 Koji YOSHIDA：東海旅客鉄道株式会社[前(財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部]

*3 Koji NITTA：中央復建コンサルタンツ株式会社[前(財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部]

2.3 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、より効率的な非破壊検査法の開発が望まれている。こうしたことから、近年においては超音波や衝撃弾性波等の弾性波を利用する方法や⁸⁾、中性子を利用した方法が注目されている。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(a)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(b)のように、コンクリート中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わずかとなる。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。

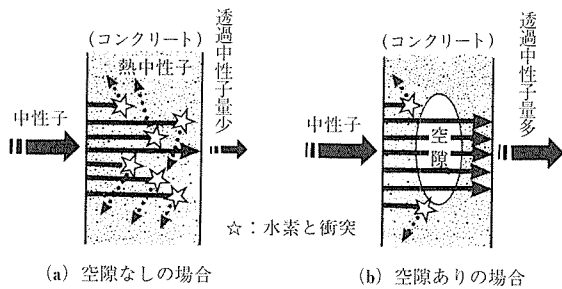


図-2 空隙の有無と透過中性子量の関係

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箇所あたりの測定時間は1分で、測定自体は非常に容易である。

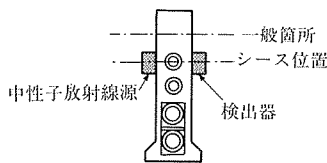


図-3 測定状況

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、空隙の大きい後者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。わず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の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

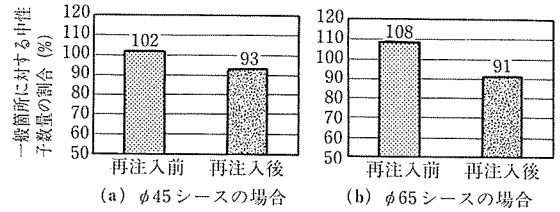


図-4 中性子線検査結果

PC桁の主ケーブル内には水が残存している場合もあり、このような場合には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かかわらず、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などの配慮が必要と考えられる。

2.4 再注入補修の検討

(1) 基本的な考え方

2.1の①、②に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。

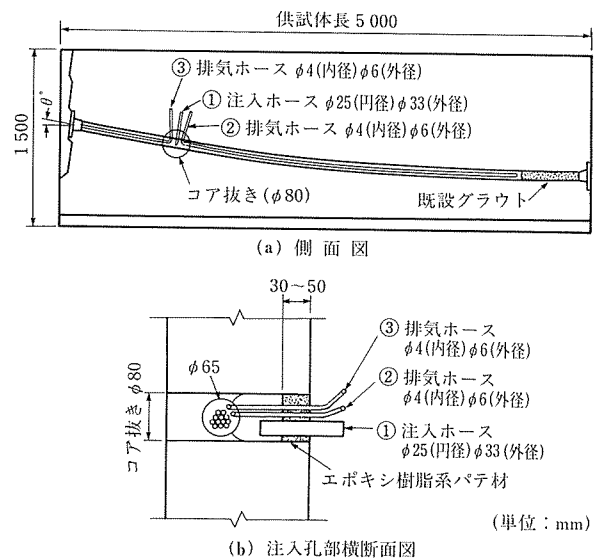


図-5 新たに考案したグラウト再注入方法

(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。前項

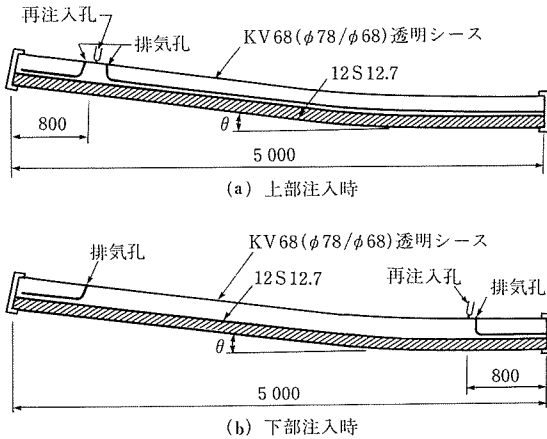


図 - 6 透明シースを用いた注入試験

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。シース内空間は狭いであるため、排気ホースには内径φ4mm、外径φ6mm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を閉じた。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閉じた透明シース内に、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(φ45, 65)、③ケーブルの曲げ上げ角度(9°, 25°)、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。

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、漏斗流下時間等を表-1に示す。漏斗流下時間は、おのおののPCグラウトに一般的に適用される漏斗による値であり、同表中に漏斗の種類(JP, JA漏斗)を併記した。JP漏斗とJA漏斗の流下時間の比は、PCグラウトの種類、温度

等によっても異なるが、おおむね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⁹⁾」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いわれている。表-1において、上述のJP漏斗とJA漏斗の流下時間の比を考慮すると、B-1, 2のPCグラウトがもっと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¹⁰⁾、表-1から、流下時間は3.3秒で、上記の低粘性型Cよりもさらに粘性が低いことがわかる。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年代にプレキャストブロック工法で建設された道路橋のPCグラウト再注入補修にも用いられている²⁾。当時のプレキャストブロック工法では、ブロック間でシースの接続不良が生じやすかったため、この位置でPCグラウトが漏れて、充填不良となったようである。したがって、シース内にPCグラウトが相当量残存している箇所への注入となるため、このひび割れ注入補修材が適しているとも考えられる。本試験では、既設のPCグラウトがほとんど残存していない、上記に比べれば広い空間への再注入であるため、このような場合における上記Eのひび割れ注入補修材の適用可能性を検討することとした。Eの漏斗流下時間は、上述のJP漏

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}	水セメント比(%)	グラウト温度(°C)	漏斗流下時間 ^{*2} (sec)
A	従来型	特殊リグニンスルホン酸化合物 高縮合芳香族スルホン酸化合物	34	33	22.4 JA 漏斗
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 水溶性高分子エーテル系化合物	45	31	9.6~10.0 JP 漏斗
B-2	同上	メラミン系高性能減水剤 増粘剤	45	34	14.8~15.5 JP 漏斗
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 水溶性高分子エーテル系化合物	43	35	6.4~9.5 JP 漏斗
D	ノンブリーディング超低粘性型	超微粒子無機混和材、石灰系膨脹材、高性能減水剤	31	18	3.3 JP 漏斗
E	ポリマー微粒子セメント系注入材	超微粒子セメント、特殊ポリマーエマルジョン	—	35	15.1 JA 漏斗

*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漏斗の種類

斗と JA 漏斗の流下時間の比を考慮すると、A とおおむね同程度の流下時間で、D と C の中間的な流動性を示すものと考えられた。

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ことが把握された。
- 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（粘性）が非常に小さい 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充填される傾向にあるため、排気ホースの機能が十分でないと、充填が不可能になると推測された。
- ③ 従来型の PC グラウト A あるいはひび割れ注入材 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。

以上の結果から、再注入補修の場合にはノンブリーディングタイプで、粘性の低い PC グラウトを用いるのがよいと考えられた。

(3) コンクリート供試体を用いた注入試験

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。表中に記したように、最下段の C₄ ケーブルには、PC グラウト再注入前に水を 1 ℓ 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。

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 グラウト種類 ^{*1}
C ₁	φ 45	C
C ₂	φ 45	B-2
C ₃	φ 65	B-1
C ₄	φ 65	B-2

*1：記号は、表 - 1 参照

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

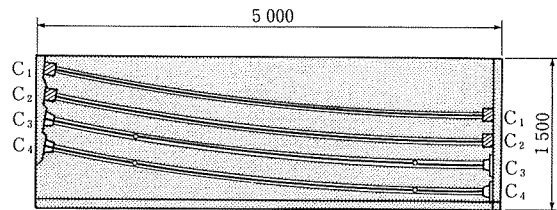


図 - 7 コンクリート供試体側面図

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 0.5～0.8 MPa 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 C₄ 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。C₄ ケーブルでは、排気ホースが到達しなかった部分でわず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。

3. 横締め PC 鋼棒の突出防止工

3.1 試験の概要

横締め PC 鋼棒の腐食破断に伴う鋼棒の突出、コンクリートの剥落を防止する方法として、ステンレスメッシュ、連続繊維シート等を用いて地覆コンクリートを覆う方法を試験により検討した¹⁾。

供試体は、新幹線複線の標準断面を想定し、図 - 8 に示すように PC 鋼棒径を φ 26 mm として、定着部距離を 11 m とした。試験は、PC 鋼棒の片側長さが 10.5 m の位置で、PC 鋼棒を破断させた際の定着部周辺の損傷状況を目視観察することにより行った。なお、PC 鋼棒破断時の衝撃エネルギーを定着部周辺に直接的に伝達させるため、シース内には PC グラウトを充填しなかった。

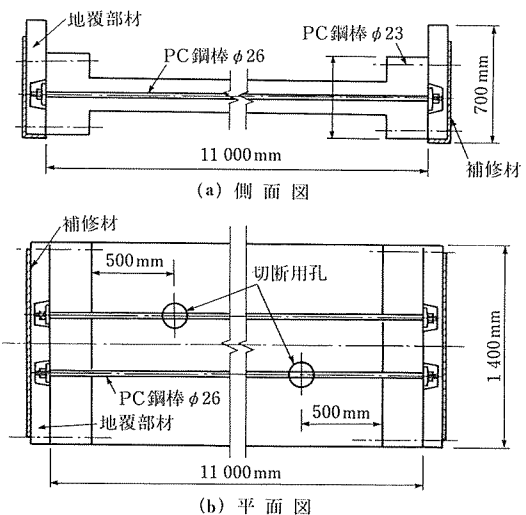


図 - 8 PC 鋼棒突出防止試験供試体概要図

試験を行った突出防止工の条件を表 - 3 に、同表中の No.5 の詳細を図 - 9 に示す。この場合は、PC 鋼棒定着部に

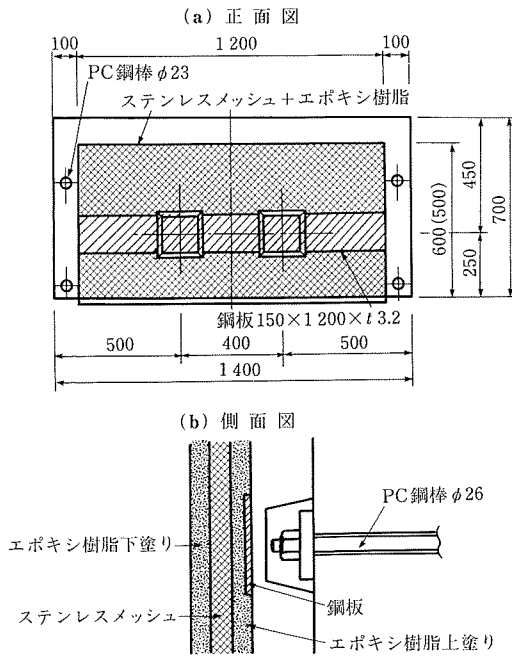


図-9 補修工概要図

带状鋼板を設置し、鋼板上部および周辺コンクリートにステンレスメッシュを付着させることにより、突出防止工が構成されている。

带状鋼板はJIS G 3101に適合するSS400で、厚3.2 mm、150×1200 mmの寸法とした。带状鋼板は、PC鋼棒定着部を中心として、エポキシ樹脂を用いてコンクリート面に付着させた。

带状鋼板の上部に配置するステンレスメッシュは、JIS G 3555に適合する平織金網で、線径、メッシュ数が大きなものを選択した。また、連続繊維シートを用いる場合には、横方向をアラミド繊維、縦方向をナイロン繊維としたシートを用いた。アラミド繊維の目付け量は240 g/m²、ナイロン繊維のそれは380 g/m²である。上記のステンレスメッシュまたは連続繊維シートは、付着耐力を確保するため、地覆下部にも付着させた。

3.2 試験結果

表-3にPC鋼棒の突出防止の可否を○、×で示した。No.1～3は带状鋼板を配置しなかったため、いずれもステンレスメッシュから、PC鋼棒が1 m以上の長さで突出した。これに対して、带状鋼板とステンレスメッシュあるいは带状鋼板と連続繊維シートを配置した場合には、写真-1

表-3 PC鋼棒突出防止試験ケース

供試体 No	補修方法	補強材寸法 (mm)	突出防止の可否
1	φ1.0 mm-8メッシュ*1枚	620×1200	×
2	φ1.6 mm-6メッシュ1枚	620×1200	×
3	φ2.0 mm-4メッシュ1枚	620×1200	×
4	φ1.6 mm-6メッシュ1枚+鋼板	720×1200	○
5	φ2.0 mm-4メッシュ1枚+鋼板	620×1200	○
6	複合繊維シート2層+鋼板	620×1200	○

*:メッシュとは、縦鋼線および横鋼線の25.4 mm間にある網目の数をいう。

に示すように、PC鋼棒定着部を中心とした剥離が認められたが、PC鋼棒の突出を防止することが可能であった。以上の損傷状況から、带状鋼板は主に衝撃力を緩衝する役割を担い、ステンレスメッシュ等が緩衝された衝撃力に対して、付着力により抵抗することが推測された。

以上の結果から、施工基面幅が10 m程度のPC桁では、表-3のNo.4～6のいずれかの仕様により、突出防止工を施せばよいと考えられた。



写真-1 PC鋼棒突出防止状況(供試体No.4)

3.3 突出防止工の設計に関する検討

突出防止工は上述の試験により、その耐荷性能を確認することができるが、定着端距離、PC鋼棒径等の条件が異なる度に試験を行うことは煩雑である。ここでは、本論の試験の結果と既往の文献等¹²⁾を参考に、突出防止工の設計法について検討した。

PCグラウトがまったくなく、PC鋼棒とシースの間の摩擦がないと仮定すれば、式(1)に示すPC鋼棒のひずみエネルギーがそのままPC鋼棒の突出エネルギーになる。

$$U = \frac{P_s^2 \ell}{2E_p A_p} \dots\dots\dots(1)$$

- ここに、 U : PC鋼棒のひずみ(突出)エネルギー
- P_s : PC鋼棒の有効プレストレス力
- ℓ : PC鋼棒の破断位置からの長さ
- E_p : PC鋼棒のヤング係数
- A_p : PC鋼棒の断面積

また、3.2に述べたように、带状鋼板とステンレスメッシュまたは連続繊維シートの力学的機能は異なるが、実務上はPC鋼棒の突出に抵抗するエネルギーを式(2)のように表すことができれば設計上簡便である。

$$U_r = U_1 + U_2 \dots\dots\dots(2)$$

- ここに、 U_r : PC鋼棒の突出に対する抵抗エネルギー
- U_1 : 带状鋼板の負担する抵抗エネルギー
- U_2 : ステンレスメッシュまたは連続繊維シートが負担する抵抗エネルギー

現状においては、式(2)の成立可能性、あるいは式(2)が成立するとした場合に U_1 、 U_2 がどの程度の値を取るかを精度良く推定することは困難であるが、本論の結果を含む既往の試験結果から、概略の値として、表-4に示す程度の値が想定される。

表 - 4 抵抗エネルギーの概略値

抵抗エネルギーの種類		抵抗エネルギーの概略値 (kN・m)
U_1	鋼板が負担する抵抗エネルギー	2 程度
U_2	ステンレスメッシュが負担する抵抗エネルギー	4 程度
	連続繊維シートが負担する抵抗エネルギー (1 枚あたり)	3~3.5 程度

4. 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、鉄筋を探索する場合には、おのおの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ことが確認された。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型の PC グラウトを用いるのが望ましいと考えられた。

また、橋梁地覆部を補強材で覆った状態を模擬した実物大供試体により、横締め PC 鋼棒の突出試験を行い、以下の結果を得た。

- ① PC 鋼棒定着部に帯状鋼板を設置し、鋼板上部および周辺コンクリートにステンレスメッシュ等を配置する構成により、PC 鋼棒の突出を防止し得ることを確認した。試験後の損傷状況から、帯状鋼板は主に衝撃力を緩衝する役割を担い、ステンレスメッシュ等が緩衝された衝撃力に対して、付着力により抵抗すると考えられた。
- ② PC 鋼棒の突出に対して、帯状鋼板等が負担すると考えられる抵抗エネルギーの概略値を示した。

5. おわりに

本論の試験等は比較的短期間に実施したため、検討内容にはやや粗い面も残されているが、試験はすべて実物大供

試体で実施しており、本試験の成果はほぼそのまま実務に反映させることが可能と考えられる。このような背景から、鉄道総研では本論の結果を基に、「PC グラウトの再注入等補修マニュアル (案)¹³⁾」を発刊した。本論と併せて御参照頂ければ幸いである。

なお、本論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」の一部として実施したものである。また、試験等の実施に際しては、「PC 構造物の補修・補強に関する研究会」の関係各位に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) 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
- 3) 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
- 4) 宮本征夫: プレストレストコンクリート鉄道橋の耐性評価, 東京大学学位論文, 1999
- 5) 田村章一: PC 橋梁における横締め工法の問題 (I), 構造物設計資料, No.31, pp.19~22, 1972
- 6) 新田耕司, 鳥取誠一, 吉田幸司, 赤間淳一: 主桁ケーブルの PC グラウト再注入法, 第 11 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, pp.531~536, 2001
- 7) 近藤純司, 東耕太郎, 大江弘, 齊藤啓一: 既設新幹線桁の PC ケーブル探査, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.17, No.1, pp.1239~1242, 1995
- 8) 渡辺健, 大津政康, 友田祐一: PC グラウト充填度評価のインパクト・エコー法に関する波動論的考察, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.20, No.1, pp.293~298, 1998
- 9) 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
- 10) 大熊晃, 呉承寧, 石森正樹, 林浩志: 高性能 PC グラウトに関する研究, プレストレストコンクリート技術協会第 11 回シンポジウム論文集, pp.583~588, 2001
- 11) 吉田幸司, 鳥取誠一, 新田耕司: 横締め PC 鋼棒の突出防止方法, 第 11 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, pp.527~530, 2001
- 12) 下山貴史, 友利方彦, 藤澤充哲, 松田芳範, 吉田徹: PC 下路桁の鉛直締め PC 鋼棒の破断と突出防止対策, SED, No.17, pp.42~47, 2001
- 13) (財) 鉄道総合技術研究所: PC グラウトの再注入等補修マニュアル (案), 2002

【2002 年 12 月 17 日受付】