

## (106) プレキャストセグメント工法を用いたPC橋の継目部防食技術に関する実験的研究

プレストレストコンクリート建設業協会 正会員 ○品川 清和  
 同 上 正会員 吳 承寧  
 建設省土木研究所 正会員 田中 良樹

### 1. はじめに

プレキャストセグメント工法を用いたプレストレストコンクリート橋(以下、セグメント橋)は、一般に現場施工の省人化を目的に採用されている。このセグメント橋は、個々のセグメント部材のコンクリートの品質が比較的高いことから、耐久性の高い橋としても期待できる。その際にセグメント部材間の継目部の耐久性確保が重要となる。通常、セグメント橋は、継目部に隙間が生じないようにエポキシ樹脂系接着剤がコンクリートの接合面に塗布されるとともに、活荷重載荷時においても引張応力が生じないようにプレストレスが導入されている。しかし、沿岸部の塩分環境の厳しい地域におけるセグメント橋は、万一、継目部にひび割れが生じたとしてもPC鋼材の腐食を防ぐことのできるフェイルセーフ機能を有する必要があると考えられる。近年、PC鋼材の塩害対策の一つとして、ポリエチレンシース(以下、PEシース)が採用され始めているが、これをセグメント橋に適用する際には、継目部における本来のPEシースとしての機能と上記のフェイルセーフ機能の観点からPEシースの連続性を確保する必要がある。

このことから、セグメント継目部に用いるPEシースのカップラ(以下、カップラ)を考案して、その遮塩性を確認するための塩水浸漬試験を実施した。また、その供試体製作の段階でカップラの施工性についても確認を行った。さらに、これらの結果を踏まえた上で、カップラの適用方法をまとめた。

### 2. PEシースの連続性確保に関する提案

#### 2.1 セグメント橋継目部の要求性能

塩害対策地域に建設するセグメント橋継目部の要求性能を以下のとおり整理した。

- ①万一、セグメント継目部に開きが生じたときにもPC鋼材に腐食を生じさせない。(耐久性)
- ②セグメントつなぎの施工性を著しく損なわない。また、グラウトの施工を阻害しない。(施工性)
- ③維持管理の負担となる構造としない。(経済性)
- ④シース継手が極端に大きな断面とならない。

なお、①における万一の状況とは、例えば、過積載車両の通行や設計施工におけるヒューマンエラーなどであり、設計の前提としてはあり得ない内容である。しかしここでは、フェイルセーフとして、こうした不測の事態が生じてもPC鋼材を海岸部の厳しい環境に曝すことがないように対策を施しておくべきであると考えた。これらを踏まえて、図-1に示すカップラを考案した。

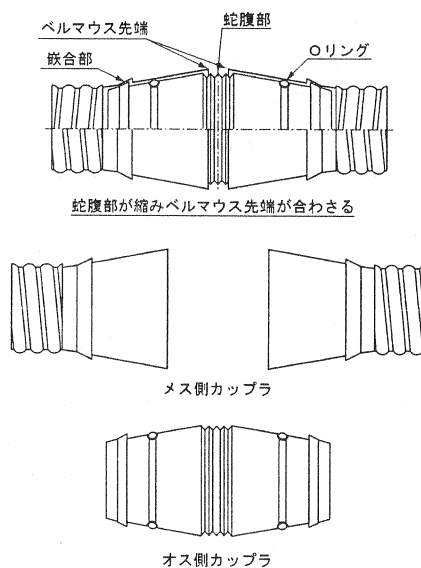


図-1 カップラ

## 2. 2 カップラの構造

カップラは、PE製の中央に蛇腹部を有するオス部品1個とベルマウスを持つメス部品2個およびゴム製のOリング2個からなる。カップラ各部の機能を以下に示す。

- ①嵌合部：オスとメスのカップラ一体化。遮塩性・止水性の向上。
- ②蛇腹部：施工誤差の吸収。セグメント接合時の作業性の向上。
- ③テーパー：セグメント接合時の挿入しやすさの確保。PC鋼材曲げ上げ部への適用性向上。
- ④Oリング：遮塩性・止水性の向上。
- ⑤ねじ部：一般部のPEシースと接合。

## 3. 塩水浸漬試験

### 3. 1 概要

本試験では、セグメント橋継目部にひび割れが入った状態でのカップラの遮塩性ならびに施工性を確認する。セグメント橋を模した供試体を製作し、継目部に強制的にひび割れを生じさせた後、赤インク入り塩水(以下、赤色塩水)に浸漬した。所要の浸漬期間が終了した供試体は、引き上げ、解体の後、目視およびEPMA試験(1年目のみ)によって赤色塩水の浸入の程度を確認した。なお、小型の供試体ではあるが供試体製作時に施工性も見ながら進めた。

表-1 ひび割れ幅の目標値

供試体番号	緊張時鋼材ひずみの目標値(μ)	ひび割れ導入方法	ひび割れ幅の目標値(mm)
A 2	1000	曲げ載荷	最大0.3
B 2	100	〃	残留0.2

実験の主なパラメーターは、継目部のひび割れ幅および塩水浸漬期間である。表-1に継目部のひび割れ幅の目標値を示す。活荷重によるPCブロックT桁橋のひび割れ幅に関する報告から<sup>2)</sup>、シリーズAではコンクリート下面の目標ひび割れ幅を最大0.3mmとし、除荷後はひび割れが閉じるようあらかじめプレストレスを導入しておいた。一方、シリーズBはシリーズAよりも過大な設定とし、残留ひび割れ幅が0.2mmとなるように設定した。シリーズAは実際のセグメント橋が置かれる環境としては最も厳しい状況を想定した。シリーズBは実際のセグメント橋ではほとんど見られない状況であると考えられるが、塩水浸漬期間が比較的短いことを考慮して、実際よりも相当厳しい状況として設定した。

塩水浸漬期間は、1、3、6ヶ月および1年とした(本文では1ヶ月目の結果のみ報告する)。

### 3. 2 供試体

表-2、図-2に供試体の形状寸法と諸元を示す。供試体数はシリーズA、Bそれぞれ2体の予備試験体を含めて6体ずつ用意した。供試体の中心にPEシースを配置するとともに、ある程度のプレストレスを与えるため、PEシース中心に全ねじ鋼棒を配置した。

コンクリートの接合面には一般的なコンクリート用2液性エポキシ接着剤を塗布した。

オス側カップラとメス側カップラの間は、Oリングおよびカップラの嵌合部で遮塩性を確保す

表-2 供試体の諸元

コンクリート	早強ポルトランドセメント, W/C=38%
グラウト	普通ポルトランドセメント, W/C=45% ノンフリーディング・高粘性型グラウト用混和剤使用
接着剤 (カップラ間詰材)	コンクリート用2液性 エポキシ樹脂系接着剤
PEシース及び カップラ	高密度ポリエチレン(HDPE) 呼び径φ70mm, 厚さ1~2mm
鋼材	全ねじ鋼材, 4T, M12

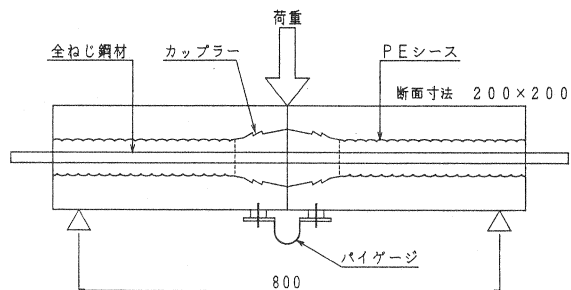


図-2 供試体の形状寸法とひび割れ導入方法

ようになっているが、ここではさらに少しでも遮塩性の向上を図るため、そのカップラ間にコンクリートの接合面に使用するものと同じエポキシ接着剤を間詰材として用いることとした。接着剤の塗布にはハケやヘラを用いた。接合面、カップラの周囲に接着剤を塗布した後、二つのセグメントを全ねじ鋼棒の端部のボルトを締めることによって引き寄せ、カップラの嵌め込みもその緊張力に任せた。シリーズA、Bともに鋼材のひずみが1000 $\mu$ になるまで緊張し、シリーズBはすぐに100 $\mu$ 程度まで戻した。

接着剤塗布から2日後、グラウトを実施した。PC鋼材曲げ上げ部のグラウト充填性を確認する目的で、供試体を10°傾けた状態でグラウト注入を行った。グラウト材は水セメント比45%とし、ノンブリーディング・高粘性型グラウト用混和剤を使用した。

グラウト後10日目以降に以下の方法により、供試体の継目部付近に曲げひび割れを発生させた。

### 3. 3 ひび割れ導入方法

図-2にひび割れ導入方法を示す。曲げ荷重によりひび割れを発生させ、表-1に示した目標ひび割れ幅になるまで荷重を行った。ひび割れは、いずれの供試体も継目部付近で発生し、想定どおりのひび割れが導入できた。浸漬後1ヶ月目に回収した供試体A2およびB2のひび割れ幅を表-3に示す。

表-3 ひび割れ導入試験結果

供試体 番号	鋼材の 残留 ひずみ ( $\mu$ )	プレストレス量		ひび割れ幅 (mm)	
		導入力 (kN)	コンクリート 応力度 (N/mm <sup>2</sup> )	最大値	残留値
A 2	1004	14.3	0.36	0.306	0.052
B 2	108	1.5	0.04	0.805	0.223

### 3. 4 塩水浸漬方法

ひび割れを発生させた供試体を、NaCl濃度が3%の赤色塩水に入れ一定期間放置した。赤色をつけるために200%の水槽に700mlのペン用赤色インクを投入した。予備試験により、微細なひび割れでも塩水浸入の程度を十分把握できることを確認した。放置期間中は水の量に注意し、蒸発した量と同量の水を補充した。所定の期間経過した後、供試体(本文では、1ヶ月経過した供試体A2およびB2)を塩水中から取り出し、供試体に含まれる水分が解体時に移動するのを防ぐ目的で、40°Cの恒温室で2日間乾燥させた。乾式コンクリートカッターで供試体を軸方向に縦割りにし、カップラの側断面が観察できるようにした。硬化したグラウト材、オス側カップラ、間詰材、メス側カップラをそれぞれ取り外して、赤色塩水の浸入による着色部分(以下、赤色部分)の分布を目視観察した。また、セグメント継目部の曲げひび割れに沿ってセグメントを分割し、ひび割れ内部への赤色塩水の浸入の程度を目視観察した。EPMA試験は、浸漬後1年目の供試体のみ実施する予定としている。

## 4. 結果と考察

### 4. 1 遮塩性

供試体A2、B2の間に、塩水浸入の程度に関して顕著な差が見られなかった。供試体外部、ひび割れ内部ともに、赤色部分と元のコンクリートの色は容易に識別することが可能であった。ここでは、赤色部分が赤色塩水浸入箇所と同じであるとした。目視観察の結果を以下に列挙する(写真中、線で囲まれた箇所は赤色部分を示す)。

- ①曲げひび割れの内部は、コンクリート下面の残留ひび割れ幅が0.05mmであっても赤色になっていた(写真-1)。

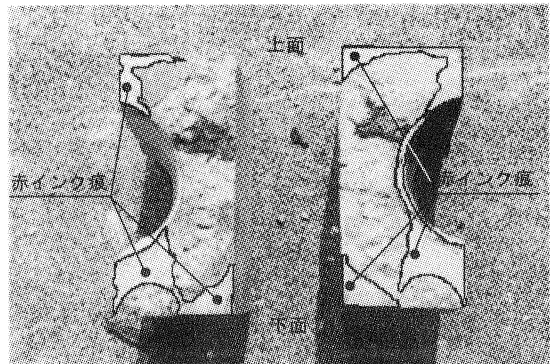


写真-1 セグメント継目部端面

- ②コンクリート接合面の接着剤充填不足部があり、その空洞化した部分に赤色部分が見られた(写真-1)。
- ③曲げひび割れの入っていた断面のカップラの周囲全て(蛇腹部分外側およびメス側カップラの突合せ部)に赤色部分が見られ、曲げひび割れの入っていた箇所だけに塩水が浸入したものではなかった(写真-2)。
- ④グラウトの周囲には赤色部分が見られなかった(写真-3)。
- ⑤オス側とメス側の間詰材(接着剤)の充填が不足している箇所があり、その空洞化した部分には赤色部分が見られた(写真-4)。
- ⑥<sup>オス</sup>リングならびに嵌合部には赤色部分が見られなかった(写真-4)。
- ⑦メス側カップラの外側とコンクリートの界面にも赤色部分が見られた。

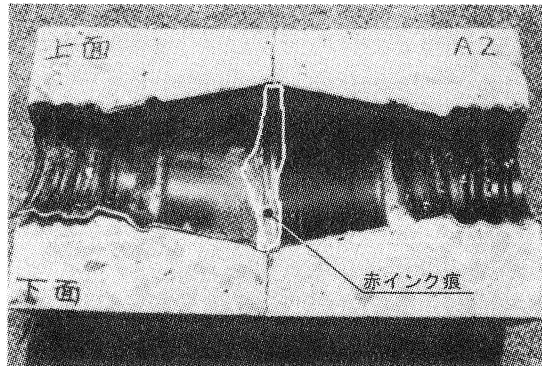


写真-2 メス側カップラの内側

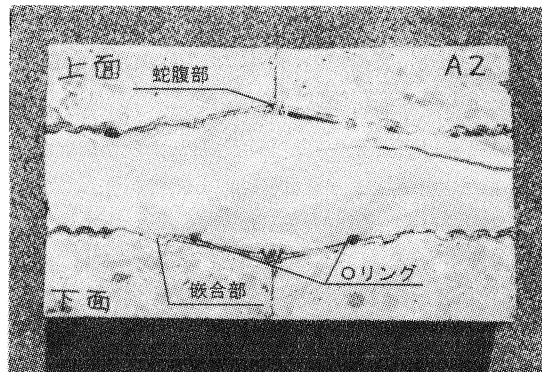


写真-3 供試体側断面

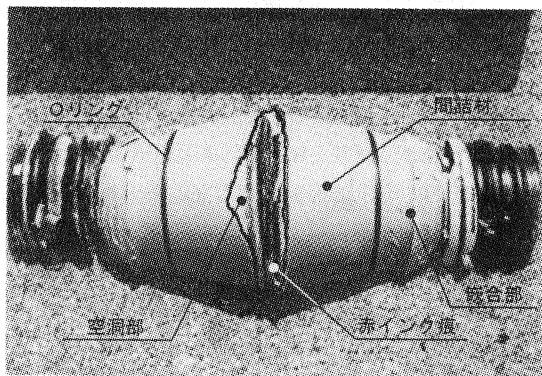


写真-4 オス側カップラの外側

図-3に、継目部にひび割れが生じた場合のカップラの塩分浸透経路を示す。エポキシ接着剤は引張が生じた場合に、コンクリートの引張強度まで継目部のひび割れ発生を抑制する効果がある。しかし、ひび割れ発生後は、塩分浸透の抑制効果は期待できない。

そして、PEシースが不連続である場合には、グラウトにも容易に曲げひび割れが伸展するものと考えられる。よって、ひび割れ発生後はひび割れを通じてPC鋼材位置まで塩分が容易に到達するものと考えられる。また、エポキシ接着剤とグラウトはいずれも施工の程度の影響が大きく、万一何らかの要因によりそれらの施工が適切でなかった場合に、PC鋼材は直ちに厳しい環境に置かれることになる。

一方、カップラを用いた場合には、ひび割れが生じたときにも間詰材、<sup>オス</sup>リング、嵌合部で塩分の浸入を防ぐことが期待される。今回の1ヶ月目の試験結果より、間詰材の遮塩効果が確認された。しかし、間詰材は接合面のエポキシ接着剤やグラウトと同様に施工の程度の影響が比較的大きいことも確認された。

<sup>オス</sup>リング、嵌合部の遮塩性は今回の結果では確認できなかった。

以上の点から、カップラを採用した場合に、コンクリート外部からの塩分がPC鋼材位置まで到達する可能性を、従来の場合よりも小さくできると考えられ

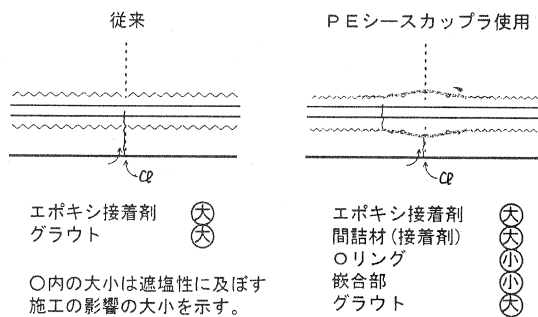


図-3 カップラによる塩分進入経路の相違

る。エポキシ接着剤、間詰材、グラウトの施工は施工の影響を受け易いが、適切に施工できたときの遮塩効果は高いので、いずれもカップラの有無にかかわらず丁寧に施工する必要がある。

#### 4. 2 施工性

今回の供試体は実構造物に比べて小さいので、カップラの施工性を全て把握することができないが、供試体製作を通して分かったカップラの施工性と施工上の留意点を表-4にまとめた。カップラのテーパの角度設定は、設計・施工の両面から最適な角度にする必要がある。テーパの角度は、PEシース間のあき等の配置上の問題、配置される位置での傾斜への対応、セグメント接合時の施工誤差(PEシース位置のずれ)、グラウトの充填性を考慮する必要がある。

表-4 カップラの施工性と留意点

項目	施工性と留意点
①カップラの扱い易さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・カップラは軽量で作業性は良い。</li> <li>・蛇腹部は想像以上に硬く、人力での変形は困難である。</li> </ul>
②間詰材の塗布の容易さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・試験では、間詰材の充填不足箇所が見られた。塗布作業はコンクリート接合面への塗布と同時に作業できるが、十分に充填できるように間詰材は厚めに塗布する必要がある。</li> </ul>
③カップラの挿入し易さ	<ul style="list-style-type: none"> <li>・今回はカップラのテーパの角度が比較的大きいため、挿入し易かった。</li> <li>・PEシースの配置上、テーパ角度をもう少し小さくする必要があるが、全くないと施工誤差等の修正が困難になり、セグメント接合時に支障をきたすので、多少のテーパは必要である。</li> </ul>
④グラウトの施工性	<ul style="list-style-type: none"> <li>・一旦、嵌合部が固定されれば、接着剤がシース内に漏れる心配がない。</li> <li>・嵌合部の隙間や蛇腹部は、細部までグラウトで充填されていた。</li> <li>・今回のグラウトは、テーパと同程度の角度に供試体を傾けて実施したため、オス側カップラ内部もグラウトが比較的良く充填できていた。</li> </ul>

#### 5. 実構造物への適用方法案

以上の検討を踏まえて、カップラの実構造物への適用方法を以下のとおり整理した。

(1) 曲げモーメントが大きい箇所にフェイルセーフとしてカップラを入れる。何らかの要因で曲げひび割れが出るとすると、その箇所は支間中央付近の下縁及び連続桁橋の支点上付近の上縁である。これらの範囲では、曲げ上げ角度は比較的小さい。カップラの採用は、曲げ上げ角度0~3°程度までの範囲とする。これにより、カップラのテーパを3°程度とすることができ、カップラの配置が比較的容易となる。

(2) カップラ適用箇所の決定は、曲げひび割れの発生の可能性、曲げ上げ角度等の諸要因をよく検討して決めることを基本とする(図-4)。

(3) カップラを使用しない継目は、エポキシ接着剤に期待するところが大きいので、継目部の接着剤の施工を特に注意する必要がある。接合面の面積が大きいほど継目面に不陸が生じ、隙間も大きくなる傾向があるので、その隙間を充填できるように適切な量のエポキシ接着剤を塗布する必要がある。

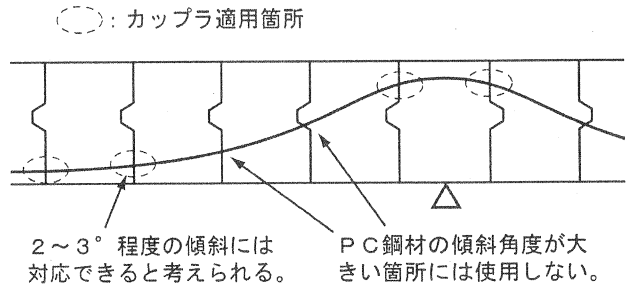


図-4 カップラの適用箇所

#### 6. まとめ

本文では、塩害対策地域におけるセグメント橋継目部の要求性能を整理した上で、カップラを提案し、その遮塩性、施工性を把握するための塩水浸漬試験を実施した。また、その結果を踏まえて、同カップラの実構造物への適用方法について提案を行った。主な検討結果は以下のとおりである。

(1) 継目部のひび割れに沿って浸入した赤色塩水は、カップラの周囲まで既に到達していたが、カップラの存在により、PEシース内側のグラウト部分には侵入していないことが確認できた。ひび割れが生じた状態での塩水浸漬試験は、実構造物の継目の置かれる環境よりも厳しいものと考えられるが、この状態でもカップラで十分遮塩できることが分かった。

(2) 一般にセグメント継目部に用いられるコンクリート用接着剤をカップラの間詰材としてオス、メスの間に塗布した結果、充填されているところは遮塩効果が見られた。ひび割れ発生後のカップラの遮塩性は、間詰材、<sup>オ</sup>リング、<sup>かんこうぶ</sup>嵌合部の二重三重の障壁により従来よりも向上できると考えられる。ただし、間詰材は、施工の際に塗りむらが生じないように厚めに塗布する必要がある。

(3) 実構造物への適用にあたっては、カップラのテーパの角度を設計・施工の両面から最適な角度に設定する必要がある。テーパの角度は、PEシース間のあき等の配置上の問題、配置される位置での傾斜への対応、セグメント接合時の施工誤差(PEシース位置のずれ)、グラウトの充填性を考慮する必要がある。

(4) カップラの配置上の問題を軽減するため、カップラの適用は何らかの要因により曲げひび割れが出るところに限定し、曲げ上げ角度の比較的小さい範囲にカップラを適用することを提案した。

## 7. おわりに

実験で採用した案はセグメント継目部でPEシースの連続化を図ることで、継目部の遮塩性能を向上させる目的で開発してきたものである。浸漬期間が1ヶ月という限定された実験の結果ではあるが、この範囲では十分遮塩性の向上という目的は達せられたと理解している。今後は、さらに実験データを増やし、カップラの信頼性を向上させるとともに、改良によって適用性の拡大を図っていくべきであると思っている。

継目部を工夫すれば、セグメント化は塩害対策地域におけるPC橋のLCC低減に有効な一方策になると考えている。今回のカップラ案にとらわれることなく、継目部の耐久性を確保するためのより適切な手法が提案されることが望まれる。

## 謝辞

本検討は建設省土木研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会による「ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究」(平成11~13年度)の一環として実施したものである。カップラの考案、試作、試験等、本研究にご協力いただいた関係各位に感謝の意を表する次第である。

## 参考文献

- 1) 田中良樹, 「プレキャストセグメント工法を用いたPC橋の継目部防食技術の開発」, プレストレストコンクリート, Vol. 41, No. 5, pp. 53-54, 1999年9月
- 2) 杉江功, 下村幸徳: PCブロックT桁橋の補修・補強, 橋梁と基礎, pp. 75~78, 1994. 8