

界橋橋脚補強の水中施工に際する各種実験について

(株)ピー・エス 正会員 藤岡 靖
 同上 正会員 河村 幸典
 同上 正会員 岩崎 大輔
 同上 正会員 ○岩井 利裕

1. はじめに

平成12年11月から平成13年5月にかけて、「界橋(さかいばし)」の橋脚耐震補強を行った。界橋は、島根県のJR松江駅より南500mに位置し、くにびき大橋と国道9号線を南北に結ぶ橋長27.8m、有効幅員25.0mの橋梁であり、災害時の重要な道路路網の一部として、橋脚補強が計画されることとなった。本橋脚は、桁下空間が1.8mと狭いこと、また、宍道湖へ移動するしじみ漁船の航路確保のために、従来のコンクリート巻き立て工法のような仮締め切りで使用する矢板の打ち込みが困難であり、河川環境への影響が懸念された。そのため、本工事では、全面水中施工が可能なプレキャストパネルを用いたPCコンファインド工法が採用された。

本橋は、国内初となるPCコンファインド工法による橋脚補強の全面水中施工に際して行った種々の試験、検討について報告するものである。

2. 界橋水中コンファインド工法の概要

界橋の諸元を以下に、補強後の構造図を図-1に示す。

諸元

- ① 上部構造：プレテンション方式中空床版橋
- ② 橋格：1等橋 (TL-20)
- ③ 橋脚形状：小判型壁式橋脚
- ④ コンクリート： $\sigma_{ck}=21 \text{ N/mm}^2$
- ⑤ 鉄筋：SD295A

図-2に大まかな施工フローを示す。

本工法により、全面水中施工が可能となった理由として、プレキャストパネルを使用することによって型枠組立が不要になったことと、橋脚補強の場合フレア溶接を伴う帯鉄筋組立の代わりに、PC鋼材を通線、

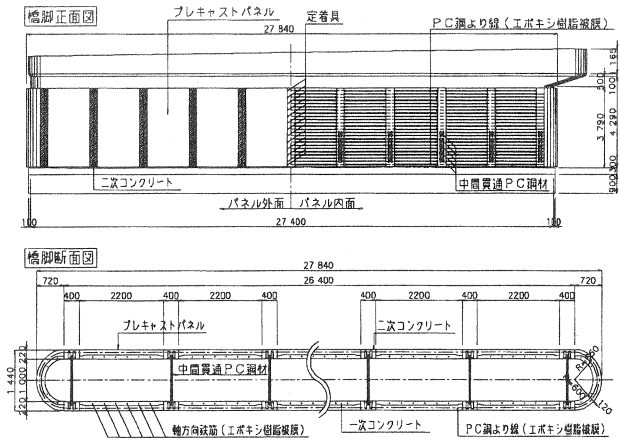


図-1 補強後の構造図

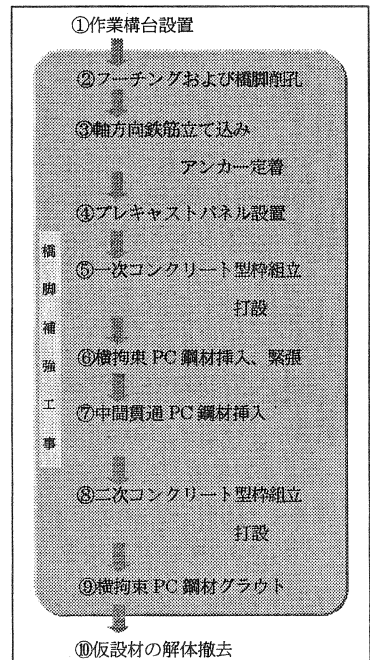


図-2 施工フロー

緊張することなどにより、従来工法のように大規模な矢板による仮締め切りが不要になったことである。

補強部の諸元を以下に示す。

諸元

- ① コンクリート : $\sigma_{ck}=30\text{N/mm}^2$
- ② 鉄筋 : SD345
- ③ 横拘束 PC 鋼線 : SWPR 1S12.7mm
- ④ 中間貫通鋼材 : SBPR930/1080 $\phi 23\text{mm}$

3. 各試験の目的、概要および判定

本工事のようなコンクリート巻き立てによる全面水中施工は、国内初であったため、種々の試験および検討を行い、施工を行った。その試験概要および目的を以下に示す。

3-1. エポキシ樹脂定着されたエポキシ樹脂塗装鉄筋の付着確認基準試験

3-1-1. 目的

図-2 の施工フロー③にあるように、曲げ耐力確保のため軸方向鉄筋を既設フーチングに、水中硬化型のエポキシ樹脂によりアンカー定着を行う (図-3 参照)。本工事においては、軸方向鉄筋定着から一次コンクリート打設までの数週間、軸方向鉄筋を水中に放置することになるため、防錆対策としてエポキシ樹脂塗装を施したものを使用した。気中ならびに水中におけるエポキシ樹脂と普通鉄筋の付着性能に関してはメーカーの実験により確認されているが、今回のようなエポキシ樹脂塗装鉄筋との付着性能に関しては、事例が少なく、確認が必要とされる。

したがって、現地で作成し、その引き抜き試験を行うことで防錆鉄筋とフーチングとの付着性能に関する安全性を確認し、最適な施工方法の採用を図った。

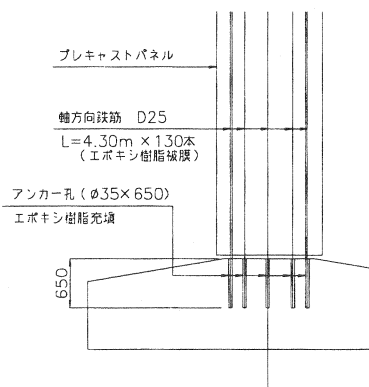


図-3 軸方向鉄筋アンカー部詳細図

3-1-2. 概要

【供試体およびパラメーター】

供試体一覧を表-1 に示す。パラメーターとその確認項目は以下のとおりである。

・試験環境 (気中 or 水中)

水中施工することによるエポキシ樹脂の付着強度の低下具合を確認する。

・定着長 (25D or 30D) D: 鉄筋直径

ここで、日本道路公団の資料¹⁾により、有機系のアンカーを使用する場合、フーチングへの定着長はその鉄筋径の20倍が必要とされる。

しかし、土木学会の資料²⁾によると、

供試体名称	環境	定着長	削孔方法	削孔径	本数
気-25-コ	気中	25D	コア	$\phi 35$	3
水-25-コ	水中	25D	コア	$\phi 35$	3
水-25-目	水中	25D	コア+目荒し	$\phi 35$	3
気-30-コ	気中	30D	コア	$\phi 35$	3
水-30-コ	水中	30D	コア	$\phi 35$	3
水-30-目	水中	30D	コア+目荒し	$\phi 35$	3

表-1 供試体一覧

エポキシ塗装された異形鉄筋とコンクリートとの附着強度は、原則としてその 80%とするため、本来の定着長 20D を 80%で除した値の 25D (=20/0.8) と、比較として 30D の定着長で試験を行った。

・削孔方法 (コア or コア+目荒し)

一般的に削孔はダイヤモンドドリルで行うが、先ほども述べたように附着強度は普通鉄筋の 80%程度である。したがって削孔方法として、附着強度を増加させるため、削岩機によって孔内の目荒しを行う。

【載荷方法および評価方法】

図-4 に示すような載荷方法で、SD345 のエポキシ樹脂塗装鉄筋の引き抜き試験を行う。鉄筋にはあらかじめネジ切加工を施し、30t の油圧ジャッキでその降伏点の 174.8 kN (= $\sigma_{sy} \times A_s = 345 \text{ N/mm}^2 \times 506.7 \text{ mm} \times 1/1000$) まで載荷する。設計上、その引き抜き強さは鉄筋の降伏点を満足すればよいため、降伏点まで載荷し数分間保持したとき

に、ダイヤルゲージによりその引き抜き量を測定し、その値が鉄筋の降伏点ひずみに達したときの伸びを下回っていれば、鉄筋とエポキシ樹脂またはエポキシ樹脂とコンクリート面の附着が切れていないと判断する。鉄筋が降伏点に達したときの伸び量 ΔL は、以下のようにして求め、それを許容伸び量とする。

$$\begin{aligned} \Delta L &= \sigma_{sy} / E_s \times L \\ &= 1.16 \text{ mm (定着長 25D の場合)} \\ &= 1.38 \text{ mm (定着長 30D の場合)} \end{aligned}$$

ここで、

σ_{sy} : 鉄筋の降伏点 (=345 N/mm²)

E_s : 鉄筋のヤング係数 (=200000 N/mm²)

L : 定着長+コンクリート天端からダイヤルゲージまでの距離
(=625 or 750 + 50=675 or 800mm)

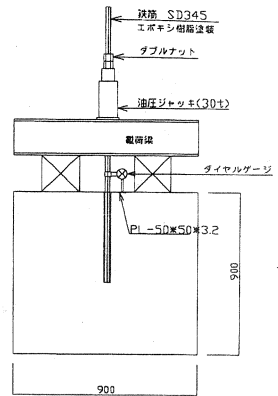


図-4 供試体概略図

3-1-3. 結果および判定

表-2 に全供試体の伸び量測定結果を示す。伸び量はすべて許容値の 34%~43%程度であり、鉄筋とエポキシ樹脂との附着は切れていないことが分かる。つまり、水中でもエポキシ樹脂塗装の異形鉄筋とエポキシ樹脂の附着強度が確認されたことになる。また、試験において、削岩機により削孔および目荒しが同時に施工できることが確認された。実施工では、定着長を 25D (=650mm) とし、削岩機にて

表-2 伸び量測定結果

定着長: 25D (=625mm の場合)			定着長: 30D (=750mm の場合)		
供試体名称	伸び量	許容伸び量	供試体名称	伸び量	許容伸び量
気-25-コ	0.51	1.16	気-30-コ	0.58	1.38
	0.35			0.68	
	0.57			0.27	
水-25-コ	0.41		水-30-コ	0.68	
	0.41			0.87	
	0.39			0.23	
水-25-目	0.48	水-30-目	0.33		
	0.33		0.38		
	0.49		0.49		

コア+目荒しを施工し、水中硬化性のエポキシ樹脂によりアンカー定着を行った。写真-1 に施工後の様子を、

写真-2 に軸方向鉄筋建て込み後の写真を示す。



写真-1 アンカー定着状況

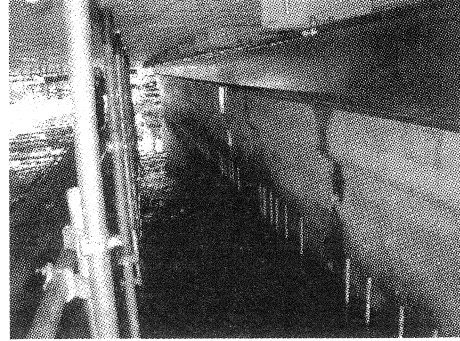


写真-2 軸方向鉄筋定着完了

3-2. 水中にて圧入打設された水中不分離コンクリートの充填および強度確認試験

3-2-1. 目的

図-2 の施工フロー⑤および⑥にあるように、本工事は全面水中施工となるため、水中不分離コンクリートを打設する。ここで、既設橋脚とプレキャストパネルの間 100mm の部分、プレキャストパネル間の厚さ 220mm、幅 400mm の部分をそれぞれ一次コンクリートおよび二次コンクリートと呼ぶ(図-1 参照)。気中での打設に関しては、一般のプレキャストパネルを用いたコンクリート巻き立て工事では高性能減水剤を使用することで、その充填性は確認されているが、今回のように水中での打設に関しては確認事例が少ないのが現状である。さらに二次コンクリートの打設箇所は、横拘束 PC 鋼線の定着具やカブラー、中間貫通 PC 鋼棒の定着具などが配置され打設空間が狭くなるため、その充填性を確認する必要がある。また、本工事では、打設時期が冬季であるため、圧縮強度の発現が遅くなることが懸念される。

したがって、現地にて一次コンクリートおよび二次コンクリートのように打設空間が少ない箇所での水中不分離コンクリートの充填性を確認するとともに、その圧縮強度と水温の関係から脱枠およびプレストレス導入時期を決定することを目的とする。

3-2-2. 概要

【供試体の作成】

図-5、図-6 にそれぞれ示すような実物大供試体を現場にて水中施工する。打設方法は、実施工と同じように、型枠下端に取り付けたシャッターバルブから、水中不分離コンクリートを圧送し、打設する。同時に気中および水中で打設したテストピース ($\phi 100 \times 200$) を採取し、材齢 24h、48h、4日、7日、14日、21日、28日の強度確認を行い、水中で打設したものが設計基準強度に達したとき、水中施工された実物大の供試体を水中より取り出し脱枠する。

【評価方法】

脱枠した供試体から無筋の部分をコア採取し、圧縮強度を測定することで、設計条件を満足しているかを確認する。また、供試体下端の中間貫通 PC 鋼棒のアンカープレート付近をハンマーによる打音試験を行い、その充填性を確認する。

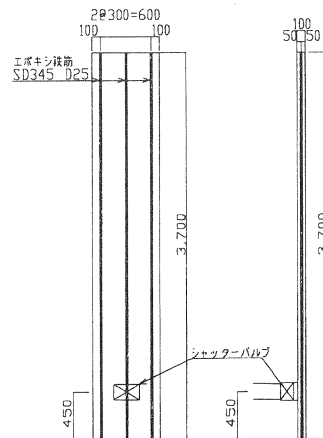


図-5 供試体 (一次コンクリート)

3-2-3.結果および判定

二次コンクリートから採取したコアの 28 日強度は、 $\sigma_{28} = 31.1\text{N/mm}^2$ (平均値) であり、水中打設による水中不分離性コンクリートの強度発現に問題がないことが確認された。また、一次コンクリートおよび二次コンクリートの充填性は打音試験により、空隙は無いと判断できた。

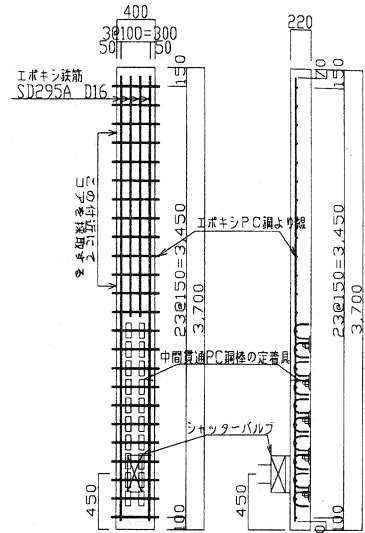


図-6 供試体 (二次コンクリート)

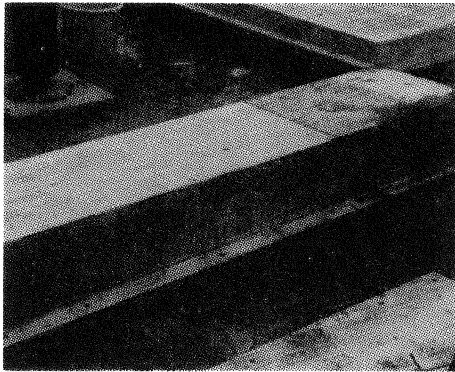


写真-3 二次コンクリート供試体脱砕後

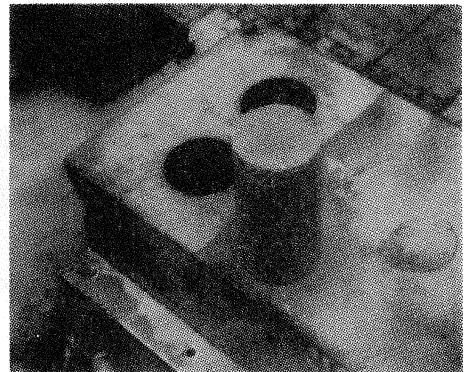


写真-4 コア採取

また、図-7 に一次コンクリート試験時における水中不分離性コンクリートの材齢と圧縮強度の関係を示す。

打設時期の2月に測定した1ヶ月の平均水温は 5.1°C であり、比較的低い水温にもかかわらず、2日目にして想定していた脱砕強度 ($=14\text{N/mm}^2$) が得られた。この結果より、水中不分離性コンクリートの圧縮強度は、気中採取のものと同等であることが分かった。これらを元に工程を管理し、実施工でも同様に圧縮強度を確認してから施工を行った。

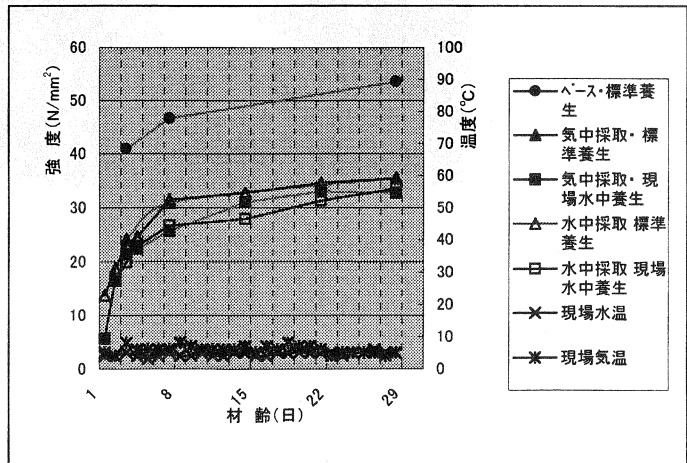


図-7 水中不分離コンクリートの材齢と圧縮強度の関係

4.まとめ

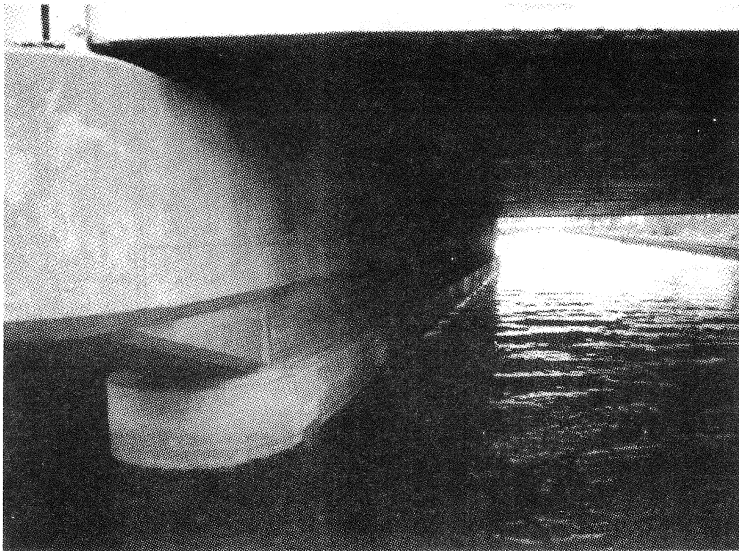
本工事に際する試験において、以下のことが明らかとなった。

- ・定着長 25D で、普通のコアボーリングで削孔した孔にアンカー定着すれば、水中でエポキシ樹脂塗装鉄筋をアンカー定着しても、設計上問題がないことが分かった。
- ・水中不分離コンクリートを厚さ 100mm 程度の打設空間が狭い箇所に水中で打設しても、強度、充填性に問題がないことが確認された。
- ・水中不分離コンクリートの材齢と強度発現の関係が、5°C程度の水温において採取することができた。

最後に、本工事の設計、施工、試験にあたって、多大なご尽力を頂いた関係者各位に謹んで感謝の意を表すとともに、これらの試験結果から得られた事実、データから今後の水中施工に役立っていき、水中コンファインド工法が、橋脚耐震補強工事において更なる建設コスト縮減、省力化、工期短縮につながれば幸いである。

参考文献

- 1) 日本道路公団：耐震設計・施工要領（案），pp II-17，平成 8 年 7 月
- 2) 土木学会：エポキシ樹脂塗装鉄筋を用いる鉄筋コンクリートの設計施工指針（案），コンクリートライブラリー 第 58 号，pp19，昭和 61 年 2 月



界橋橋脚補強 完成写真