

撤去桁を用いた断面修復工法のはつり影響度に関する実験的検討

日本道路公団試験研究所	正会員	博士 (工学)	○長田光司
同 上	正会員		野島昭二
(社) プレストレスト・コンクリート建設業協会	正会員		佐藤正明
同 上	正会員		藤岡篤史

1. はじめに

構造物に対して最適な補修・補強工法を選定するには、その工法の適用限界や効果を正確に把握しておく必要がある。コンクリート構造物の代表的な劣化原因としては塩害、中性化、アルカリ骨材反応、凍害、化学的侵食を挙げることができるが、補修を必要とする劣化の中では塩害または塩害と中性化の複合劣化の頻度が非常に高い。

塩害補修では、有害な塩化物イオン量を超える部分のコンクリートを除去し、断面を修復することが重要である。ひび割れ補修工法や表面被覆工法は、予防保全としては効果が期待できるが、内部の塩化物イオンの除去ができないため、塩害劣化が進行した場合は十分な補修効果が期待できない。したがって、このような場合、断面修復工法が効果的な工法として選定されることが多い。

しかし、プレストレストコンクリート構造物の場合、はつり後の断面へプレストレスの再分配等の応力変動が生じることになる。この場合、はつり深さや範囲によっては構造物として安全性が確保できない状態も想定されるが、実際の挙動を実験的に確認した事例は少なく、十分に解明されていないのが現状と考える<sup>1)</sup>。

本研究は、実際に供用されていた撤去桁を用いて、実測値とFEM解析結果との比較により、はつりの影響に関する検討を行ったものである。

2. 供試体の概要

実験に用いた供試体は、北陸自動車道の一部として1971年10月に竣工し、約27年間供用された後の1997年10月に撤去されたポストテンションPC単純T桁である。写真-1に撤去時の状況を示す。

本橋は海岸線付近に位置し、冬季には海水飛沫が直接影響する厳しい環境下にあった。塩害のため、1982年に初めての塗膜補修を実施後、1986～1987年には再補修、1991～1992年には断面修復を含む工事を実施していた。しかしながら、抜本的な塩害対策を実施していなかったため塩害の進行が著しく、PC鋼材付近の塩化物イオン濃度が1.2kg/m<sup>3</sup>以上あり、車両の大型化対策も兼ねて架け替えを行うこととなった。

写真-2に供試体に用いた撤去桁を示す。供試体寸法は桁長17.740mで桁高1.000mである。図-1に主桁断面図を示す。主桁には、PC鋼材12-φ7が5本配置されており、すべての鋼材が端部で定着されている。



写真-1 撤去状況



写真-2 供試体に用いた撤去桁

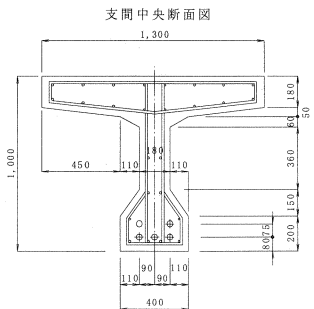


図-1 主桁断面図

3. 検討概要

3.1 解析概要

解析用プログラムには市販の3次元弾性FEM解析ソフトを使用し、図-2(a), (b)に示すようにソリッド要素で供試体をモデル化した。プレストレスは定着部に曲げ上げ角度を再現した外力として作用させるとともに、腹圧力に相当する外力を角変化に応じてケーブル位置で作用させることにより考慮した。はつりの影響は、図-2(a)に示すはつり前のモデルと、はつり深さに相当する断面を欠損させた図-2(b)に示すはつり後のモデルとの応力の差により検討した。はつり深さは実験ではつる深さを含む3ケースとし(図-3)、ケース1はスターラップ表面まで、ケース2は実験と同様にウェブでスターラップの裏側まで、下フランジでは軸方向鉄筋の裏側までそれぞれはつった場合を想定した。さらに、ケース3はウェブにおいても軸方向鉄筋裏側まではつった場合に相当している。

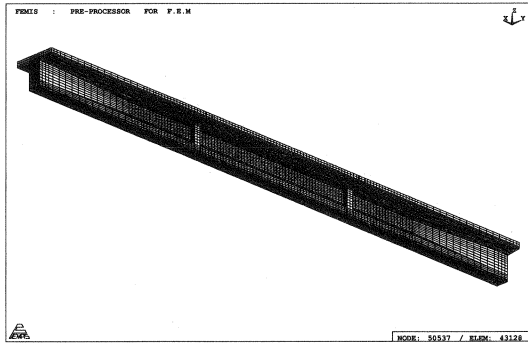


図-2(a) FEM 解析モデル(はつり前)

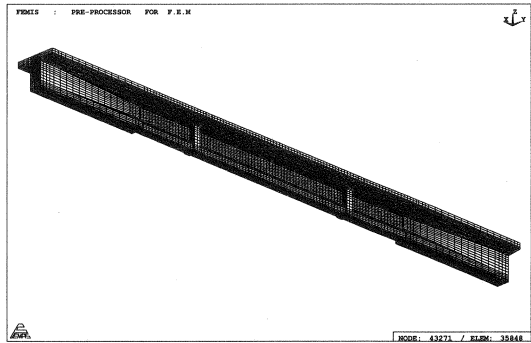


図-2(b) FEM 解析モデル(はつり後)

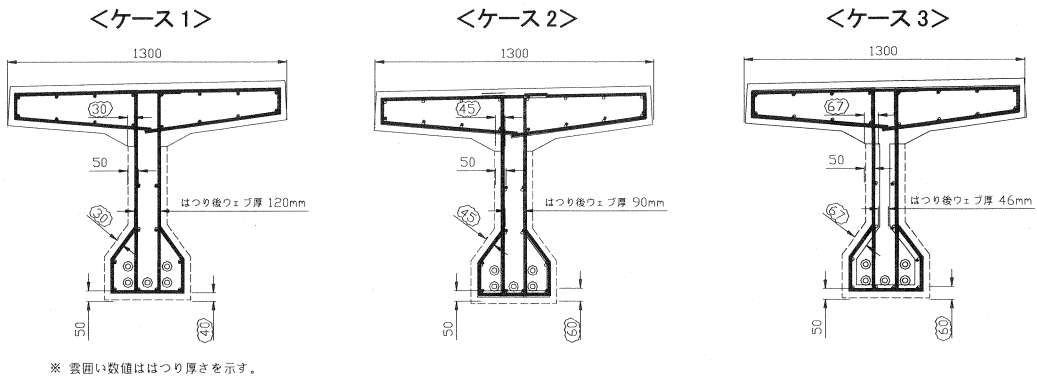


図-3 FEM 解析を実施したモデルケース

3.2 実験概要

実験は写真-3に示すように撤去桁を設置し、断面修復の事前処理に標準的に用いられるウォータージェット(以下、WJと記す)工法ではつりを行い<sup>2)</sup>、撤去桁に設置したコンクリートゲージから、はつりに伴うプレストレスの再分配等のひずみ変動を計測することにより実施した。ただし、下フランジ部ではWJの照射によりコンクリートゲージが除去されるため、はつり後のひずみを計測することが困難であった。このため、プレストレスの再分配等の影響は、支間中央部での上縁コンクリートのひずみ変化とたわみの変動により検討することとした。

図-4にコンクリートゲージ位置を示す。コンクリートゲージは断面内の図-4に示す位置に、支間中央から1mピッチではつり範囲内で均等に配置した。はつりの手順を図-5に示す。断面内ではウェブ上端から順に①～③と下方に片側はつった後、反対側のウェブ上端に移り④～⑥と下方にはつり、最後に下フランジ⑦

となる順ではつた。はつり深さは典型的な実構造物の塩害対策を想定して、ウェブでスターラップの裏側まで、下フランジでは軸方向鉄筋の裏側までとした。

はつり作業状況を写真-3, 4に示す。はつりには主に写真-3に示すようなロボットを使用し、仕上げに一部ハンドガンを使用した。ロボットの1回の桁軸方向の施工ストロークは2mであった。

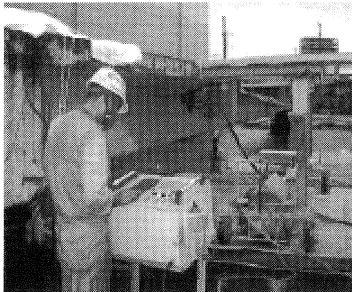


写真-3 WJはつりに用いたロボット



写真-4 はつり状況

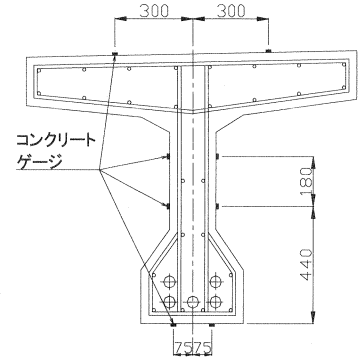


図-4 ひずみゲージ位置図

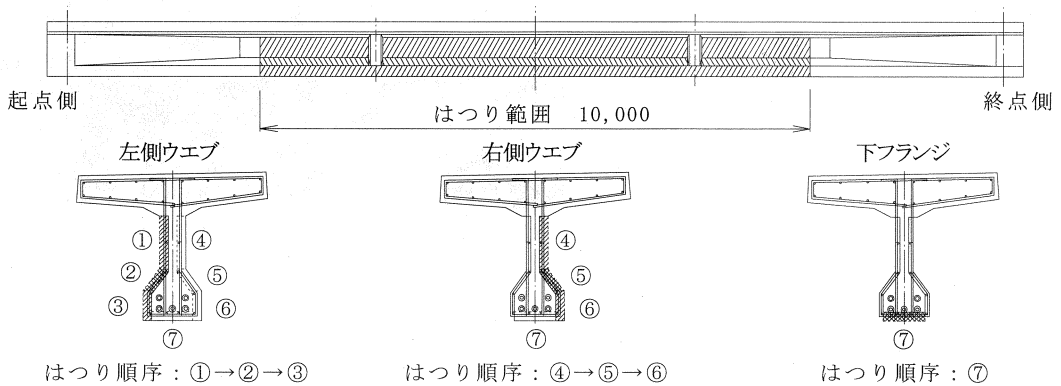


図-5 はつり手順

#### 4. 検討結果

##### 4. 1 解析結果

FEM解析結果を表-1に示す。この結果から、実構造物を想定しているケース2でも橋面荷重が載った状態でウェブのスターラップ裏側まではつる場合は、支間中央部での下縁圧縮応力度がはつり前の約2倍となる14.96 N/mm<sup>2</sup>に上昇し、道示Ⅲの許容値に匹敵する状態になることがわかる。このようにはつり深さには限界があり、ウェブの軸方向鉄筋裏側まではつる必要がある場合は、段階的にはつりと断面修復を繰り返す等の施工手順への配慮が必要となることがわかった。

表-1 FEM解析結果(支間中央部の下縁応力度)

		はつり前	はつりケース1	はつりケース2	はつりケース3
撤去桁	計算値	10.85	15.95	19.84	31.86
	道示許容値 <sup>※1</sup>	18.75	18.75	18.75	18.75
実橋 <sup>※2</sup>	計算値	7.26	11.64	14.96	25.06
	道示許容値 <sup>※1</sup>	15.00	15.00	15.00	15.00

※1 施工時の割増しとして、基準となる許容値を1.25倍している。

※2 ここでの『実橋』とは、橋面荷重を考慮した計算値を意味する。

4. 2 計測結果

WJ工法によるはつり後の状況を写真-5に示す。実際の供試体では配筋が左右均等ではなく、はつり深さは異なる結果となった。解析モデルのケース2を図-4に示す実際のはつり深さに修正したもので事後FEM解析を実施した。

表-2にFEM解析値と実測値の比較を示す。また、表-2には参考のため従来の設計手法に基づく簡易計算結果も併せて示している。主桁上縁部の圧縮ひずみの増加量はFEM解析値と実測値とがよく一致しており、鉛直変位量も近い値を示している。この結果から断面はつりによるプレストレスの再分配の影響は、FEM解析により比較的精度よく推定可能であることがわかった。また、今回の検討は断面欠損形状が広範囲にわたり均一であったため、FEM解析結果と従来の設計手法に基づく簡易計算結果とは近似していた。このように、単純な断面欠損形状の検討には簡易計算手法でも検討可能と思われる。

本検討ではこの他にも写真-6に示すように、劣化が進行している箇所等が脆弱部となり局部的に深掘りをしてしまうことが示された。実際の施工でPC桁をはつる場合は、はつり深さにばらつきが生じることに留意して計画を立てる必要があることがわかった。

表-2 FEM解析値と実測値の比較

	コンクリートひずみ (μ)		鉛直変位 (mm)
	上縁	下縁	
実測値	39	—	5.00
FEM解析値	33	-174	6.87
簡易計算値	32	-184	—

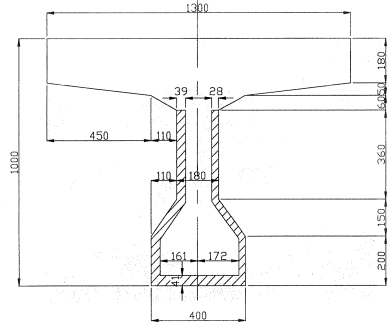


図-4 はつり深さの実測値

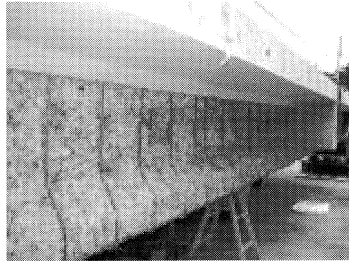


写真-5 はつり後の状況

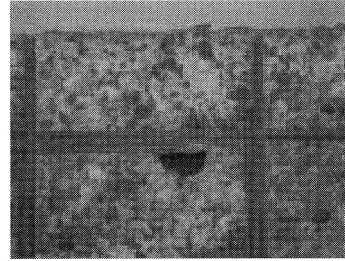


写真-6 深掘りによるウェブの貫通

5. 結論

- 1) WJ工法によるはつりに伴うプレストレスの再分配等の影響は、FEM解析により比較的精度良く推定できることがわかった。
- 2) PC構造物のはつり範囲には限界があり、典型的な塩害対策を想定した本検討では、はつり後の桁のプレストレスは支間中央部の下縁部ではつり前の約1.5倍となり、道示の許容値にほぼ匹敵する値となった。
- 3) WJ工法でコンクリートをはつる場合、劣化部で局部的な深掘りの生ずる可能性があり、施工計画の立案には十分な注意が必要であることがわかった。

謝辞

本稿は、日本道路公団試験研究所と(社)プレストレスト・コンクリート建設業協会との共同研究「PC橋の補修・補強技術に関する実験研究」の一部をとりまとめたものである。本研究に多大なご指導、ご協力を頂いた横浜国立大学名誉教授の池田尚治博士をはじめ各委員、(株)ピーエス三菱技術研究所その他関係各位に心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 長田光二, 野島昭二, 佐藤正明, 濱田謙: PC橋の補修・補強技術に関する取り組み, プレストレストコンクリート, Vol. 47, No. 2, Mar. 2005
- 2) 日本道路公団: 構造物施工管理要領, 2005年4月