

鉄筋切断法による実PC橋の残存プレストレス測定に関する検討

日本道路公団 試験研究所 正会員 ○横山 和昭
 日本道路公団 試験研究所 正会員 博士(工学) 長田 光司
 日本道路公団 試験研究所 室井 智文
 (社) PC建設業協会 正会員 加藤 卓也

1. はじめに

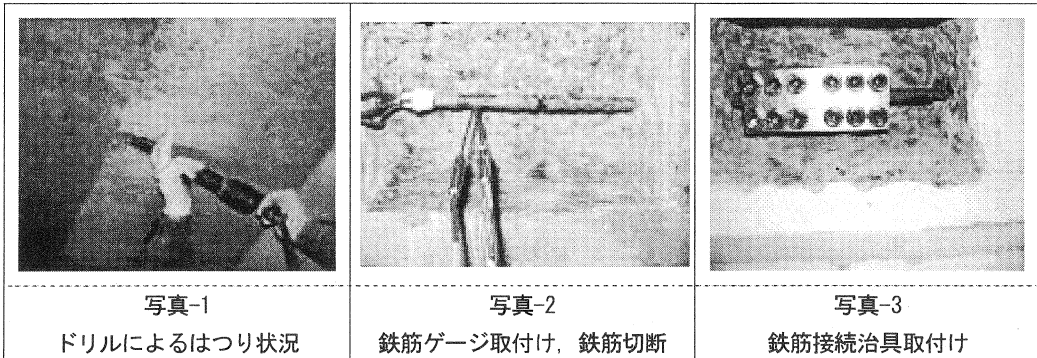
PC構造物は、ひび割れが発生しないように設計されるので、鉄筋が腐食する可能性が低く耐久性に優れている。しかしながら、塩害等の環境条件の影響により劣化が生じると、PC鋼材が腐食することが危惧されることもある。PC鋼材が腐食し万が一破断してしまった場合は、構造物の耐荷性能を著しく損なう原因となる。PC構造物の補強計画の立案や架け替えの判断には、残存しているプレストレスの把握が不可欠であるが、既設PC構造物の残存プレストレスを計測する手法は未だ開発途上にある。

本研究は、既設PC橋の耐荷力を定量的に評価する方法として、コンクリートに導入されているプレストレス応力を鉄筋切断法により推定する手法を確立することを目的とし、供試体実験で得られた技術の実PC橋への適用性について検討したものである。

2. 検討概要

2-1 鉄筋切断法の概要

PC構造物の残存プレストレスの測定法の一つとして、本検討では、PC構造物の鉄筋をはつり出し、ひずみゲージを貼り付けた後、鉄筋を切断し解放されるひずみを計測する手法（以下「鉄筋切断法」と記す）の実橋への適用性について検証することとした。鉄筋切断法では、切断した鉄筋の復旧が困難であり、これまで実構造物での適用はあまり行われてこなかったが、筆者らは本検討に先立ち供試体を用いて切断した鉄筋を機械継手により復旧した場合の耐荷性状についての確認を行い、機械継手形状を決定している。鉄筋切断法による計測状況を写真-1～写真-3に示す。



2-2 対象構造物の概要

検討対象のPC橋は、図-1に示すように支間32.340m、全幅員13.15mのPC単純合成桁(5主桁)であり、昭和48年に竣工し、昭和50年に供用している。使用されているPC鋼材は12-φ7である。

鉄筋切断法による応力計測は、図-1に示す4つの断面で行い、図-2に示すように1つの断面に付きウエブおよび上床版下面の2個所の健全な場所の鉄筋をはつり出して計測を行った。なお、計測断面1近傍の下フランジのPC鋼材は塩害により損傷を受け、断面修復による補修が施されていた。

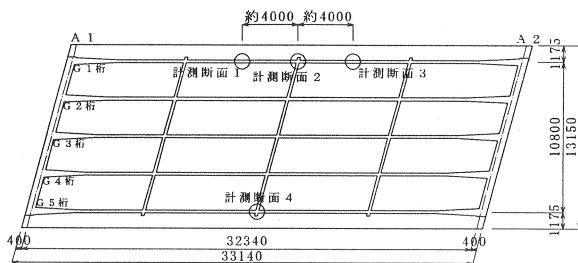


図-1 橋梁平面図

2-3 実橋における検討内容の概要

本検討の事前に行った供試体実験は、本論文集「PC構造物のはつりおよび断面修復に関する実験的研究」に報告されている。この事前検討では、はつり方法、補修方法についても検討を行っている。まず、劣化したコンクリートのはつり処理としては、はつり後の断面修復に用いる材料と既設コンクリートとの新旧コンクリートの一体化が重要であり、はつり処理にはウォータージェット工法を採用するのが望ましい。しかし、今回のように計測を目的として健全部のコンクリートを部分的にはつる場合においては、事前に十分な計画を立ててはつり作業を実施すればハンマードリルによるはつり方法を採用しても構造物に悪影響を与えることなく断面修復を行う事が可能であることが供試体を用いた確認実験で検証されたため、今回の計測では施工性及び経済性を考慮してハンマードリルによるはつり方法を採用した。また、計測箇所の部分的な断面修復用材については、強度が既設コンクリートと同等の強度を有すること、厚塗りが可能であること、凝結時間の短いこと等の要求性能を定めて材料選定を行った。

事前検討に基づき実施した本研究においては、実橋への適用性に関して以下の項目について検討を行った。

- 1) 鉄筋ゲージ取付け位置に関する検討
- 2) 鉄筋切断法の施工性の確認 (はつり, 鉄筋接続治具取付け, 断面修復)
- 3) 鉄筋切断法により得られる鉄筋の解放ひずみからPC橋の残存プレストレスを推定する方法の検討

3. 検討結果

3-1 計測結果および鉄筋ゲージ取付け位置に関する検討

推定値と計測値の比較を表-1に示す。供試体実験の結果を踏まえ、鉄筋の曲げによる影響を測定するため、図-3に示すように円周方向に3枚のゲージを取り付けているが、ここでは対称な2面のゲージの値を平均して求めた値を計測値 ϵ_2 とした。

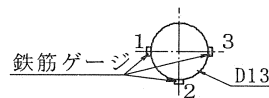


図-3 鉄筋ゲージの位置図

表-1 推定値と計測値の比較表 (単位: μ)

		G1桁				G2桁				
		①(A1側)		②中央		③(A2側)		④中央		
		上側	下側	上側	下側	上側	下側	上側	下側	
推定値	ϵ_1	775	712	809	712	774	742	816	679	
計測値	ϵ_2	表1	935	445	547	935	1015	1197	—	720
	裏3	1026	1193	908	749	537	804	—	584	
	平均	981	819	728	842	776	1001	—	652	
	中央2(参考値)	915	967	959	776	444	308	—	1037	
差	$\epsilon_2(\text{平均}) - \epsilon_1$	206	107	-82	130	2	259	—	-27	

注) ①A1側 (損傷部) の推定値 ϵ_1 は、PC鋼材素線 16 本破断時のひずみである。

また、推定値 ε_1 は下式(1)により算出した。

$$\varepsilon_1 = \varepsilon_{sd} + \varepsilon_{\phi s} \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 ε_1 : 建設時の設計計算から求まる鉄筋ひずみの推定(予測)値

$$\varepsilon_{sd} = n \cdot \sigma_{cd} / E_s \quad (\text{鉄筋の弾性ひずみ})$$

$$\varepsilon_{\phi s} = \phi \cdot \varepsilon_{sd} + \varepsilon_s \quad (\text{コンクリートの収縮・クリープによって生じる鉄筋ひずみ})$$

σ_{cd} : 計測位置での死荷重・プレストレスによるコンクリート応力 (N/mm²)

n : 弾性係数比 E_s / E_c (E_c : コンクリートの弾性係数 (N/mm²))

E_s : 鉄筋の弾性係数 (N/mm²)

ϕ : コンクリートのクリープ係数

ε_s : コンクリートの収縮ひずみ 収縮度とクリープ係数は、道路橋示方書に準ずる

T桁構造の本橋は、上側の計測位置が場所打ち床版で合成された拘束状態であり、下側の計測位置は横桁部分を除き、全く拘束されていない状態である。したがって、鉄筋切断時に検知された値は、上側と下側の異なる拘束条件の影響を受け、推定値と比較するとその傾向が若干異なっている。

表-1より鉄筋のひずみ値が表1と裏3で大きな違いを示していることから、露出した鉄筋には曲げが作用していると思われる。よって、本計測方法では、図-3に示すように鉄筋の3面に鉄筋ゲージを取り付ける必要がある。なお、本検討に先立ち行われた予備試験の結果より、切断される左右の鉄筋の解放ひずみには、50 μ 程度の誤差が生じることが確認された。また、はつりによっても数十 μ の影響が検出されることもわかっている。さらに、図-1に示す計測断面1の上床版には、写真-4に示すようなインサートが埋め込まれていた。このインサートにより、設計計算書からは推定できない未知の力が本計測位置には作用していたと考えられる。実構造物においてはこのように計測前に想定出来ない力の影響を受けている可能性も否定できないため、計測結果を丹念に分析する必要がある。

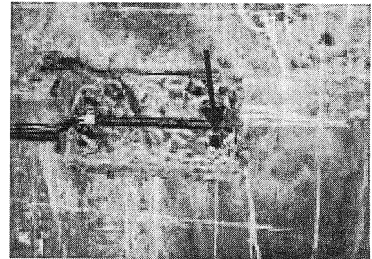


写真-4 はつり部のインサート

3-2 鉄筋切断法の施工性の確認

鉄筋治具を取り付けるために必要な作業空間も踏まえ、1箇所あたり長さ220mm、幅160mm、深さ100mm程度の体積を小型のエアケレンと電動ドリルを併用してはつりを実施した。その結果、十分な確認と点検を踏まえながら作業を行えば、既設構造物への悪影響もなく効率的に作業できることが確認できた。

また、断面修復材として選定したポリマーセメントモルタルについても、良好な施工性が確認できた。

3-3 残存プレストレスの評価について

当初、PC鋼材の破断によるプレストレスの減少量(圧縮ひずみの減少量)を検知する計画であった。しかし、スターラップの配置と鉄筋接続治具の取合いの関係上、PC鋼材の破断が確認された位置から橋軸方向に40cm程度ずれた位置での計測となり、損傷箇所直上での計測ができなかった。今回の計測では、測定箇所がPC鋼材の破断位置からずれているとともに、損傷部近傍はグラウトが完全に充てんされていると予測されるため、十分プレストレスが残存しており、応力低下は確認されなかった。

式(1)により計算される推定値の中身は、弾性ひずみとクリープ・収縮ひずみの比率は1:3程度となっている。今回の計測結果を分析し評価するために、仮に道路橋示方書で求まる収縮ひずみを一定とし、クリープによる影響を変数としてG1桁の下側3つの計測点について整理すると表-2に示すような結果となる。すなわち、今回の対象構造物では、鉄筋切断法の計測精度や、建設時などに作用した推測できない影響などを、クリープ係数という変数に置き換えたすると平均値が $\phi=3.80$ となった。

表-2の結果を踏まえ、その平均クリープ係数を使用して推定値を算出し直した結果を表-3に示す。また、表-3に示す計測ひずみから収縮ひずみを除いた値と、弾性ひずみの計算値とを回帰分析し、評価した結果

を図-4 に示す。図-4 から読みとれるように結果のバラツキが 100μ 以下であることが判った。よって、既設PC橋の残存プレストレス量を、鉄筋切断法により 100μ 程度の精度で推定できたとと言える。

表-2 クリープ係数の検討 (μ)

	G1桁下側		
	①A1側	②中央	③A2側
設計クリープひずみ ϵ_{ϕ}	396.0	375.0	396.0
推定値と実測値との差 $\Delta\epsilon$	107.0	130.0	259.0
$\epsilon b = (\epsilon_{\phi} + \Delta\epsilon)$	503.0	505.0	655.0
計測値より求まるクリープ係数 ϕ' $2.68 \times (\epsilon b / \epsilon_{\phi})$	3.4	3.6	4.4
クリープ係数の平均値 ϕa	3.80		

注) クリープひずみ ϵ_{ϕ} は、道路橋示方書に準拠して算出した推定値 ($\phi = 2.68$)

表-3 平均クリープ係数を用いた鉄筋ひずみの推定値と計測値の比較 (μ)

	G1桁下側			クリープ係数の見直し値
	①A1側	②中央	③A2側	
計測値 $\epsilon 1$	819	842	1001	
弾性ひずみ計算値 $\epsilon 2$	148	140	148	
クリープひずみの修正値 $\epsilon 3'$	562	532	562	$\phi = 3.80$
収縮ひずみの予測値 $\epsilon 4$	198	198	198	
$\epsilon 5 = \epsilon 2 + \epsilon 3' + \epsilon 4$	908	870	908	
$\epsilon 6 = \epsilon 5 - \epsilon 1$ (計測誤差)	89	28	-93	

注) ひずみ値 $\epsilon 5$ は、平均クリープ係数を用いた鉄筋ひずみの推定値。

本橋のG1桁は、支間中央の設計曲げモーメントが $7800\text{kN}\cdot\text{m}$ に対し、終局抵抗曲げモーメントが $15848\text{kN}\cdot\text{m}$ であり、2.032 倍の差がある。よって、終局耐力に対するプレストレス量の安全率が2.032であると考えることができる。今回の測定位置(ウェブ)でのプレストレスによる弾性ひずみが約 280μ であることから、仮にプレストレスの減少により安全率が直線的に低下したとすると、落橋に至るような場合のプレストレス減少量は約 142μ となる ($280 - 280/2.032$)。前述したように、鉄筋切断法によるコンクリート応力の推定精度は 100μ 程度であるため、残存プレストレスが著しく低下したような場合(落橋に至るような場合)は、残存プレストレス量を鉄筋切断法によって測定することが十分可能である。

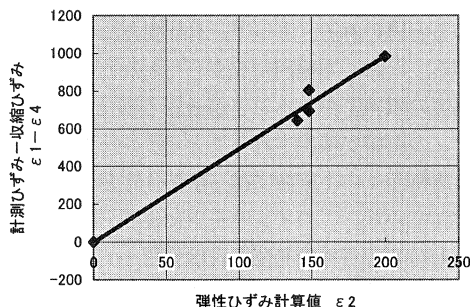


図-4 計測ひずみと弾性ひずみ計算値との関係

4. まとめ

今回の検討結果を以下に示す。

- 1) 供試体実験で事前に作業手順を検討していた鉄筋切断法を実PC橋に適用した結果、はつり作業や接続治具の設置およびはつり部の断面修復において、良好な施工性が確認された。
- 2) 測定の対象となる鉄筋が曲げの影響を受けている可能性があるため、曲げの影響を知る上でも鉄筋ゲージを1計測位置に対して円周方向に3測点以上設置することが望ましいことが判った。
- 3) 計測のバラツキを検証したい場合、1本の鉄筋に対して切断位置の左右2箇所にゲージを貼り付けることにより検証することが可能である。
- 4) 上フランジの計測位置では、建設時の施工手順による影響として場所打ち床版の後死荷重および収縮の影響を受けやすいため、ウェブ側に計測位置を設けることが望ましい。
- 5) 鉄筋切断法による計測結果からクリープおよび乾燥収縮の結果等を考慮して求めたコンクリート応力の推定精度は 100μ 程度であるため、損傷の外観調査等と組み合わせることにより、既設PC橋における残存プレストレスが十分実用的に測定できる。