

約33年間供用されたバイプレストレス方式単純箱桁橋の解体調査

オリエンタル白石(株)	正会員	修士(工学)	○東 洋輔
オリエンタル白石(株)	正会員		一ノ瀬 寛幸
オリエンタル白石(株)	正会員	博士(工学)	渡瀬 博
オリエンタル白石(株)	正会員	博士(工学)	手塚 正道

キーワード：バイプレストレスリング，コア切込み，有効プレストレス，固有振動数

1. はじめに

バイプレストレスリング方式は、従来のポストテンション方式あるいはプレテンション方式とコンクリート中のPC鋼材を圧縮・定着して、コンクリートに引張プレストレスを与えるポストコンプレッション方式を組み合わせたプレストレスリング方式である。本稿は、バイプレストレスリング工法にて施工された単純箱桁橋が、供用後約33年経過し、撤去されることとなったため、その橋梁に対して各種調査を行い、本橋の健全度を評価した内容について報告するものである。

2. 橋梁の概要

本橋の概要図を図-1に示す。本橋は、九州地方の西岸部に位置し、海岸から約3km離れた二級河川を跨ぐ歩道橋である。河川管理上および橋梁周辺の環境条件などにより、河川内に橋脚を設置せず、桁高を低くする必要があり、バイプレストレスリング方式単純箱桁橋が採用された。中央支間での桁高支間比は1/37である。本橋の設計は1978年の道路橋示方書に準じて、1985年に建設された。

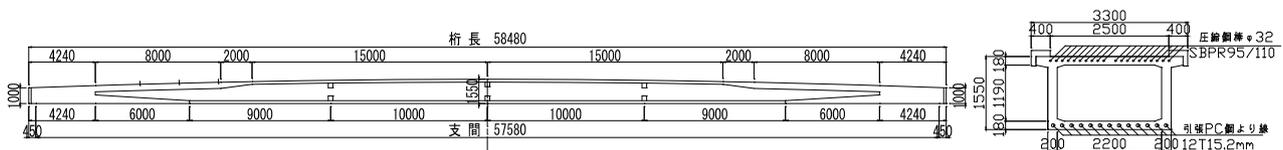


図-1 一般構造図 (左：側面図，右：支間中央部の断面図，単位：mm)

3. 調査概要

本橋に対して行った調査は、外観調査，固有振動数，有効プレストレス，圧縮強度，弾性係数，ポアソン比，塩化物イオン浸透深さ，中性化深さ，鋼材の腐食およびPCグラウトの充填状況である。

固有振動数は、支間中央部の上床版に加速度計を設置し、体重約65kgの人が高さ約50cmの高欄から飛び降りて加振する方法とした。加振により得られた加速度の結果を基に、高速フーリエ解析(以下、FFT解析)を行い、周波数ごとのフーリエスペクトルを求め、振動数が卓越した周波数を固有振動数とした。また、実測を評価するため、固有振動数 f_n を式(1)によって算出し、計算値として扱った。

$$f_n = \frac{1}{2\pi} \cdot (n\pi)^2 \sqrt{\frac{EIg}{wAL^4}} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 n ：振動モードの次数， E ：弾性係数(実測値)， I ：断面2次モーメント， g ：重力加速度， w ：単位重量， A ：断面積， L ：支間長。

有効プレストレスは、表層部にコアドリルを用いて約18mm深さの切込みを入れ、圧縮ひずみを解

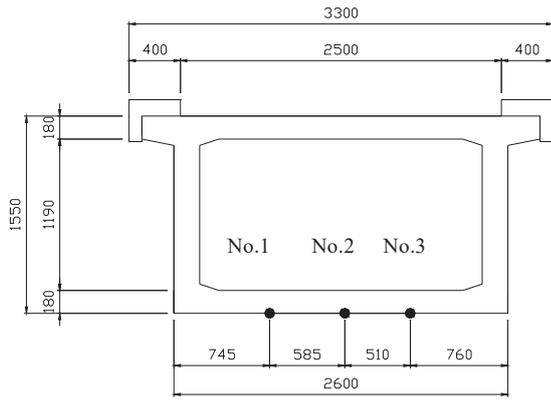


図-2 コア切込み法の適用位置



写真-1 コア切込み法による計測状況

表-1 剛性比の算出に必要な断面情報

コアの弾性係数		鋼材の弾性係数		コンクリートの断面積		鋼材の断面積		ポアソン比	鋼材の剛性比	
$E_{x,c}$ (N/mm^2)	$E_{y,c}$ (N/mm^2)	$E_{x,s}$ (N/mm^2)	$E_{y,s}$ (N/mm^2)	$A_{x,c}$ (mm^2)	$A_{y,c}$ (mm^2)	$A_{x,s}$ (mm^2)	$A_{y,s}$ (mm^2)	ν	γ_x	γ_y
33,443		200,000		1,529,500	360,000	47850.2	2026.8	0.208	0.158	0.033

放すると同時に解放ひずみをx方向のひずみゲージにより測定し、得られたひずみを用いて算出・推定するコア切込み法により求めた^{1),2)}。コア切込み法の適用位置を図-2に、計測状況を写真-1に示す。計測は支間中央部から1m離れた、下床版下面の3か所に対して行った。x方向の有効プレストレスは式(2)により求めた。式(3)~式(5)は、x方向の有効応力、乾燥収縮およびクリープの鋼材による拘束応力、y方向の乾燥収縮の鋼材による拘束応力が解放されることによって弾性ひずみと直角方向にポアソンひずみが生じるとして、x方向とy方向の解放ひずみの差を整理しており、プレストレスや自重以外のひずみ要因を適切に考慮している。また、剛性比の算出に必要な断面情報を表-1に示す。

$$\sigma_{x,e} = -E_{x,c} \cdot \Delta \varepsilon_{x,e} \tag{式(2)}$$

$$\Delta \varepsilon_{x,e} = \frac{\varepsilon_x - \varepsilon_y}{1 + \nu} \left(\frac{2 - \varphi_{t,x} \cdot \gamma_{1x}}{2 - 3\varphi_{t,x} \cdot \gamma_{1x}} \right) - \frac{\varphi_{t,x} \cdot \gamma_{1x}^2 \cdot \varepsilon_{sh,t,x}}{2 - 3\varphi_{t,x} \cdot \gamma_{1x}} - \varepsilon_{sh,t,x} (\gamma_{1x} - \gamma_{1y}) \left(\frac{2 - \varphi_{t,x} \cdot \gamma_{1x}}{2 - 3\varphi_{t,x} \cdot \gamma_{1x}} \right) \tag{式(3)}$$

$$\gamma_{1x} = \frac{E_{x,s} \cdot A_{x,s}}{E_{x,c} \cdot A_{x,c} + E_{x,s} \cdot A_{x,s}} \tag{式(4)}$$

$$\gamma_{1y} = \frac{E_{y,s} \cdot A_{y,s}}{E_{y,c} \cdot A_{y,c} + E_{y,s} \cdot A_{y,s}} \tag{式(5)}$$

ここに、 $\sigma_{x,e}$: x方向の有効プレストレス、 $\Delta \varepsilon_{x,e}$: x方向の有効応力が解放されるときx方向の弾性ひずみ、 ε_x 、 ε_y : コア削孔により解放されるxおよびy方向の全ひずみ、 ν : コンクリートのポアソン比(実測値)、 $\varphi_{t,x}$: 材齢tにおけるx方向のコンクリートのクリープ係数(土木学会コンクリート標準示方書から算出)、 $\varepsilon_{sh,t,x}$: 材齢tにおける鋼材による拘束がない場合のx方向のコンクリートの乾燥収縮ひずみ(土木学会コンクリート標準示方書から算出)、 $E_{x,c}$ 、 $E_{y,c}$: xおよびy方向のコンクリートの弾性係数(実測値)、 $E_{x,s}$ 、 $E_{y,s}$: xおよびy方向の鋼材の弾性係数、 $A_{x,c}$ 、 $A_{y,c}$: xおよびy方向のコンクリートの断面積、 $A_{x,s}$ 、 $A_{y,s}$: xおよびy方向の鋼材の断面積。

圧縮強度、弾性係数およびポアソン比は、ウェブから採取したφ100×200mmのコア供試体3体を用いて、その測定値を平均した。また、塩化物イオン浸透深さおよび中性化深さの測定には、ウェブから採取したφ50×50mmのコア供試体3体を用いた。塩化物イオンの浸透深さは、0.1Nの硝酸銀水溶液をコア側面に噴霧し、白色に変色した表面からの深さを測定した。中性化深さは、JIS A 1152に準拠して求めた。

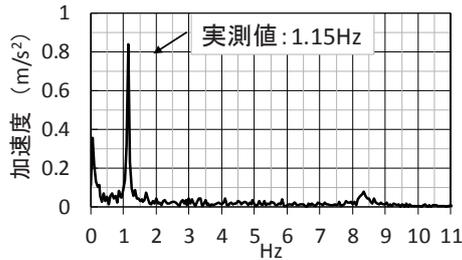


図-3 スペクトル波形

表-2 固有振動数の計算パラメータと計算結果

項目	記号	単位	値
弾性係数	E	N/m ²	3.3443E+10
断面2次モーメント	I	m ⁴	0.678907448
断面積	A	m ²	1.674
単位重量	w	N/m ³	24500
重力加速度	g	m/s ²	9.80665
支間	L	m	57.58
固有振動数	f	Hz	1.10

表-3 計測ひずみおよび有効プレストレスひずみ

測点	計測ひずみ(短縮+)		JSCE予測式*		計算ひずみ $\Delta \epsilon_{x,e}$ ($\times 10^{-6}$)	応力度(N/mm ²)							
	x ($\times 10^{-6}$)	y ($\times 10^{-6}$)	乾燥収縮 ($\times 10^{-6}$)	クリープ 係数		自重+プレ		自重		プレストレス		プレストレスの評価	
						設計	推定	設計	推定	設計	推定	推定-設計	推定/設計
1	-258	34	114	0.95	-309	4.6	10.3	-32.0	36.6	42.3	5.8	116%	
2	-235	112			-367	4.6	12.3	-32.0	36.6	44.3	7.7	121%	
3	-237	62			-316	4.6	10.6	-32.0	36.6	42.6	6.0	116%	
平均	-243	69	114	0.95	-331	4.6	11.1	-32.0	36.6	43.1	6.5	118%	

*JSCE予測式: 土木学会コンクリート標準示方書に準拠して求めた乾燥収縮およびクリープ係数。

4. 調査結果

4.1 外観調査

本橋に対して、目視による外観調査を行ったが、ひび割れ、豆板、空隙などの変状はなく、外観上は健全な状態であることを確認した。

4.2 固有振動数

測定値のFFT解析によるスペクトル波形を図-3に示す。結果から、固有振動数は1.15Hzであった。固有振動数を式(1)によって求めたときのパラメータおよび結果を表-2に示す。式(1)から求めた固有振動数は1.10Hzであったため、固有振動数は設計値と同程度と判断できるものであった。また、本橋は完成後に歩行により求めた固有振動数を測定しており、その値は1.23Hzであった。以上より、本橋の剛性は完成後から現在に至るまで、十分に確保・維持されている可能性が示唆された。

4.3 有効プレストレス

計測した解放ひずみを用いて算出した推定有効プレストレスと設計プレストレスとの比較を表-3に示す。計測した解放ひずみから求めた推定有効プレストレスは、設計に対して平均で118%であった。また、得られた推定値もばらつきが小さいものであった。そのため、推定した有効プレストレスは設計よりも大きな傾向を示したものの、プレストレスが安定して導入されていることを確認できた。

4.4 圧縮強度、静弾性係数およびポアソン比

コンクリートの設計基準強度が39.2N/mm²に対して、コア供試体の圧縮強度は70.2N/mm²であった。また、弾性係数は33.4kN/mm²、ポアソン比は0.208であった。

4.5 塩化物イオン浸透深さおよび中性化深さ

測定状況を写真-2に示す。塩化物イオン浸透深さおよび中性化深さの測定結果から、何れも浸透深さおよび中性化深さは0mmであり、腐食要因物質の浸透がないことを確認できた。

4.6 腐食調査

支間中央部の範囲1mに対して、PC鋼材および鉄筋をはつり出し、腐食状況を目視にて調査した。解体後のシー、PC鋼材および鉄筋の状況を写真-3に示す。今回の調査によって、PC鋼材や鉄筋の埋設位置は、設計図書に定められたとおりであることを確認でき、コンクリートも密実に充填され、鉄筋やPC鋼材は健全な状態であった。したがって、鉄筋やPC鋼材は所定のかぶり確保され、腐食要因物質の浸透もなかったことから、腐食が発生しなかったものと推察される。

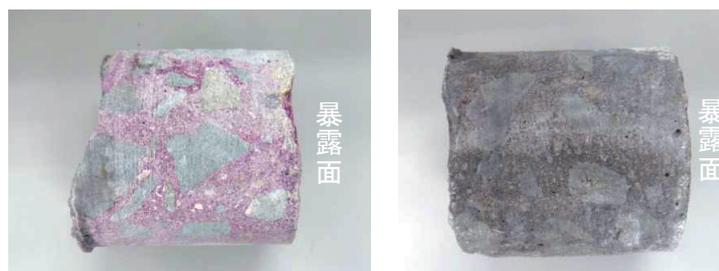


写真-2 コア供試体から行った腐食要因物質浸透性の測定状況 (左: 中性化, 右: 塩化物イオン)



写真-3 腐食調査状況 (左から: 下床版上筋, 下床版シース, 下床版 PC 鋼より線, 上床版 PC 鋼棒)



写真-4 グラウト充填状況 (左から: 上床版シース, 下床版シース, 下床版 PC 鋼より線部)

4. 7 PC グラウトの充填調査

PC グラウトの充填状況を写真-4 に示す。支間中央部 1m の範囲で、シースリブの跡が明瞭に確認できるなど、PC グラウトはシース内に一様に充填されていた。また、PC 鋼より線に関しては、より線間にも充填されている状況であった。

5. まとめ

約 33 年供用されたバイプレストレッシング方式単純箱桁橋に対して各種調査を行い、本橋の健全度を評価した。結果から、コア供試体から得られた圧縮強度は設計基準強度を十分満足し、コンクリートおよび PC グラウトが確実に充填され、鉄筋や PC 鋼材の配置も設計図書のとおり配置されていた。沿岸部に位置するものの、塩害や中性化による鉄筋あるいは PC 鋼材の腐食はなく、健全であった。また、固有振動数や有効プレストレスの評価から、桁としての健全性を確認できた。

謝辞

本検討を進めるにあたり、多大な御指導と御尽力を頂いた、バイプレストレッシング工法協会の各位に対し、厚く感謝の意を表す。

参考文献

- 1) 二井谷教治, 渡瀬 博, 阪田憲次, 綾野克紀: コンクリート部材の有効応力の推定手法に関する研究, コンクリート工学論文集, Vol.20, No.2, pp.27-37, 2009.5
- 2) 渡瀬 博, 二井谷教治, 高橋聖二, 石田真知, 綾野克紀: 浅切り方式によるコア応力解放法の提案とその適用性, 補修補強アップグレードシンポジウム, Vol.12, pp.49-54, 2012.11