

# パイプアーチ補強された桁橋の補強効果

J F E 工建（株） 正会員 吉富敬洋 九州産業大学 フェロー 水田洋司  
 （株）千代田コンサルタント 正会員 橋本 晃 九州産業大学 学生会員 尾本 乾

## 1. 序論

桁橋の耐震補強法として用いられている鉄筋コンクリート巻き立て工法や曲げ耐力制御式鋼板巻き立て工法および鋼板併用鉄筋コンクリート巻き立て工法等では、橋脚柱断面の靱性が向上し耐力も向上するが、橋脚基礎が負担すべき荷重も増加する。本論文では、パイプアーチ補強工法<sup>1)</sup>で補強された桁橋の振動特性と地震応答に表れる効果を、振動実験と数値解析から明らかにしている。

## 2. 対象橋の概要

補強対象の桁橋は1974年に建設された高架橋であり、耐震性能向上と耐久性向上を図るためにパイプアーチ補強工法による耐震補強工事が2002年3月に完工した。対象橋梁の側面図を図-1に、振動実験を実施した区間の諸元を表-1に示している。計測区間には図-1のP7橋脚～P8橋脚区間（A区間）とP10橋脚～P11橋脚区間（B区間）を選定した。

## 3. 実験結果

常時微動計測や196kNトラックを用いた衝撃加振実験・車両走行実験で得られた振動波形から固有振動数、減衰定数、加速度、動ひずみを求めた。表-2はパイプアーチ補強前後の桁・橋脚における各方向の1次固有振動数と減衰定数である。固有振動数・減衰定数共にパイプアーチ補強後に上昇している。減衰定数の上昇は、桁とアーチクラウン部の梁との間に設置したゴム支承やアーチスプリング部の弾性固定によるエネルギー吸収効果と考えられる。表-3は196kNトラック走行時に桁に生じる鉛直方向最大加速度・動ひずみをパイプアーチ補強前と補強後で比較したものである。発生する最大加速度は桁部鉛直方向振動が大きく、他方向の振動は5gal前後と小さい。鉛直方向と橋軸方向では補強前より補強後の加速度が小さく、補強効果が現れているが、面外方向では補強後の最大加速度が大きくなっている。最大動ひずみは走行速度が変化しても補強後に減少しており、パイプ

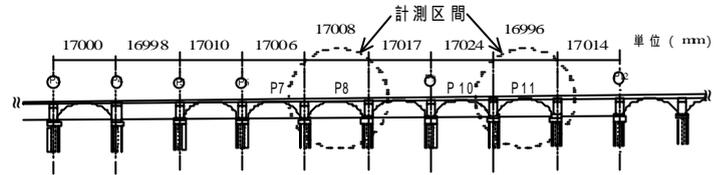


図-1 対象橋梁の側面図

表-1 対象橋梁の諸元

橋種	プレストレストコンクリート道路橋
橋長	636.268m
支間	P7橋脚～P8橋脚：17.08m P10橋脚～P11橋脚：16.996m
有効幅員	9.25m
構造形式	単径間桁橋
橋脚	1本柱両張り出し式
橋脚高さ	P8橋脚：6.399m
基礎	杭基礎（場所打杭，1.0m，5本）

表-2 固有振動数と減衰定数（A区間）

		補強前		補強後	
		固有振動数 (Hz)	減衰定数	固有振動数 (Hz)	減衰定数
桁	橋軸	3.14	-	4.50	0.05
	鉛直	7.45	0.03	9.84	0.05
	面外	3.53	0.04	4.53	0.06
脚	橋軸	3.53	0.05	4.50	0.06
	面外	3.53	0.03	4.40	0.06

表-3 最大加速度(gal)と面内最大動ひずみ(μ)(A区間 1/2点)

	補強前 (km/h)	7.5				18.6				36.7				62				
		橋軸	鉛直	面外	ひずみ(μ)	橋軸	鉛直	面外	ひずみ(μ)	橋軸	鉛直	面外	ひずみ(μ)	橋軸	鉛直	面外	ひずみ(μ)	
桁部	補強前	橋軸	5.4	6.8	3.5	3.4	8.4	21.7	19.4	19	0.7	0.8	0.7	1.8	67.7	74.4	66.1	72.3
		鉛直	6.2	6.9	3.9	4.4	1.5	2.1	2.4	3.6	6.2	6.9	3.9	4.4	6.2	6.9	3.9	4.4
		面外	1.5	2.1	2.4	3.6	0.2	0.4	2.0	1.2	1.2	4.7	20.2	15.3	2.1	2.8	5.0	2.7
		ひずみ(μ)	21.8	21.9	23.5	3.6	2.1	1.8	7.2	7.8	0.5	2.7	5.5	3.0	0.5	2.7	5.5	3.0
橋脚部	補強前	橋軸	6.2	6.9	3.9	4.4	1.5	2.1	2.4	3.6	0.2	0.4	2.0	1.2	1.2	4.7	20.2	15.3
		鉛直	6.2	6.9	3.9	4.4	1.5	2.1	2.4	3.6	0.2	0.4	2.0	1.2	1.2	4.7	20.2	15.3
		面外	1.5	2.1	2.4	3.6	0.2	0.4	2.0	1.2	1.2	4.7	20.2	15.3	0.5	2.8	5.0	2.7
		ひずみ(μ)	21.8	21.9	23.5	3.6	2.1	1.8	7.2	7.8	0.5	2.7	5.5	3.0	0.5	2.7	5.5	3.0
桁部	補強後	橋軸	0.2	0.4	2.0	1.2	1.2	4.7	20.2	15.3	0.5	2.8	5.0	2.7	2.1	1.8	7.2	7.8
		鉛直	1.2	4.7	20.2	15.3	0.2	0.4	2.0	1.2	1.2	4.7	20.2	15.3	0.2	0.4	2.0	1.2
		面外	0.5	2.8	5.0	2.7	0.2	0.4	2.0	1.2	1.2	4.7	20.2	15.3	0.2	0.4	2.0	1.2
		ひずみ(μ)	21.8	21.9	23.5	3.6	2.1	1.8	7.2	7.8	0.5	2.7	5.5	3.0	0.5	2.7	5.5	3.0
橋脚部	補強後	橋軸	1.5	1.8	7.2	7.8	0.5	2.8	5.0	2.7	0.2	0.4	2.0	1.2	0.2	0.4	2.0	1.2
		鉛直	1.5	1.8	7.2	7.8	0.5	2.8	5.0	2.7	0.2	0.4	2.0	1.2	0.2	0.4	2.0	1.2
		面外	0.5	2.8	5.0	2.7	0.2	0.4	2.0	1.2	0.2	0.4	2.0	1.2	0.2	0.4	2.0	1.2
		ひずみ(μ)	21.8	21.9	23.5	3.6	2.1	1.8	7.2	7.8	0.5	2.7	5.5	3.0	0.5	2.7	5.5	3.0

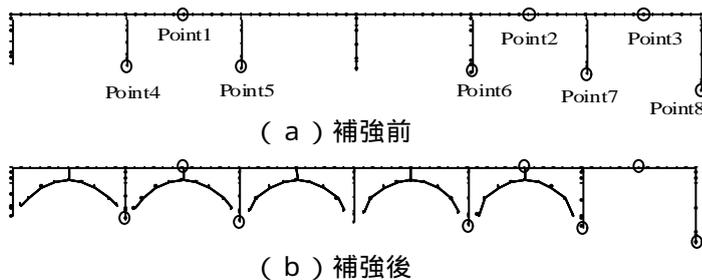


図-2 モデル図

キーワード：パイプアーチ，桁橋の補強，振動実験，地震応答

連絡先：〒813-8503 福岡市東区松香台2丁目3番1号 九州産業大学 092-673-5671 FAX092-673-5093

アーチ補強効果が表れている．補強前は概ね70 $\mu$ に対し，補強後は20 $\mu$ で約50 $\mu$ 減少している．弾性係数を  $4.0 \times 10^6 \text{ N/cm}^2$  とすると桁の応力度は  $= 200 \text{ N/cm}^2$  だけ減少していることになる．

4．解析モデル

実験区間を含む P6～P12 区間のモデル化を行い，TDAP を用いて 3次元固有値解析と地震応答解析を行った．補強前の節点数 127，要素数 114，補強後の節点数 307，要素数 416 であり，補強前後のモデル側面図を図-2 に示している．地震応答解析の着目点として桁部中央に Point1～3，橋脚部に Point4～8 を設定し，補強前後の比較を行った．

5．固有振動数・固有モードの比較

表-4 は実験値と解析値の 1 次固有振動数である．実験値・解析値共に補強後の振動数が高くなっている．図-3 は桁の鉛直モードの実験値と解析値を示している．パイプアーチ補強前後で桁の鉛直最低次モードは 1 次モードであり，変化しないことが判った．

6．地震波

地震応答解析に用いた入力地震波は兵庫県南部地震 種地盤（ポートアイランド内地盤）の U-D 成分，E-W 成分，N-S 成分をそれぞれ鉛直方向，橋軸方向，面外方向に作用させた．入力地震波と逐次積分の時間間隔は 0.01 秒とし，Newmark の (1/4)法で 50 秒間の応答を求めた．

7．線形地震応答

図-4,5 は鉛直方向加震時の加速度応答である．図-4 は Point1 における補強前後の加速度波形であり，補強後の加速度は半減している．図-5 は Point1～3 の補強前後の最大加速度を示しており，補強後の Point1, 2 の最大加速度は補強前の 40～50% 程度に減少しているが，パイプアーチ補強されていない区間(Point3)の最大加速度には差が見られなかった．図-6,7 は橋軸方向加震時の橋脚基部の面内最大曲げモーメントと桁の橋軸方向最大変位の図であり，補強後は補強前の 30～60% に減少している．図-8,9 は面外方向加震時の面外最大加速度と面外最大曲げモーメントの図であり，補強後は補強前の 70% 前後に減少している．

8．結論

- パイプアーチ補強が桁橋の振動特性と地震応答に及ぼす効果に関する知見をまとめると以下の通りである．
- 補強により橋軸，鉛直，面外共に固有振動数は上昇する．
- 補強後の桁橋の鉛直 1 次固有モードは対称 1 次モードである．
- 補強後の地震応答は桁・橋脚の加速度，曲げモーメント，桁変位のいずれも減少した．

参考文献

1) 水田洋司，橋本晃：パイプアーチを用いた多径間高架橋の耐震補強法，構造工学論文集，Vol.47A，pp.1063 - 1074，2001 年 3 月．

表-4 1 次固有振動数の比較 (Hz)

	補強前		補強後	
	解析値	実験値	解析値	実験値
橋軸	3.15	3.14	4.55	4.50
鉛直	7.47	7.50	9.89	9.84
面外	3.53	3.53	4.70	4.53

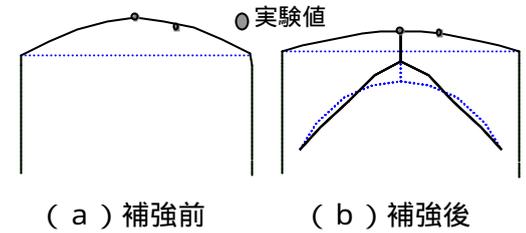


図-3 鉛直振動モード ( P 7 ～ P 8 区間 )

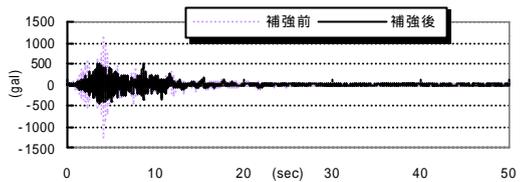


図-4 Point1 の鉛直方向加速度

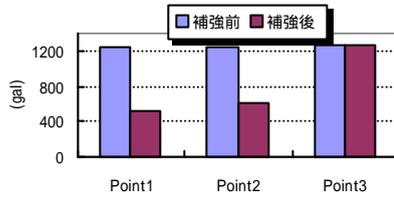


図-5 鉛直最大加速度

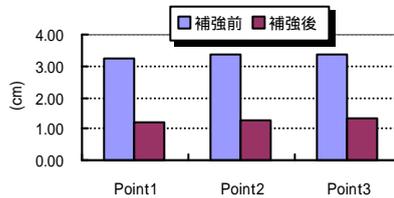


図-7 橋軸方向最大変位

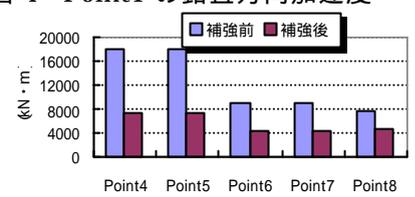


図-6 面内最大曲げモーメント

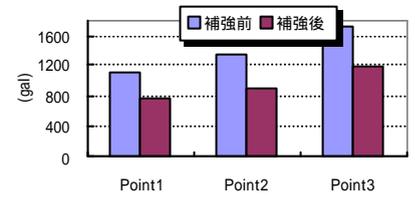


図-8 面外最大加速度

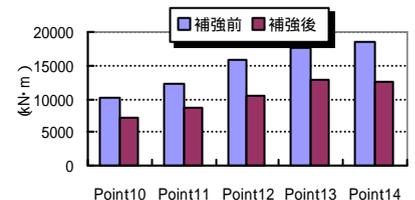


図-9 面外最大曲げモーメント