

パイプアーチ補強が桁橋の振動特性に及ぼす影響

九州産業大学 学生会員 吉富敬洋 九州産業大学 正会員 水田洋司

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¹⁾で補強された桁橋の振動特性に表れる効果について明らかにしている。まず、補強前後の振動実験から得られた固有振動数と固有値解析で得られた固有振動数を比較した。次に、パイプアーチ補強が線形地震応答に及ぼす影響について検討している。

2. 対象橋の概要

補強対象の桁橋(下り線)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. 実験値

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に示すように、桁・橋脚共に各方向の1次固有振動数はパイプアーチ補強後に上昇している。補強前の対象高架橋の減衰定数は3~5%の範囲にあるが、パイプアーチ補強により、5~6%に上昇した。これ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最大加速度をパイプアーチ補強前と補強後で比較したものである。同じような速度で複数のデータがある場合は速度、加速度共に平均値を用いた。発生する最大加速度は桁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。

表-4はパイプアーチ補強前後の196kNトラック走行時のA区間1/2点での最大動ひずみである。走行速度が変化しても補強後の最

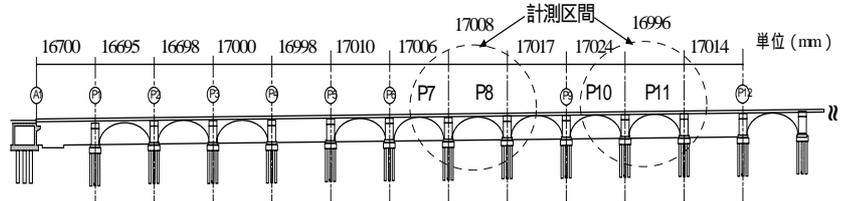


図-1 対象橋梁の側面図

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)(A区間1/2点)

| | 補強前 (km/h) | 補強前 (km/h) | | | |
|-----|------------|------------|------|------|------|
| | | 7.5 | 18.6 | 36.7 | 62 |
| 桁部 | 橋軸 | 5.4 | 6.8 | 3.5 | 3.4 |
| | 鉛直 | 8.4 | 21.7 | 19.4 | 19 |
| | 面外 | 0.7 | 0.8 | 0.7 | 1.8 |
| 橋脚部 | 橋軸 | 6.2 | 6.9 | 3.9 | 4.4 |
| | 面外 | 1.5 | 2.1 | 2.4 | 3.6 |
| | 補強後 (km/h) | 補強後 (km/h) | | | |
| | | 3.1 | 19.1 | 37.3 | 56.2 |
| 桁部 | 橋軸 | 0.2 | 0.4 | 2.0 | 1.2 |
| | 鉛直 | 1.2 | 4.7 | 20.2 | 15.3 |
| | 面外 | 0.5 | 2.8 | 5.0 | 2.7 |
| 橋脚部 | 橋軸 | 1.5 | 1.8 | 7.2 | 7.8 |
| | 面外 | 0.5 | 2.7 | 5.5 | 3.0 |

表-4 最大動ひずみ(A区間1/2点)

| 走行速度 (km/h) | 7.5 | 18.6 | 36.7 | 62 |
|-------------|------|------|------|------|
| 補強前ひずみ(μ) | 67.7 | 74.4 | 66.1 | 72.3 |
| 走行速度 (km/h) | 3.1 | 19.1 | 37.3 | 56.2 |
| 補強後ひずみ(μ) | 21.8 | 21.9 | 23.5 | 3.6 |

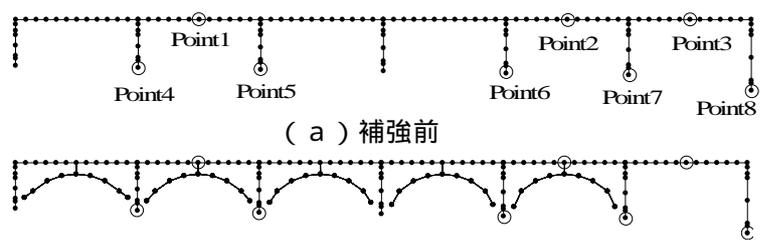


図-2 モデル図

大動ひずみは減少しており ,パイプアーチ補強効果が明確に現れている .補強前は概ね70 μ に対し,補強後は20 μ で約50 μ 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 P7 ~ P12 区間のモデル化を行い ,部材要素の断面緒元を算出し ,TDAP (アーク情報システム社)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 Point 1 ~ 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・固有モードの実験値と解析値

表 5 は実験値と解析値の1次固有振動数を比較した表である .解析値においても実験値と同様に補強後の振動数が高くなっていることが確認できる .図 - 3 は対象橋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 (図 - 4)と E - W成分をそれぞれ対象橋梁の鉛直方向 ,橋軸方向に作用させた .入力地震波の時間間隔は0.01秒で ,50秒間の応答を求めた .

7 . 線形地震応答

図 - 5 , 6 は鉛直方向に地震波を作用させたときの Point1 における補強前後の加速度波形である .図より補強後の加速度は半減していることが判る .同様の解析条件における Point 1 ~ Point 3 の補強前後の最大加速度を図 - 7 に示している . Point 1 , Point 2 の最大加速度は補強後に補強前の40 ~ 50%程度に減少しているが ,パイプアーチ補強が施されていない区間 Point3 の加速度には変化が見られなかった .図 - 8 は橋軸方向に地震波を作用させたときの応答解析から得られた Point 4 ~ Point 8 の面内最大曲げモーメントの比較図である .補強後は補強前の30 ~ 60%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に及ぼす影響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モードである .
- 補強後の鉛直方向加速度は補強前の40% ~ 50%に減少した .
- 補強後の橋脚基部面内曲げモーメントは補強前の30 ~ 60%に減少した .

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 - 5 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 | 4.60 | 4.53 |

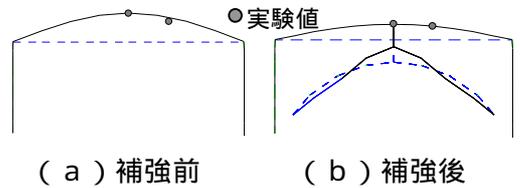


図 - 3 鉛直振動モード (P7 ~ P8 区間)

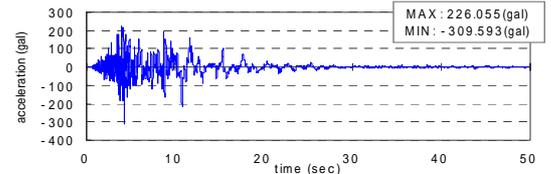


図 - 4 地震波 (種地盤U - D成分)

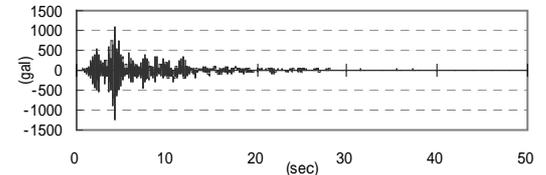


図 - 5 鉛直加速度波形 (補強前 Point 1)

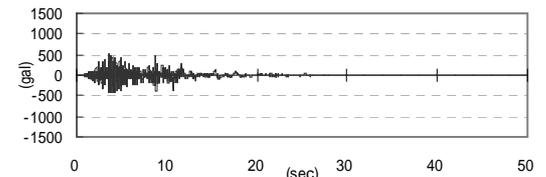


図 - 6 鉛直加速度波形 (補強後 Point 1)

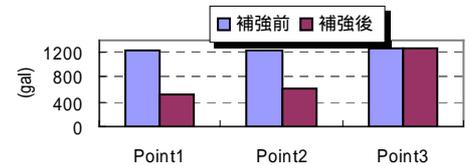


図 - 7 最大加速度の比較

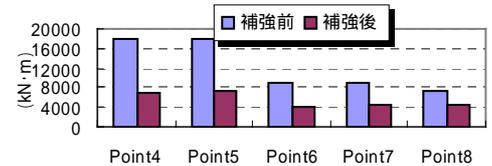


図 - 8 最大曲げモーメントの比較