

パイプアーチ耐震補強の橋軸直角方向効果

株式会社千代田コンサルタント 正会員 橋本 晃
九州産業大学 正会員 水田洋司

1. はじめに

前報¹⁾では、大規模地震に対する既設橋梁の耐震補強方法として、鋼製のパイプアーチ部材を用い隣接する橋脚間を連結し不静定次数を上げることで橋梁全体系の剛度を高める、言わば構造系の変更による補強工法（パイプアーチ工法と称す。）を提案した。また、この工法²⁾ではアーチクラウン部で上部構造桁中央を支持することにより、死荷重の軽減とB活荷重補強とを同時に期待できる。本論文はパイプアーチ形状とその配置方法に着目した橋梁面外方向の地震に対する研究成果について紹介している。

2. モデル橋梁

2-1. 補強対象橋梁

補強対象橋梁は多径間連続高架橋とし、その上部構造は桁長 $L=12.5$ mのPCプレテンション単純T桁で、桁相互は鋼棒により連結されている。下部構造はラーメン橋脚で柱断面形状は $0.8\text{m} \times 1.2\text{m}$ のRC構造である。また、基礎形式は直接基礎と鋼管ぐい基礎を対象とした。補強対象橋梁を図-1に示す。

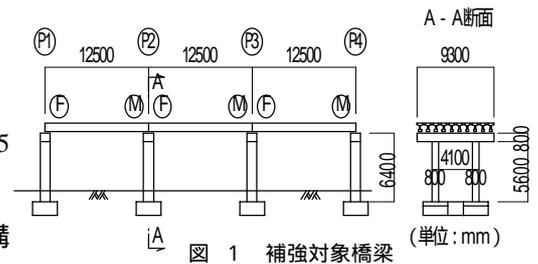


図 1 補強対象橋梁

2-2. パイプアーチ工法

パイプアーチ工法は隣接する橋脚間の相互を鋼製のパイプアーチで連結し、クラウン部にゴム支承を配置して主桁中央部を圧着し支持するものである。パイプアーチの構造は4本の主構（SM490、 400mm 、 $t=12\text{mm}$ ）で構成され横構で連結されている。アーチスプリング部はフォーミングに架台を設けコンクリートで巻き立てて連結されている（図-2参照）。

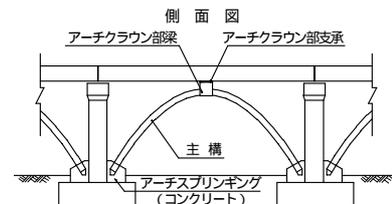


図 2 パイプアーチの構造

表 1 形状と配置方法

タイプ	パイプアーチの軸線形状	配置方法
TYPE	円曲線	鉛直配置
TYPE	放物線	鉛直配置
TYPE	放物線	斜め配置

2-3. 解析モデル

解析モデルは多径間連続高架橋を想定し、その3径間を取り出してモデル化し中央径間に着目した。補強対象橋梁と補強後橋梁の解析モデルを図-3に示す。また、検討対象としたパイプアーチの軸線形状とその配置方法を表-1に示す。柱部材の非線形特性は M_c 、 M_y 、 M_u を結ぶトリリニアの武田モデルとし、パイプアーチ部材には「道路橋示方書 10.3 コンクリートを充填しない鋼製橋脚」を準用した。また、桁間連結装置とアンカーバーを非線形弾性バネ、アーチクラウン部支承と桁のゴム支承および基礎バネを弾性バネでモデル化した。補強後モデルは596節点、744要素の立体モデルである。対象地盤は種地盤（N値30の直接基礎）、種地盤（層厚20m、N値10の粘性土層）、種地盤（層厚30m、N値5の粘性土層）とした。入力地震動はタイプ の標準波形N-S成分で地域別補正係数0.7とし、数値積分法はNewmark法（ $\alpha=0.25$ ）、時間間隔は0.01秒とした。

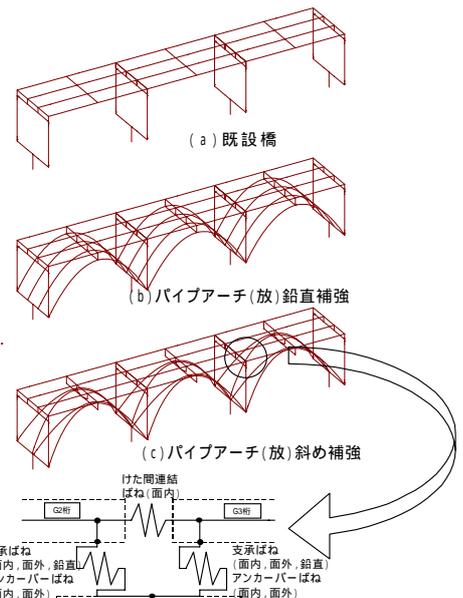


図 3 解析モデル

3. 耐震補強効果

3-1. 固有値解析

キーワード：耐震補強，パイプアーチ工法，面外応答，固有値解析，非線形応答解析

連絡先：福岡市中央区大名1丁目15番33号 電話 092 752 1601 FAX 092 752 1631

既設橋梁の面外方向の固有周期は 種地盤で 0.54sec, 種地盤 0.85sec, 種地盤 0.90sec である。補強後橋梁の固有値解析結果の一例（パイプアーチ：円曲線，鉛直補強，種地盤）を表 - 2 に示す。ここに，部材は弾性剛性とした。面内，面外方向の有効質量比は 1 次モードが大きく，面外方向の累積有効質量比は 5 次モードで 100% に達している。既設橋梁および補強後橋梁のモードを図 - 4 に示す。補強後の固有周期は面内，面外共に短周期化しており，補強により橋梁全体の剛性が高くなったと言える。アーチ部材の形状や配置方法による影響は比較的少ない。

3 - 2 . 非線形静的解析

既設橋梁と補強後橋梁の面外方向についてプッシュオーバーアナリシスを行った。橋脚塑性ヒンジ部の降伏状況を図 - 5 の水平震度と上部構造変位関係図に示す。終局震度は各地盤共に既設橋梁 $Kh=0.2$ 程度から補強後 $Kh=0.4$ 程度に増加しており，またアーチ部材の配置を鉛直から斜めに配置することにより 3 ~ 6 % 増加している。

3 - 3 . 時刻歴応答解析

面外方向の解析結果を表 - 3 に示す。上部構造の応答変位，応答速度は補強することにより減少しているが，応答加速度は増加している。橋脚塑性ヒンジ部の応答回転角は補強することにより 種地盤で 40% , 種地盤 30% , 種地盤 20% 程度に減少している（図 - 6 既設部材の応答を参照）。アーチ部材の形状や配置方法による既設部材への応答の影響は比較的少ない。これに対してアーチ部材の応答曲率は，アーチ形状による影響は少なく，斜めに配置することにより 60% 程度に減少している（図 - 7 参照）。このことはアーチ部材を斜めに配置することで軸力部材となりアーチ効果を発揮できていることが図 - 8 のアーチスプリング部での M - N 履歴より判る。

4 . まとめ

パイプアーチ耐震補強は面外方向に対して次の特徴を有することが判った。橋梁全体系としての剛性が高くなる。橋脚の終局震度が高くなる。上部構造の応答変位を低減できる。アーチ部材を斜めに配置することにより部材の応答を小さくできる。

表 2 固有周期と累積有効質量比

モード 次数	面内方向		鉛直方向		面外方向	
	T(sec)	%	T(sec)	%	T(sec)	%
1	0.423	69	0.164	2	0.403	74
2	0.417	72	0.156	77	0.225	76
3	0.409	73	0.125	81	0.089	79
4	0.164	78	0.080	82	0.035	82
5	0.079	80	0.078	83	0.025	100

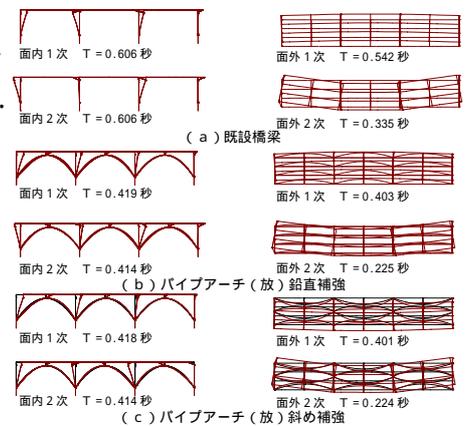


図 4 モード図

表 3 面外方向の時刻歴応答

	既設橋梁	アーチ (円) 鉛直配置		アーチ (放) 鉛直配置		アーチ (放) 斜め配置	
		種地盤	種地盤	種地盤	種地盤	種地盤	種地盤
上部構造 最大応答変位 (m)	種地盤	0.127	0.107	0.106	0.102	0.144	0.129
	種地盤	0.270	0.150	0.148	0.144	0.148	0.129
	種地盤	0.263	0.133	0.128	0.129	0.128	0.129
上部構造 最大応答速度 (m/s)	種地盤	0.916	0.802	0.803	0.826	0.843	0.826
	種地盤	0.949	0.828	0.826	0.843	0.843	0.843
	種地盤	0.891	0.740	0.738	0.755	0.738	0.755
上部構造 最大応答加速度 (m/s ²)	種地盤	3.635	6.910	7.089	7.939	7.939	7.939
	種地盤	4.289	6.911	6.952	7.584	7.584	7.584
	種地盤	3.989	6.261	6.344	6.805	6.344	6.805
塑性ヒンジ部 最大応答回転角 (rad)	種地盤	0.0190	0.0081	0.0078	0.0073	0.0083	0.0073
	種地盤	0.0350	0.0098	0.0094	0.0083	0.0083	0.0083
	種地盤	0.0318	0.0076	0.0066	0.0057	0.0066	0.0057
アーチ部材 最大応答曲率 (1/m)	種地盤	0.0033	0.0035	0.0035	0.0019	0.0035	0.0019
	種地盤	0.0037	0.0037	0.0039	0.0023	0.0039	0.0023
	種地盤	0.0031	0.0031	0.0031	0.0018	0.0031	0.0018
アーチ部材 作用軸力 N (kN)	種地盤	57.5	101.6	101.6	291.5	291.5	291.5
	種地盤	57.2	98.7	98.7	252.0	252.0	252.0
	種地盤	47.9	96.3	96.3	245.9	245.9	245.9

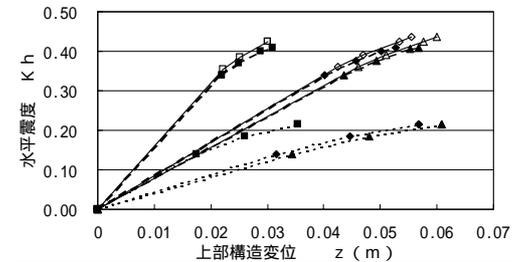


図 5 水平震度 - 上部構造変位

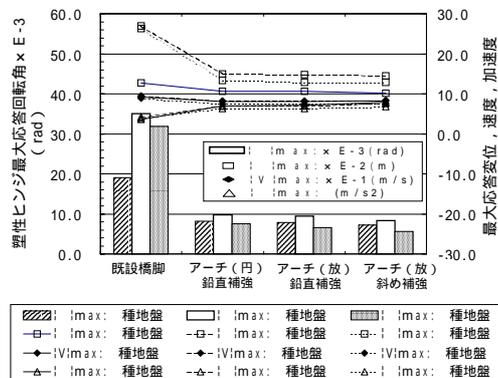


図 6 既設部材の応答

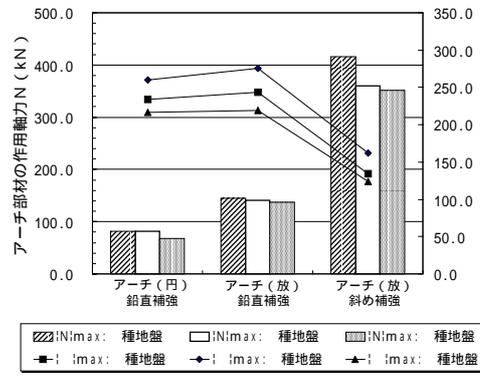


図 7 アーチ部材の応答

参考文献 1) 橋本晃 水田洋司: パイプアーチを用いた既設橋梁の補強法 第 5 5 回年次学術講演概要集 - B 2 6 3
 2) 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 構造工學論文集 Vol. 4 7 A pp1063 1074 (2001年3月)

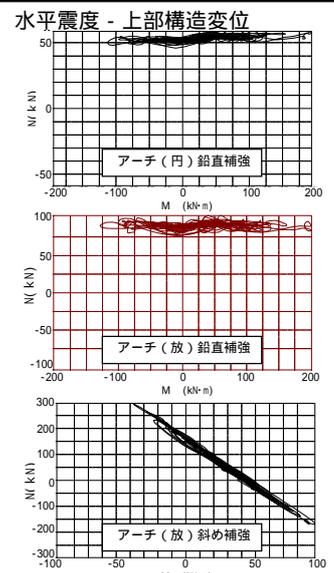


図 8 アーチ部材の M - N 履歴