

パイプアーチを用いた既設橋梁の補強法

(株)千代田コンサルタント 正会員 橋本 晃 (株)千代田コンサルタント 村上 健
九州産業大学 正会員 水田 洋司 建設省北九州国道工事事務所 百田 国広

1. はじめに

大規模地震に対する既設橋梁の耐震補強は橋脚柱をコンクリートや鋼板で巻立てる工法が一般的に採用されている。この工法では柱の耐力が増大するため、その結果基礎の負担が大きくなり、基礎の大規模な補強が必要となることがある。このような橋梁の耐震補強では基礎の耐力に見合った補強が必要であり、部材それぞれの耐力を向上させるのではなく橋梁全体系としての耐震性能を向上させる合理的な補強工法が望まれる。本論文は、鋼製のパイプアーチを用いて橋梁全体系の耐震性能を向上させるパイプアーチ工法の試みについて述べている。

2. パイプアーチ工法

パイプアーチ工法は、図 - 1 に示すように、隣接する橋脚間の相互を鋼製のパイプアーチで連結し、アーチクラウン部にゴム支承を配置して主げた中央部を支持するものである。パイプアーチは平行する 4 本の主構とそれを連結する横構で構成されている、アーチスプリング部は架台を設け橋脚と連結している。

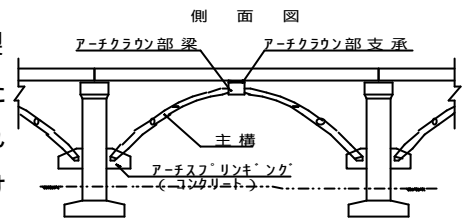


図 - 1 パイプアーチ工法

3 - 1. モデル橋梁と部材の履歴特性

検討対象橋梁は多径間連続高架橋とし、上部構造はけた長 $L = 12.5\text{m}$ の PC プレテンション単純 T げたで、けた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、基礎は直接基礎を設定した。解析モデルは図 - 2 に示すように 3 径間を取出し、隣接するパイプアーチ部材を考慮して端部橋脚に拘束条件を設定して中間橋脚に着目した。また、支承部はゴム支承とアンカーバーを弾性バネと非線形弾性バネでモデル化した。

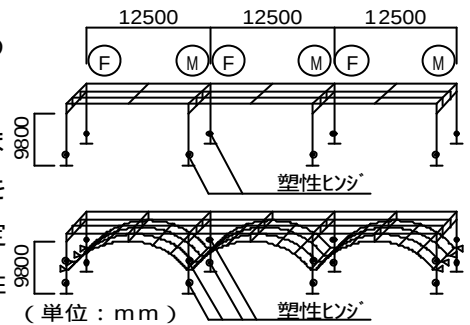


図 - 2 解析モデル

表 - 1 固有値

	次数	既設橋梁		パイプアーチ補強	
		固有周期	有効質量比	固有周期	有効質量比
		sec	%	sec	%
橋軸方向	1	0.533	84.0	0.477	58.0
	2	0.208	5.0	0.320	22.0
	3	---	---	0.130	4.0
面外水平方向	1	0.372	81.0	0.263	73.0
	2	0.250	9.0	0.186	5.0
	3	---	---	0.110	3.0

柱部材の非線形特性はひび割れモーメント (M_c)、初降伏モーメント (M_{yo})、終局モーメント (M_u) を結ぶトリニアモデルとし、復元力特性は武田モデルとした。パイプアーチ部材の非線形特性は「道路橋示方書 耐震設計編 10.3 コンクリートを充填しない鋼製橋脚」¹⁾を準用して移動硬化型のバイリニアとした。

3 - 2. 固有値解析

固有値解析結果を表 - 1 に示す。ここに、部材の剛性は弾性剛性とした。有効質量比はいずれも 1 次モードが最も大きく、既設橋梁の 1 次モードでの固有周期は橋軸方向 $T=0.53\text{sec}$ 、面外水平方向 $T=0.37\text{sec}$ に対して、補強後のそれは橋軸方向 $T=0.47\text{sec}$ 、面外水平方向 $T=0.26\text{sec}$ と短くなっている。このことはパイプアーチで補強することにより橋梁全体系での剛性が高くなったことを示している。

3 - 3. 非線形静的解析

最終水平震度を $K_h = 0.5$ とし、プッシュオーバーアナリシスで解析を行った。表 - 2 に柱基部の解析結果を示す。橋軸方向において、既設橋梁における柱基部が降伏する震度は $K_h = 0.161$ であるのに対して、補強後は $K_h = 0.20$ と強くなっている。また、最終水平震度時に生じる柱基部の曲げモーメントは既設橋梁で $M = 4240\text{kN}$ に対して、補強後は $M = 1893\text{kN}$ と減

表 - 2 非線形静的応答

橋軸方向	最大曲げモーメント (kN・m)	既設橋梁	パイプアーチ補強
		4240	1893
橋軸方向	ひび割れ時震度	0.070	0.070
	降伏時震度	0.161	0.200
	最大曲げモーメント (kN・m)	2423	906
面外水平方向	ひび割れ時震度	0.075	0.140
	降伏時震度	0.190	降伏に至らない

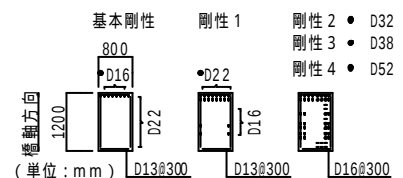


図 - 3 柱断面

表 - 3 非線形時刻歴応答

入力波形		既設橋梁	パイプアーチ補強
上部構造	最大応答変位(m)	0.129	0.225
	最大応答速度(m/s)	0.830	1.474
	最大応答加速度(g)	221	970
	最大曲げモーメント(kN・m)	1623	1679
柱基部	最大回転角(1/m)	0.0101	0.0120
	最大回転角(1/m)	0.0101	0.0120
入力波形		既設橋梁	パイプアーチ補強
上部構造	最大応答変位(m)	0.397	0.247
	最大応答速度(m/s)	1.138	1.299
	最大応答加速度(g)	235	1019
	最大曲げモーメント(kN・m)	1885	1716
柱基部	最大回転角(1/m)	0.0188	0.0132
	最大回転角(1/m)	0.0188	0.0132

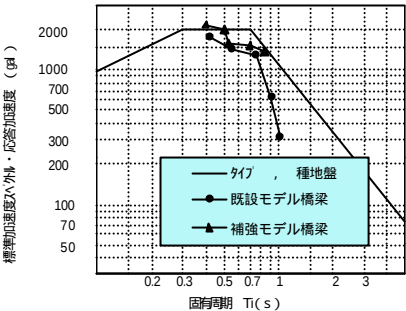


図 - 4 応答加速度(種地盤)

表 - 4 柱断面の最大回転角

入力波形	橋脚剛性	回転角(rad)		判定
		既設橋	パイプアーチ補強	
タイプ1 種地盤		0.0101	0.0158	×
		0.0119	0.0122	×
		0.0053	0.0033	○
		0.0028	0.0028	○
		0.0012	0.0012	×
タイプ2 種地盤		0.0188	0.0179	○
		0.0194	0.0069	○
		0.0045	0.0039	○
		0.0033	0.0025	○
		0.0010	0.0011	×

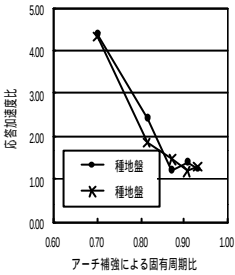


図 - 5 固有周期と応答加速度

少し、本工法が耐震補強に有効であることが判る。同様に、面外水平方向についても本工法が有効であることが判る。

3 - 4 . 非線形時刻歴応答解析

タイプ 地震における非線形時刻歴応答解析結果を表 - 3 に示す。入力波形は 種地盤 (JMA KOBE E-W を修正した標準波形) と 種地盤 (JR TAKATORI E-W を修正した標準波形) とした。上部構造の最大応答速度と最大応答加速度は 種地盤、 種地盤ともにパイプアーチ補強後橋梁のほうが既設橋梁に比べて増加している。これは既設橋梁は柱基部が塑性化し長周期化しているのに対して、補強後は塑性化してもパイプアーチの剛性によりさほど長周期化しないためと予想される。上部構造の応答変位、柱基部の最大曲げモーメントおよび最大回転角の応答については、 種地盤では補強後の方が既設橋梁に対して大きい、 種地盤では補強後の方が小さくなっており、橋梁全体系での剛性が高くなった効果が現れている。

3 - 5 . パイプアーチ工法の適用範囲

既設橋梁の柱断面がパイプアーチ補強後の時刻歴応答解析結果に及ぼす影響を調べるために、図 - 3 に示す柱断面を設定し固有値解析と非線形時刻歴応答解析を実施した。図 - 4 は 種地盤での応答加速度を標準加速度応答スペクトルにプロットしたものである。これによると、応答加速度は標準加速度応答スペクトルと相関があることが判る。ここに固有周期は橋脚の降伏剛性から求めたものである。図 - 5 は横軸に補強後橋梁と既設橋梁との固有周期比を、縦軸に補強後橋梁と既設橋梁との応答加速度比をプロットしたものである。これによると、固有周期比が小さくなるほど応答加速度が大きくなることが判る。表 - 4 に柱基部の最大応答回転角を示す。表中の○印は既設橋梁より応答が下がったケースを示したもので、既設橋脚の剛性により補強効果が異なることが判る。

4 . 巻立て工法による補強

既設橋梁の補強を図 - 6 に示すコンクリート巻立て工法と鋼板巻立て工法で行った場合の非線形時刻歴応答解析結果を表 - 5 に示す。上部構造の最大応答加速度は両工法ともに既設橋梁に比べて増加している。柱基部の最大応答曲げモーメントおよび回転角も同様に両工法ともに増加しており、その量は既設橋梁の 160% ~ 185% に及ぶ。このことは、既設橋梁の橋脚柱を補強することにより基礎が負担すべき荷重が大きくなったことを示している。

5 . まとめ

既設橋梁を巻立て工法で補強すると基礎が負担すべき荷重が増大するが、橋脚柱を補強しないパイプアーチ工法は基礎の負担増大に頼らない補強工法である。けた形式の橋梁をパイプアーチで補強するパイプアーチ工法は次の特徴を有することが本研究より判った。 橋梁全体系としての剛性が高くなる。 橋脚基部が降伏する震度が高くなる。 上部構造の最大応答加速度は増加するが、既設橋梁の剛性が高いほど増加量は小さい。 補強の効果は地盤種別や既設橋脚の剛性により異なる。また、実橋でのパイプアーチ工法による補強設計から本工法は耐震補強に有効であることを確認できた。今後、この実橋において振動試験を実施する予定である。

参考文献 1) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 耐震設計編，1996.8

表 - 5 時刻歴応答の比較

入力波形		既設橋梁	コンクリート巻立て工法	鋼板巻立て工法
上部構造	最大応答変位(m)	0.129	0.126	0.150
	最大応答速度(m/s)	0.830	0.918	1.037
	最大応答加速度(g)	221	354	346
	最大曲げモーメント(kN)	1623	3002	2671
柱基部	最大回転角(rad)	0.0101	0.0120	0.0112

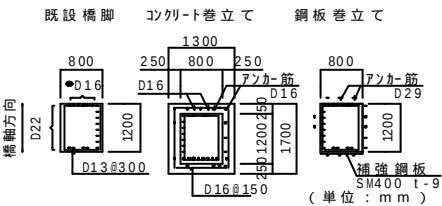


図 - 6 断面補強工法