

鋼単純上路式アーチ橋におけるフィーレンディール構造の検討

大日本コンサルタント(株) 正会員 ○武田 龍國 正会員 吉岡 勉

1. はじめに

従来のアーチ橋の構造は、アーチリブ間には下横構、支柱間には対傾構、補剛桁間には上横構等の横構部材が地震や風の横荷重に抵抗する耐荷機構である（以下、従来アーチとする）。鈹桁橋においても同様に横構・対傾構等が使用されてきたが、近年では合成床版やPC床版の普及により床版支持支間が大きくなったことや維持管理費の低減を目的に、横構・対傾構を単純化または省略して、合理化を図った構造が多く採用されている。

そこで、アーチ橋の合理化を目的に、従来アーチと横構・対傾構を省略したフィーレンディール構造のアーチ橋（以下、フィーレンディールアーチとする）

（図-1，2）に対して非線形動的解析を実施し、その挙動や断面力について比較し、経済性・施工性・維持管理性などの特性比較を行った。

2. 解析モデル

対象橋梁の解析モデルを図-3に示す。支点条件は、別途実施した検討よりアーチ基部は剛結、補剛桁は橋軸方向可動・直角方向固定としている。アーチリブと補剛桁は軸力変動の影響等を考慮するためファイバー要素でモデル化し、他の部材は線形梁要素でモデル化した¹⁾。

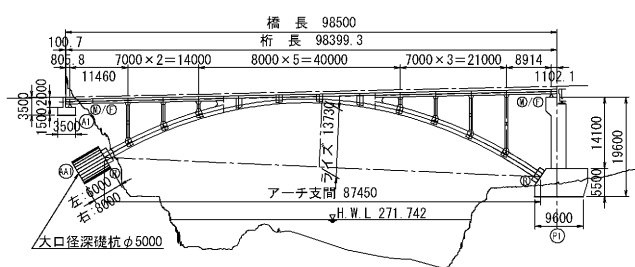


図-1 対象橋梁一般図（側面図）

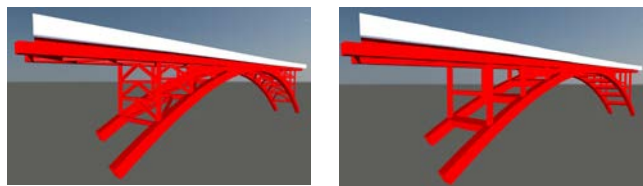


図-2 アーチ橋の構造概要

(左：従来アーチ，右：フィーレンディールアーチ)

また、アーチリブ・補剛桁は箱断面であり、アーチクラウン部で一体化する構造であるため、クラウン部は1本のファイバー要素でモデル化し、アーチリブ・補剛桁とは剛な仮想部材より結合した。

3. 固有値解析結果

従来アーチ及びフィーレンディールアーチの解析モデルより固有値解析を行った。固有値解析より得られた主要モードの比較を表-1に示す。表-1より従来アーチは鉛直振動の逆対称1次モードの周期が最も長いが、横構等を省略したフィーレンディールアーチでは面外水平振動の対称1次モードの周期が最も長くなった。これは、横構等の省略により直角方向に比較的柔な構造となったためと考える。

4. 非線形動的解析の結果比較及び考察

各部材の断面力比較表を表-2に示す。部材全体について断面力の比較及び考察を行ったが、本紙では両構造の傾向の変化が顕著に見られた横荷重に抵抗する部材について考察する。

横支材の断面力について、起点側では、従来アーチは軸力が卓越し、面内曲げはほぼ発生しないが、フィーレンディールアーチでは同等の軸力に加えて、面外曲げも大きく発生している。これは、従来アーチは下横構があることより、トラス構造で横荷重に抵抗するが、フィーレンディールアーチではラーメン構造で抵抗するようになるためと考えられる。

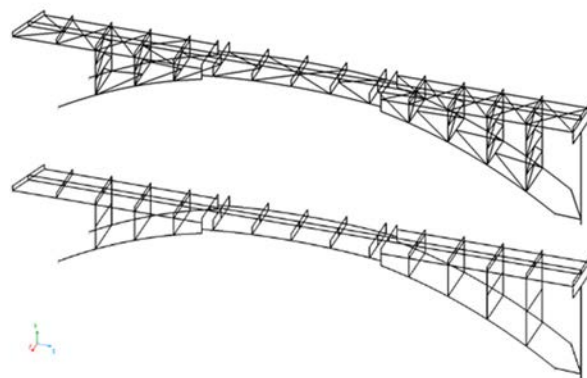


図-3 アーチ橋解析モデル

(上：従来アーチ、下：フィーレンディールアーチ)

キーワード 鋼上路式アーチ橋，合理化構造，フィーレンディール構造，耐震設計，固有値解析，非線形動的解析

連絡先 〒330-6011 埼玉県さいたま市中央区新都心11-2 大日本コンサルタント(株) 関東支社 TEL048-600-6681

表-1 主要モードの比較

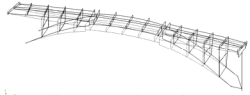
	鉛直／逆対称 1 次モード	鉛直／対称 1 次モード	鉛直／対称 2 次モード	水平／対称 1 次モード
従来 アーチ	 固有周期 0.61 (1.00)	 固有周期 0.33 (1.00)	 固有周期 0.27 (1.00)	 固有周期 0.57 (1.00)
フィーレン ディール アーチ	 固有周期 0.58 (0.95)	 固有周期 0.33 (1.00)	 固有周期 0.26 (0.96)	 固有周期 0.61 (1.07)

表-2 各部材の断面力比較

部材	場所 /状況	形式	軸力 N (kN)	面内曲げ Mz (kN・m)	面外曲げ My (kN・m)
横支材	起点側 /L2 直角	従来	-2812.9	163.0	-17.4
		フィー	-2919.4	3430.5	-5701.6
支柱	終点側 /L2 橋軸	従来	-3116.7	-437.6	-8.9
		フィー	-3319.2	-1155.3	-2.3
	終点側 /L2 直角	従来	-3209.3	-290.2	83.3
		フィー	-2399.2	-566.8	-41.5
支柱の 横支材	起点側 /L2 直角	従来	-1950.1	47.5	-81.4
		フィー	-1.4	1061.2	-115.2
横桁	桁端部 /L2 直角	従来	122.7	1.2	1.2
		フィー	-1038.3	-80.8	-2.0

※表中の断面力は同時刻のものではなく、各部材の決定ケース時のものである

支柱も横支材同様に従来アーチでは軸力卓越、フィーレンディールアーチでは軸力に加えて面内曲げが発生する挙動を示した（橋軸方向を面内と定義）。

従来アーチの支柱の横支材は上述同様、トラス構造で横荷重に抵抗するため軸力が卓越しているが、フィーレンディールアーチでは、支柱の面外剛性が低下し、支柱同士の変位差が小さくなることから、軸力がほぼ消えて面内曲げのみが発生するようになる。

横桁について、従来アーチでは横構があることから横桁に大きな断面力は発生しないが、フィーレンディールアーチでは端部の横桁に断面力が集まる傾向が見られた。

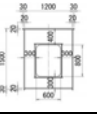
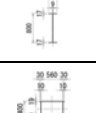
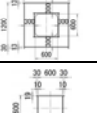
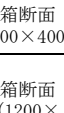
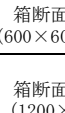
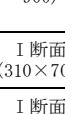
5. 特性比較を加えた総合評価

構造解析及び断面計算²⁾より両構造の全体鋼重及び表面積を算出し、経済性・維持管理性の比較を行った。その結果を表-3に示す。表-3より鋼重及び表面積で約8%の差異が見られ、フィーレンディールアーチの方が経済性（点検・塗装塗替えを含むLCC）、維持管理性に優れる結果となった。加えて、両構造で施工性に大きな差はなかったことから総合評価でも、フィーレンディールアーチが優れる結果となった。

6. 結論

本検討では、アーチ橋の合理化を目的に従来アーチ橋とフィーレンディール構造のアーチ橋の特性比較を行った。その結果、従来アーチ橋は部材数が多く全体鋼重や表面積が大きくなり経済性・維持管理性に劣る可能性があること、フィーレンディール構造

表-3 部材特性の比較表

部材	従来アーチ			フィーレンディールアーチ		
	断面 (mm) (幅×高)	鋼重 (t)※	表面積 (㎡)	断面 (mm) (幅×高)	鋼重 (t)※	表面積 (㎡)
アーチ リブ L		96.4 (②③)	494.1		98.5 (②③)	494.3
アーチ リブ R		100.3 (②③)	513.8		102.4 (②③)	514.0
横支材		9.1 (①②)	110.5		49.9 (①②)	306.8
支柱		12.3 (①)	75.1		17.8 (①)	93.2
支柱の 横支材	箱断面 (400×400)	8.6 (①)	104.2	箱断面 (600×600)	23.5 (①)	84.8
補剛桁 L	箱断面 (1200× 900)	87.5 (①②)	289.2	箱断面 (1200× 900)	74.8 (①②)	290.2
補剛桁 R		95.8 (①②)	297.4		77.8 (①②)	299.4
横桁	I 断面 (310×700)	8.3 (①)	103.2	I 断面 (310×700)	8.7 (①)	102.2
縦桁	I 断面 (310×500)	9.1 (①)	77.5	I 断面 (310×500)	9.5 (①)	76.7
対傾構	I 断面 (370×500)	14.8 (①)	134.1	—	—	—
下横構	I 断面 (370×500)	45.9 (②)	133.1	—	—	—
横構	I 断面 (300×450)	15.8 (①)	118.5	—	—	—
合計 (比率)		503.9 (1.00)	2450.8 (1.00)		463.0 (0.92)	2262.4 (0.92)

※鋼重欄の番号は次の材質を示す（①SM400、②SM490Y、③SM570）

は周期が長くなり慣性力が低減する可能性があることから、フィーレンディール構造のアーチ橋は最適構造となり得ることが分かった。今後のアーチ橋設計で合理化アーチの適用性検討の参考にされたい。

7. 謝辞

本検討は綾戸バイパスで計画中の橋梁設計にて実施した内容であり、発注者である高崎河川国道事務所の方々にご指導・ご協力を頂きながら検討を進めることができた。ここに深く感謝の意を申し上げる。

参考文献

- 1) 社団法人日本鋼構造協会：鋼橋の耐震・制震設計ガイドライン，2006.9.
- 2) 社団法人日本道路協会：鋼道路橋設計便覧，2020.9.