

充腹アーチを有するコンクリート二層アーチ橋の計画と設計

西日本高速道路(株) 正会員 大城 壮司 非会員 三井 邦弘 非会員 清水 陽介
NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) ○正会員 吉田 直弘 正会員 松田 宏 非会員 高堰 誠

1. はじめに

高度成長期に建設された橋の高齢化・老朽化が社会問題となっている。また少子高齢化社会に適応した維持管理し易い橋の造りが求められている。筆者らは維持管理性の向上を目指して充腹アーチを有するコンクリート二層アーチ橋の計画と設計を行った。この橋は充腹アーチの採用により床版及び支承、伸縮装置が不要となり維持管理の手間を大幅に省けると考える。過去の充腹アーチ橋においては、路面からの浸透水によるアーチリブの劣化が見られている。これを防ぐために、本橋の上層アーチには鉄筋などの鋼材を一切使用せず、補強材に連続繊維補強筋(以下 CFRP 筋と称す)を採用している。本橋梁の架橋地点付近では、自然環境が豊かで、オランダ堰堤・鎧堰堤を始め多くの歴史土木遺産があり、この二層アーチは景観的にも架橋環境に相応しいと考えられる。本稿はこの充腹アーチを有するコンクリート二層アーチ橋の計画及び設計の概要について報告するものである。

2. 構造概要

図-1 に橋梁概要図を示す。橋長は 552m である。上層は 46 径間連続 RC 充腹アーチであり、アーチの支間長は 12m である。下層は 7 径間連続 RC 開腹アーチであり、スパン割は P4-P5 間の天神川及び一般道及び P1 橋脚付近の重要文化財等の交差条件を考慮し、側径間長 72m, 中央径間長 84m とした。上下層アーチ間には耐震性能の確保、上層アーチの架設ヤードとしての利用、点検用通路等を目的に中梁を設けている。

3. 構造特徴

充腹アーチは、橋梁の主部材であるアーチの上に砂質土を載せて転圧し、一般の土工部と同じ舗装構造となる。そのため、橋梁部と土工部の舗装作業を連続して行うことができる。また①疲労劣化が生じやすい床版がないため、路面の維持、補修に複雑な作業が伴わず、維持、補修にかかる時間や規制日数を短くできる、②支承がないため、支承取替等の維持管理が不要である、③伸縮装置がないため、伸縮装置の劣化に伴う漏水による桁端の劣化を回避できる、など維持管理性に優れている。一方、充腹アーチの適用最大支間は 25m 前後であり、本橋のような幅の広い交差物件がある場合や、地域分断が懸念される場合での適用事例はほとんどない。また、中詰土の地震時慣性力が大きいため、本橋のように高橋脚を有する山岳地橋梁への適用実績もほとんどない。

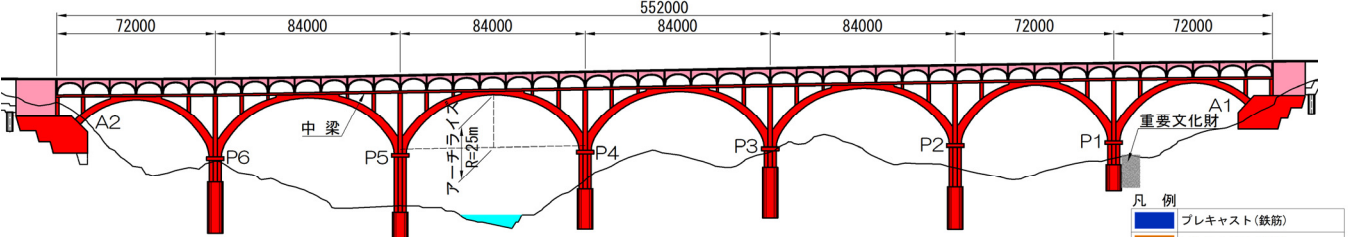


図-1 橋梁概要図

本橋は二層アーチを採用することにより交差条件をクリアした。また、下層アーチのアーチアクション効果を生かして上層アーチの重量を支えることを可能にした。さらに、この二層アーチは、不静定次数が高く、耐震性能にも優れている。本橋の橋脚の鉛直主鉄筋は最小鉄筋量で地震荷重に抵抗できる。また、深礎の必要深さも常時の設計で決定となった。

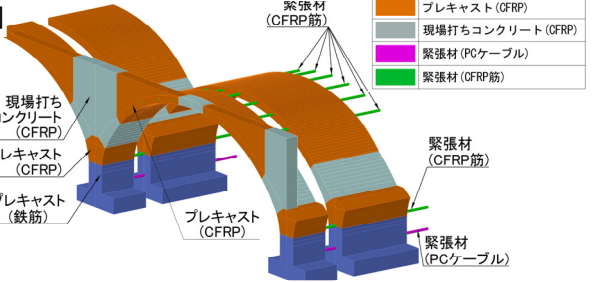


図-2 上層アーチ部材構成

キーワード 維持管理性, 耐久性, 2層アーチ, 充腹アーチ, CFRP 筋

連絡先 〒336-0018 さいたま市南区南本町 2-1-2 NEXCO 西日本コンサルタンツ(株) TEL 048-711-3168

4. CFRP 筋を用いた上層アーチの設計

図-2 に CFRP 筋を用いた上層アーチの部材構成を、図-3 に設計した断面形状を示す。CFRP 筋を橋梁に適用した RC 構造の設計事例は少なく、特にレベル 2 地震時の設計に用いる復元力特性及びせん断耐力の評価手法は確立されていない。そこで、載荷試験及び非線形 FEM 解析等を行い^{1),2)}、得られた知見を基に以下の条件より設計を行った。①CFRP 筋は降伏点がなく、破断破壊後は急激に耐力が低下する可能性が高いため、曲げ圧縮破壊が先行するよう断面設計を行う。②動的解析に用いる復元力特性は、曲げひび割れ点とコンクリートの圧縮限界点を結んだ図-4 に示す M-φ モデル(バイリニア型非線形弾性モデル)とする。上層アーチ以外は、武田モデルを用いる。③曲げ耐力の算出にあたっては、平面保持の仮定を用い、コンクリートと CFRP 筋間は完全付着とする。④せん断耐力は ACI440³⁾より算出する。コンクリートが負担するせん断耐力 V_c は、曲げひび割れ時の有効高に、補強筋比とヤング係数による補正係数 κ を乗じた表-1 式(1)より算出する。CFRP 筋が負担するせん断耐力 V_f は、許容せん断ひび割れ幅から限界ひずみを $4,000\mu$ (一定)として表-1 式(2)より算出するが、CFRP 筋の曲げ加工部の破断強度 f_{fb} 以下となるよう配筋する。

5. 耐久性の向上を目指した中梁の設計

中梁は下層アーチの水平補剛材として機能しており、上層アーチ自重や中詰土の重量により大きな引張力が生じる。また、中梁自身と下層アーチのクリープ・乾燥収縮の影響で引張力がさらに増加し、それによるひび割れの発生及び耐久性の低下が懸念される。中梁の剛性が大きいほどこの影響は顕著となる。そこで図-7 に示すように、中梁の巻き立てコンクリートを2回に分け打設する計画とし、上層アーチや中詰め土施工時及び乾燥収縮の初期段階の中梁の剛性を減らすことで引張力の低減を図った。

6. 点検作業に配慮した検査路計画

検査路計画を図-8 に示す。点検作業のしやすいさに配慮し計画を行った。橋台背面から中梁→下層アーチ→各橋脚へと連続してアクセスができるように各部材接合部に開口部、階段を設置した。下層アーチリブ下端に点検用バルコニーを設けている。また橋脚高の高い中空断面を有する P5 橋脚には、中空断面内に階段を設置し、地面から検査路へのアクセスを確保した。

7. まとめ

本橋の設計においては、維持管理性を追求し検討を行ってきた。この維持管理性に配慮したコンクリート二層アーチ橋の設計コンセプトが、今後の橋梁計画の参考となることを期待する。

参考文献 1)大城他：連続補強筋を用いた RC 構造物の載荷実験,年講,2018 2)大城他：非線形 FEM 解析による連続繊維補強筋を用いた RC 構造物のせん断耐力の検討,年講,2018 3) ACI440.1R-15,2015.3

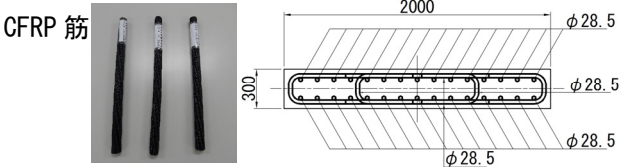
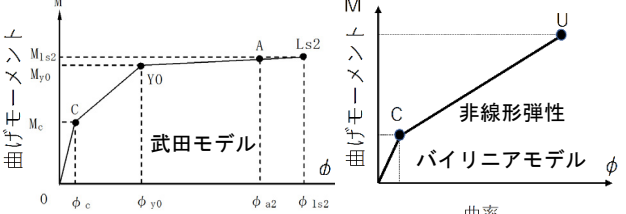


図-3 上層アーチの断面形状図



(a) 上層アーチ以外の復元力特性 (b) 上層アーチの復元力特性

図-4 各部材の復元力特性

表-1 せん断耐力計算式

式(1)：コンクリートが負担するせん断耐力
$V_c = \frac{2}{5} \sqrt{f'_c b_w (kd)} \quad k = \sqrt{2\rho_f n_f + (\rho_f n_f)^2} - \rho_f n_f$
式(2)：CFRP筋が負担するせん断耐力
$V_f = \frac{A_{fv} f_{fv} d}{s} \quad f_{fv} = 0.004 E_f \leq f_{fb} \quad f_{fb} = \left(0.05 \frac{r_b}{d_b} + 0.3 \right) f_{fd} \leq f_{fd}$

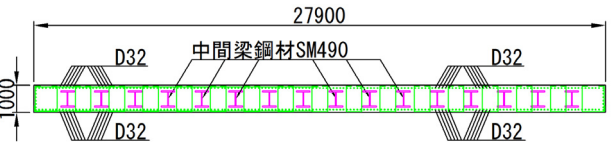


図-6 中梁断面

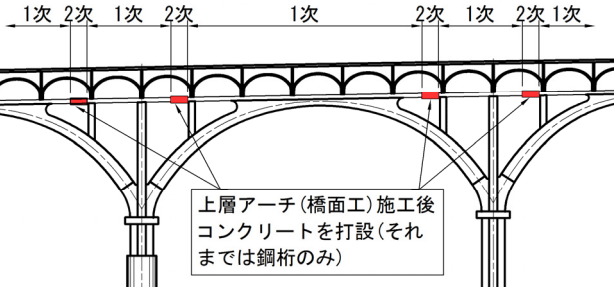


図-7 中梁の巻立てコンクリートの打設順序

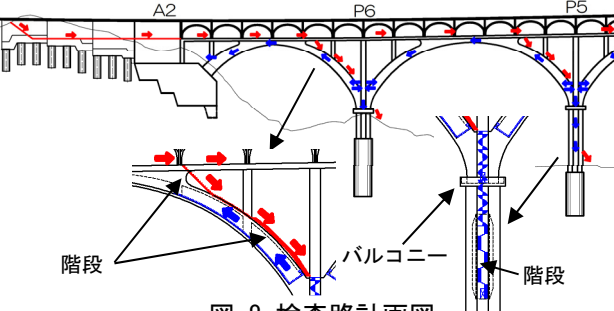


図-8 検査路計画図