

FRP 構造物のライフサイクルコストに関する検討

独立行政法人土木研究所 正会員 ○西崎 到
 (株)大林組 正会員 竹田 宣典
 長岡技術科学大学 正会員 下村 匠

1. はじめに

FRPを用いた構造物の高耐食性などの特長を適切に評価するためには、初期費用だけでなく、ライフサイクルコスト(以下LCC)の定量的な評価が重要である。FRP構造物のLCC評価はこれまでも試みられている^{例え^ば 1)}が、FRP構造物の設計から実施する必要があるため、仮定条件が多すぎて信頼性が乏しいなどの問題点があった。そこで、本報告では、できるだけ現実の構造物の条件を忠実に考慮したLCC評価を行うため、国内唯一のFRP歩道橋の実橋である伊計平良線ロードパーク橋の実例を基とした仮想構造物によるLCC検討を行った。

2. 想定構造物

LCCを検討するために想定した構造物は、道路を跨ぐFRP歩道橋およびPC歩道橋である。塩害対策区分はSに該当する。FRP歩道橋は、橋長約38m、幅員約4.3mとし、上部工の形式は2径間連続桁橋、FRPとしては、繊維にガラス繊維、樹脂にはビニルエステル樹脂を使用したものを想定した。FRP歩道橋は、主桁はハンドレイアップ成形材、対傾構、床版、床組は引抜成形材とし、それぞれ別の工場で作製され、東京都の組立工場で組み立てられた後、東京から沖縄まで海上輸送されたものとした。PC歩道橋は、橋長約36m、幅員約4.3mとし、上部工の形式は1径間ポストテンション中空床版桁橋とした。なお、いずれにおいても、下部工の躯体形式は壁式橋脚、基礎形式は鋼管杭基礎とした。

3. LCC 計算方法

FRP歩道橋およびPC歩道橋のそれぞれについて初期費用、維持管理費用を算出(いずれも直接工事費のみ)し、その和をそれぞれのLCCとした。廃棄費用については考慮しなかった。また、将来費用の割引率についても考慮に入れずに検討した。初期コストは、上部工と下部工それぞれについて計算した。維持管理費用は上部工のみについて検討することとし、FRP

歩道橋およびPC歩道橋それぞれについて、現時点で現実的と考えられる仮定を行い算出した。

4. 結果

4. 1 初期費用

(1) PC 歩道橋

PC歩道橋上部工については、①パイプ桁、②ポステン中空床版桁、③場所打ちホロー桁、④プレキャスト中空桁、⑤プレキャスト2主版桁の5種類の上部工が検討された。これらを、経済性、施工性、構造的性、景観、維持管理性の各観点から総合的に検討した結果、②ポステン中空床版桁が最も適切との結論となった。上部工費用は4,824万円となった。

また、防食対策が施された2つのケース(①^ポキ樹脂装鉄筋及び^ポキ樹脂塗装PC鋼線の採用、②^ポキ樹脂装鉄筋、^ポキ樹脂塗装PC鋼線、表面被覆工の採用)についても、上記のPC歩道橋上部工を基礎に算出を行い、それぞれ5,062万円、5,437万円との結果を得た。

PC歩道橋下部工は2つの橋脚(P1橋脚及びP2橋脚)のうち、P1橋脚はφ600mm-9mmの鋼管杭6本(L=17.5m)、P2橋脚はφ600mm-12mmの鋼管杭4本(L=20.0m)が最適であるとの結果となった。両橋脚をあわせた下部工費用合計は1,013万円であった。

(2) FRP 歩道橋

FRP歩道橋上部工の初期費用は、①材料費、②組立費、③型費(ハンドレイアップ成形用)に大きく分類できる。上部工費用の合計は7,360万円となった。このFRP歩道橋は国内初であることや、美観や飛砂対策が必要となったことなどから、将来の新たな現場条件における建設にあたっては、いくつかの費用削減の可能性が考えられる。特に、①高欄の変更(アルミニウム高欄に変更)、②継ぎ手連結部材の変更、③型費を2橋で共用する、の3項目について費用削減を検討し、「改良型FRP歩道橋」として算出した結果、上部工初期費用は6,235万円となった。

キーワード FRP, 歩道橋, 実構造物, LCC

FRP 歩道工下部工は、3つの橋脚（P1, P2, P3）よりなる。鋼管杭（打ち込み式）と PHC 杭（中掘り圧入式）を比較した結果、鋼管杭が有利との結果であった。P1 橋脚はφ500mm-9mm の鋼管杭 2 本（L=15.0m）、P2 橋脚はφ500mm-9mm の鋼管杭 4 本（L=18.0m）、P3 橋脚はφ500mm-9mm の鋼管杭 2 本（L=12.0m）である。杭以外の下部工については数量計算書から算出し、下部工費用合計は 691 万円との結果を得た。

FRP 歩道橋の上部工・下部工をあわせた初期費用を、防食対策を施した PC 橋と比較すると、1 割以内の相違に収まっており、十分に競争力を有するものと考えられた。

4. 2 維持管理費用

(1) PC 歩道橋

維持管理費用は点検費用と補修費用に大別できるが、点検費用については PC 歩道橋と FRP 歩道橋では大きな相違がないと考えられるため、補修費用のみの検討を行った。

仮定した 3 種類の PC 歩道橋のケースについて、建設後におけるコンクリート中への塩化物イオン浸透予測を行い、鉄筋表面の塩化物イオン量が $1.2\text{kg}/\text{m}^3$ になった時に、断面修復と表面被覆材の塗り替えを行うこととした。表面被覆工は道路橋の塩害対策指針（案）の C 種塗装系とし、その塩化物イオン遮断性機能の寿命を 15 年あるいは 30 年と仮定し、この間隔で再補修するものとした。維持管理費用の算出結果を表-1 に示す。

(2) FRP 歩道橋

FRP 歩道橋の定期的な補修の必要性については十分な資料がないが、伊計平良線ロードパーク橋では高欄を固定するためのステンレスボルトの交換が必要となった事例があったため、厳しい腐食環境ではこの程度の小規模な補修がある程度はあるものと仮定し、5 年間隔で 100 万円程度の補修費用を設定した。改良型 FRP 歩道橋では、必要な部分については、より耐食性の高いボルトを採用し、補修費用の削減を図るケースを想定した。

より大きな補修は保護塗装の塗替である。FRP 歩道橋の場合は腐食しないため、鋼構造物の塗装による防食のように、ボルト部や端部などの塗装の弱点部からの腐食に起因する塗膜劣化が起きない。それゆえ、上塗り塗装の消耗速度から算出される寿命を塗

替周期に設定することとし、ふっ素樹脂上塗り塗装（ $75\mu\text{m}$ ）の塗替頻度を 120 年と設定した。塗替費用は足場費用を含めて 560 万円となった。

4. 3 LCC

前項までの結果を整理した LCC 算出結果を表-1 に示す。歩道橋の設計耐用年数を 50 年として LCC を比較した場合、FRP 歩道橋の LCC は 9,051 万円となり、塩害対策がとられていない通常の PC 歩道橋の LCC（10,087 万円）よりも安価となった。PC 歩道橋で最も 100 年 LCC が低くなるのは、防食対策としてエポキシ樹脂塗装鉄筋およびエポキシ樹脂塗装 PC 鋼線を採用した場合である。50 年 LCC では塩害対策を施した PC 橋が最も低くなるが、100 年 LCC では改良型 FRP 歩道橋が最も低くなることから、FRP 歩道橋は沿岸などの厳しい腐食環境において、長い設計耐用期間が求められる場合に有効であると考えられる。

表-1 PC 歩道橋と FRP 歩道橋の LCC 算出結果

	PC橋	PC橋 (塗装鉄筋・ PC鋼線)	PC橋(塗装鉄筋・ PC鋼線・表面被覆)		FRP橋	FRP橋 (改良型)
			15年毎補修	30年毎補修		
上部工初期費用	4,824	5,062	5,437		7,360	6,235
下部工初期費用	1,013	1,013	1,013		691	691
初期費用合計	5,837	6,075	6,450		8,051	6,926
維持管理費用(30年分)	2,450	0	1,800	900	600	350
維持管理費用(50年分)	4,250	0	2,700	900	1,000	350
維持管理費用(100年分)	6,950	2,450	5,400	2,700	2,000	700
50年LCC	10,087	6,075	9,150	7,350	9,051	7,276
100年LCC	12,787	8,525	11,850	9,150	10,051	7,626

5. まとめ

現実の構造物の条件をできるだけ忠実に考慮した FRP 歩道橋の LCC 評価を厳しい腐食環境条件を前提に行い、FRP 歩道橋は適切にコストダウンを図ることで、防食対策を施した PC 歩道橋と初期費用、LCC の両面で競争力を有するとの結論を得た。

なお、本報告書の内容は土木学会「革新的構造材料の活用検討委員会」（平成 16-17 年度）の検討結果である。不明な点については著者らで仮定したこと、計算のために種々の簡略化を行ったことなどから、本報告の結果は伊計平良線ロードパーク橋の実際の LCC の値ではない。

謝辞：本報告で参考にした伊計平良線ロードパーク橋に関する資料は沖縄県土木建築部中部土木事務所より提供していただきました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

1) Meiarashi et al. Journal of Composites for Construction, Vol.6 No.4, pp.206-214, 2002.