

繊維補強材を使用した超高耐久PC橋の適用性に関する基礎的検討

(株)ピーエス三菱 正会員 ○古村 豊
 (株)ピーエス三菱 正会員 大山 博明
 (株)ピーエス三菱 正会員 中井 聖棋
 東京製綱(株) 榎本 剛

1. はじめに

近年、コンクリート構造物の劣化事例が顕在化してきており、構造物の維持管理の重要性や新設構造物の長期耐久性などに対する関心が高まっている。今後、我が国は膨大な社会資本ストックの維持管理が必要となる一方で、財源や労働力が不足することが想定されている。このため、今後の新設構造物は、維持管理性に優れた構造物であることが必要となる。コンクリート構造物の劣化は、部材内部への劣化因子の浸入により、内部鋼材が腐食し、ひび割れ発生や進展によるものが一般的である。

そこで、本報告では新設PC橋梁を対象として、有機短繊維補強材を用いた繊維補強コンクリートや炭素系連続繊維補強材などを使用して腐食原因を排除することで耐久性を著しく向上させたPC橋梁（以下、超高耐久PC橋）を試設計し、従来の高耐久PC橋を含めたライフサイクルコスト（以下、LCC）の比較により、その適用性を検討したため以下に報告する。

2. 検討条件

2.1 検討対象構造物

本検討の対象構造物は、道路橋上部構造とした。上部構造の構造形式は、ポストテンション方式PCT桁橋とした。上部構造の仕様を表-1、図-1に示す。

表-1 上部構造の仕様

橋種	道路橋
構造形式	単純PCT桁橋 (PCaセグメント方式)
橋長	30.900m
支間長	30.000m
総幅員	12.000m

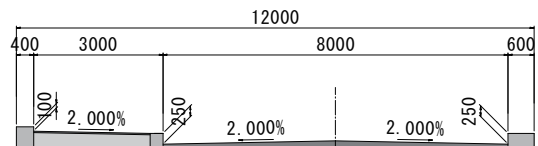


図-1 幅員構成

2.2 環境条件

架橋場所の環境条件は、道路橋示方書Ⅲにおける塩害区分Sとした。

2.3 検討ケース

本検討における検討ケースを表-2に示す。検討ケースは従来の塩害対策橋（以下、従来橋）が1案（Case1）と、超高耐久PC橋が3案（Case2～4）の4ケースとした。それぞれの検討ケースの耐久性仕様の概要を以下に述べる。

(1) Case1 従来橋

本案は従来の塩害対策PC橋（対策区分S）であり、各部材の耐久性仕様は文献1)に準じた案である。

(2) Case2 フルスベック案

本案はすべての部材に対して繊維補強材料を使用しており、すべてのケースのなかで最も耐久性が高い案である。繊維補強コンクリートはアラミド短繊維を用い、緊張材や補強材にはより線状の炭素系連続繊維補強材（以下、CFCC）を用いた。

(3) Case3 部材表層部に非腐食性補強材を使用する案

本案は部材表層部の補強材を非腐食性補強材とすることで、塩化物浸食部を重点的に高耐久化する案である。本案では高価な繊維補強材の使用を部材表層部に限定することにより高耐久化を図りつつ、大幅な初期建設費の増加を抑制する案である。

(4) Case4 主桁に限定して高耐久化する案

本案はPCT桁橋において部材劣化による構造性能への影響度が最も大きい主桁部材を重点的に高耐久化する案である。本案はCase3と同様に、高価な繊維補強材の使用を主桁部材に限定することにより高耐久化を図りつつ、初期建設費の増加を抑制する案である。

表-2 各検討ケースにおける部材ごとの材料条件

	主桁部				場所打ち部 (床版・横桁)			地覆部	
	コンクリート	緊張材	補強材	表面塗装	コンクリート	緊張材	補強材	コンクリート	補強材
Case1	普通コン	裸PC	エポ鉄筋	桁下塗装	普通コン	裸PC	エポ鉄筋	普通コン	エポ鉄筋
Case2	繊維補強	CFCC	—	—	普通コン	CFCC	CFCC	普通コン	CFCC
Case3	繊維補強	被覆PC	—	—	普通コン	被覆PC	CFCC	普通コン	CFCC
Case4	繊維補強	CFCC	—	—	普通コン	被覆PC	エポ鉄筋	普通コン	エポ鉄筋

3. 試設計

3.1 使用材料

各検討ケースの試設計に用いたコンクリートと緊張材の仕様を表-3、表-4に示す。各使用材料の

表-3 各検討ケースの使用材料

	主桁部			場所打ち部	
	コンクリート		緊張材	コンクリート強度	緊張材
	設計基準強度	短繊維補強材			
Case1	50MPa	—	12S12.7 ^{※1}	30MPa	1S21.8 ^{※1}
Case2	70MPa	アラミド短繊維	12.5×12 ^{※2}		17.2 ^{※2}
Case3			12S12.7 ^{※1}		1S21.8 ^{※1}
Case4			12.5×12 ^{※2}		1S21.8 ^{※1}

表-4 CFCCの材料特性

	縦締め 12.5×12	横締め 17.2
引張荷重(kN)	2208	350
弾性係数(N/mm ²)	155000	
リラクゼーション(%)	1.3	
有効断面積(mm ²)	912.0	151.1
引張強度(N/mm ²)	2421	2316
許容応力(N/mm ²)	1453	1390

※1はPC鋼材, ※2はCFCCを示す。

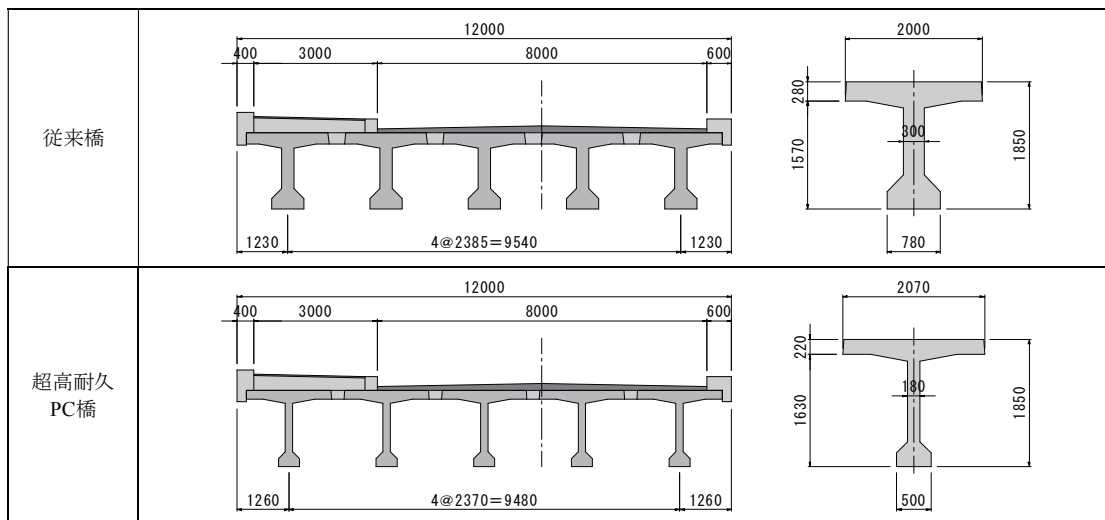


図-2 上部構造の比較

材料強度や制限値は、道路橋示方書に準じることとし、CFCC の材料強度や制限値は文献 2)に準じた。

3.2 設計方法

解析モデル、断面力算出および各部材の照査方法は道路橋示方書に準じた。なお、Case2～4の主桁のせん断耐力の算出には、繊維補強コンクリートが負担するせん断耐力を考慮した。

3.3 試設計結果

本試設計では、比較設計であるため、全ケースの桁高を同一として設計を行った。図-2に各ケースの上部構造図の比較を示す。従来橋は、文献1)に準じて床版、主桁ともにかぶり70mmを確保するため、部材厚が比較的厚くなる。一方、超高耐久PC橋は、部材表層部に腐食性補強材が存在しないため、部材断面を小さくできる。このため、緊張材の配置等の構造細目から主桁断面を決定し、主桁断面に作用する圧縮応力の照査結果から主桁の設計基準強度を70N/mm²に設定した。

4. ライフサイクルコスト

4.1 初期建設費の試算

各検討ケースの上部構造の初期建設費を表-5に示す。初期建設費はCase1が最低価格、Case2が最高価格となった。超高耐久PC橋の工事価格は、従来橋に比べて1～4割程度、高価格となった。

表-5 上部構造の初期建設費の比較

		直接工事費 (千円)	間接工事費 (千円)	工事価格 (千円)	比率
従来橋	Case1	66,293	41,027	107,320	1.00
超高耐久PC橋	Case2	97,842	53,848	151,690	1.41
	Case3	72,697	42,253	114,950	1.07
	Case4	81,847	46,473	128,320	1.20

4.2 補修・維持管理費

4.2.1 維持管理シナリオ

LCCの試算は供用期間を100年間とし、維持管理シナリオを図-3のように想定した。Case1における主桁下フランジ部は、塩化物が高濃度に付着する部位であることからコンクリート塗装が文献 1)により標準化されている。このため、コンクリート塗装の経年劣化が避けられないものと考え、15年ごとの再塗装を行うこととした。Case2～4の超高耐久PC橋は、主桁下フランジ部の表層部に腐食性補強材を使用していないため、表層部の劣化リスクがないことからコンクリート塗装は行わず、補修シ

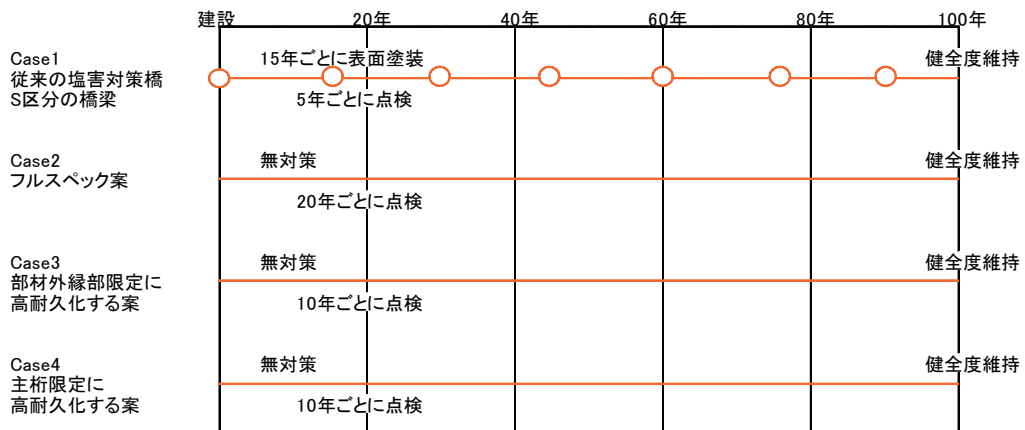


図-3 維持管理シナリオ

ナリオを設定しないものとした。定期点検については、「道路の維持修繕に関する省令」の施行により、近接目視による橋梁の定期点検が5年に1度の頻度で実施するように義務化されたため、Case1はこれに準じて5年ごとの定期点検を想定した。ただし、超高耐久PC橋は、従来橋に比べて部材内部に腐食性補強材が少なく、耐久性能が著しく高いことから、従来橋に比べて定期点検方法を簡便に、あるいは定期点検間隔を延伸できるものと考えられる。このため、本報告では、Case3およびCase4の定期点検間隔を10年、Case2の定期点検間隔を20年に設定した。なお、一般には橋梁付属物の取換え費が想定されるが、当該費用による各案での工事価格差が生じないことから、本検討では考慮しない。

4.2.2 LCCの算出方法

一般にLCCは、構造物に必要なとする費用を、初期建設費、点検費、補修費および最終処分費（+社会的損失費）の総和として定義されている。最終処分費、社会的損失費および割引率は、その取扱いや評価が明確でないことから、本報告におけるLCCの算出では文献3)に準じて、初期建設費と維持管理費の総和として評価することとした。ここで、LCCは式(1)により算出した。

$$LCC = \sum_{t=0}^T (I + C_t + C_r) \left(\frac{1}{1+r} \right)^t \quad (1)$$

I: 初期建設費, C_t: 点検費, C_r: 補修費, r: 割引率 (本検討では0%), t: 経過年数

4.2.3 LCCの試算

LCC試算結果を図-4および図-5に示す。試算の結果、超高耐久PC橋のLCCは、従来橋に比べて1~2割程度、低価格となった。また、超高耐久PC橋は従来橋に比べてかぶり分の部材厚をスリム化できることから、約20%の上部工反力の低減が図れる。このため、下部構造建設費を含めることでさらなるコスト削減効果が期待できるものと考えられる。

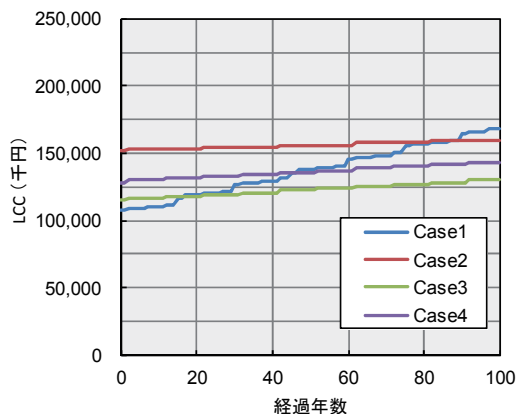


図-4 LCCの経年推移

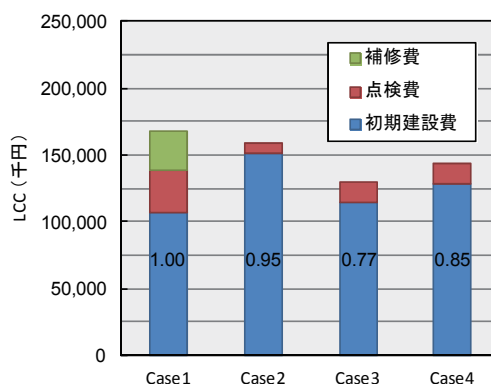


図-5 LCCの集計

5. まとめ

本報告では、従来橋と本報告で提案した超高耐久PC橋3案の計4案を試設計し、LCC評価を行うことで超高耐久PC橋の適用性を検討した。その結果、超高耐久PC橋は従来橋に比べて初期建設費が若干高いものの維持管理費が安価であるため、LCCは従来橋よりも安価となった。本検討は基礎的な検討ではあるが、超高耐久PC橋が塩害対策橋の市場において十分な競争力があることを確認した。

参考文献

- 1) 塩害に対するプレキャストPCげたの設計・施工資料, PC建協, 2005.3
- 2) 連続繊維補強材を用いたコンクリート構造物設計・施工マニュアル(案), ACC倶楽部, 2003.10
- 3) ミニマムメンテナンスPC橋の開発に関する共同研究報告書(I), 国土交通省土木研究所, 2001.3