

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

技術本部	技術部	大山博明
技術本部	技術部	中井聖棋
東京土木支店	土木工務部	荒川直樹
技術本部	技術部	古村豊

概要：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求められる。そこで新設 PC 橋梁の超高耐久化を目的として、非腐食性材料である有機短繊維補強コンクリートや炭素系連続繊維補強材など使用して耐久性能を著しく向上させた PC 橋を試設計し、ライフサイクルコスト(以下、LCC)の比較を行うことにより、その適用性を検討した。

Key Words：繊維補強コンクリート、CFCC、耐久性、LCC

1. はじめに

昨今、建設業界では、財源や労働力の縮小が想定されており、既設構造物においては適切な維持管理、新設構造物においては長寿命化への強い要求がある。さらに近年、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事例の多くは、部材内部への劣化因子の浸入により内部鋼材が腐食し、ひび割れの発生やその進展などにより耐久性能が低下することにある。

そこで本報告では、新設 PC 橋梁を対象として、非腐食性材料である有機繊維補強材による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することで耐久性能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 橋を含めた供用期間 100 年間の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、PC 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



大山博明



中井聖棋



荒川直樹



古村豊

桁橋とした。上部構造の仕様を表-1 および図-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

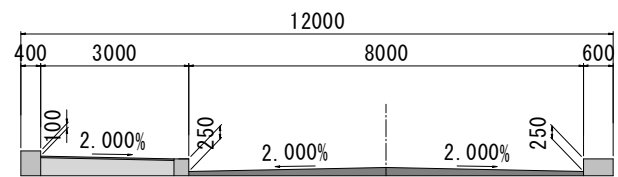


図-1 幅員構成

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を対象とした。

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。検討ケースは表-2に示すように従来の塩害対策橋(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。また、図-2に超高耐久PC橋のイメージ図を示す。

(1) Case1 従来橋

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

(2) Case2 フルスペック案

本案はすべての部材に対して非腐食性材料である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能が高い案である。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

本案は全コンクリート部材の表層部に非腐食性補強材を使用することで、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。

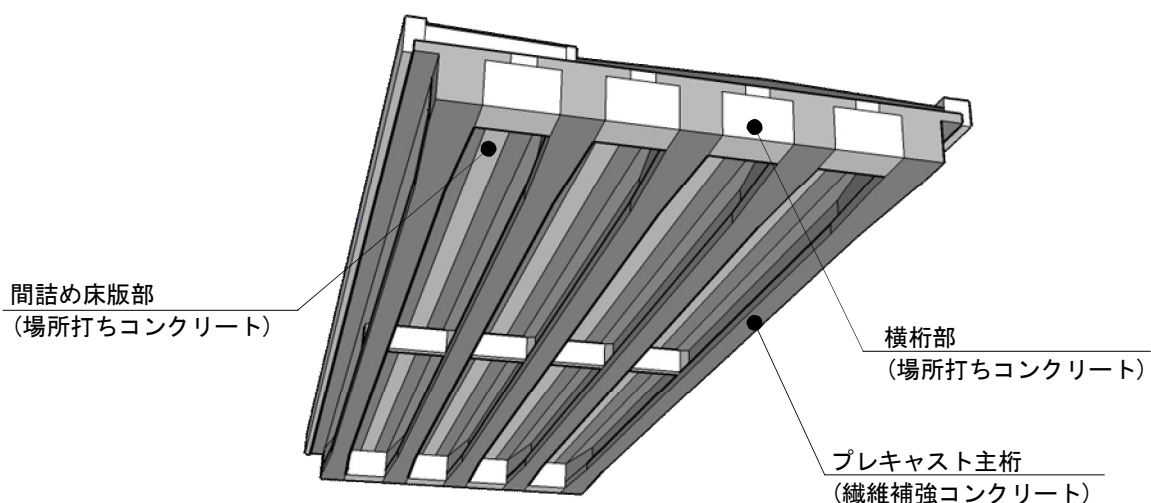


図-2 超高耐久PC橋の構造イメージ

表-2 各検討ケースの材料条件

	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

※Case4の間詰め床版の補強筋にはCFCCを使用する。

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材料仕様を表-3および表-4に示す。各使用材料の物性値や応力制限値は、道路橋示方書に準じることとし、CFCCの材料強度や応力制限値は文献2)に準じた。

超高耐久PC橋の主桁は、部材表層部に補強鋼材を配置しないことから、耐久性から必要となるかぶり厚が不要となる。このため、主桁の設計基準強度を従来橋よりも高くすることで主桁断面をスリム化した。主桁の設計基準強度は、主桁断面に作用する圧縮応力が最大となるプレストレス導入直後の主桁下縁の圧縮応力の照査から70N/mm²に設定した。

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の主桁の曲げモーメントとせん断力に対する照査における繊維補強コンクリートの取扱いを表-5の通りとした。

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	緊張材
	設計基準強度	短繊維補強材		強度	
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

※1はPC鋼材、※2はCFCCを示す。

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	
リラクセーション (%)	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

表-5 部材照査における短繊維補強材の取扱い

	設計荷重時	終局荷重時
曲げに対する照査	考慮しない	考慮しない
せん断力に対する照査	考慮しない	繊維補強コンクリートのせん断耐力を考慮

3.3 試設計結果

3.3.1 概要

本試設計は、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-3に各ケースの上部構造の比較を示す。従来橋は、文献1)に準じて床版、主桁ともにかぶり70mmを確保した。超高耐久PC橋は、部材内部に腐食性補強材が存在しないため、部材断面を小さくすることができる。

3.3.2 床版の設計結果

図-4に従来橋と超高耐久PC橋の中間床版の構造図を示す。従来橋は床版下縁のかぶり70mmを確保する

ため、床版厚が 280mm となる。これに対して超高耐久 PC 橋では、主桁部の床版は繊維補強コンクリートであるため補強筋はなく、間詰め床版の補強筋には CFCC を使用している。このため、間詰め床版のかぶりは床版上下縁とも 30mm とし、床版厚を 220mm とした。ただし、超高耐久 PC 橋の横締め緊張材には CFCC $\phi 17.2$ を使用しており、緊張固定端には $\phi 45\text{mm}$ のソケット加工を施しているため、横締めシース径はソケット部が挿入可能なサイズとする必要がある。

3.3.3 主桁の設計結果

図-5 に従来橋と超高耐久 PC 橋の主桁(桁下の袴部)の構造図を示す。従来橋はかぶり 70mm を確保するため、比較的、部材断面が大きくなる。これに対して超高耐久 PC 橋は耐久性から必要となるかぶりを確保する必要がない。ただし、PE シースのかぶりを極端に小さくすると、ひび割れの発生が懸念されるため、本試

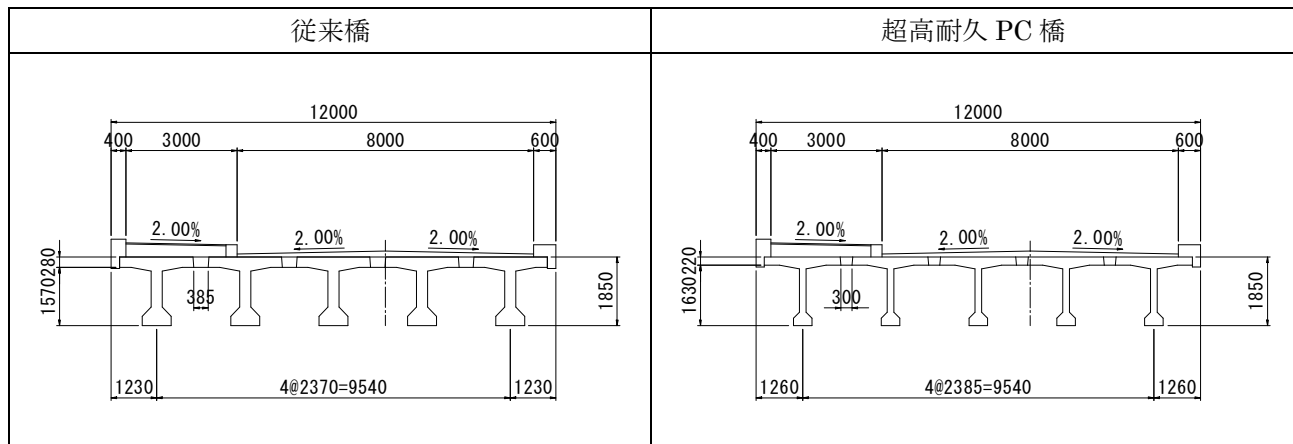


図-3 上部構造の比較

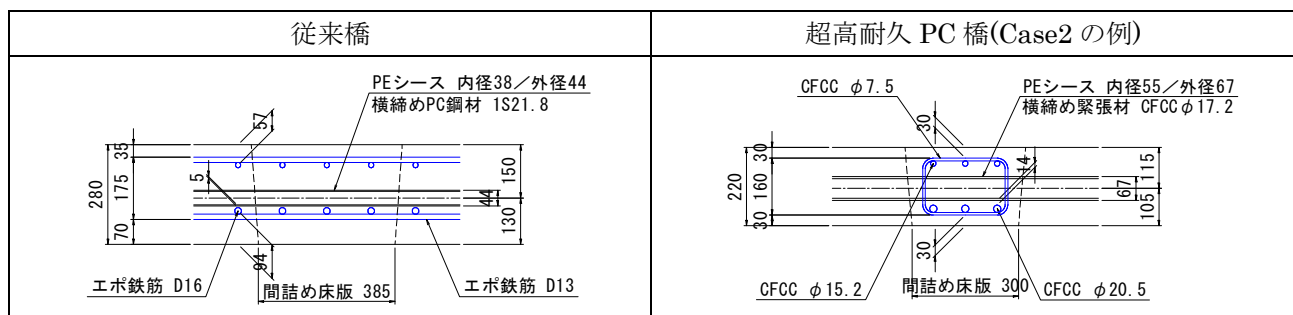


図-4 床版の設計結果

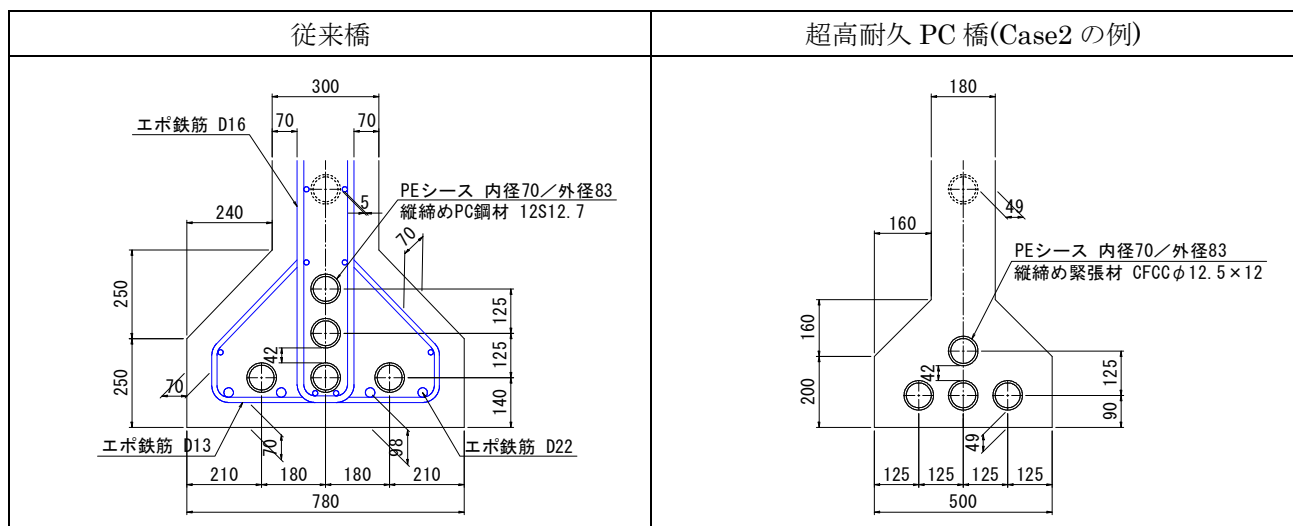


図-5 主桁の設計結果

設計ではかぶり 50mm 程度を目安とした。このため、超高耐久 PC 橋の主桁断面をスリム化することができるほか、緊張材の配置高さを下げ、有効高さを大きくとることができるため、緊張材本数を低減することができる。

4. ライフサイクルコスト

4.1 初期建設費の試算

各検討ケースの初期建設費を表-6 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-6 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
従来の塩害対策橋	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-6 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、劣化のリスクがないことからコンクリート塗装は行わず、補修シナリオを設定しないものとした。定期点検については、平成 26 年に「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、耐久性能が極めて高いことから、従来橋に比べて定期点検を簡便に、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 年と設定した。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

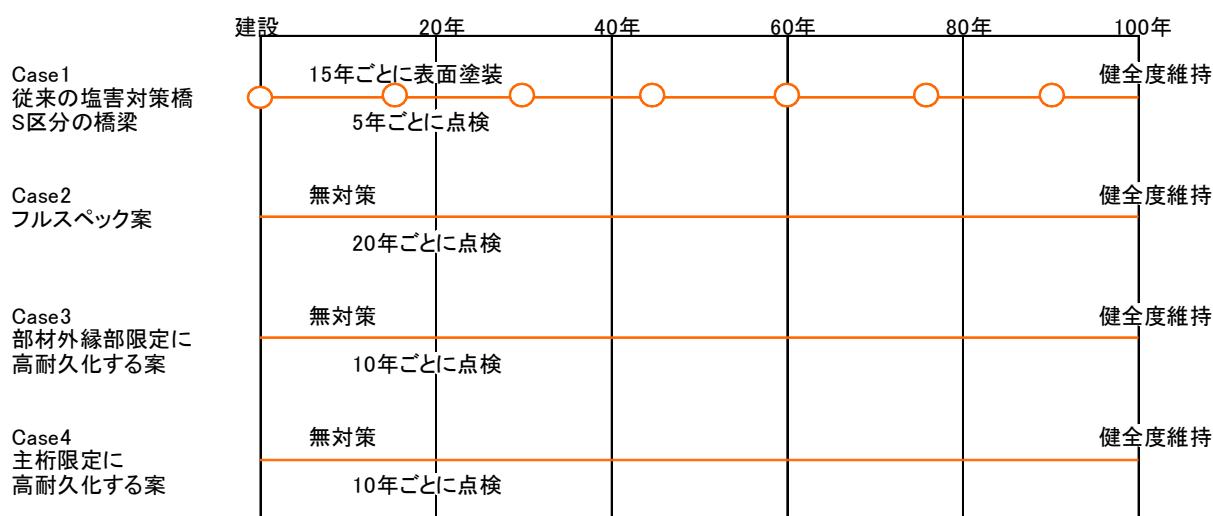


図-6 維持管理シナリオ

いことから、本検討では考慮していない。

4.2.2 LCCの算出方法

一般にLCCは、構造物に必要とする費用を、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。

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

I : 初期建設費, C_i : 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-7 および図-8 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。

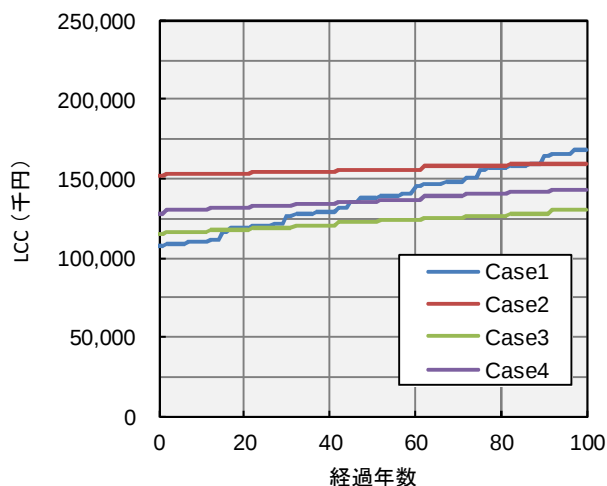


図-7 LCCの経年推移

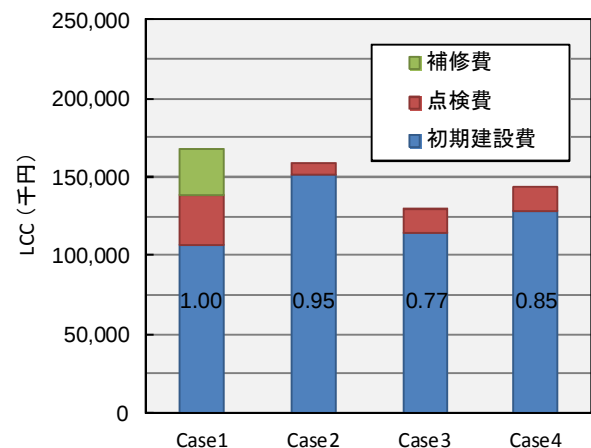


図-8 LCCの集計

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であった。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, プレストレストコンクリート建設業協会, 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), 2001.3