

## (6) PC橋のライフサイクルコストに関する一考察

(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部 正会員 ○張 建東  
 同上 味好 渉  
 同上 正会員 廣井 幸夫  
 中部大学 工学部土木工学科教授 平澤 征夫

### 1. はじめに

21世紀を目前にひかえた現在、高度成長期に架設された多数の橋梁は、材料の劣化、自然環境の変化、交通量の増加などにより、補修補強や維持管理費用の増大が予想されている。今後、橋梁のミニマムメンテナンス技術やライフサイクルコストの評価法の確立が急務である。

本論文では、道路橋のミニマムメンテナンス技術において、従来、検討・試算例がほとんどなかったPC橋を対象に、ミニマムメンテナンス橋と従来橋のライフサイクルコストの比較検討を行い、ミニマムメンテナンス橋の導入効果が大きいことを検証した。

### 2. PC橋におけるミニマムメンテナンス技術

道路橋のライフサイクルコスト(LCCと称す)とは、初期費用および設定された設計耐用年数の間に橋梁に期待される性能を保持するのに要する費用の総計であり、以下に示すように初期建設費用に維持管理費用等を加えたものである。

$$LCC = I + \sum R + \sum M$$

- ①初期建設費(I): 計画、設計、建設工事費
- ②維持管理費(R): 点検、補修、補強工事費
- ③更新費(M): 撤去、架替工事費

ミニマムメンテナンス橋(MM橋と称す)は、ライフサイクルのトータルコストの最小化を目指し、最少限の維持管理で長寿命化を実現するものである。なお、ライフサイクルコストを最小にするために維持管理費用(R)および更新費用(M)を最少限にすることが最も効果的と言われている。

PC橋において供用寿命に影響を与える主な要因として、コンクリートのひびわれや劣化、鋼材の腐食、グラウト不良および支承部や伸縮装置の損傷などが指摘されている。PC橋のミニマムメンテナンス技術については、現在、構造、材料など多方面にわたり多くの研究開発がなされている。ここで、MM橋として、表-1に示すミニマムメンテナンス技術の適用を想定し、図-1にその概要図を示す。

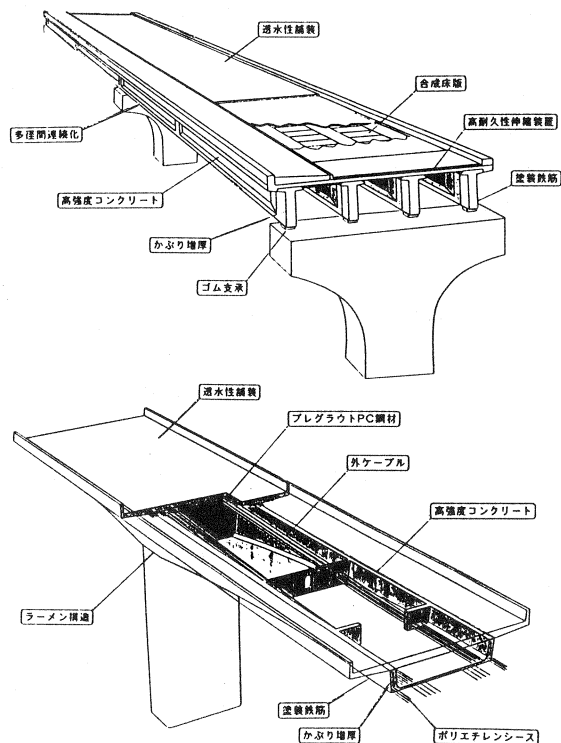


図-1 PC橋におけるミニマムメンテナンス技術

### 3. ライフサイクルコストの算出条件

ここで、以下の3種類の代表的なPC橋梁形式について、それぞれ従来橋、ミニмумメンテナンス橋(新設MM橋)、既設橋にミニмумメンテナンス化を施した橋梁(既設MM橋)の3タイプを対象に、LCCの試算を行い、前節で提案したMM橋のミニмумメンテナンス技術の導入効果を定量的に把握することとした。なお、架橋環境については、塩害等の影響が少ないモデルとして山岳部を想定した。

表-1 本試算に用いるミニмумメンテナンス技術

項目	MM技術の導入効果
高強度コンクリート	水セメントの低減による耐久性の向上
外ケーブル構造	施工性の向上、維持管理の改善
プレグラウトPC鋼材	グラウト作業の省略、品質確保
エポキシ塗装鉄筋	鉄筋の防食防止、耐久性の向上
鉄筋かぶり増厚	中性化速度の低減、耐久性の向上
高耐久性ゴム系伸縮装置	伸縮装置の耐久性の向上
透水性舗装	走行性の改善、舗装の耐久性向上
橋面防水工	床版の耐久性向上
PCコンボ橋形式	構造の合理化、耐久性の向上、省力化

①プレテンション方式PC単純T桁橋

②ポストテンション方式PC単純T桁橋

③3径間連続PC箱桁橋

なお、各橋梁形式の条件設定は表-2(1)~(3)に示す。また、それぞれ初期建設費用や維持管理費用は表-3(1)~(3)に示す。

ライフサイクルコストを推定するに当たり、以下に示す基本条件に基づき、従来橋とMM橋の相対評価を行う。なお、本試算における基本的方針として、既往の鋼橋のLCC試算<sup>1)</sup>と整合性を持たせた条件設定を行っている。

- (1) 橋梁のライフサイクルは更新費用を反映できる十分長い期間として200年と設定する。また、従来橋の寿命については、場所打ち桁では60年、プレテン桁では工場製作による高品質化が図れるため80年とする。新設MM橋はミニмумメンテナンス技術の導入により架替えを行わないものとする。また、既設MM橋は建設後40年後にミニмумメンテナンス化し延命効果を80年とする。なお、寿命には経済的要因及び機能的要因などを想定する事は困難であり、ここでは物理的寿命を基準とした。
- (2) 初期建設費については、従来橋では実績単価<sup>2), 3)</sup>(橋面積あたり)より設定し、ミニмумメンテナンス橋ではミニмумメンテナンス技術付加により従来橋の20%増と仮定する。しかし、ポストテンション方式T桁橋についてはPCコンボ橋形式を採用することにより10%のコスト縮減を考慮する。また、橋梁架替え費用は土木研究所調査資料<sup>4)</sup>により初期建設費の3倍とする。
- (3) 設計計算は、道路橋示方書平成8年版<sup>5)</sup>に準じて、B活荷重を想定して行う。
- (4) 200年間における初期建設費、維持管理費および更新費用の累積を算出する。
- (5) 橋梁施工の信頼性や材料リサイクル、活荷重の将来的変更などの諸要因については、現時点で評価する事が困難であるので、ここでは考慮しないものとする。

### 4. ミニмумメンテナンス技術の導入効果

PC橋の3種類の橋梁形式について、それぞれ建設後200年までのLCC試算結果を図-2(1)~(3)に示す。いずれのミニмумメンテナンス橋も初期建設費用は従来橋より大きいものの、建設後50年以内にライフサイクルコストが従来橋より小さくなり、供用年数の増加とともに従来橋との差は顕著になり、200年のトータルコストは従来橋の1/3以下となるという結果が得られた。また、ミニмумメンテナンス化を施した既設MM橋に対するLCCは、建設40年後のミニмумメンテナンス化費用により従来橋より一時的に増加するが、その後の架替えまでの所用期間が長いいため、200年後では従来橋の約半分(プレテン桁では

表-2(1) LCC算出条件(プレテンションPC単純T桁橋、支間20m)

項目	従来橋	ミニマムメンテナンス橋
コンクリート強度	主桁 $\sigma_{ck}=500\text{kgf/cm}^2$ 横組 $\sigma_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$	主桁 $\sigma_{ck}=700\text{kgf/cm}^2$ 横組 $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$
PC鋼材	主方向 内ケーブルのみ 横締め グラウトタイプ	主方向 外ケーブル 横締め プレグラウトタイプ
鉄筋	普通鉄筋(かぶり35mm)	塗装鉄筋(かぶり50mm)
支承	ゴム沓	ゴム沓
伸縮装置	荷重支持型ゴム系装置	高耐久性荷重支持型ゴム系装置
舗装	普通アスファルト舗装	透水性舗装及び橋面防水工

表-2(2) LCC算出条件(ポストテンションPC単純T桁橋、支間30m)

項目	従来橋	ミニマムメンテナンス橋
構造型式	ポストテンション方式単純T桁橋	PC単純コンボ橋
コンクリート強度	主桁 $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$ 横組 $\sigma_{ck}=300\text{kgf/cm}^2$	主桁 $\sigma_{ck}=600\text{kgf/cm}^2$ 横組 $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$
PC鋼材	主方向 内ケーブルのみ 横締め グラウトタイプ	主方向 外ケーブル 横締め プレグラウトタイプ
鉄筋	普通鉄筋(かぶり35mm)	塗装鉄筋(かぶり50mm)
支承	ゴム沓	ゴム沓
伸縮装置	荷重支持型ゴム系装置	高耐久性荷重支持型ゴム系装置
舗装	普通アスファルト舗装	透水性舗装及び橋面防水工

表-2(3) LCC算出条件(3径間連続PC箱桁橋、支間3@40m)

項目	従来橋	ミニマムメンテナンス橋
コンクリート強度	主桁 $\sigma_{ck}=400\text{kgf/cm}^2$	主桁 $\sigma_{ck}=600\text{kgf/cm}^2$
PC鋼材	主方向 内ケーブルのみ 横締め グラウトタイプ	主方向 外ケーブル 横締め プレグラウトタイプ
鉄筋	普通鉄筋(かぶり35mm)	塗装鉄筋(かぶり50mm)
支承	ゴム沓	ゴム沓
伸縮装置	フィンガージョイント	高耐久性鋼製伸縮装置
舗装	普通アスファルト舗装	透水性舗装及び橋面防水工

表-3(1) プレテンT桁橋における初期建設費および補修、更新費用

	従来橋	既設MM橋 <sup>1)</sup>	新設MM橋 <sup>2)</sup>	備考
維持補修費用	初期建設費用	34,510	34,510	145千円/㎡(従来橋) 174千円/㎡(MM橋)20%増
	橋梁架替え	103,530 建設後80年	103,530 建設後120年	-----
	部分補修 (床版補強)	4,600 建設後20年毎	4,600 建設後20年毎 更新後50年毎	4,600 建設後50年毎
	更新費 (既設MM橋)	-----	43,070 建設後40年	-----
更新間及び費用	支承交換	5,660 建設後50年	5,660 更新後100年	5,660 建設後100年
	伸縮装置交換	2,800 建設後20年毎	2,800 建設後20年毎 4,200 更新後40年毎	4,200 建設後40年毎
	舗装打換え	1,250 建設後10年毎	1,250 建設後10年毎 1,480 更新後20年毎	1,480 建設後20年毎
	橋面防水		650 更新後20年毎	650 建設後20年毎
	定期点検	1,000 建設後10年毎	1,000 建設後10年毎	1,000 建設後10年毎

注) 既設MM橋: 既設橋にミニマムメンテナンス化を施した橋、新設MM橋: 新設ミニマムメンテナンス橋

表-3(2) ポステンT桁橋における初期建設費および補修、更新費用

	従来橋	既設MM橋	新設MM橋	備考
維持補修費用	初期建設費用	67,300	67,300	195千円/㎡(従来橋) 215千円/㎡(MM橋)10%増
	橋梁架替え	201,900 建設後60年	201,900 建設後120年	-----
	部分補修 (床版補強)	7,030 建設後20年毎	7,030 建設後20年毎 更新後50年毎	7,030 建設後50年毎
	更新費 (既設MM橋)	-----	51,050 建設後40年	-----
更新間及び費用	支承交換	5,280 建設後50年	5,280 更新後100年	5,280 建設後100年
	伸縮装置交換	4,200 建設後20年毎	4,200 建設後20年毎 8,100 更新後40年毎	8,100 建設後40年毎
	舗装打換え	1,900 建設後10年毎	1,900 建設後10年毎 2,200 更新後20年毎	2,200 建設後20年毎
	橋面防水		970 更新後20年毎	970 建設後20年毎
	定期点検	1,000 建設後10年毎	1,000 建設後10年毎	1,000 建設後10年毎

表-3(3) 場所打ち箱桁橋における初期建設費および補修、更新費用

	従来橋	既設MM橋	新設MM橋	備考
維持補修費用	初期建設費用	334,080	334,080	240千円/㎡(従来橋) 288千円/㎡(MM橋)20%増
	橋梁架替え	1,002,240 建設後60年	1,002,240 建設後120年	-----
	更新費 (既設MM橋)	-----	269,960 建設後40年	-----
更新間及び費用	支承交換	84,480 建設後50年	84,480 更新後100年	84,480 建設後100年
	伸縮装置交換	14,950 建設後20年毎	14,950 建設後20年毎 22,430 更新後40年毎	22,430 建設後40年毎
	舗装打換え	7,320 建設後10年毎	7,320 建設後10年毎 8,660 更新後20年毎	8,660 建設後20年毎
	橋面防水		3,810 更新後20年毎	3,810 建設後20年毎
	定期点検	1,000 建設後10年毎	1,000 建設後10年毎	1,000 建設後10年毎

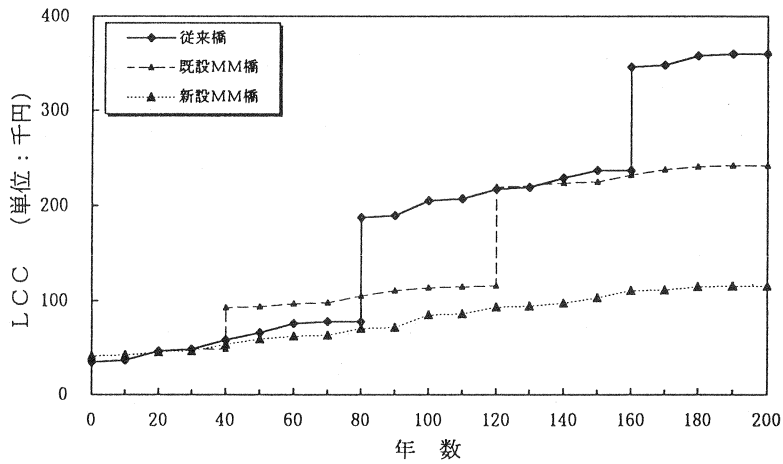


図-2 (1) LCC試算結果 (プレテンションPC単純T桁橋)

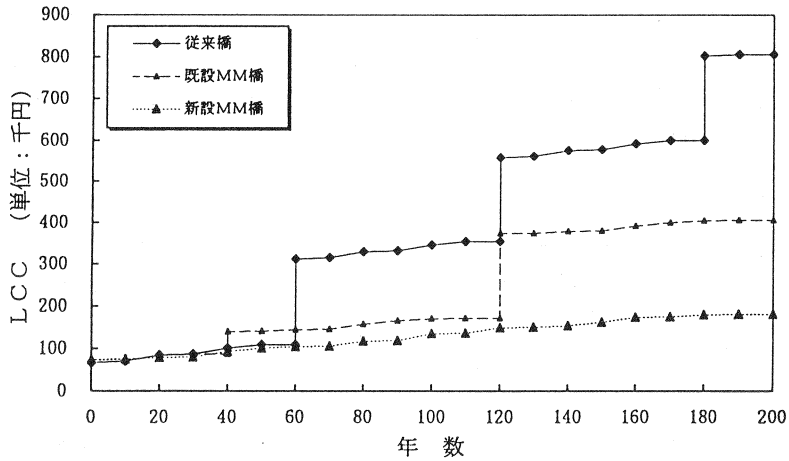


図-2 (2) LCC試算結果 (ポストテンションPC単純T桁橋)

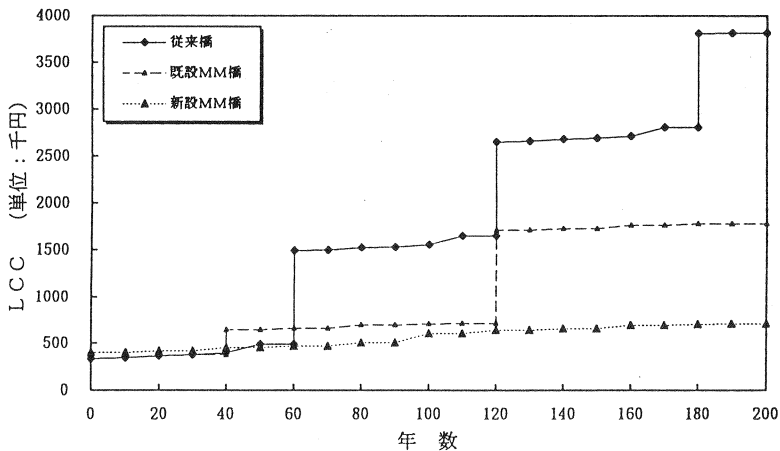


図-2 (3) LCC試算結果 (3径間連続PC箱桁橋)

約7割)に低減することが可能であるという結果が得られた。

以上のことから、ミニマムメンテナンス技術の導入により得られたMM橋は、従来橋に比較して架替え費用や維持管理費が大幅に軽減し、ライフサイクルのトータルコストが格段に小さくなるという結果が得られた。新設橋におけるミニマムメンテナンス技術の導入効果は極めて大きいものと考えられる。また、既設橋にミニマムメンテナンス化を施した橋梁においてもトータルコストの低減を図ることが可能であることが明らかになった。

#### 5. まとめ

ミニマムメンテナンス技術の導入により得られたMM橋は、架替え費用や維持管理費が大幅に低減し、ライフサイクルコストが従来橋に比較して格段に小さくなることが明らかとなった。また、既設橋にミニマムメンテナンス化を施した橋梁においてもトータルコストの低減を図ることが可能であることがわかった。今後、維持管理負担の増大を抑制するためにはできる限り早い時期からミニマムメンテナンス橋を採用していくことが望まれる。既設橋についても、可能な限りミニマムメンテナンス橋化を図っていくことが将来の維持管理負担の軽減には不可欠となるであろう。

本試算は、種々の流動的要因に一定の仮定を設けた上で行ったものである。設計においては個々の橋梁特性を把握した上で、最適なミニマムメンテナンス技術を検討した上で導入することが必要であろう。今後、ミニマムメンテナンス橋を構成する諸要素やLCCの評価法を更に研究し、道路橋のLCCを最少にする設計体制、維持管理体制を確立することが望まれる。

#### 謝辞

本稿は、(社)建設コンサルタンツ協会近畿支部コンクリートライフタイム研究委員会活動の一環として行われたものである。ここに、三矢寿、神原達二、渡邊浩一、辻基成、藤岡靖、古味敏行、大貝和也、松浦靖治、原山秀樹の諸氏に深く感意を表す。

#### 参考文献

- 1) 西川和廣、村越潤、中嶋浩之：ミニマムメンテナンス橋に関する検討、建設省土木研究所資料、第3506号、1997.6
- 2) 平成7年度ミニマムメンテナンス橋の研究報告書、(社)プレストレストコンクリート建設業協会積算調査部会、1996.8
- 3) 平成10年度版PC道路橋工事費実績、(社)プレストレストコンクリート建設業協会、1998
- 4) 橋梁の架替に関する調査結果(Ⅱ)、建設省土木研究所資料、第2864号、1990.3
- 5) 道路橋示方書・同解説Ⅰ、Ⅲ(平成8年版)、(社)日本道路協会、1996.12