

# 論文 橋梁コンクリート部材の維持管理シナリオの策定

細江 育男\*<sup>1</sup>・加藤 一郎\*<sup>2</sup>・広瀬 道夫\*<sup>3</sup>・森本 博昭\*<sup>4</sup>

**要旨**：岐阜県における既設橋梁の最適な維持管理計画を策定するため、岐阜県独自の橋梁点検マニュアルによる点検結果を活用して、LCC 型のマネジメントの考え方に基づいた維持管理シナリオを検討した。その結果、鉄筋コンクリート床版とプレストレストコンクリート上部工（以下 PC 上部工と記す。）では、同じ橋梁コンクリート部材であっても異なった維持管理シナリオを想定するのが合理的であることを示した。

**キーワード**：LCC 型マネジメント，劣化予測，維持管理シナリオ

## 1. はじめに

厳しい財政状況のなかで、安全かつ快適な社会・経済活動を維持するためには、これまでに蓄積された社会基盤構造物を有効かつ長く利用し続けていくことが必要である。このため近年では、土木構造物の健全度を正確に評価する技術、評価結果に基づいて的確に補修する技術、さらに土木構造物のライフサイクルを考慮した戦略的な維持管理のマネジメントシステムの開発が求められている。<sup>1)</sup>

岐阜県の管理橋梁数約 4,300 橋（H16.4）のうち、15m以上の橋梁は 1,583 橋（H17.4）で、架設年代別の内訳は、図-1 に示すとおりである。

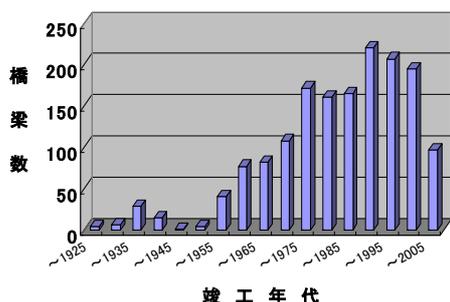


図-1 架設年代別橋梁数 (15m以上)

老朽橋の目安として40年を経過した橋梁数 (15m以上) に着目すると、2015年には全体の

約41%を占めることになる。

このような状況のなか、岐阜県では事後保全・対処療法的な維持管理から、予防保全・初期対処による計画的な維持管理への転換を図るため、産・官・学が共同して橋梁の維持管理システム構築に取り組んでいる。

本研究では、一般にメンテナンスフリーと考えられてきたコンクリート構造物のうち、鉄筋コンクリート床版と PC 上部工について、劣化予測の考え方と維持管理シナリオを検討した。

## 2. 健全度指標の検討

### 2.1 橋梁点検マニュアルの特徴

橋梁点検の方法は、国や機関によって異なっているが、一般には近接目視による外観調査が行われている。

しかし、近接目視点検は、主桁に近接してひび割れ幅を確認できるため、より詳細な点検データの収集が可能となる反面、橋梁点検車などの使用に伴うコスト増加が課題となっていた。

岐阜県では、平成 13 年度に遠望目視による独自の橋梁点検マニュアル<sup>2)</sup>を作成し、これまでに鋼橋・コンクリート橋をあわせて、橋長 15m 以上の約 750 橋の点検を完了した。

\*1 大日コンサルタント(株) コンサルタント事業部 橋梁・構造部 次長 (正会員)

\*2 岐阜県基盤整備部 道路維持課 主任技師

\*3 (財)岐阜県建設研究センター 研究部研究課 課長

\*4 岐阜大学工学部 社会基盤工学科 教授 工博 (正会員)

表-1 PC 上部工の判定基準例

ひびわれがあるか(漏水、遊離石灰、さび汁を伴わない)	なし	部分的にある	全体にある	
	a	b	c	
漏水、遊離石灰を伴うひびわれがあるか	なし	部分的にある	全体にある	
	a	b	密度(小)	密度(大)
さび汁を伴うひびわれがあるか	なし	部分的にある	全体にある	
	a	b	密度(小)	密度(大)
コンクリートが剥離、欠損しているか	なし	ある	-	
	a	c	-	
鉄筋露出、さびがあるか	なし	主鉄筋以外		主鉄筋
	a	面積(小)	面積(大)	面積(小)   面積(大)
コンクリートが剥れ鋼材、シーす等に欠損、腐食があるか	なし	ある	-	
	a	d	-	
継ぎ目からの漏水、遊離石灰があるか	なし	部分的にある	全体にある	
	a	b	密度(小)	密度(大)
桁端部の遊間に異常が認められるか	なし	ある	下部工及び桁に干渉	
	a	c	d	
施工不良による豆板等はあるか	なし	ある	-	
	a	b	-	

※この判定基準は、PC 上部工のうち主桁の点検に関するものを抜粋している。

この点検マニュアルでは、橋梁部材ごとに点検項目を定め、a (健全) から e (危険) までの 5 段階で、劣化が橋梁全体へ与える影響を考慮して、判定基準を定めている。

PC 上部工の判定基準例を表-1 に示す。

本マニュアルは、点検初心者 (県の技術者) の利用を想定し、判定基準を容易な表現とする一方で、写真による判定事例を多くすることにより、点検精度の確保に努めている。

点検者は、判定事例集を参照して着目する一定範囲のなかで、「なし」「部分的にある」「全体にある」という基準により点検を実施する。

点検の範囲の例を図-2 に示す。

単径間の橋梁の場合、桁端部の 5m 程度の区域を一つの範囲と考える。これは劣化の多くが、路面排水の不適切な処理が原因で桁端部に集中し、特に注意する必要があるためである。

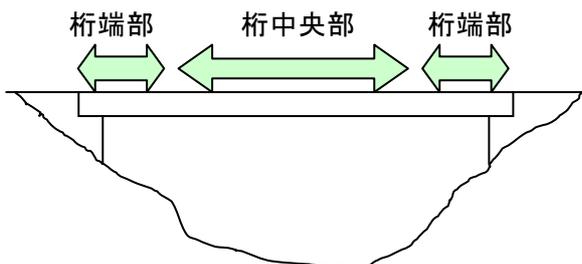


図-2 点検の範囲

## 2.2 健全度指標の考え方

現在、維持管理事業における点検結果の具体的な活用方法は、未だ研究途上といえ多くの機関が潜在的に抱えている共通の課題である。

岐阜県内の 1500 を超える橋梁 (15m以上) の維持管理計画を策定するには、橋梁毎に劣化程度によって補修の優先順位を与えることが必要となる。しかし、道路管理者の手元にある点検データは、a, b, c, d, e で判定された点検表と劣化マップ、写真であり、個々の橋梁の劣化を調べるには有効であるが、県全体の状況を把握するのは困難であった。これらの課題を解決するためには、劣化の程度を定量的に表現できる健全度指標が必要となる。

本研究では、新たな調査を実施せず、過去の点検データを有効活用することを基本とし、遠望目視の精度も考慮して、表-2 に示す 5 段階の健全度で評価することにした。

表-2 健全度指標

健全度	状態の説明
1	機能停止の恐れ
2	劣化損傷(大) : 直ちに補修実施
3	劣化損傷(中) : 補修開始
4	ほぼ健全 : 経過観察
5	健全

橋梁点検結果から5段階の健全度指標を求める方法については、補修が必要となる劣化の優先順位を定め、各劣化の程度から健全度を評価するものとした。PC上部工の例を表-3に示す。

表-3 PC 上部工の健全度

健全度	優先1	優先2	優先3	優先4	優先5	優先6	優先7
	ひびわれ(さび汁)	シースの欠損・腐食 遊離石灰さび汁(間詰め)	鉄筋露出・さび 鋼材露出(横締め部)	ひびわれ(漏水・遊離石灰) 継ぎ目部(漏水・遊離石灰)	ひびわれ	剥離・欠損	施工不良
1	e判定	d判定					
2	何れかがd判定		d判定	d判定	c判定		
3	何れかがc判定		何れかがd判定		c判定	c判定	
4			何れかがc判定				b判定
5	上記いずれにも該当しない。						

ここでは、「さび汁を伴うひびわれ」と「シースの欠損・腐食」、「間詰め」の遊離石灰」などを危険と判断して、これらの劣化が大きい場合は健全度1, 2と評価される。

ただし、健全度の妥当性を数値的に検証することが困難なため、発注・設計・施工の各立場の橋梁技術者が、「補修の必要性」という観点で、判定された健全度と劣化状況(特に写真)を自身の経験と照らし合わせ評価・判断した。

### 2.3 目視調査の課題

PC 上部工のうちポストテンション T 桁橋の損傷例を写真-1に示す。



写真-1 ポストテンション T 桁橋の損傷例

この事例の場合、表-3 で健全度を評価すると「優先4」「優先5」がcと判定されて健全度3という結果になる。

この結果から、ポストテンション T 桁の構造的な特徴と、既往の知見を考え合わせた場合、2つの問題点が考えられた。

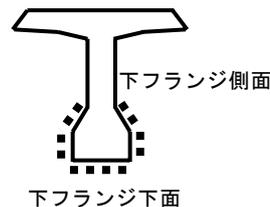
- 1) ひびわれが発生する部位によって、その程度(本数)が小さくても、構造的な問題に発展する危険性がある。
- 2) 外観を診る目視調査の場合、ひびわれの発生した原因(内部欠陥)を特定することが困難である。

ポストテンション T 桁の下面に発生するひびわれの原因は、シース内のグラウト未充填と考えられた。<sup>3)</sup>これが放置された場合には、鋼材破断の可能性も否定できないと考え、別途健全度を表-4に従って見直すことにした。

その結果、写真-1の事例は健全度2となる。

表-4 ポストテンション T 桁の判定基準

健全度	判定基準
2	下フランジ下面と側面の2箇所に遊離石灰(つらら)を伴うひびわれが発生
3	下フランジ下面または側面の1箇所に遊離石灰(つらら)を伴うひびわれが発生
4	下フランジ下面または側面の1箇所にひびわれが発生(多少の遊離石灰はある)



ここで留意すべきは、道路管理者が信頼性の高い健全度評価手法を求める反面、詳細な点検および評価を実施するための十分な予算を確保することが困難な点である。

目視調査の今後の課題は、単なる損傷の外観調査という位置づけではなく、内部損傷や材料欠陥等の隠れた問題点を考慮したうえで、部材の健全度を正確に評価できる高度な点検手法を開発していくことにあると考える。

### 3. 劣化予測式の考え方

橋梁部材などの劣化速度は、設計、施工、環境等の違いから、個々の橋によって異なるものと考えられるが、現状は点検データの蓄積が少ないため、岐阜県全体の平均的な劣化予測式を橋梁部材ごとに定義することとした。

#### 3.1 PC 上部工の劣化予測式

これまでに点検した 387 径間のデータをプロットすると、経過年数が 40 年以上経過しても健全度が 4 以上という高耐久な橋がある反面、30 年程度で健全度 2 となる劣化の早い橋もある。

これは、本来コンクリート部材が適切に設計・施工され、特に厳しくない環境で使用されれば、50 年以上は十分に健全性が確保できる反面、何らかの問題がある場合は、劣化が早いことを示唆している。

従って PC 上部工では、橋梁を劣化進行が早い部材 (C 群) と比較的遅い部材 (B 群)、ほとんど劣化しない部材 (A 群) の 3 つに分け、劣化予測式を検討することが妥当であると考えた。

PC 上部工の劣化予測式を図-3 に示す。

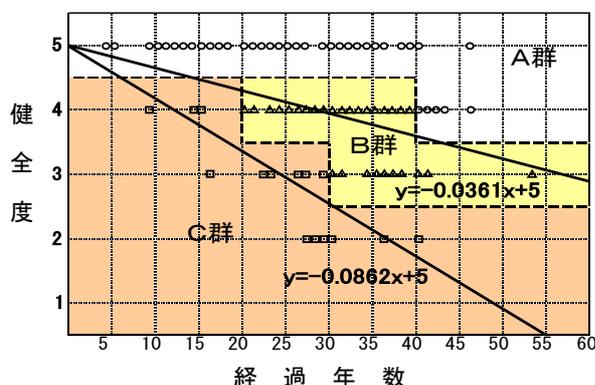


図-3 PC 上部工の劣化予測式

一般に寒冷地では、凍害や凍結防止剤散布による塩害などの早期劣化の可能性から、劣化速度が早まると考え地域性を考慮した検討を行ったが、有意な差が見出せなかったので県全体を 1 つの劣化予測式で表すことにした。

この理由としては、PC 橋の供用年数が比較的短いため、現時点では顕著な劣化現象が発生していないものと考えた。

### 3.2 鉄筋コンクリート床版の劣化予測式

PC 上部工と比べて鉄筋コンクリート床版は、設計面での技術的な進歩によって、床版厚さや鉄筋量などが、施工された年代によって異なる特徴がある。<sup>4)</sup>

また、床版劣化の主な原因は、大型車の通行によるコンクリートの疲労損傷であることが、過去の研究成果から明らかになっている。<sup>5)</sup>

従って、鉄筋コンクリート床版においては、1980 年 (昭 55) の道路橋示方書の整備を一つの区切りと考え、施工までのタイムラグ 4 年を考慮して 1984 年を境に劣化予測式を 2 つに分けるものとした。

古い年代の劣化予測式を図-4、新しい年代の劣化予測式を図-5 に示す。

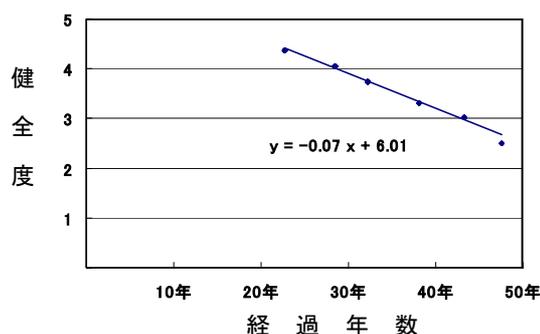


図-4 昭 55 道示以前の劣化予測式

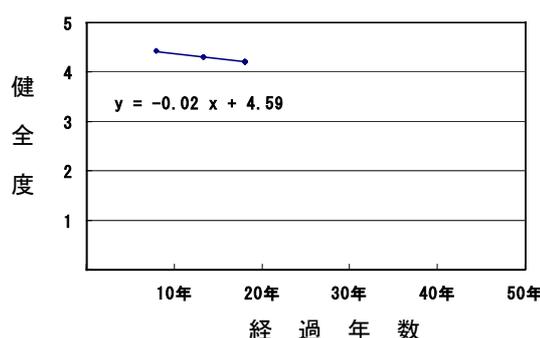


図-5 昭 55 道示以後の劣化予測式

グラフは、689 橋の点検データを 5 年ごとの平均値に直し、回帰分析により直線式に近似している。この式から古い年代の床版では 43 年、新しい年代の床版では 80 年経過すると、健全度 3 (補修開始) になると算定される。

#### 4. PC 上部工維持管理シナリオ

劣化の速度が予測できれば、対策の時期と対策に要する費用を検討することが可能となる。

##### 4.1 シナリオの基本的な考え

PC 上部工は、部材の再構築（取替え）が生じないように、予防保全を基本とした対策を実施する。この理由は、PC 上部工の建設年代が比較的近年であり、一定の技術水準が確保され構造的な問題が内在する可能性が低く、初期投資による長寿命化が有利と考えたためである。

基本的なシナリオを図-6 に示す。

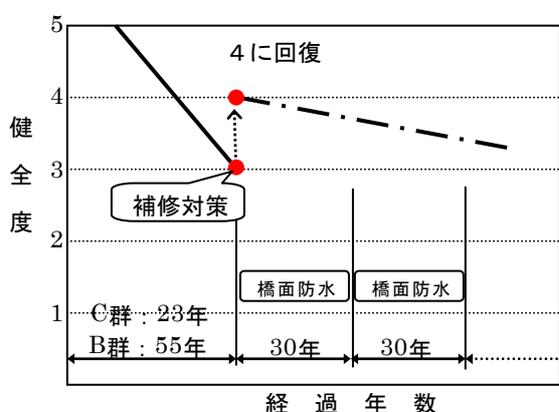


図-6 PC 上部工のシナリオ

補修対策は、水処理対策が全ての基本と考えて、健全度3で床版防水工を実施するものと考えますが、何らかの原因で補修対策が必要な劣化が生じている場合は、断面修復工、伸縮装置取替え工、支承防錆工なども合わせて実施する。

##### 4.2 維持管理計画とシナリオの整合

基本的なシナリオでは、健全度3で維持管理を行う計画としているが、財源不足によるメンテナンスの遅れから、現時点で健全度2以下になる橋梁部材が発生している。(C群の橋梁)

また、維持管理計画を立案する場合には、必ず財源の制約という問題があって、策定したシナリオどおりに対策できないのが現実である。

このため、対策時期が遅れ劣化が進行した場合には、対策工法のグレード（必要額）を上げたうえで、確実に健全度1となる手前で対策工が実施されるようにシナリオを修正した。

表-5に健全度3以下の修正シナリオを示す。

表-5 修正シナリオ

健全度	予防対策	補修対策	補強対策
3.0~2.5	橋面防水工	-	-
2.5未満~1.5	橋面防水工	ひびわれ注入工	-
		グラウト再注入工	-
		間詰めシート接着工	-
1.5未満~1.0	橋面防水工	ひびわれ注入工	アウトケーブル補強工
		グラウト再注入工	
		間詰めシート接着工	

ただし、ここで選定した工法は、あくまで維持管理計画を立案するために、代表的な工法として採用したものである。実際の補修工事に当たっては、事前に詳細調査と設計を必要に応じて実施し、最適な工法を採用することになる。

##### 4.3 集中投資期間の設定

メンテナンスが遅れることで、場合によっては部材の再構築を余儀なくされる可能性があるため、集中投資期間を設けて緊急的に対応する必要があると考えた。



図-7 集中投資の範囲 (図-7 参照)

維持管理計画の策定に当たっては、当初の3年間程度で集中的に投資を行い、メンテナンスの遅れによって健全度が2以下となっている橋梁部材を重点的に補修する。その後、LCC型のマネジメントの考え方で、計画的な補修を実施して行くことにした。

維持管理計画の策定例を図-8 に示す。

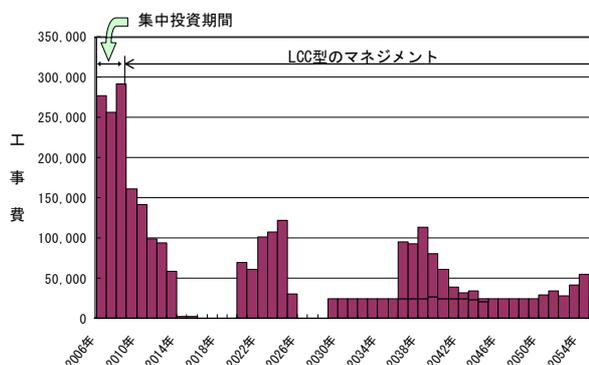


図-8 維持管理計画の策定例

## 5. 鉄筋コンクリート床版維持管理シナリオ

古い時代の鉄筋コンクリート床版は、床版の厚さや配筋鉄筋量の不足から、構造的に耐力不足といった問題が内在している。また、床版の損傷は直ちに落橋につながる危険性は低いと考え、ある程度の劣化は許容しながらも、抜本的な対策を講じながら最終的には再構築するシナリオが有利であると判断した。

基本的なシナリオを図-9に示す。

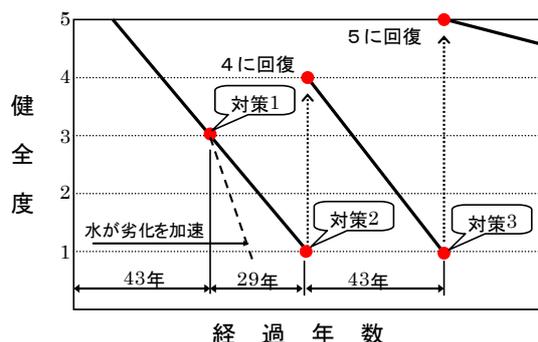


図-9 鉄筋コンクリート床版のシナリオ

健全度3では、床版への水の浸入で劣化速度が加速しないように橋面防水工（対策1）を実施する。<sup>6)</sup>健全度1になったら、抜本対策として床版の補強（対策2）を実施し、健全度を4まで回復させる。<sup>7)</sup>その後、同じ速度で劣化すると考え、再び健全度1となった時点で、床版打替え（対策3）を実施する。（表-6参照）

ここで健全度0.5は、機能停止を防ぐ管理限界の値として設定した。

表-6 対策一覧表

健全度	対策1	対策2	対策3
3.0~2.0	橋面防水工	-	-
	縦桁増設	-	-
2.0未満~1.0	この段階では補修しない		
1.0未満~0.5	-	橋面防水工	橋面防水工
		床版補強工 (例えば鋼板接着工)	床版打替え工 (例えばプレキャスト床版)

ただし、ここで示したシナリオは、維持管理計画を立案するために、代表的な工法を選定したものである。実際には、個々の橋梁の状況に応じて対策工を決定することになる。

## 6. まとめ

本研究において、維持管理シナリオ策定に関して導入した新たな考え方を以下に示す。

- 1) 劣化に対する補修の優先順位を定め、各劣化の程度から5段階の健全度を評価した。
- 2) ポストテンション T 桁橋は、ひび割れ原因にグラウト未充填の可能性も考慮して、内部の劣化を反映した健全度評価を行った。
- 3) PC 上部工は、部材の再構築が生じない予防保全を基本としたシナリオで、集中投資期間を設定した維持管理計画を策定した。
- 4) 鉄筋コンクリート床版は、ある程度の部材の劣化を許容しながら補修を実施し、最終的には新しい床版を再構築するシナリオとした。橋梁部材の劣化の多くは、複数の劣化要因が関連して発生する複合的なものである。今後の精度向上および汎用性の面においては、継続的な点検データの蓄積と点検結果の評価・分析により、劣化予測式およびシナリオの精度や合理性の向上を図ることが重要である。

### 参考文献

- 1) 道路構造物の今後の管理・更新等のあり方検討委員会：「道路構造物の今後の管理・更新等のあり方」に関する提言について、国土交通省ホームページ，2003.4.23
- 2) 岐阜県道路維持課：橋梁点検マニュアル（案），2003.3
- 3) （社）プレストレスト・コンクリート建設業協会：PC 橋の耐久性能の向上技術に関する研究，2003.3
- 4) 多田宏行：橋梁技術の変遷（道路保全技術者のために），鹿島出版会，2000.12
- 5) （社）土木学会：コンクリート標準示方書 [維持管理編]，2001.1
- 6) 松井繁之ほか：RC 床版とその損傷(その2)，橋梁と基礎，98-6，pp47-50，1998.6
- 7) 松尾伸二ほか：既設鉄筋コンクリート床版の補修・補強に関する検討，橋梁と基礎，2000-11，pp25-32，2000.11