

道路橋 RC 床版の劣化診断技術と補修・補強対策

－長寿命化修繕計画における RC 床版現状－

日本生産工 ○ 阿部 忠

1. はじめに

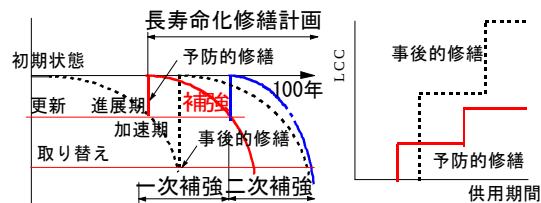
国土交通省は地方公共団体の橋梁管理について、従来の事後的な修繕及び架け替えから、予防的な修繕による長寿命化及び計画的な更新への円滑な政策転換を図り、ライフサイクルコスト（LCC）の低減および維持管理費の平準化を図るために、「長寿命化修繕計画策定事業費補助制度」を創設した。この制度は、都道府県および政令市については5年間（平成19～23年度）、その他の区市町村については7年間（平成19～25年度）の時限措置となっており、期間内に長寿命化修繕計画を策定する団体に対して策定費用の1/2を補助するものである。これを受けて地方公共団体では、支間15m以上の橋梁を対象として、「道路橋長寿命化修繕計画（以下、長寿命化修繕計画とする）」が実施された。

そこで本研究では、長寿命化修繕計画による橋梁点検において、橋梁部材の中で最も損傷が著しい RC 床版に注目して、現状における RC の損傷状況を示すとともに修繕計画における損傷区分、対策区分ごとの一般的な補強対策について考察する。

2. 長寿命化修繕計画事業の概要

一般道路の全橋梁数は、平成22年4月現在で152,000橋あり、橋梁の寿命といわれる建設後50年を経過した高齢化橋梁は全橋梁数の8%である。高齢化橋梁は、10年後には26%、20年後には53%に増加し、全橋梁数の50%以上が高齢化を迎えることになる¹⁾。

橋梁長寿命化修繕計画事業の背景には、このように高度経済成長期に建設された橋梁の多くが、数年後には一斉に更新時期を迎えることになり、従来通りの事後的な修繕および架け替えを実施した場合には、これを管理する地方公共団体は財政負担の増大が懸念される。したがって、従来の事後的な修繕および架け替えから、予防的な修繕による長寿命化計画を図る必要がある。ここで、長寿命化修繕計画における事後保全型および予防保全型の概念を図1に示す。図1に示すように、従来通りの事後保全型を実施した場合は、大規模修繕が行われ、これにより費用が膨大となる。それに対して、予防保全型へと政策転換を図った場合は、定期点検の結果を活用して小規模修繕を繰り返す行



(1) 事後保全・予防保全型

(2) LCC

図1 道路橋長寿命化修繕計画の概念

ことにより、橋梁の健全度を維持し、結果として長寿命化となる。

3. 実橋RC床版の損傷状況

RC 床版の損傷は、基本的には大型車両の繰り返し走行に起因した疲労損傷である。また、建設されている地域の環境条件によっても損傷状況が異なる。ここで、道路橋 RC 床版の損傷状況の一例を写真1に示す。写真1、1)は、積雪寒冷地域の RC 床版上面の損傷状況であり、床版上面コンクリートはスケーリングが生じている。写真1、2)は、舗装の損傷および凍害によって上面コンクリートにはひび割れが発生している。また、写真1、3)は、塩害・凍害と大型車両の繰り返し走行による疲労劣化により、床版上面のかぶりコンクリートは砂利化が生じ、鉄筋が露出している。この床版の下面は写真1、6)であり、格子状のひび割れの発生と漏水・遊離石灰の発生が著しい。

次に、写真1、4)は高速道路における RC 床版下面の損傷状況であり、大型車両の交通量の増大による疲労損傷により2方向のひび割れが発生している。写真1、5)は、海岸線から5.0km付近に建設された首都圏の RC 床版であり、かぶりコンクリートがはく離し、さらに鉄筋が露出して、飛来塩分の影響により鉄筋には発錆がみられる。

以上のように、RC 床版の損傷状況は交通量の多い首都圏では、2方向のひび割れと漏水・遊離石灰の発生が主であり、これに対して積雪寒冷地域では、大型車両の交通量が少ないにもかかわらず、塩害と凍害の複合劣化により砂利化や土砂化が発生し、建設後30年程度で新床版に架け替えされている。

DETERIORATION DIAGNOSIS TECHNOLOGY AND REPAIR, REINFORCEMENT MEASURES OF RC SLAB

－ Long-lived Maintenance Management of RC slab －

by

Tadashi ABE

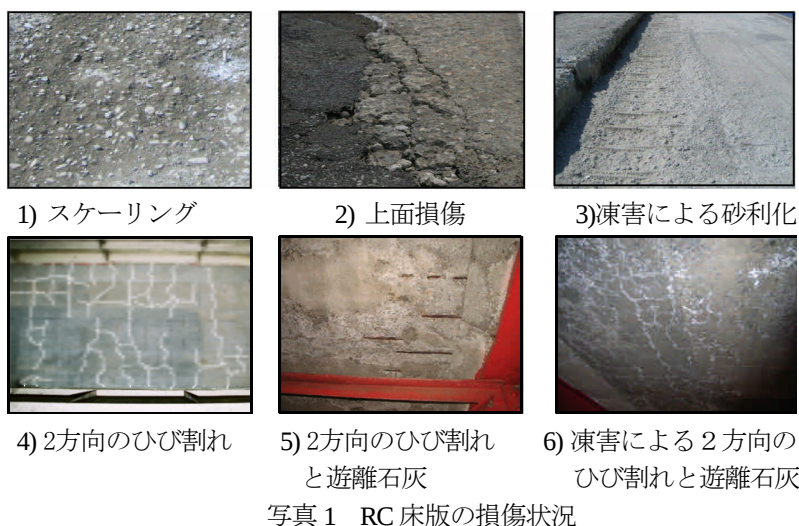


写真1 RC床版の損傷状況

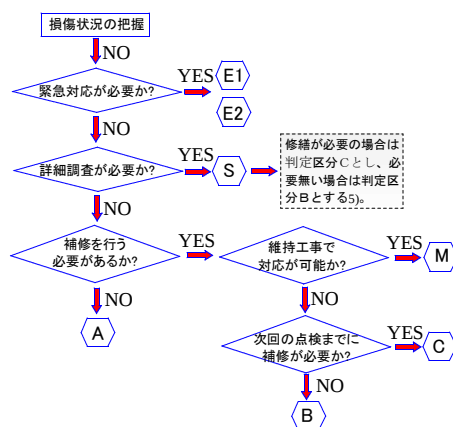


図2 対策区分の流れ

表1 対策区分と判定内容

対策区分	判定内容	損傷の 度合
A	損傷が認められないか、損傷が軽微な損傷で補修を行う必要がない。	軽 ↓ 重
M	維持工事に対応する必要がある。	
B	状況に応じて補修を行う必要ある。	
S	詳細調査の必要がある。	
C	次回点検までに（＝5年程度以内）、補修等を行う必要がある。	
E2	その他、緊急対応の必要あり。	
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。	

および一般的な対策工法について表2に示す。

RC床版の損傷度の多くは、ひび割れによる判定を基に補修・補強対策が検討される場合が多い。これは、ひび割れが生じた場合には、そこにせん断力やねじりモーメントが作用し、ひび割れ面は上下に擦り合わせが繰り返されてコンクリートの磨耗が促進されるためである。まず、点検要領（案）に示す損傷区分 a、b は、劣化過程は潜伏期であり、ひび割れ密度は $0 \sim 2\text{m/m}^2$ である。この場合の判定区分は A または B となる。

次に、ひび割れによる損傷区分 c は、土木学会が示

表2 RC床版の損傷状況と損傷度・劣化過程・健全度区分および対策

損傷区分	ひび割れ幅に着目した程度	損傷メカニズム	はく離・鉄筋露出に関する一般的状況	漏水・遊離石灰に関する一般的状況	ひび割れ密度	劣化過程	判定区分	対策
a	[ひび割れ間隔と性状] ひび割れは主として1方向のみで、最小ひびわれ間隔が概ね1.0m以上 [ひび割れ幅] ひび割れ幅が0.05mm以下（ヘアクラック程度）	版として挙動	損傷なし	損傷なし	$0 \sim 1\text{m/m}^2$	潜伏期	A, M	定期的な点検
b	[ひび割れ間隔と性状] 1.0m～0.5m、1方向が主で直角方向は従、かつ格子状ではない [ひび割れ幅] 0.1mm以下が主であるが、一部に0.1mm以上も存在する	並列クラック			$1 \sim 2\text{m/m}^2$		B, M	定期的な点検 橋面防水工 ひび割れ補修
c	[ひび割れ間隔と性状] 0.5m程度、格子状直前のもの [ひび割れ幅] 0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する	二方向クラック	はく離のみが生じている	ひび割れから漏水が生じているが、錆汁や遊離石灰がほとんど見られない	$2 \sim 4\text{m/m}^2$	進展期	C	橋面防水工、ひび割れ補修、曲げ補強（炭素繊維下面接着補強、上面増厚補強、下面増厚補強、増しげた）
d	[ひび割れ間隔と性状] 0.5m～0.2m程度、格子状に発生 [ひび割れ幅] 0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる	貫通クラック	鉄筋が露出しているが、鉄筋の腐食は軽微である	ひび割れから漏水が生じているが、錆汁はほとんど見られない	$4 \sim 10\text{m/m}^2$	加速期	E2	橋面防水工、曲げ・せん断補強（上面増厚、炭素繊維下面接着補強、これらの併用）
e	[ひび割れ間隔と性状] 0.2m以下、格子状に発生 [ひび割れ幅] 0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている	擦り磨き発生	鉄筋が露出しており、鉄筋が著しく腐食している	ひび割れから著しい漏水や遊離石灰が生じている。あるいは漏水に著しい錆汁の混入が認められる	$10 \sim \text{m/m}^2$		E1	床版取替、床版打ち換え、部分打ち換え
—		抜け落ち				劣化期		

表 3 道路橋RC床版の設計基準の変遷

	橋の等級 等 級	車両荷重 自 動 車	曲げモーメント式		鉄筋の許容応力	最小床版厚	配筋筋量
			主鉄筋方向	配力筋方向			
昭和39年6月(1964) 鋼道路橋設計示方書	1等橋	T-20、P=8.0tf	$M_{L(i+j)} = \{0.4 \cdot P(L-1)\} / (L+0.4(L+i))$ $i=20/(50+L)$	規定なし	1.800 kgf/cm ²	有効厚さ11cm	主筋断面の25% 以上
昭和43年5月(1968) 鋼道路橋の床版設計に 関する暫定基準(案)	1等橋	T-20、P=8.0tf	$M_{L(i+j)} = \{0.4 \cdot P(L-1)\} / (L+0.4)$	規定なし	1.400 kgf/cm ²	$t_0 = 3L + 9 \geq 16\text{cm}$	主筋方向の70% 以上
昭和48年2月(1973) 道路橋示方書	1等橋	T-20、P=8.0tf	$M_{L(i+j)} = 0.8 (0.12L + 0.07)P$	$M_{L(i+j)} = 0.8 (0.10L + 0.04)P$	1.400 kgf/cm ²	$t_0 = 3L + 11 \geq 16\text{cm}$	左欄の配力筋方 向モーメント式 により計算
昭和55年4月(1980) 道 路橋示方書	1等橋	T-20、P=8.0tf	$M_{L(i+j)} = 0.8 (0.12L + 0.07)P$	$M_{L(i+j)} = 0.8 (0.10L + 0.04)P$	許容応力度1400 kgf/cm ² に対し て、200 kgf/cm ² 程度余裕を持た せる	$t_0 = 3L + 11$ $t = k_1 \cdot k_2 \cdot t_0$ k_1 : 交通量の係数 k_2 : 付加モーメン トの係数	同 上
	2等橋	T-14、P=5.6tf					
平成14年3月(2003) 道路橋示方書・同解説	B活荷重 A活荷重	P=100kN	$M_{L(i+j)} = 0.8 (0.12L + 0.07)P \cdot K_u$ K_u : 割増係数	$M_{L(i+j)} = 0.8 (0.10L + 0.04)P$	同 上	同 上	同 上

す劣化過程では進展期に相当し、ひび割れ密度は 2 ～ 4m/m²、判定区分は C となり、補修等の対策が必要となる。さらに劣化が進み、損傷区分 d の場合の劣化過程は加速期（前期）となり、ひび割れ密度は 4 ～ 10m/m² である。この状態は第三者被害が懸念されることから緊急対応が必要となり、判定区分は E2 となる。また、損傷区分 e は、劣化過程は加速期（後期）となり、ひび割れ密度が 10m/m² 以上である。さらに、抜け落ち寸前のひび割れが発生し、部分的なはく離が生じるなど橋梁構造の安全性から緊急対応が必要となることから、判定区分は E1 となる。なお、判定区分 S は、詳細点検を行い、対策が必要か否かを判定されている⁴⁾。

4.2 道路橋示方書の変遷⁵⁾

長寿命化修繕計画における橋梁点検によると昭和 39 年から 43 年に建設された橋梁床版に損傷が多く見られた。ここで、RC 床版に関する設計基準の変遷を表 3 に示す。昭和 39 年改訂の設計基準では活荷重が 80kN であり、鉄筋には丸鋼が使用されている。主鉄筋方向の鉄筋量は曲げモーメント式から算定され、鉄筋の許容応力度は 180N/mm² である。配力筋方向の鉄筋量は主鉄筋の 25%以上の配置となっている。また、床版厚は有効高さ 11cm であることから最小厚さは 15cm である。次に、昭和 43 年の暫定基準では、鉄筋には異形棒鋼が使用され、主鉄筋方向の曲げモーメント式および許容応力度も現在の 140N/mm² に改訂され、配力筋は主鉄筋量の 70%以上の配置となっている。また、最小床版厚は 16cm となった。昭和 48 年改訂の設計基準では、主鉄筋方向の曲げモーメント式の改定および配力筋方向の曲げモーメント式が規定された。さらに、床版厚は昭和 43 年の基準よりも 2cm 厚くなっている。昭和 55 年改訂の設計基準では交通量による割り増し係数が適用され、さらに床版厚が厚くなり、耐疲労性の向上が図られている。平成 6 年改訂の設計基準では活荷重が 100kN へと引き上げられた。

以上より、建設された時代の基準に準拠した補修・補強対策の検討が必要となる。

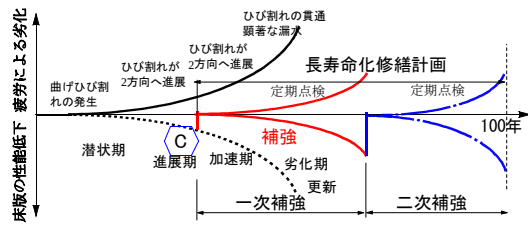
4.3 補修・補強法および対策区分と対策工法

(1)補修・補強の定義および対策工法 補修は、基本的には建設時に構造物が保有していた耐荷力性能を回復させるための対策である。RC 床版の一般的な補修法には、橋面防水工、ひび割れ補修、橋面補修工などがある。一方、補強とは、基本的には RC 床版の耐荷力や耐疲労性などの力学的な性能を向上させるための対策である。床版下面からの主な補強法としては、炭素繊維材料を用いた底面接着補強やコンクリートによる下面増厚補強法がある。また、上面からの補強法には鋼繊維補強コンクリート (SFRC) 上面増厚補強がある⁶⁾。いずれの補強法においても耐疲労性が評価され、既に施工実績が多い工法である。

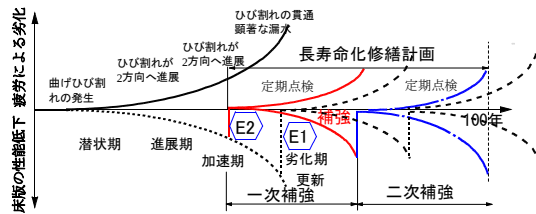
(2)対策区分と対策工法の選定

1) 判定区分 A、B、M 判定区分 A、B、M の一部は、供用開始から 10 数年後の RC 床版である。判定区分 A は、損傷は見られないことから対策の必要はないが、5 年ごとの定期点検は必要である。なお、判定区分 B において床版下面に漏水・遊離石灰が確認された場合には、舗装打換えと同時に橋面防水工やひび割れ補修などの予防的修繕対策を検討する必要がある。

2) 判定区分 C 判定区分 C は、供用開始後 20 年～ 30 年前後の床版である。ここで、判定区分 C における維持管理計画を図 3、1)に示す。事後保全型では、進展期の段階での補強対策は行われていないが、長寿命化修繕計画における予防的保全型では、この段階で補修・補強対策が検討される。主な対策としては、床版下面に漏水・遊離石灰の発生が見られる場合は、橋面防水工とひび割れ補修の対策が必要となる。また、舗装の打ち換えとなる場合は同時に橋面防水工とひび割れ補修の対策を施す必要がある。一方、長寿命化修繕計画では 100 年間を想定した維持管理計画が立案されていることから、一次補強対策と二次補強対策の検討が必要である。そこで、判定区分 C では、ひび割れが格子状に発生していることから、曲げ耐荷力および耐疲労性の向上を目的と



1) 判定区分 C



2) 判定区分 E1、E2

図3 長寿命化修繕計画における維持管理の概念

した補強対策の検討が必要となる。とくに、昭和 39 年以前の床版は、鉄筋に丸鋼が使用され、床版厚も現行示方書に比して薄い床版である。そこで、一次補強対策としては通行止めを必要としない炭素繊維材による底面接着補強を行う。数十年後の二次補強対策は、通行止めを必要とするが SFRC 上面増厚補強法が検討できる。最近では、全行程 8 時間で施工が完了する上面増厚補強も行われている。SFRC 上面増厚補強法は、とくに跨線橋や床版下面からの補強が困難な場合に採用され、一次、二次補強ともに SFRC 上面増厚補強が検討される場合もある。次に、昭和 55 年以降の設計基準で設計された RC 床版は、床版厚および鉄筋量も多く配置され、耐疲労性が期待できることから橋面防水工やひび割れ補修などの補修対策および炭素繊維材による下面接着補強が検討できる。

3) 判定区分 E1、E2 判定区分 E1、E2 の RC 床版の長寿命修繕計画を図 3、2)に示す。対策区分 E2 の場合は、供用開始後 30 年～40 年の加速期（前期）に相当する緊急対応が必要な床版である。対策工法としては、橋面防水工、ひび割れ補修を行うと同時に曲げせん断に対する補強対策の検討が必要となる。たとえば、昭和 39 年改訂の設計基準の床版は、床版厚が薄く、鉄筋量も少ないことから一次補強対策としては、SFRC 上面増厚補強による床版厚の確保が必要となる。また、鉄筋の露出など下面の損傷が著しい場合には、下面コンクリートの下地処理後、炭素繊維材による底面接着補強法の対策が必要となる。さらに、30～40 年後に再劣化が生じる可能性があることから、二次補強対策の検討も必要となる。次に、対策区分 E1 は供用開始から 40～50 年の加速期（後期）あるいは劣化期に相当する。昭和 43 年改訂以前の床版の場合は、疲労劣化に加えて材料劣化も併発していることから、長寿命化修繕計画に基づいた新床版への架け替えを検討する

必要がある。また、詳細点検により、補強対象となる RC 床版のコンクリートが健全である場合は、SFRC 上面増厚補強と炭素繊維材による底面接着補強の併用も可能である⁷⁾。

4.4 長寿命化修繕計画の実施フロー

長寿命化修繕計画では、橋梁点検結果に基づいて対策区分を設け、修繕計画（Plan）をたて、修繕を実施（Do）し、継続的に橋梁点検（Check）を行うことにより、新たな劣化現象の調査と修繕効果の検証を行う。そして、橋梁点検結果や修繕結果に基づいて、補修効果の期待値の修正を行った後に修繕計画の見直し（Action）を繰り返す PDCA サイクルによる「予防的保全型の維持管理」が実施されている。現在は、1 回目の修繕計画に基づいて修繕を実施している。一方、各研究機関や企業では新たな補修・補強法の開発が進められていることから、新工法の選定には耐疲労性の評価と LCC を算定し、PDCA サイクルの中で取り入れていく必要があると考える。

5. まとめ

- ①長寿命化修繕計画における点検調査結果による判定区分を述べた。損傷や劣化が著しい判定区分 E1、E2 の RC 床版は、緊急性を要する対策が計画され、ここ数年間に大規模な修繕あるいは架け替えが行われるものと考えられる。
- ②判定区分 C、B については、修繕計画に基づいて予防的修繕が行われるものである。
- ③各研究機関や企業で開発されている補強材料や補強法についても耐疲労性が評価され、LCC の低減が可能となった場合には、PDCA サイクルのなかで、採用されるものである。

参考文献

- 1)国土交通省：地方自治体の長寿命化修繕計画に関する最近の動向、国土交通省道路局国道・防災課道路保全企画室、2011
- 2)国土交通省国土技術政策総合研究所：道路橋の計画的管理に関する調査研究—橋梁マネジメントシステム(BMS)、2009
- 3)土木学会：コンクリート標準示方書（維持管理編）、2002.
- 4)千葉県：千葉県長寿命化修繕計画報告書、2010
- 5)日本道路橋会：道路橋示方書・同解説Ⅰ、Ⅱ、2004
- 6)高野真希子、阿部忠、木田哲量、児玉孝喜：劣化 RC 床版の CFSS 底面補強および SFRC 上面増厚補強による耐疲労性、セメント・コンクリート論文集、No. 64、pp.507-514、2011
- 7)高野真希子、阿部忠、木田哲量、小森篤也、児玉孝喜、小川洋二：47 年供用した RC 床版の CFSS 下面補強および SFRC 上面増厚補強による耐疲労性、構造工学論文集、Vol. 57A、pp. 1286-1296、2010