

3-9

道路橋RC床版の長寿命化修繕計画における補強対策

－千葉県道路橋長寿命化修繕計画におけるRC床版の現状－

日本生産工 阿部 忠

千葉県土木整備部 富澤茂司

日本生産工 川井 豊

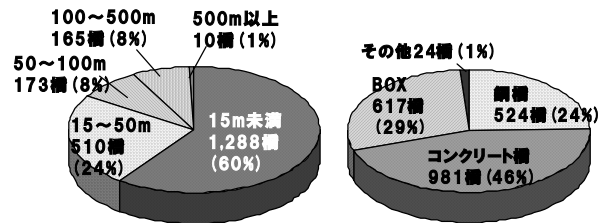
(株)福山コンサルタント 青島亘佐

1. はじめに

2007年に米国ミネソタ州で起きた橋梁崩落事故を受け、国土交通省は「橋梁長寿命化修繕計画策定事業」を策定した。これは、地方公共団体が管理する老朽化した橋梁の増大に対応するために、従来の対処療法的な修繕及び架替えから、予防的な修繕及び長寿命化修繕計画に基づく架替えへと政策転換を図るものである。これに基づき、地方公共団体では支間が15m以上の橋梁を対象に長寿命化修繕計画が実施された。これによると、高度経済成長期に建設された橋梁の多くが、橋梁の寿命といわれる建設後50年を経過し、この高齢化橋梁が数年後には一斉に更新時期を迎えることになる。千葉県(以下、県とする)においても、高度経済成長期に大量の道路橋が建設され、高齢化橋梁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替えを実施した場合には、県の財政的負担の増大が懸念される。そこで県では、県が管理する橋梁に対して千葉県点検要領(案)(以下、点検要領(案)とする)に基づいて健全度評価を行い、事後的な修繕及び架替えから予防的な修繕計画への転換を図り、ライフサイクルコスト(以下、LCCとする)の低減および維持管理費の平準化を図ることを目的として、『千葉県橋梁長寿命化修繕計画(以下、長寿命化修繕計画とする)』を策定した。そこで、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床版の現状および補強対策について報告する。

2. 県が管理する橋梁の状況

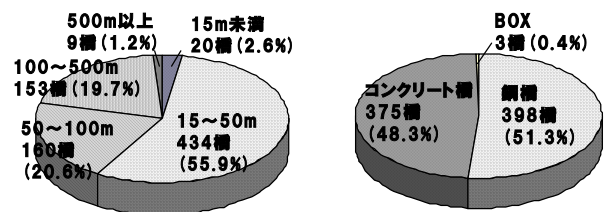
(1) 県が管理する橋梁数：2009年9月現在で県が管理する2,146橋の概況を図1に示す。図1より、橋種別では、鋼橋が524橋で全橋梁の24%、コンクリート橋が981橋で全橋梁の46%、ボックスカルバートが617橋で全橋梁の29%の比率となっている。また、橋長別では、15m未満の小径間橋梁が1,288橋で全橋梁の60%と最も比率が高く、15～50mの中径間橋梁が510橋で全橋梁の24%である。これらの現況を踏まえて、県が管理する2,146橋について長寿命化修繕計画で対象とする橋梁の選定を行うとともに、点検要領(案)に基づいた橋梁点検の結果



(1) 橋長別

(2) 橋種別

図1 千葉県の橋梁の概況(橋長2m以上)



(1) 橋長別

(2) 橋種別

図2 千葉県長寿命化修繕計画策定対象橋梁(776橋)

より、橋梁部材ごとの損傷度評価と長寿命化修繕計画における対策区分の判定を行った。

(2) 修繕計画対象橋梁数：長寿命化修繕計画では、優先的に計画策定を進める対象橋梁を、重要性および落橋等が生じた場合の影響の大きさから判断し、本線橋(歩道橋を含めない)および橋長15m未満についても跨線橋を含めた緊急輸送道路の橋梁を選定した。その結果、長寿命化修繕計画で修繕対象となる橋梁総数は776橋(橋梁延長58,136m)で全橋梁の36%である。ここで、千葉県長寿命化修繕計画策定対象橋梁の内訳を図2に示す。図2より、修繕対象となった橋長別では、15m未満の橋梁が20橋(2.6%)、15～50mの橋梁が434橋(55.9%)で最も多い。50～100mおよび100m以上の橋梁は、それぞれ160橋(20.6%)、162橋(20.9%)である。次に、橋種別では鋼橋が398橋(51.3%)、コンクリート橋が375橋(48.3%)、ボックスカルバートが3橋(0.4%)であり、鋼橋とコンクリート橋とほぼ同数である。なお、建設後の経過年数別では50年以上の高齢化橋梁が49橋で6%、橋長別では50m未満の橋梁が454橋で約60%を占めている。

3. 千葉県橋梁点検要領(案)と対策区分

(1) 橋梁点検：千葉県では、県が管理する全ての橋梁

Study on rehabilitation of RC slab in order to extend life cycle of bridges

－Current state of RC slab in order to extend life cycle of bridges in Chiba－

by

Tadashi ABE, Yataka KAWAI, Shigeji TOMIZAWA and Kousuke AOSHIMA

表 1 損傷状況と損傷度、ひび割れ密度の関係

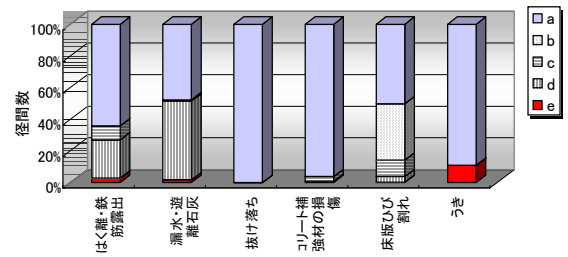
損傷度	損傷状況	劣化過程	ひび割れ密度
a	損傷なし		0～1
b	ひび割れ間隔10m～0.5m、1方向が主で直角方向は従、かつ格子状ではない ひび割れ幅0.1mm以下が主であるが、一部に0.1mm以上も存在する	潜伏期	1～2
c	ひび割れ間隔0.5m程度、格子状直前のも ひび割れ幅0.2mm以下が主であるが、一部に0.2mm以上も存在する	進展期	2～4
d	ひび割れ間隔0.5m～0.2m程度、格子状に発生 ひび割れ幅0.2mm以上が目立ち部分的な角落ちもみられる	加速期	4～10
e	ひび割れ間隔0.2m以下、格子状に発生 ひび割れ幅0.2mm以上がかなり目立ち連続的な角落ちが生じている		
—		劣化期	10～

に対して点検要領(案)に基づいて5年ごとに点検を実施している。橋梁点検は、構造および交通の安全性に影響する損傷や第三者被害が懸念される損傷の早期発見とこれに対する適切な処置を行うとともに、橋梁の効率的な維持管理を行うために必要な情報の蓄積を目的として実施している。

長寿命化修繕計画で対象とする776橋は、点検要領(案)に基づいた詳細点検および概略点検の結果を基に、部材ごとの損傷状況に応じて損傷度を5段階(a, b, c, d, e)で評価した。ここで、RC床版の損傷状況と点検要領(案)に示す損傷度と国土交通省『国土技術政策総合研究所資料』¹⁾に示すRC床版の損傷度およびひび割れ密度の関係を表1に示す。

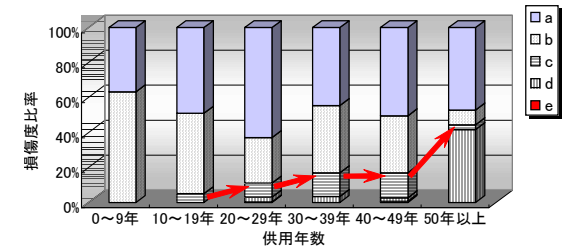
(2) 損傷度と損傷状況：点検要領(案)で評価されたRC床版について、損傷要因ごとの損傷評価基準を、径間数比率と損傷度の関係として図3に示す。図3より、「はく離・鉄筋露出」しているRC床版は、損傷度eが33径間、損傷度d、cがそれぞれ280, 103径間であって最も多い。次に、「漏水・遊離石灰」の発生は、損傷度eが19径間、損傷度dが579径間で全体の50%近くに及んでいる。損傷度cは9径間ある。また、「床版ひび割れ」の発生は、損傷度eは2径間、損傷度dが41径間、損傷度cが120径間である。なお、「はく離・鉄筋露出」および「漏水・遊離石灰」が発生している状態においては2方向のひび割れの発生も併発している。いずれにおいても50%前後のRC床版が修繕対象となっている。

(3) 損傷度の経年変化：RC床版の供用年数ごとの損傷度比率を図4に示す。図4より供用開始から10年前後の床版は損傷度bが90橋、損傷度cが10橋である。経過年数20～29年では損傷度bが59橋、損傷度cが18橋、損傷度dが6橋、損傷度eが1橋である。経過年数30年～39年では、損傷度cが66橋、損傷度dが17橋であり、供用開始後40年程度、すなわち1965年代に建設された床版の損傷が著しい。経過年数40年～49年では、損傷度bが46橋、損傷度cが20橋、損傷度eが1橋である。橋梁寿命といわれる50年以上の橋梁は、既に事後的な修繕も行われているが、全橋で36橋あり、損傷度dが最も多い15橋である。橋梁数と損傷度の比率では、経過年数10～19年以降、損傷度c以上のRC床版数が経過年数に比例して多く



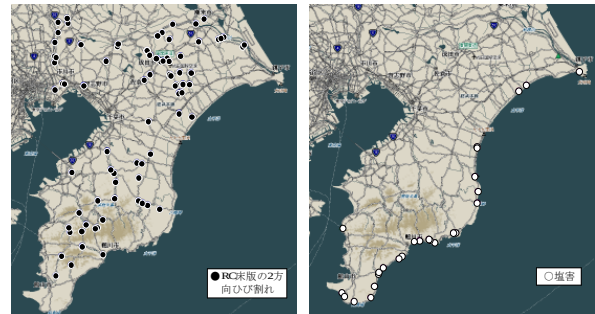
損傷度	はく離・鉄筋露出	漏水・遊離石灰	抜け落ち	コンクリート補強材の損傷	床版ひび割れ	うき
a	746	555	1162	1119	585	1036
b	0	0	0	0	414	0
c	103	9	0	34	120	0
d	280	579	0	0	41	0
e	33	19	0	9	2	126
合計	1162	1162	1162	1162	1162	1162

図3 損傷度と損傷要因ごとの径間数比率



損傷度	0～9年	10～19年	20～29年	30～39年	40～49年	50年以上
a	31	96	142	217	71	17
b	18	90	59	187	46	3
c	0	10	18	66	20	1
d	0	0	6	17	3	15
e	0	0	1	0	1	0
合計	49	196	226	487	141	36

図4 損傷度比率と供用年数の関係



(1)RC床版

(2)塩害

図5 損傷別分布図

なっている。

(4) RC床版の損傷状況：RC床版の損傷状況は図3に示すように、「床版ひび割れ」は50%の径間で発生し、2方向のひび割れは14%の径間で発生している。次に、「はく離・鉄筋の露出」は35%、「漏水・遊離石灰」は50%の径間で発生している。また、県内のRC床版の損傷別分布を図5に示すが、RC床版の2方向のひび割れは図5(1)に示すように、県内全域の橋梁で発生していることが判明した。本計画では、原則として建設当時の道路橋示方書・同解説（以下、示方書とする）²⁾に規定された活荷重に対応した修繕計画を立案するものである。また、コンクリートの損傷要因の1つである塩害による損傷の発生状況は図5(2)に示すように、

表2 健全度区分および管理水準

千葉県橋梁点検要領(案)		長寿命化修繕計画	
対策区分	判定内容	健全度区分	管理水準
E1	緊急対応の必要あり(構造的安定性:落橋等)	E	発生させない
E2	緊急対応の必要あり(その他:第三者ひがい等)		
C	速やかな(5年程度以内)補修等の必要あり	C	
B	軽微な損傷(5年程度以内に補修を行う必要はない)	B	対策実施
A	損傷なし、修繕不要	A	対策なし

外洋に面して飛来塩分の多い外房沿岸地区の路線に限定され、静穏な東京湾に面した内房側には塩害が進行している橋梁は少ない。したがって、塩害の進展に応じた適切な補修方法を講じる必要がある。

4. 点検要領における対策区分および長寿命化修繕計画における健全度区分・管理水準

(1) 健全度区分: 点検要項(案)における健全度区分と長寿命化修繕計画における管理水準の対応を表2に示す。点検要領(案)に基づいた点検結果による損傷度と損傷要因を基に、橋梁の安全性と対策工法の規模に着目して区分したものであり、長寿命化修繕計画では点検結果から判定された対策区分を基に4区分(E, C, B, A)で評価する。

RC床版のひびわれの損傷度は、損傷の進展状況から、表1に示す損傷度a, bを長寿化修繕計画では健全度区分A, 損傷度cを健全度区分B, 損傷度dを健全度区分C, 損傷度eを健全度区分Eとした。RC床版の補強に関する既往の研究報告によると、補強後に再劣化し、数十年後には再補修が必要となっている。そこで損傷度cは、将来的な劣化の進展および再劣化に対する予防的効果を勘案し、健全度Cと同等の優先度として扱い、早期に修繕を実施することとした。

(2) 管理水準: 長寿命化修繕計画の基本コンセプトは、損傷・劣化が軽微な段階で予防的な修繕を行って長寿命化を図るものであり、健全度区分EおよびCの損傷を発生させず、健全度区分Bの水準の維持を目標とする管理水準とし、健全度区分Bの損傷に対しても、予防的かつ抑制的な対策を講じることとする。よって、千葉県橋梁長寿命化修繕計画における管理水準は、健全度区分EとCの損傷を「発生させない」、健全度区分Bの損傷に対しても軽微な段階での「対策実施」とし、管理水準Aは「対策なし」とした。

(3) 対策工法の選定: 健全度区分EおよびCにおけるRC床版の損傷事例と対策工法についての1例を図6に示す。図6(1)に示す健全度区分EにおけるRC床版の損傷状況は、引張鉄筋がぶりがはく離し、主鉄筋には発錆が見られ、遊離石灰の沈着や0.2mm以上のひび割れが2方向に発生するなど、多くの損傷が併発している。また、舗装においてはポットホールも見られるなど緊急対応の必要なRC床版である。このRC床版は、劣化期に相当することから、底面には炭素繊維接着補強と上面増厚補強が必要である。次に、健全度区分CのRC床版は0.2mm以上のひび割れが2方向に発生し、一部にうきや角落ちが見られ、遊離石灰も併

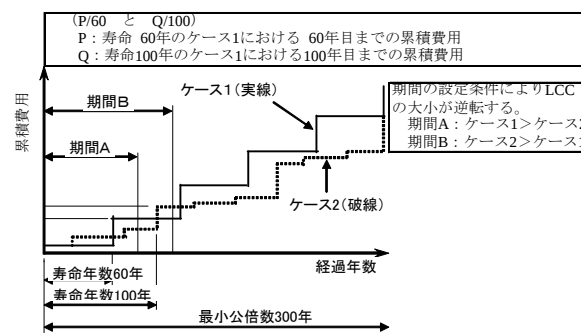
健全度区分 E 損傷事例と対策方針	
損傷例	RC床版に0.2mm以上の格子状ひび割れが密集しており、著しい漏水・遊離石灰・錆汁を併発している状態。コンクリート片のうきや抜け落ちが確認される状態。(→床版ひびわれ:抜け落ち:e、漏水・遊離石灰:e)
損傷写真	  (1) RC床版下面 (2) ポットホール
対策方針	○床版取替工(劣化期:架設年次1975年以前) ○床版打替工(劣化期:架設年次1976年以後) ○上面増厚工(加速期)

(1)健全度区分 E

健全度区分 C 損傷事例と対策方針	
損傷例	RC床版に0.2mm以上の格子状ひび割れが確認され、一部にうきや角落ち、漏水や遊離石灰を併発している状態(→床版ひびわれ:c~e)
損傷写真	  (1) 格子状のひび割れ (2) 漏水や遊離石灰
対策方針	○橋面防水工、ひびわれ注入工、炭素繊維シート工法

(2)健全度区分 C

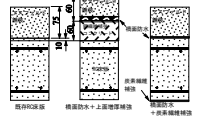
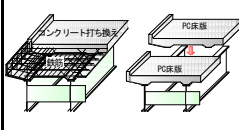
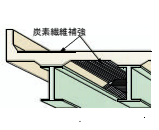
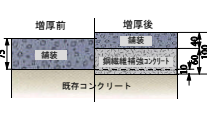
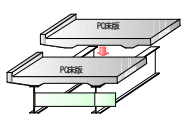
図6 健全度区分による損傷事例と対策方針

図7 対策工法のLCC算出年数について³⁾

発している。このようなRC床版は、橋面防水とひび割れ注入あるいは炭素繊維補強を施す必要がある。

1) LCCの比較期間: 複数の対策工法が候補として挙げられる損傷については、それぞれのLCCを算定し、損傷パターンごとにLCCの最小値を与える対策工法を選定した。対策工法のLCC算出年数のイメージを図7に示すが、対策工法におけるLCCの比較期間の条件は、一般的に下記の2案が挙げられる。①各代案の寿命までの年数の最小公倍数を計算期間とし、発生する全ての費用の合計をLCCとして比較する。②各代案の寿命までの年数をそれぞれの計算期間とし、各代案の寿命までの累計費用を寿命年数で除した平均値で比較する。本計画においては、図7に示す算定例のように、LCC比較期間の設定によって評価結果が大幅に変わることもあるため、LCCの比較期間を適切

表3 健全度区分別による修繕工法の選定

健全度区分 E			健全度区分 C		
工 法	橋面防水、上面増厚補強、炭素繊維補強	床版打ち換え、床版取替	橋面防水+ひび割れ注入工+炭素繊維補強	橋面防水+断面修復工+上面増厚工	床版打ち換え
概略図	 (1)RC床版 (2)橋面防水+補強	 (1)床版打ち換え (2)床版取替			
施工性	●橋面上で行う工事のため交通規制を伴う。 ●新旧コンクリートの一体化が重要。	●橋面上で行う工事のため交通規制を伴う。	●手作業だけで施工ができ、重機を必要としない。 ●軽量で現場形成が容易であるため、作業空間が限定される場所や複雑な構造物形状にも対応できる。	●橋面上で行う工事のため交通規制を伴う。 ●新旧コンクリートの一体化が重要。	●橋面上で行う工事のため交通規制を伴う。
工事条件	橋面積を100m ² と仮定。 橋面工：全面切削・シート系防水・アスファルト舗装機械工 上面増厚工：切削・研掃・鋼繊維超速硬コンクリート 炭素繊維補強：下地処理、CFS目付量200g、全面2層貼り	橋面積を100m ² と仮定。 橋面工：舗装版破砕・シート系防水・アスファルト舗装機械工 床版打ち換え：床版撤去・旧コンクリート撤去、コンクリート打設 床版取替：床版撤去・プレキャスト床版架設	橋面積を100m ² と仮定 床版下面面積も同程度と仮定 ひび割れ処理は2m ² /m ² と仮定。 橋面工：全面切削・シート系防水・アスファルト舗装機械工 炭素繊維補強：下地処理、CFS目付量200g、全面2層貼り	橋面積を100m ² と仮定。 断面修復工(t=50mm)、全面積の40%と仮定(100×0.40=40m ²)、 橋面工：全面切削・シート系防水・アスファルト舗装機械工 上面増厚工：切削・研掃・鋼繊維超速硬コンクリート 断面修復工：上向きはつり・軽量プリマセメントモルタル	橋面積を100m ² と仮定。 橋面工：舗装版破砕・シート系防水・アスファルト舗装機械工 床版工：旧コンクリート撤去、超速攻コンクリート
評 価	◎	○	◎	○	△

に設定する必要があることから、①の案に基づいて、比較期間は概ね 100 年程度と設定して発生費用の合計を比較して LCC の評価を行った。

2)RC床版の疲労に対する対策方針：健全度区分別による修繕工法の選定を表3に示す。RC床版の疲労損傷に対する対策方針の健全度区分Bは、表1に示す損傷度cとしたものである。これに対する対策方針は、橋面防水工、0.2mm以上のひび割れに対しては、ひび割れ注入工あるいは炭素繊維補強を行う。また、健全度区分Cは損傷度dであることから、橋面防水工と炭素繊維補強を施す必要がある。次に、健全度区分Eは、損傷度eであることから、耐荷力性能の大幅な低下が推測されるため、上面増厚補強あるいは上面増厚補強と底面炭素繊維補強の併用、劣化状況によっては、床版取替あるいは床版打ち替えといった施工規模が大きな工法での対応が必要であると考えらる。

今後は、舗装打換工事の際には施工区間内の橋梁に対して橋面防水工の施工を行う予定であるが、橋面防水工は床版の劣化の進行速度を抑制する効果のみで、発生応力レベルを下げて疲労耐性を高める効果までは期待出来ない。そのため、健全度区分Bの床版については、点検時に損傷度cに相当する損傷が確認された段階で健全度区分Cの対策方針に応じた対策工法を選択して修繕を行うこととした。また、RC床版の連続性が失われ、耐荷力性能の低下が進む健全度区分Eは、力学的性能の回復の必要性から、補強による性能の回復が可能な段階では上面増厚工を、補強による性能の回復が困難な段階では床版取替工あるいは床版打替工により対策を行うこととした。補強による性能の回復が困難な段階の対策については、示方書の設計基準改訂等により、異形鉄筋が本格的に採用され始めた時期を境に、架設年次が1975年以前を「床版取替工」、1976年以後を「床版打替工」として、普通丸鋼と異形鉄筋の

付着強度の違いにより、採用する工法を区分した。

長寿命修繕計画策定検討の結果、RC床版の修繕費が高い比率となった。とくに、RC床版の疲労に対する修繕が現状の損傷に対する修繕費用の中で最も高い比率となっている。これは、LCCの算定においては、材料劣化や再補修を想定した費用を算定したためである。例えば、RC床版の修繕対策方針の1工法である炭素繊維補強法においては、炭素繊維の表面保護のために15年に1度の表面保護塗装を行う。また、再補修を想定して、30年後に上面増厚工を実施することを想定して修繕費用を見込んでいる。さらに、本修繕計画は、P(修繕計画：Plan)、D(修繕の実施：Do)、C(橋梁点検：Check)、A(修繕計画の見直し：Action)のサイクルに従って実施することから、修繕計画を見直ししながら新材料・工法の導入を検討し、LCCの低減を図る必要がある。

5. まとめ

- ①長寿命化修繕計画におけるRC床版の損傷は、はく離、鉄筋の露出、遊離石灰、2方向のひび割れなどが1162径間に発生し、修繕費用全体の大部分を占めている。
- ②長寿命化修繕計画における健全度区分EのRC床版は、管理水準を損傷を「発生させない」とした修繕計画である。しかし、RC床版の場合は、同一補強法における再修繕はできない工法もあり、修繕計画においてはPDCAサイクルの見直しの段階で再検討する必要があると考えられる。

参考文献：

- 1)国土交通省：国土技術政策総合研究所資料，国土交通省国土技術政策総合研究所。
- 2)日本道路協会：道路橋示方書・同解説Ⅰ，Ⅱ，Ⅲ。2004。
- 3)鹿島出版会：道路アセットマネジメントハンドブック，道路保全技術センター道路構造物保全研究会編，2008。