

第1章 RC床版の現状

1.1 RC床版の現況

1.1.1 道路橋の経過年数と種別

我が国ではこれまでに約 11,000km の道路橋が建設されており、その多くの道路橋は 1950 年代後半から始まった高度成長期より 1970 年代をピークに継続的に建設された（図 1.1.1）。

道路橋（橋長 15m 以上）は、1970 年代の建設ピーク期から現在（2018 年）まで約 50 年が経過しており、そのうちの約 3 割程度の構造物が供用後 40 年を迎えている。

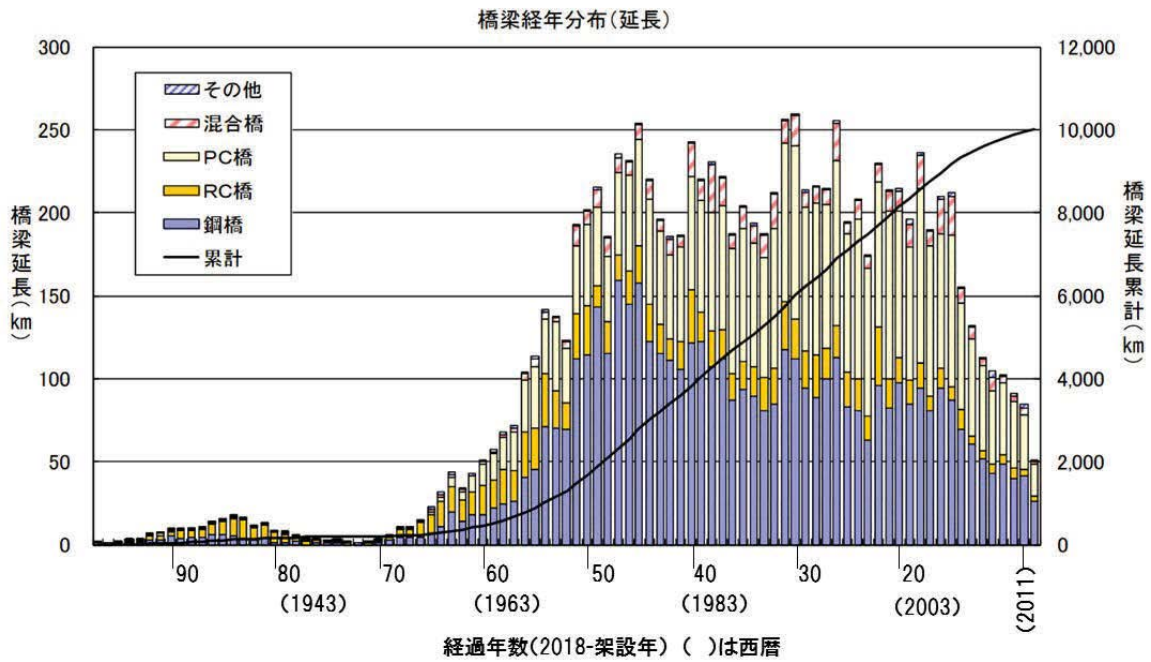


図 1.1.1 道路橋の経年分布¹⁾

図 1.1.2 に道路橋の定期点検判定結果（2017 年）と建設経過年数との関係を示す。建設経過年数が長くなるほど、早期に修繕などの措置が必要な施設の割合が増加している。

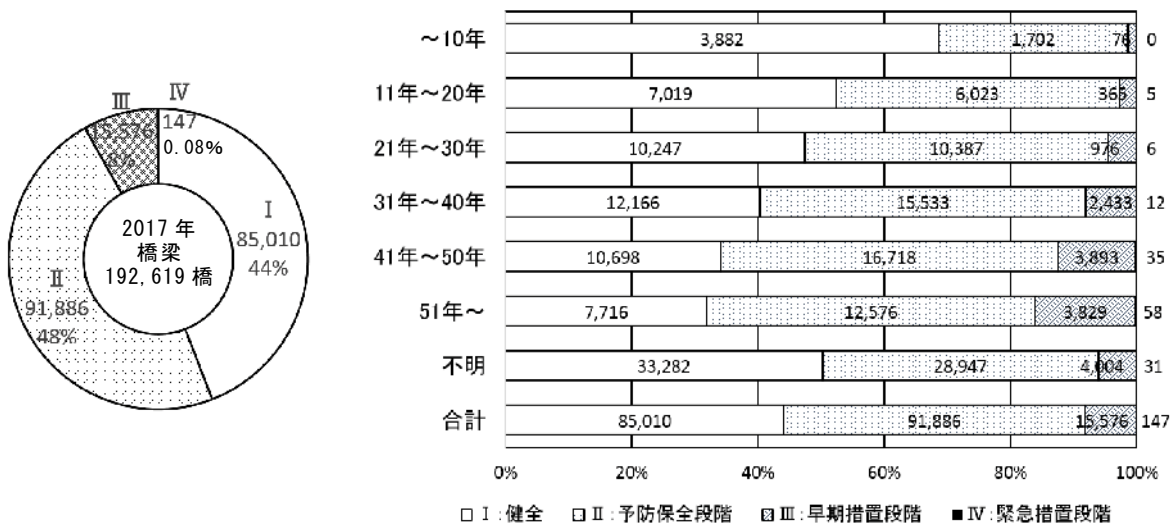


図 1.1.2 定期点検判定結果と建設経過年数²⁾

道路種別毎の橋梁種別を表 1.1.1 に示す。鋼橋が 5,300km (48%) と最も多く建設されており、次いで PC 橋が 3,900km (36%)、RC 橋が 1,200km (11%) を占めている。このことから、道路橋全体の 5 割程度が鋼橋上の床版となる。

表 1.1.1 道路橋種別の分布³⁾

道路種別	鋼橋	RC橋	PC橋	石橋	木橋	混合橋 [※]	その他	合計
高速自動車国道	696	277	505	-	-	64	18	1,559
	45%	18%	32%	0%	0%	4%	1%	100%
一般国道	1,581	183	898	0	0	213	9	2,885
	55%	6%	31%	0%	0%	7%	0%	100%
都道府県道	1,542	264	918	1	1	95	7	2,828
	55%	9%	32%	0%	0%	3%	0%	100%
市町村道	1,549	473	1,627	7	28	130	13	3,826
	40%	12%	43%	0%	1%	3%	0%	100%
合計	5,366	1,197	3,948	8	29	503	47	11,098
	48%	11%	36%	0%	0%	5%	0%	100%

※ 混合橋：異なる材料から構成され、鋼橋、RC 橋、PC 橋、石橋、木橋に属さない橋。

1.1.2 道路橋に起因した問題・課題

現状（2018 年）では供用後 40 年を超える道路橋が 3 割程度を超えており、早期措置段階に至っている橋梁が約 1 割を超えようとしている。道路橋下面では床版コンクリート片の剥落が発生しており、道路橋上面では床版劣化に起因する舗装のポットホールや床版の一部陥没なども発生している。

更に 10 年後（2028 年）においては供用後 40 年を経過する構造物が約 6 割を超えることとなり、早期措置や緊急措置を要する橋梁数も増加する傾向にあることから莫大な老朽化橋梁を維持管理していくこととなる。

このように年々老朽化する橋梁が増えることで、道路橋に起因した第三者被害、通行禁止・車両重量を制限する道路は増加傾向にあり、また、点検・補修等の維持管理コストの増加や技能労働者の減少等が危惧されるなか、健全なメンテナンスサイクルを持続的に循環させることは益々重要である。

道路橋の RC 床版は建設された時代の設計基準や施工技術等に沿って施工されていることから、床版厚さ、床版支間長、鉄筋量等が時代ごとに異なり保有する耐荷力、耐久性などは様々であり、内的な要因として道路橋の劣化の進展に差をもたらす。

また、道路橋は様々な環境下で供用されており、輪荷重の影響による床版疲労の発生や雨水の浸入による床版疲労の促進、あるいは浸透した水（塩化物）による塩害の発生や凍結融解作用などの外的な要因により劣化が進行する。

道路橋床版を長持ちさせるためには劣化要因に応じた予防保全対策を健全性の高い時期に施していくことが重要である。特に劣悪な使用環境に曝された床版については劣化が顕在化する前に床版防水システムなどにより健全性を維持していくことが重要となる。

劣化程度が大きく健全性が低下した床版は、予防保全による延命措置のみでは十分な耐荷力や耐久性の改善が期待できない。このような床版では大規模な補修・補強や、場合によっては

床版の更新が必要となってくる。

鋼橋のRC床版取替に際しては、床版取替のみならず桁の耐荷力や施工時の安全性なども照査する必要がある。過去に設計・建設された橋桁は非合成桁の他に、活荷重合成桁や死活荷重合成桁なども存在しており、床版撤去時の横倒れ座屈に対する照査や事前補強などが必要となる場合もあることから、桁構造に応じた施工計画を立案する必要がある。

また、大規模なRC床版更新の実施に際しては、交通規制が必要となるため交通渋滞が発生する場合がある。特に重交通路線では交通渋滞の発生により一時的に道路ネットワーク機能が低下することから社会的な影響が生じることとなる。重交通路線でのRC床版更新では、規制期間の短縮が求められるため、設計・施工上の工夫、新材料・新工法の導入、更には技術開発などの取り組みが期待されている。

1.1.3 現状の取り組み

このような高齢化するインフラストックを戦略的に維持管理・更新等していくために国土交通省では2013年11月に「インフラ長寿命化基本計画」が策定され、各高速道路会社においても特定更新等工事として事業認可がなされた。各機関における取り組みの概要について以下に示す。

(1) 国土交通省

国土交通省では、道路ストックの集中点検を2013年2月より開始し、2014年4月に開催された社会資本整備審議会、道路分科会基本政策部会の「道路老朽化対策の本格実施に関する提言」を受けて、国土交通省地方整備局を中心に都道府県単位の道路メンテナンス会議を設立するなど、地方公共団体のインフラ管理に関する支援体制を充実させた（図1.1.3）。

2015年度には点検・診断結果に基づいた架け替えや補強が必要な橋梁を対象に、「大規模修繕・更新補助制度」を創設し大規模修繕・更新事業を開始している。近年においては、予防保全型の管理への移行に向けて、地方公共団体が管理する大規模な橋梁等の老朽化対策を計画的かつ集中的に支援するため、大規模修繕・更新補助制度の対象事業の要件緩和も図られている。



図 1.1.3 道路の老朽化対策に関する取り組みの経緯

(2) 東日本高速道路(株)・中日本高速道路(株)・西日本高速道路(株)

東・中・西日本高速道路(株)(以下、NEXCO3社)では、2012年11月に学識経験者等から構成された「高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会」を設置し、大規模更新・大規模修繕の必要性やその対策などについて2014年1月に提言がなされ、NEXCO3社において事業計画が立案された。

その後、国の社会資本整備審議会国土幹線道路部会の審議を経て、2015年3月に国土交通大臣より特定更新等工事として事業許可を受けている。なお、事業規模は、大規模更新240km、大規模修繕510km、総額30,000億円となっている。

(3) 首都高速道路(株)

首都高速道路(株)では、2012年1月26日に「首都高速道路構造物の大規模更新のあり方に関する調査研究委員会」が設置され、2013年1月15日に本委員会より大規模更新のあり方に関する提言を受けたのち、大規模更新の具体的な検討や関係機関協議に着手し、事業計画が立案された。

その後、2014年6月25日の社会資本整備審議会道路分科会国土幹線道路部会への説明を経て、2014年11月20日付で国土交通大臣から特定更新等工事として事業実施の許可を受けている。なお、事業規模は、大規模更新8km、大規模修繕55kmの総額6,300億円となっている。

(4) 阪神高速道路(株)

阪神高速道路(株)では、学識経験者から構成された「阪神高速道路の長期維持管理及び更新に関する技術検討委員会」を設置し、構造物の更新の必要性、ならびに更新の実施に必要な環境整備等を含め、長期的な視点での維持管理のあり方について技術的観点から検討を実施した。なお、2013年4月に委員会の提言を受け、阪神高速道路において事業計画が立案された。

その後、道路整備特別措置法の規定に基づき、大規模更新・修繕事業を含む高速道路事業の一部変更を国土交通大臣に申請し、2015年3月に許可を受けている。なお、事業規模は、大規模更新5km、大規模修繕約57kmの総額3,700億円となっている。

参考文献 (1.1 RC 床版の現況)

- 1) 国土技術政策総合研究所：国土技術政策総合研究所資料第822号，平成25年度道路構造物に関する基本データ集，2015。
- 2) 国土交通省 道路局：道路メンテナンス年報，2018。
- 3) 国土交通省：道路統計年報2018，2018。

1.2 RC床版の設計基準の変遷

RC床版の設計基準は、自動車荷重に起因する疲労損傷を防止することを目指し、床版厚さの確保、主鉄筋量や配力鉄筋量の確保、コンクリート品質の確保、そして大型車交通量の影響を考慮した設計荷重の見直しなどによるひびわれの低減など、一貫して改訂が行われてきた¹⁾。

表1.2.1に鋼道路橋におけるRC床版の技術基準の変遷を示す。

表 1.2.1 鋼道路橋のRC床版関連規定の変遷^{1), 2)}を参考に編集作成

発行年 ^{※1)}	運用基準類	設計活荷重 ^{※2)}	連続版の活荷重曲げモーメント式(kN・m/m) P: 輪荷重, L: 床版の支間長(m)		配力鉄筋量	鉄筋の許容応力度 (N/mm ²)	最小床版厚 (mm)	付加曲げ モーメント
			主鉄筋方向	配力筋方向				
大正 15 年 6 月 (1926)	道路構造に関する細則案(内務省土木局)	一等橋:4.2tf (T-12) 二等橋:3.3tf (T-8) 三等橋:2.25tf(T-6)	-	-	-	120	-	-
昭和 14 年 2 月 (1939)	鋼道路橋設計示方書(案)	一等橋:5.2tf (T-13) 二等橋:3.6tf (T-9)	-	-	-	130	-	-
昭和 31 年 5 月 (1956)	鋼道路橋設計示方書	一等橋:8.0tf (T-20) 二等橋:5.0tf (T-14)	$\frac{0.4P(L-1)}{L+0.4}$ ただし、 $2.0 < L \leq 4.0\text{m}$	規定なし	主鉄筋量の25%以上	140	140 (有効版厚110)	-
昭和 39 年 8 月 (1964)	鋼道路橋設計示方書					180		
昭和 42 年 9 月 (1967)	鋼道路橋の一方鉄筋コンクリート床版の配筋設計要領					主鉄筋量の70%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)							
昭和 46 年 3 月 (1971)	鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計について							
昭和 47 年 3 月 (1972)	道路橋示方書	0.8(0.12L+0.07)P	0.8(0.10L+0.04)P	-	140	30L+110 ≥160	床版を支持する桁の剛性が著しく異なる場合に付加曲げモーメントを考慮	
昭和 53 年 4 月 (1978)	道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計施工について	大型車両が1日一方1,000台以上で設計曲げモーメントを20%増	大型車両が1日一方1,000台以上で設計曲げモーメントを20%増	-	140	k ₁ ・k ₂ ・(30L+110)≥160		
昭和 55 年 2 月 (1980)	道路橋示方書							
昭和 59 年 2 月 (1984)	道路橋鉄筋コンクリート床版の設計・施工指針	100kN	$2.5 < L \leq 4.0 \text{ の場合, 割増係数を考慮 } 1.0+(L-2.5)/12$	-	ただし140に対して20程度の余裕を持たせる	k ₁ :大型車の交通量による係数 k ₂ :付加曲げモーメントが生じる場合の係数		
平成 2 年 2 月 (1990)	道路橋示方書							
平成 5 年 11 月 (1994)	道路橋示方書							
平成 8 年 12 月 (1996)	道路橋示方書							
平成 14 年 3 月 (2002)	道路橋示方書							
平成 24 年 3 月 (2012)	道路橋示方書	-	-	-	-	-		
平成 29 年 7 月 (2017)	道路橋示方書							疲労に対する引張応力度の制限値 120

注 ※1) 道路橋示方書の発刊年欄は、国土交通省(旧建設省)より局長通達された年月を示す。
 ※2) 平成6年以前についてはT荷重の後輪荷重を示し、平成6年以降についてはT荷重の片側荷重を示す。
 ※3) 衝撃は別途考慮する。i=20/(50+L)

大正15年の道路構造に関する細則案(内務省土木局)において、RC床版の設計荷重や鉄筋の許容応力度等に関する規定が鋼道路橋の設計基準としてはじめて示された。現在の規定に近いRC床版の基準として整ったのは、昭和31年5月に示された鋼道路橋設計示方書(日本道路協会)以降であり、この示方書において自動車輪荷重が例えば国道に対してT-13荷重からT-20荷重、輪荷重で5.2tf(51kN)から8tf(78kN)と大幅に引き上げられた。また、RC床版の最小床版厚が初めて有効高さ110mm以上と規定され、配力鉄筋量について解説の中で主鉄筋量の25%以上と示された。その後、さらに昭和42年9月9日の建設省道路局長通達(「鋼道路橋一方鉄筋コンクリート床版の配力鉄筋設計要領」)で、配力鉄筋量は主鉄筋量の70%以上と改められ、昭和46年3月の建設省道路局長通達(「鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計について」)以降は、配力鉄筋方向の曲げモーメント式に基づいて断面の設計を行うことが規定された。

これらは、当時顕在化しつつあった床版の損傷に対する措置であったが、配力鉄筋量を増す以外にも、鉄筋の許容応力度の低減と最小床版厚拡大の措置等が行われてきている。昭和 43 年 5 月の「鋼道路橋の床版設計に関する暫定基準（案）（日本道路協会）」において、鉄筋の許容応力度は 140N/mm^2 に低減され、昭和 53 年以降は鉄筋の許容応力度 140N/mm^2 に対して 20N/mm^2 程度余裕をもたせることなどが示された。床版厚さについても順次規定の強化が図られてきており、昭和 43 年、最小の床版厚さは現在と同じ水準である 160mm に引き上げられ、昭和 53 年以降はこれに交通量と付加曲げモーメントの影響を考慮して最小床版厚より厚さを増加させることが規定された。

また、過去数度にわたって車両の大型化に関連して設計活荷重の引き上げが行われてきており、床版設計に関する規定も都度細かく見直しが行われている。例えば、昭和 46 年 3 月には、建設省道路局長通達として、大型車が 1 日 1 方向 1,000 台以上の路線では、T 荷重による設計曲げモーメントを 20% 増させる（すなわち、後輪荷重を 8tf から 9.6tf に増加させることに相当）ものとし、昭和 47 年の道路橋示方書に反映された。平成 5 年の道路橋示方書では、T 荷重の片側荷重が耐久性を考慮して 100kN と改訂され、また、床版支間が 2.5m を超える場合は、主鉄筋方向の設計曲げモーメントを最大 12.5% 割り増すこととなった。

そのほかにも、床版支持桁の不等沈下による付加曲げの影響を考慮することやコンクリートの品質確保を目的としたコンクリート強度の引き上げなども行われてきている。

さらに、平成 8 年の道路橋示方書からは、必要に応じて防水層を設けることが規定され、平成 14 年の道路橋示方書からは、防水層等を必ず設けることと規定された。これにより、ひび割れ等から水が浸入して進行する鉄筋の腐食を防ぐとともに、ひび割れ後の疲労耐久性を大幅に高めている。

平成 14 年の道路橋示方書では、性能規定型の技術基準としての見直しが行われており、床版に求められる基本的な要求性能が示された¹⁾。床版に求められる基本的な機能は、供用期間中に作用する各種荷重を、床版を支持する桁構造に確実に伝達することであり、この目的を実現するために、①活荷重のさまざまな載荷状態に対して、断面が抵抗できること（耐荷力性能）、②大きな輪荷重の繰り返しに対して疲労しないこと（疲労耐久性能）、③床版を構成する材料自体が著しく劣化しないこと（材料耐久性）、などの要求性能が規定されている。一方、この示方書において RC 床版、鋼床版に加えて、あらたにプレストレストコンクリート床版が規定され、要求される基本的な性能を満足するとみなせる具体の仕様、設計法が規定された。

平成 29 年の道路橋示方書では、橋全体及びそれを構成する部材等の性能は、耐荷性能、耐久性能、その他性能の 3 つに大別して扱われ規定され、耐荷性能の照査法として、従来の許容応力度法が廃止され、限界状態設計法及び部分係数設計法が導入された³⁾。これまでの示方書では、コンクリート系床版は自動車荷重の影響を考慮した断面力に対し、許容応力度と床版厚を確保することで、耐荷性能と耐久性能の両方を確保してきた。これに対し、平成 29 年の道路橋示方書は、耐荷性能と耐久性能が分離され、耐荷性能はその定義に沿って新たな荷重条件を用いて道路橋示方書Ⅲ編に基づきコンクリート部材としての照査を行い、耐久性能はこれまでの示方書で行われてきたコンクリート系床版の照査方法を踏襲した断面力式による方法で照査を行うよう規定されている。また、コンクリート系床版を有する鋼桁の設計にあたっては、床版と鋼桁が剛なずれ止めで桁全長に渡って結合し一体で挙動するように設計する場合以外においても床版と鋼桁で実際に生じる合成作用を考慮することが明確に規定された。

参考文献（1.2 RC床版の基準の変遷）

- 1) 玉越隆史，川端篤敬：鋼道路橋床版の設計と留意点－道路橋示方書改訂について－，土木学会，第三回道路橋床版シンポジウム講演論文集，pp. 1-8，2003.
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：道路構造物管理実務者研修（橋梁初級Ⅰ）道路橋の定期点検に関するテキスト，国土技術政策総合研究所資料第 829 号，p. 3-41，p. 3-47，2015.
- 3) 玉越隆史，大島義信，坂本佳也：特集 1 道路橋示方書改定 Ⅱ 鋼橋・鋼部材編の改定概要，オフィス・スペース，土木施工，Vol. 59，No. 4，pp. 17-20，2018.

1.3 RC 床版の損傷状況

高度経済成長期（1970 年代前後）に建設された鋼道路橋の RC 床版は、現行の設計施工基準との相違（水セメント比，鉄筋の設計被り，海砂の使用，床版厚など）のほか，車両の大型化による疲労，コンクリートの中酸化，凍結防止剤散布による塩害の進行など，構造物を適切に管理するうえで厳しい状況となっており，近年，全国各地で補修・補強あるいは床版更新が行われている．比較的新しい刊行物に記された大規模な更新や修繕事業として鋼道路橋のコンクリート系床版の更新が行われている橋梁と国道・市町村道において床版の抜け落ちが確認された橋梁の位置，竣工年次，主な損傷要因を図 1.3.1 および表 1.3.1 に示す．

表 1.3.1 大規模更新・修繕工事実施橋梁および国道・市町村道における床版損傷橋梁

No	橋梁名	竣工年次	路線名	都道府県	主な損傷要因（推定）					
					疲労	塩害			凍害	防水層未設置
						凍結防止剤	飛来塩分	内在塩分		
1	大野橋 ²⁾	S46	札樽道	北海道	○	○				○
2	勇払川橋 ³⁾	S55	道央道	北海道	○	○				
3	高瀬橋 ⁴⁾	S53	北陸道	新潟	○	○				
4	島松川橋 ⁵⁾	S46	道央自動車道	北海道	○	○				
5	広瀬川橋 ⁶⁾	S49	東北自動車道	宮城	○	○			○	○
6	豊洲高架橋 ⁷⁾	H7	上信越自動車道	長野	○	○				○
7	太田高架橋 ⁸⁾	S48 頃	北陸道	福井						○
8	平出高架橋 ⁹⁾	S56	中央自動車道	長野	○	○				
9	川端高架橋 ¹⁰⁾	S44	小田原厚木道路	神奈川	○					
10	松ヶ平橋 ¹¹⁾	S50	中央道	岐阜	○	○				
11	赤淵川橋 ¹²⁾	S44	東名高速道	静岡	○					
12	調布 IC ランプ橋 ¹³⁾	S42	中央道調布 IC ランプ	東京	○					
13	小一条高架橋 ¹⁴⁾	S55	北陸自動車道	滋賀	○	○				○
14	上長房橋 ¹⁵⁾	S43	中央自動車道	東京	○					
15	福地川橋 湖辺底橋 ¹⁶⁾	S50	沖縄自動車道	沖縄			○			○
16	—	—	北部区間 ¹⁷⁾	沖縄			○	○		
17	道谷第二橋 ¹⁸⁾	S55	中国自動車道	山口		○				○
18	玉出入口高架橋 ¹⁹⁾	S45	阪神高速 15 号堺線	大阪	○					
19	—	—	中国自動車道 ²⁰⁾	岡山 広島 山口		○				
20	館の橋 ²¹⁾	S48	1 級市道飯田線	秋田	○				○	○
21	きみまち大橋 ²²⁾	S53	国道 7 号	秋田	○	○				
22	志寸川橋 ²³⁾	S40	国道 275 号	北海道	○				○	○
23	浅川新橋 ²⁴⁾	S40	国道 18 号	長野		○			○	
24	白河橋 ²⁵⁾	S36	国道 4 号	福島	○					

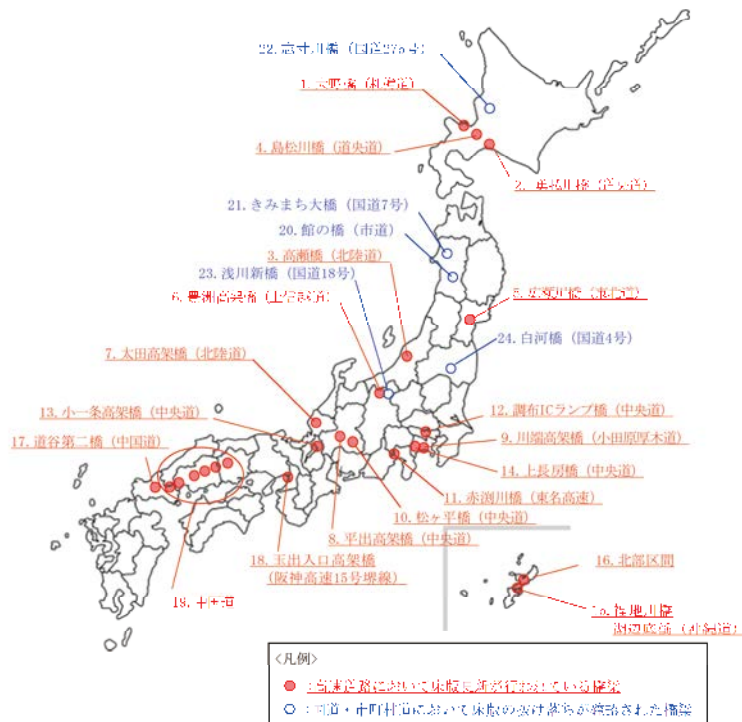


図 1.3.1 大規模更新・修繕工実施橋梁および国道・市町村道における床版損傷橋梁の位置図

必ずしも明確ではないが、このようなRC床版の劣化と損傷には、設計・建設された時代背景や地理的条件などの関係性が見られ、概ね以下のような傾向がある。

- ・昭和30年代～40年代に建設された供用後50年程度経過した橋梁 (No. 1, 4, 5, 7, 9, 11, 12, 14, 18, 20, 22, 23, 24)
- ・重交通路線に架橋された橋梁 (No. 11, 12, 14, 18)
- ・凍結防止剤の散布や凍結融解するような積雪寒冷地に架橋された橋梁 (No. 1, 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 13, 17, 19, 21, 22, 23)
- ・飛来塩分による影響を受ける沿岸部に架橋された橋梁 (No. 15, 16)・海砂を使用していた時代・地域に架橋された橋梁 (No. 16)
- ・防水層が設置されていない橋梁 (No. 1, 5, 6, 7, 15, 17, 20, 22)

本委員会で収集したRC床版更新の情報については、本章のほか、表1.5.1、表3.3.3、表3.3.4、および第3章並びに資料にも記しているので参考にされたい。

1.3.1 時代背景から生じた損傷

RC床版は設計・建設された時代背景によって、最小床版厚、鉄筋量、骨材、防水層の設置の有無などは異なるため、損傷状況も様々である。

最小床版厚は1.2節のとおり、昭和43年の「鋼道路橋の床版設計に関する暫定指針(案)」では、最小床版厚140mmであったものが、昭和46年の「鋼道路橋の鉄筋コンクリート床版の設計について」では、現在と同じ水準の最小床版厚160mmに増厚された。さらに、昭和53年以降には、大型車交通量や付加曲げモーメントの影響を考慮して最小床版厚よりも増加されることが示された。そのため、昭和43年の規定以前で設計された床版は、昭和43年の規定以降に設計された床版に比べて、配力鉄筋不足や床版厚不足によりせん断剛性が小さく、疲労による損

傷が顕在化している。塩害の原因となる海砂は、昭和 50 年頃から大量に使用されたため、昭和 61 年の大臣官房技術審議官通達「コンクリート中の塩化物総量規制について」以前の床版は、内在塩分量が多いものがある。同じく塩害の原因となる凍結防止剤は、平成 2 年の「スパイクタイヤ粉じんの発生の防止に関する法律」が公布されて以降、寒冷地で多量に散布されるようになった。また、防水層は平成 8 年の道路橋示方書から、必要に応じて設けることが規定され、平成 14 年の道路橋示方書から必ず設けることに変更された。橋面の一部のみに防水層が施工された橋梁におけるコンクリート床版のコア採取調査事例を写真 1.3.1 に示す。この橋梁は防水層を設置しない時代の昭和 32 年に竣工した。調査当時、防水層は起点側のみに設置されており、終点側には設置されていない状況であった。写真 1.3.2 は防水層が設置された箇所の床版コアであり、防水層が設置されていない箇所では明らかに損傷が進行していることが対比することでわかる。外的要因は同程度にも関わらず、防水層が設置されていない床版コンクリートのコアは、防水層が設置されたコアに比べて砂利化が進行している。



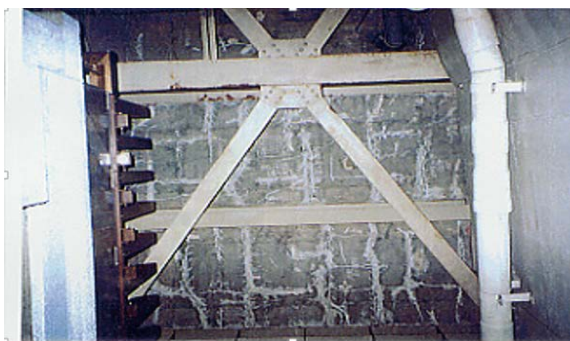
写真 1.3.1 防水層が設置されていない
床版から採取したコアの状況



写真 1.3.2 防水層が設置された床版から
採取したコアの状況

1.3.2 重交通による損傷

重交通路線である東名高速道路や名神高速道路、首都圏近郊、中京圏近郊、関西圏近郊では疲労による損傷が多く見られる（図 1.3.1）²⁶⁾。首都高速道路や東京都が管理する橋梁で生じた床版支間部下面のひび割れは、1.3.1 項の設計・建設された時代背景に加え、その多くは過積載車両を含む大型車の繰り返し载荷による疲労損傷と考えられる（写真 1.3.3）。



(a) 亀甲状のひび割れ



(b) 2方向のひび割れ

写真 1.3.3 床版支間部下面のひび割れ状況

1.3.3 地理的条件がもたらす損傷

凍害による損傷は主に鉄筋露出、コンクリートの剥離で、積雪寒冷地域である北海道、東北、北陸、中部の内陸部に見られる(図1.3.1)。塩害による損傷は主にひび割れ、鉄筋腐食であり、これらは床版コンクリートのひび割れから浸入した「凍結防止剤」、「飛来塩分」および「海砂の使用による内在塩分」が主な要因と考えられる。「凍結防止剤」による塩害は、積雪寒冷地域で凍結防止剤を散布する北海道、東北、北陸、中部の内陸、関西の内陸、中国の内陸に見られる。また、「飛来塩分」による塩害は北海道から九州・沖縄の沿岸部で、「海砂の使用による内在塩分」による塩害は、西日本(関西、中国、四国、九州)で多く見られる。沖縄では飛来塩分と内在塩分の両方に起因した損傷が確認されている²⁷⁾。このように、凍害、塩害は、橋梁が位置する路線・地域の地理的な要因として環境と気象が大きく関わっている。また、コンクリートの砂利化は、輪荷重直下で見られるとは限らず、積雪寒冷地で凍結防止剤が混入した塩水によりコンクリートの凍害が著しく促進されたことによるものや²⁸⁾、塩害により床版上面鉄筋が腐食し、剥離した被りコンクリートが交通荷重により碎かれるなどの損傷が生じることもあり、疲労以外の要因でも起こり得ると考えられている。

1.3.4 補強鋼材の損傷

RC床版下面に接着された鋼板補強の浮きは、鋼板と樹脂との界面における剥離や樹脂と床版コンクリートの界面における剥離が主な要因で発生し、活荷重繰り返し作用により、その剥離先端で応力集中が生じ、これによる浮きの範囲が拡大する傾向がみられる。例えば、鋼板と樹脂との剥離の場合は、その後、剥離部に水分が浸透し鋼板が発錆することで鋼板接地面の付着強度が更に低下し、浮きを助長すると考えられる。しかし、これまでに鋼板接着や縦桁で補強されたRC床版が回復不能な状態までに損傷した事例は少なく、主な損傷は桁端部などの水みちから浸入した滞水により補強鋼材が激しく腐食する劣化である(写真1.3.4)。



(a) 床版の抜け落ち



(b) 接着した鋼板の脱落

写真 1.3.4 鋼板接着部の再劣化状況²⁹⁾

出典：道路橋の劣化損傷と対策－既設橋の主な損傷と対応の考え方－

国立研究開発法人土木研究所 構造物メンテナンス研究センター (CAESAR)

参考文献 (1.3 RC床版の損傷状況)

- 1) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル 2016，鋼構造シリーズ 27，p.34，2016.
- 2) 井手迫瑞樹：NEXCO 東日本 札幌道 大野橋上り線の床版取替工現場ルポ，道路構造物ジャーナル NET，2017.
- 3) 大柴功治：NEXCO 東日本 道央道 勇払川橋で床版取替工事，道路構造物ジャーナル NET，

2018.

- 4) 井手迫瑞樹：NEXCO 東日本 高瀬橋床版取替 交通に配慮して床版を 3 分割施工，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 5) 大柴功治：NEXCO 東日本 道央道 島松川橋で床版取替工事，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 6) 井手迫瑞樹：NEXCO 東日本 広瀬川橋床版取替で同社初の非ループ継手採用，道路構造物ジャーナル NET，2017.
- 7) 大柴功治：NEXCO 東日本 上信越道 豊洲高架橋で床版取替工事を実施，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 8) 井手迫瑞樹：NEXCO 中日本金沢支社 北陸道太田高架橋を大規模リニューアル，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 9) 井手迫瑞樹：NEXCO 中日本八王子支社 平出高架橋を大規模リニューアル，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 10) 大柴功治：NEXCO 中日本 小田原厚木道路川端高架橋床版取替工事を公開，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 11) 井手迫瑞樹：NEXCO 中日本 中央道松ヶ平橋床版取替工事で新技術を実施，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 12) 大柴功治：NEXCO 中日本 東名道 赤荊川橋で床版取替工事，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 13) 大柴功治：NEXCO 中日本 中央道 調布 IC でランプ橋初の床版取替工事，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 14) 大柴功治：NEXCO 中日本 北陸道 小一条高架橋で床版取替え，道路構造物ジャーナル NET，2017.
- 15) 井手迫瑞樹：NEXCO 中日本 車線規制による床版取替工事の実施について，道路構造物ジャーナル NET，2014.
- 16) 井手迫瑞樹：NEXCO 西日本 沖縄高速道路福地川橋で鋼トラス橋初となる床版取替，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 17) 井手迫瑞樹：NEXCO 西日本 沖縄高速道路事務所 大規模更新・大規模修繕事業が，年 1，2 橋のペースで進む，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 18) 井手迫瑞樹：NEXCO 西日本 道谷第二橋 半断面床版取替工法を試験的に初採用，道路構造物ジャーナル NET，2016.
- 19) 井手迫瑞樹：阪神高速道路 堺線玉出入口で UFC 床版を初採用，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 20) 大柴功治：NEXCO 西日 7 橋の床版取替工事と盛土のり面補強工事を含めて異業種 JV で一括契約，道路構造物ジャーナル NET，2018.
- 21) 村木圭太：館の橋におけるコンクリート床版の損傷から復旧まで，平成 27 年度国土交通省 東北地方整備局管内業務発表会資料，2015.
- 22) 仁木英人，高木克輔，安藤直文，荻野目大志：交通を確保しながらの鋼橋プレキャスト床版の緊急架替え工事，プレストレストコンクリート工学会，第 23 回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp.367-370，2014.
- 23) 國松博一，山谷直孝，澤松俊寿：一般国道 275 号志寸川橋の床版陥没について-陥没の発生から復旧まで-，寒地土木研究所 平成 24 年度技術研究発表会，2013.

- 24) 田村直毅：浅川新橋の床版補修について，国土交通省関東地方整備局平成24年度スキルアップセミナー関東資料，2004.
- 25) 前島拓，子田康弘，小山田桂夫，岩城一郎：供用後50年で架替えに至った実道路橋RC床版の詳細調査と残存疲労耐久性に関する検討，日本コンクリート工学会，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，No.2，pp.685-690，2013.
- 26) 東・中・西日本高速道路会社：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会 報告書，p.36，2014.
- 27) 東・中・西日本高速道路会社：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会 報告書，p.38，2014.
- 28) 村越潤，田中良樹：道路橋RC床版の劣化形態の多様化と防水対策，オフィス・スペース，土木施工，Vol.55，No.6，pp.34-37，2014.
- 29) 土木研究所構造物メンテナンス研究センター（CAESAR）：道路橋の劣化損傷と対策－既設橋の主な損傷と対応の考え方－（講演会資料）

1.4 RC 床版の損傷要因

RC床版の劣化と損傷は、外見としてひび割れ、剥離、浮きなどがあり、更に内部の状態、劣化と損傷の広がりにより進行度が示される場合が多い。劣化と損傷の要因は、施工段階に生じる初期欠陥や使用条件の変化、経年に伴う材料品質の変化、劣化因子の浸入など多岐にわたる。したがって、点検および調査の結果をもとに、劣化と損傷の原因を明らかにして補修や更新の後に、同じ劣化が生じることのないように構造と工法を決める必要がある。原因を明らかにするためには、必要に応じて微破壊試験などを行い定量的な指標に基づいて原因の究明を行うのが良い。

劣化と損傷の要因として一般的に問題となる、疲労、塩化物、凍結融解、アルカリシリカ反応（ASR反応）、中性化、複合要因、初期欠陥について、以下に解説する。

1.4.1 疲労

RC床版は、床版の支間長（主桁間隔）を薄い版構造で変動の激しい輪荷重を直接支える過酷な状況におかれた部材である。昭和30年代以前は床版厚が薄かったこと、鉄筋に付着の劣る丸鋼を使っていたことが、劣化の進行を速めた一因となっている。疲労は、材料の静的強度に比較して一般に小さいレベルの荷重作用を繰り返し受けることにより破壊に至る現象であり、交通量の増大、過積載車両の走行などの外的要因、薄い床版厚と配力筋が少ないことなどの内的要因により生じ、雨水の浸透により更に促進される。

表1.4.1はRC床版の疲労劣化過程を示しており、床版下面のひび割れの状態から、ある程度の疲労の進行度を把握することができる。

1.4.2 塩化物

RC床版のコンクリート中に浸入した塩化物は鉄筋の腐食を促進し、錆の膨張圧力はコンクリートにひび割れを引き起こす。これは塩害と呼ばれる。浸入する塩化物は、①海岸線近傍で海からの飛来塩分によるもの、②凍結防止剤の使用により塩化ナトリウムなどの塩化物イオンが床版上面から拡散あるいは浸透することによるもの、③海砂などの使用によりコンクリート中に当初から塩化物イオンが一定量以上含有しているもの（内在塩分）がある。コンクリートのpHは通常12～13程度であり、鋼材は不動態被膜に保護されており腐食しない。しかし、一定量以上の塩化物イオンが鉄筋位置まで浸入すると不動態被膜が破壊されて、鋼材が腐食する（図

1.4.1）。

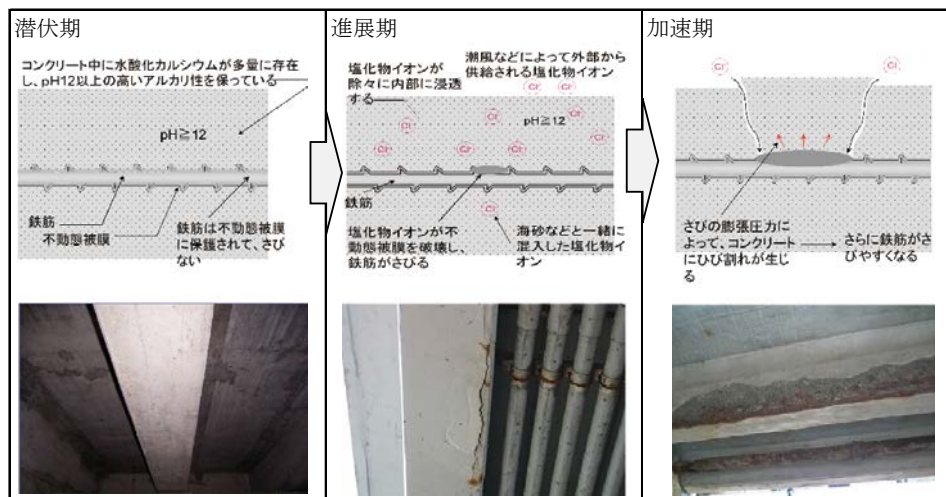


図 1.4.1 塩害における劣化過程¹⁾を改変して転載

表 1.4.1 RC床版の疲労劣化過程^{2),3)}

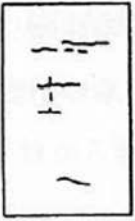
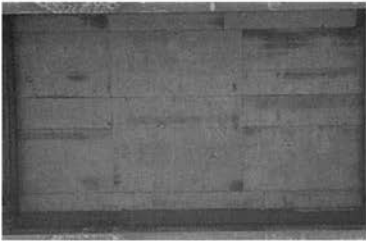

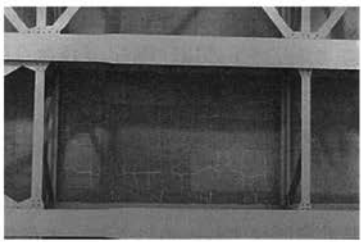

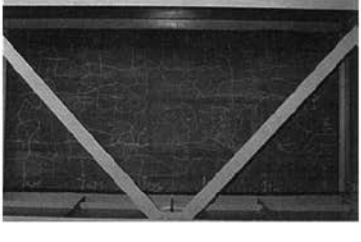
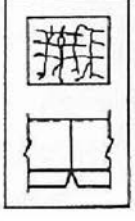
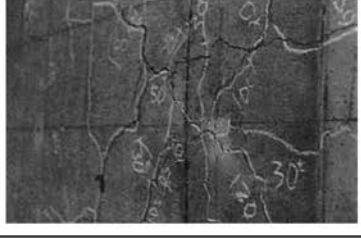


劣化過程	劣化・損傷状況	ひび割れ模式図	ひび割れ状況写真
潜伏期	乾燥収縮もしくは荷重による主筋に沿った橋軸直角方向ひび割れが数本程度確認できる段階		
進展期	主桁作用による主筋に沿った曲げひび割れが進展するとともに配筋鉄筋に沿う方向のひび割れも進展し始め、格子状のひび割れ網が形成される段階。床版の連続性（二方向性）は失われていない		
加速期	前期 ひび割れの細網化が進み、ひび割れの開閉やひび割れ面のこすり合わせが始まる段階		
	後期 ひび割れのスリット化や角落ちが生じる。コンクリート断面の抵抗は期待できないので、床版の押抜きせん断耐力は急速に低下し始める		
劣化期	床版断面内にひび割れが貫通して床版の連続性が失われ、貫通ひび割れで区切られた部材として輪荷重に抵抗することになる段階。貫通ひび割れの間隔やコンクリート強度、配筋量などが部材としての終局耐力に影響する。		

写真 1.4.1 および写真 1.4.2 は、既設 RC 床版上面・下面における凍結防止剤による塩害の加速期・劣化期の事例である。RC 床版の上面，下面の状況から，鉄筋の腐食膨張によるひび割れおよびコンクリートの剥離，剥落が発生しており，床版の耐荷力は大きく低下しているものと推定される。このような状態に達すると，損傷の広がりによっては補修・補強でなく更新（部分更新を含む）が選択肢に加わる。



写真 1.4.1 凍結防止剤による塩害の加速期・劣化期の事例（RC 床版上面）⁴⁾



写真 1.4.2 凍結防止剤による塩害の加速期・劣化期の事例（RC 床版下面）⁴⁾

1.4.3 凍結融解

RC 床版上面の微細なひび割れから浸入した水がコンクリート内で凍結融解を繰り返す，コンクリート中に細かなひび割れと材料分離を引き起こす（図 1.4.2）。これは凍害と呼ばれる。長年にわたり凍結融解の繰り返すを受けることでコンクリートが徐々に劣化しコンクリート表面が剥離し鉢状の損傷となる。一般のコンクリート構造物では，寒冷地において水が供給され凍結融解を繰り返す南向きの箇所で凍害が生じることが多い。

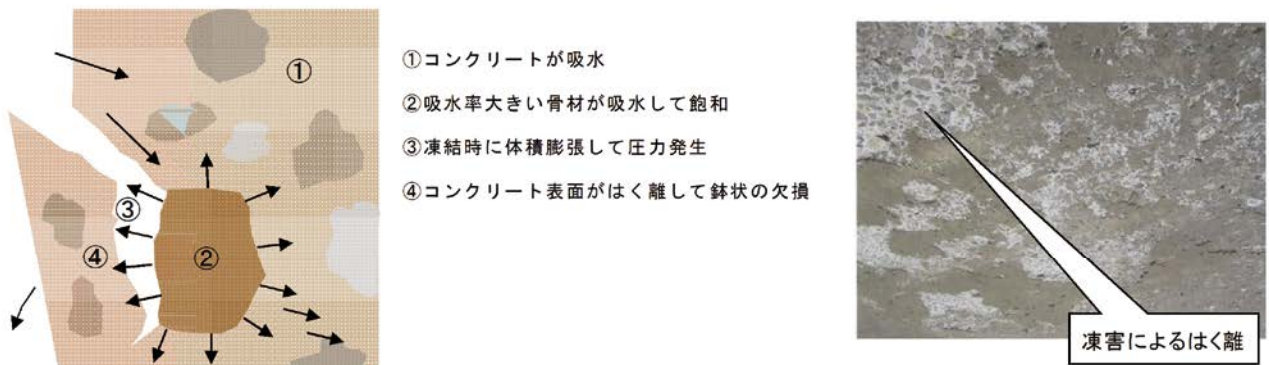


図 1.4.2 凍害における劣化過程と劣化事例 ¹⁾を改変して転載

1.4.4 アルカリシリカ反応（ASR）

アルカリシリカ反応とは、骨材中に含まれる反応性を有するシリカ鉱物などがコンクリート中のアルカリ性水溶液と反応する現象であり、コンクリートに異常膨張やひび割れを発生させる。変状の進行過程を表1.4.2に示す。凍結防止剤に使用される塩化ナトリウムは、RC床版のアルカリシリカ反応を促進させる。潜伏期と加速期のアルカリシリカ反応によるコンクリート内部の劣化のモードを図1.4.3に示す。水の供給を断つことで進行を抑えることができる。

RC床版は、この要因で上面にひび割れが発生し、そこに水が浸入すると、疲労により床版特有の変状が現れる。

表 1.4.2 床版のアルカリシリカ反応による変状進行過程⁵⁾

劣化過程	床版の劣化・損傷内容
潜伏期	アルカリシリカ反応が進行するが膨張やそれに伴うひび割れが発生していない期間
進展期	水分やアルカリの供給下で反応が進行し、ひび割れが発生する期間
加速期	アルカリシリカ反応による膨張が最大となり、内部の鋼材が腐食する場合もある期間
劣化期	ひび割れが増大し、部材の一体性が損なわれ耐荷性が顕著に低下する期間

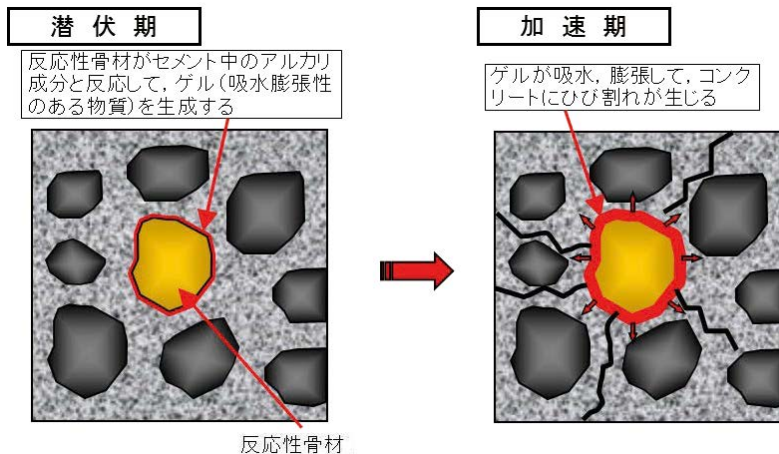


図 1.4.3 アルカリシリカ反応による劣化の進展⁵⁾

1.4.5 中性化

コンクリート中に大気中の二酸化炭素が浸入・拡散すると、コンクリート内部では、セメント水和物の主成分である水酸化カルシウムが二酸化炭素と結合し、炭酸カルシウムへと変化する。コンクリート中は、セメントの水和生成物である水酸化カルシウムの存在により、高いアルカリ性（高いpH）に保たれているが、この反応によりpHが低下すると、鋼材表面の不動態被膜が消失し、水および酸素の存在下において鋼材の腐食が始まる。鉄が腐食する場合、その腐食生成物（いわゆる、錆）は、元の体積よりも大きくなる。この要因により、鉄筋が腐食し、かぶりコンクリートの剥離、剥落が生じる（図1.4.4）。

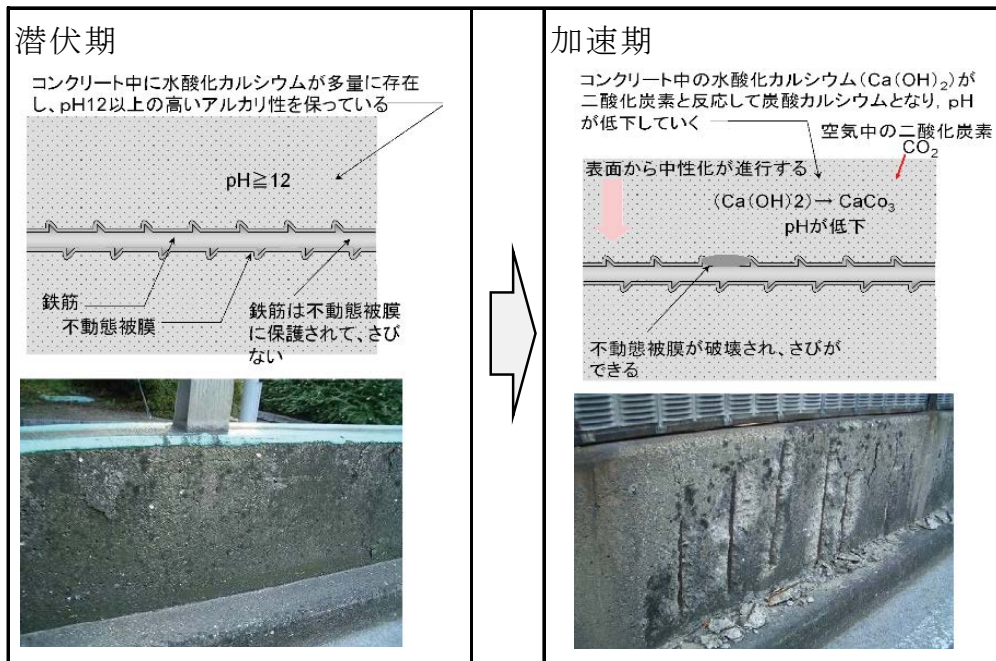


図 1.4.4 中性化における劣化過程 ¹⁾を参考に編集作成

1.4.6 複合的な要因

RC 床版は、塩害、凍害と疲労あるいはアルカリシリカ反応などの複合的な要因で変状が生じることがある。変状が進行し床版上面のスケーリングや砂利化が発生することを複合劣化と呼ぶことがある。これらの複数の要因で生じる変状への対策として、例えば、凍結防止剤散布による塩化物の浸透抑制を目的としたコンクリートの緻密性の確保や塩分環境下におけるアルカリシリカ反応抑制のための混和材の使用などが行われている。

1.4.7 初期欠陥

昭和 40 年代前半にコンクリートの粗骨材が砂利から碎石に移行しコンクリートの品質不良を助長した。碎石コンクリートの採用で砂利を用いた場合に比べ約10%の水量の割り増しと、セメント量の増加によりモルタル分が多くなり、乾燥収縮によるひび割れも発生しやすい傾向にある。施工面ではコンクリート打設時の締め固め不良が昭和 43 年以降に生じた。コンクリート打設はポンプ使用が多くなったが、当時のポンプ車は打設途中でよく故障し、また、ポンプから流出するコンクリート速度に十分な締め固めが追従できず、締め固め不良となる案件が多くあった。

参考文献 (1.4 RC 床版の損傷要因)

- 1) コンクリート構造物維持管理技術研究会：橋梁コンクリート部材の点検・補修設計・施工の手引(案)，pp.61-63，2012.
- 2) プレストレストコンクリート工学会：プレキャスト PC 床版による道路橋更新 設計施工要領，p.15，2018.
- 3) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル，p.24，2016.
- 4) プレストレストコンクリート工学会：プレキャスト PC 床版による道路橋更新 設計施工要領，pp.17-18，2018.
- 5) 土木学会：道路橋床版の維持管理マニュアル，pp.110-111，2016.

1.5 RC床版の健全度評価と更新の考え方

更新理由の比較的に明らかな国内の主だったRC床版更新の実績を表1.5.1に示す。これらの更新理由をみると、劣化などによる「物理的理由」と拡幅による「機能的理由」に分かれる。また、「物理的理由」の中には耐荷性能が限界に達してはならないものの将来の維持管理に多くの費用が見込まれるために更新するという「経済的理由」も含まれているようである。このような更新理由の分類は、「物理的・物質的に、あるいはその機能の陳腐化によって施設の有効性が失われたと認定されるまでの期間」¹⁾とするもの、「戦争や災害による破壊、機能の陳腐化による架替、維持管理負担の増大による放棄」²⁾とするものの考え方に共通しており、その概念を図1.5.1に示す。

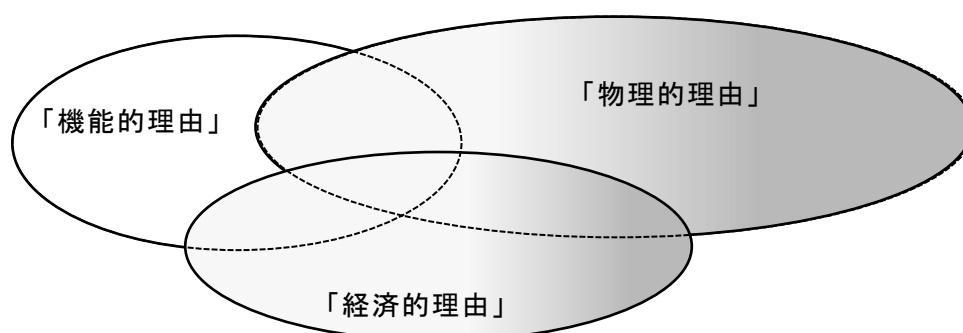


図 1.5.1 RC床版更新が行われる理由

一方で、RC床版は点検等による損傷や劣化の状態に基づいた健全性評価が全国的に行われており、各管理者によって最適な補修・補強あるいは更新計画が立てられ対策が行われている。対策の具体の対応は、「損傷状態」や「健全度評価」のみならず「予算」「施工条件」「交通量」「周辺環境」「重要度」「建設年次」などを勘案し総合的に判断されるのが一般的である。そのため、例えば未だ数年間は供用に耐えられると考えられる橋梁でもタイミングによっては将来を見据えて更新される、あるいは逆に損傷や劣化が進行しているが直ぐには更新せずに補修・補強により延命化されることがある。

点検結果の整理や補修・補強計画あるいは更新計画の根拠をまとめることは実務に欠かせない。1.5節では、国内で行われることの多い高速道路会社と国の健全度評価の事例を紹介し、使用限界に達してないRC床版のコスト比較に基づいた更新の考え方(経済的理由の一つの考え方)について解説する。

表 1.5.1 事例収集した RC 床版更新工事

橋名	路線	所在地	更新年	経過年数	形式	理由		床版構造			通行規制				規制日数(日)
						劣化	拡幅	PCa	場所打ち	鋼	一括	分割	全期	一時	
上川橋	国	北海道	2007	43	合		○			○		○	○		810
明治山第二橋	高	沖縄	2015	41	非	○		○			○		○		55
用宗高架橋	高	静岡	2016	47	非	○		○			○		○		42
早月川橋	高	富山	2016	33	非	○		○			○		○		40
中山橋	高	宮城	2015	41	非	○		○						○	28
九年橋	県	岩手	2013	91	非	○		※3					○		300
向佐野橋	高	福岡	2010	35	非	○		○			○		○		135
御幸大橋 _{下り A1-P1}	高	奈良	2011	42	合	○		※3			○			○	9
獅子倉橋	国	秋田	2006	35	合	○		※3				○	○		不明
美川大橋	県	石川	2013	41	非	○				○		○	○		840
若戸大橋	国	福岡	1987	25	※2		○			○					1440
裾花大橋	国	長野	1998	32	※2	○				○	○			○	90
御幸大橋 _{上り P1-P2}	高	奈良	2010	38	非	○		○			○			○	9
御幸大橋 _{上り A1-P1}	高	奈良	2011	39	合	○		○			○			○	6
桧尾川橋	高	大阪	1995	32	非	○	○	○				○	○		360
安威川橋	高	大阪	1998	35	非	○	○	○				○	○		68
小原第二橋	高	神奈川	2007	42	※2		○	○				※4			不明
兎尻橋	国	秋田	2006	40	合	○		※3			○		○		90
白鬚橋	都	東京	2014	26 ^{※1}	※2		※			○		○			不明

・路線………高速道路・国道・都道府県道に分類

※1・経過年数…白鬚橋は1988年の床版取替え時を起点

・取替理由…劣化・拡幅に分類

白鬚橋はケーソン基礎補強対策として床版を軽量化

※2・橋梁形式…合成桁・非合成桁・その他(※)に分類

御幸大橋はA1-P1が単純合成鉄桁橋，P1-P4が3径間連続非合成鉄桁橋，
若戸大橋は吊橋，小原第二橋はトラス橋，裾花大橋・白鬚橋はアーチ橋

※3・床版構造…プレキャスト床版・場所打ち床版・鋼床版に分類

九年橋・獅子倉橋は橋軸方向にも床版にプレストレスを導入，
御幸大橋下りA1-P1はプレキャスト合成床版，
兎尻橋はFRP合成床版，蔵前橋はバックルプレート床版

※4・通行規制…幅員に対して一括で取り替えたか・分割して取り替えたか，また，全期間にわたって規制したか・取替え中の車線を一時的に交通開放したかに分類

小原第二橋は2車線トラス橋を主桁とプレキャスト床版を追加して3車線化

1.5.1 高速道路会社の健全度評価事例

(1) 損傷状況に基づくRC床版更新の判定

RC床版を更新するかどうかを客観的に判定する方法は、高速道路会社で行われている判定フロー図1.5.2が参考になる。

この判定フローにおいて着目すべきところは、先ず内在塩分と飛来塩分の影響の有無でRC床版を分類しているところであり、ここでライフサイクルコスト（以下、LCC）の概念がこのフローに含まれている。この影響が無いとしても、凍結防止剤の有無や大型車交通の影響の有無など、複数の外的条件で分類される。これらの分類の後、損傷状況に応じて更新か予防保全に判定されるフローとなっている。

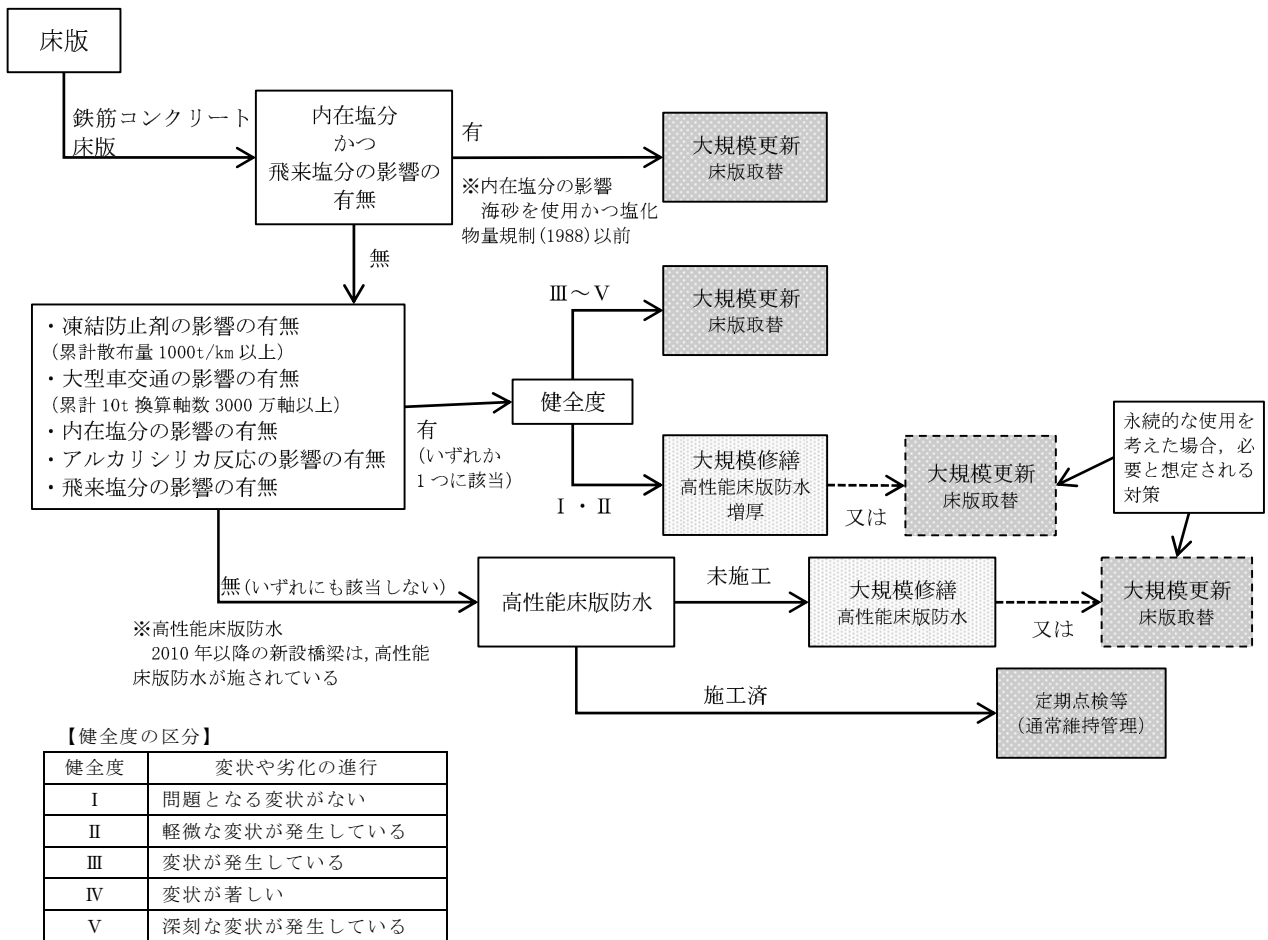


図 1.5.2 床版の大規模更新・大規模修繕の判定フロー^{3), 4)}

(2) 健全度の評価

高速道路会社の点検要領⁴⁾に基づき、鋼橋RC床版の健全度の評価・診断の事例を示す。点検結果の評価は「判定の標準 [コンクリート床版]」に基づいて整理される。「判定の標準 [コンクリート床版]」では、点検結果は「初期欠陥」「劣化による変状」「構造、外力による変状」「水しみ・漏水」の変状種類に区分され、さらに「ひび割れ」「エフロレッセンス」「錆汁」等の変状パターンに細分され、その個別の変状に対して、変状程度や機能低下有無等の視点から「AA」「A1～A2」「B」に判定区分される指標が示されている。

RC 床版の劣化度判定は、下面からと上面からとの判定を分けた仕様となっており、部分的な評価に留まらず総合的な評価・判定を促している。下面からの劣化度判定は、主桁と横桁に囲まれた区域を 1 パネル別に行われる。表 1.5.2 に示される「エフロレッセンス及びひび割れ」「浮き・剥離等」の組み合わせによる劣化度判定記号を用いて、パネル別床版（主桁×横桁）毎に判定される。

スパン別床版（支間×幅員）の健全度評価は、前述のパネル別床版下面の劣化度判定の結果に基づく床版の状況に応じて、具体には各種判定区分からの「AA」～「EE」の床版パネル全体に対する割合に基づく指標から「変状グレード」は 5 段階に区分される（図 1.5.3, 表 1.5.3 参照）。

表 1.5.2 パネル別床版下面（主桁×横桁）の判定区分 ⁴⁾を基に改変転載

床版下面の判定区分		浮き・剥離等による劣化度判定			
		a	b	c	d
エフロレッセンス及びひび割れによる劣化度判定	A	AA	AA	AA	AA
	B	AA	AA	BB	BB
	C	AA	BB	CC	CC
	D	BB	CC	DD	DD
	E	CC	DD	EE	EE

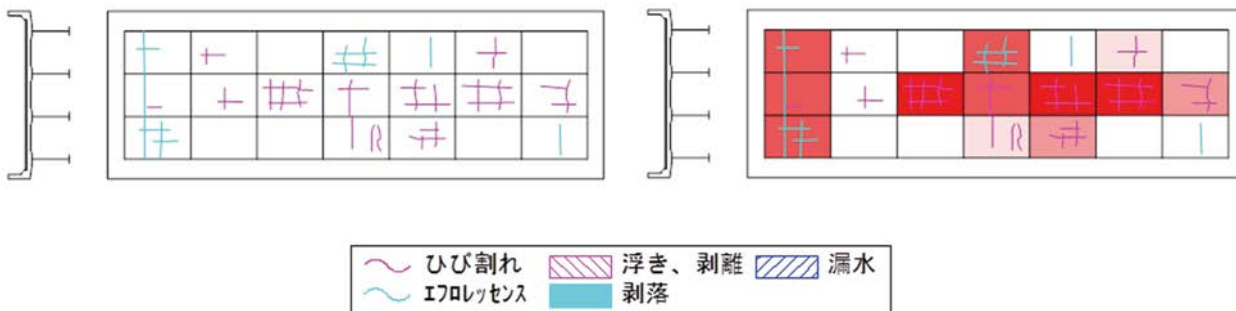


図 1.5.3 床版下面損傷図とパネル別判定区分イメージ ⁴⁾を基に改変転載

表 1.5.3 スパン別床版（支間×幅員）の健全度評価 ⁴⁾

変状グレード	床版の状況	判定の基準
Ⅲ-2	床版パネルの 40%以上に BB 以上の劣化がある	変状が著しい
Ⅲ-1	床版パネルの 30%以上に BB 以上の劣化がある	変状が大きい
Ⅱ-2	床版パネルの 40%以上に DD 以上の劣化がある	変状は大きくなりつつある
Ⅱ-1	床版パネルの 30%以上に DD 以上の劣化がある	変状は少ない
I	床版パネルの 30%未満に DD 以上の劣化がある	変状は少ない

変状グレードの判定をより客観的にするために健全度評価の標準として、「RC 床版の疲労」「凍結防止剤による塩害」「中性化」「飛来塩分による塩害」「凍害」の各種の劣化機構に応じた健全度評価の標準が判定資料として「エフロレッセンス」「錆汁」「ひび割れ」等の変状パターンとともに示されている（表 1.5.4, 表 1.5.5）。

表 1.5.4 健全度評価の標準（部材：RC床版，劣化機構：RC床版の疲労）⁴⁾

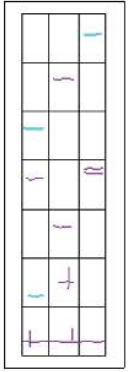


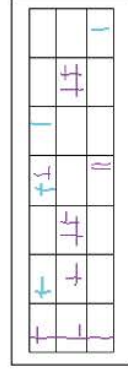
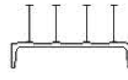

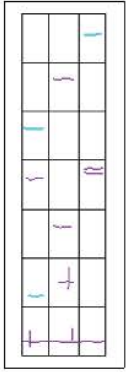


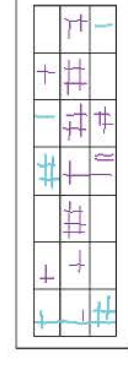


変状グレード	
II-1	II-2
<p>床版には一方向ひび割れ、交差している箇所があるひび割れ（閉塞無）が発生している状態</p>   	<p>エプロンセスを伴うひび割れが、二方向に広い間隔で発生し、交差している箇所が2箇所以上ある状態</p>   
<p>床版には一方向ひび割れ、交差している箇所があるひび割れ（閉塞無）が発生している状態</p>   	<p>間隔が狭く閉塞したエプロンセスが広範囲に発生している状態。打継目部に進行性が見られるエプロンセスを伴うひび割れが広範囲で発生している状態</p>   
<p>エプロンセスが一方方向に発生している。</p>	<p>エプロンセスが二方向に発生している（間隔 50cm 以上）。</p>
<p>漏水、はく離（はく離）</p>	<p>漏水等に伴って発生した局部的な鉄筋の錆汁の滲出が認められる。</p>
<p>鉄筋の露出、腐食</p>	<p>二方向のひび割れが発生している（間隔 50cm 以下）。</p>
<p>ひび割れ</p>	<p>降雨後に水しみ・漏水が生じている。又は漏水跡が見られる。</p>
<p>水しみ・漏水</p>	<p>降雨後に水しみ・漏水が生じている。又は漏水跡が見られる。</p>

表 1.5.5 健全度評価の標準 (部材：RC 床版，劣化機構：凍結防止剤による塩害)⁴⁾

変状グレード		III-1	
関連する 変状パターン	II-1	床版下面に劣化の進行は見られず、床版端部付近に漏水の跡が見られる状態	劣化が進行し、床版の上面・下面でひび割れ・浮き・鉄筋露出等の変状が広範囲で認められる状況
	II-2	端部から発生し始めた漏水跡が、床版端部の全面に進行し始めており、部分的に鉄筋の発錆に伴うコンクリートの浮きやはく離の兆候が確認される状態	
	III-1		
エフロレッセンス	エフロレッセンスが一方方向に発生している。	エフロレッセンスが二方向に発生している (間隔 50cm 以上)。	エフロレッセンスが二方向に発生している (間隔 50cm 以上)。
錆汁	—	漏水等に伴って発生した局部的な鉄筋の錆汁の滲出が認められる。	錆汁の滲出が著しい。
浮き、はく離 (はく落)	—	局部的なはく離、浮きが見られる。	広範囲にはく離或いは大きな浮きがある。又は、はく離 (浮き) が散在している。
鉄筋の露出、腐食	—	局部的な鉄筋の露出、腐食が見られる。	広範囲に鉄筋の露出が見られ、鉄筋の腐食が著しく進行している。
ひび割れ	局部的に微細なひび割れが発生している。	ひび割れ間隔の大きいひび割れが生じている。	ひび割れ間隔の小さいひび割れが生じている。
水しみ・漏水	降雨後に水しみ・漏水が生じている。又は漏水跡が見られる。	降雨後に水しみ・漏水が生じている。又は漏水跡が見られる。	天候に関係なく常に水しみ・漏水が生じている。

(3) 健全度評価の要点

高速道路会社の健全度評価は、以下のように整理できる。

- ・ 細分された変状種類・変状パターンに対して損傷判定区分の指標が示されている。
- ・ 床版下面からの劣化度判定は、「エフロレッセンス及びひび割れ」「浮き・剥離等」によるパネル別床版（主桁×横桁）の劣化度判定を用いている。
- ・ 健全度評価は、床版の状況の床版パネル全体に対する割合に基づく指標から「変状グレード」を5段階に区分している。
- ・ 各種の劣化機構（「RC床版の疲労」等）に応じた判定資料がある。
- ・ RC床版の劣化度判定は、下面からと上面からとの総合的な評価・判定を促している。

1.5.2 国土交通省の健全度評価事例

(1) 健全度の評価

国土交通省は国土交通省及び内閣府沖縄総合事務局が管理する道路橋の定期点検が適切に行われるように橋梁定期点検定要領⁵⁾を定め、各種点検やその記録等をカルテに収めている。同要領「付録-2 損傷程度の評価要領」において、鋼橋RC床版の評価区分は表1.5.6のように示されており、1方向ひび割れおよび2方向ひび割れに分けてひび割れの間隔，幅に応じて状態を記録するとされている。

記録が主桁と横桁に囲まれた区域を1単位としてパネル毎に行われるのは1.5.1項で記した高速道路会社の方法と同じであり，これを記録した事例を図1.5.4に示す。

対策区分は同要領「付録-2 対策区分判定要領」に記されており，A～E2までの9つの区分としている。橋梁検査員は単に損傷の外観的特徴などの客観的事実を記述するだけでなく，推定される損傷の原因，進行性についての評価，他の損傷との関わりなどの損傷に関する各種の判定とその根拠や考え方など，道路管理者が対応方針を判断するために必要となる事項を記録することとしている。

表 1.5.6 床版ひびわれの損傷程度の評価区分⁵⁾

状態	1方向ひびわれ			2方向ひびわれ		
	性状	ひびわれ	漏水・遊離石灰	性状	ひびわれ	漏水・遊離石灰
a		損傷なし	なし	—		
b		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは主として1方向のみ 最小ひびわれ間隔は概ね1m以上 最大ひびわれ幅は0.05mm以下 (ヘアークラック程度) 	なし	—		
c		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは主として1方向のみ ひびわれ間隔は問わない ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在) 	なし		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは格子状 格子の大きさは0.5m程度以上 ひびわれ幅は0.1mm以下が主 (一部には0.1mm以上も存在) 	なし
d		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは主として1方向のみ ひびわれ間隔は問わない 最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在) 	なし		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは格子状 格子の大きさは0.5m~0.2m ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在) 	なし
		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは主として1方向のみ ひびわれ間隔は問わない 最大ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在) 	あり		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは格子状 格子の大きさは問わない ひびわれ幅は0.2mm以下が主 (一部には0.2mm以上も存在) 	あり
e		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは主として1方向のみ ひびわれ間隔は問わない ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる 	なし		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは格子状 格子の大きさは0.2m以下 ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる 	なし
		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは主として1方向のみ ひびわれ間隔は問わない ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる 	あり		<ul style="list-style-type: none"> ひびわれは格子状 格子の大きさは問わない ひびわれ幅は0.2mm以上が目立ち、部分的な角落ちも見られる 	あり

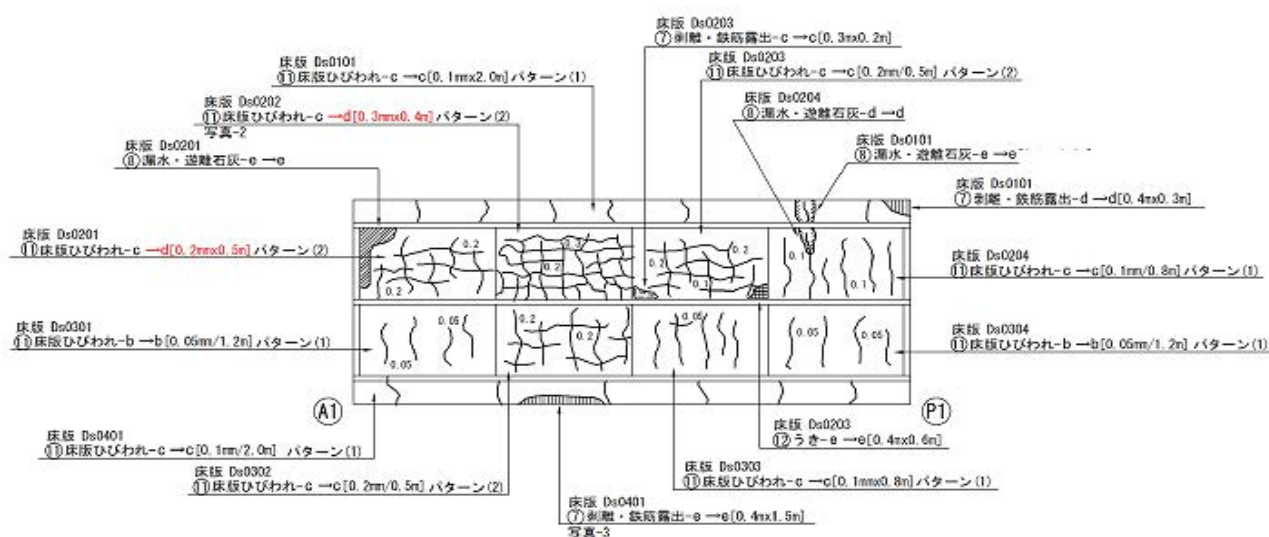


図 1.5.4 床版ひびわれ等の損傷図記載の事例⁶⁾を基に改変転載

(2) 健全度評価の要点

- ・コンクリート部材の損傷種類ごとに「損傷評価基準」に従い損傷程度を評価・記録する。
- ・前述の損傷程度および「対策区分判定要領」に従い判定区分を行う。
- ・ひび割れの間隔・形状，幅，密度から床版パネル単位での損傷度ランクを判定し，このパネルランクの割合に基づく指標から対策選定を行っている。

1.5.3 コスト比較に基づいた更新の考え方

舗装や塗装などの定期的に更新される材料，いわゆる消耗材に関しては，LCC を考えた製品開発がこれまでに進んでいる。構造物や RC 床版に関しても，損傷や劣化が限界に達してはならないものの将来の維持管理に多くの費用が見込まれるために LCC に基づいたコスト比較による取り替えや更新の検討が行われる場合がある。これは新設してから年数が経過し劣化や損傷が生じた構造物を対象に，現状のまま維持管理する場合と更新してから維持管理する場合について，将来のある時点までに要する累計コストを比較して方針の優位性を説明するものである。

図 1.5.5 は RC 床版の全面取替の時期による LCC の差を検討された事例⁷⁾であり，供用年数と健全性，供用年数とコストを並べたものである。新設から 30 年が経過した RC 床版を補修・補強を繰り返しながら管理し 60 年で健全性を失うことを前提として，ある地点のその後 30 年～40 年までの LCC の試算により，A 点で RC 床版を PC 床版へ全面的に取り替える方が経済的に優位であることが示されている。B 点は RC 床版の機能が限界に達する点である。A 点から B 点に至る早い段階で RC 床版を更新することができれば LCC の観点から維持し続けるより経済的になると考えられる。A 点はこの時点を超えてその先で損傷や劣化が急激に進行する点であり，古いタイプの RC 床版においては，この時期を見極めることが重要である。中小規模の劣化や損傷が RC 床版で見られるような状態になると，LCC の観点からその床版を維持管理するより更新する方が経済的になる可能性がある。一方，補修後に大幅な改善・回復が期待できる工法や技術があれば，更新より維持管理する方が優位にできる可能性もあるため，この分野の今後の技術開発に期待したい。なお，コストの算出において実費としての LCC を単純に比較するのではなく，交通規制や通行止めに伴う社会的損失を考慮する場合がある。

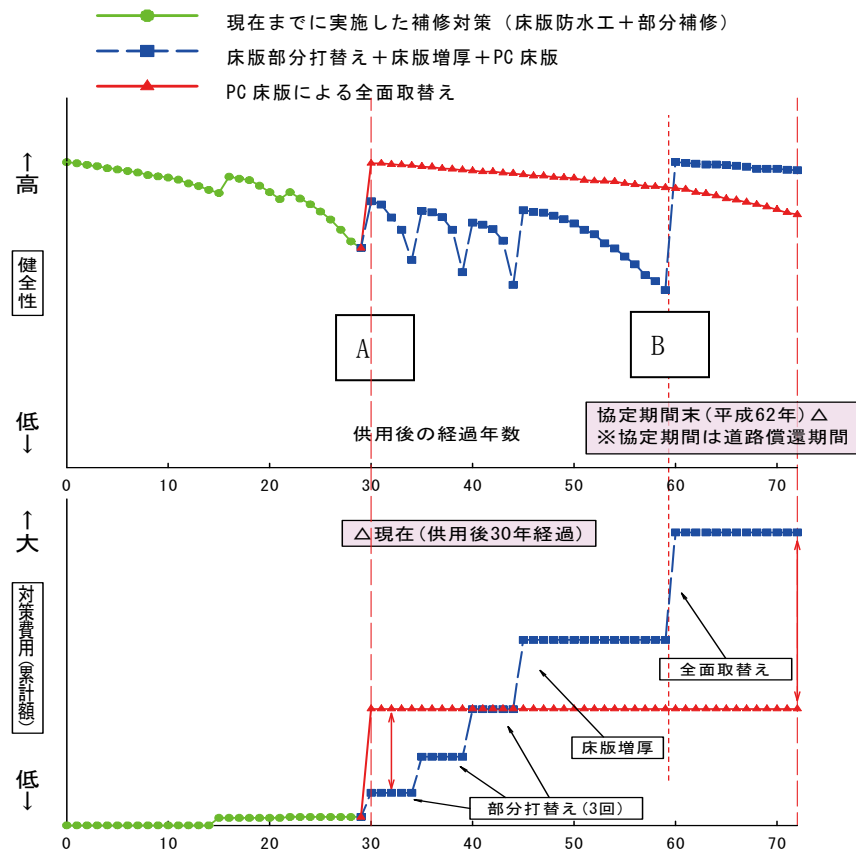


図 1.5.5 RC 床版更新の健全性・対策費用（累計額）と供用年数⁷⁾を基に改変転載

参考文献（1.5 RC 床版の健全度評価と更新の考え方）

- 1) 加藤正晴：メンテナンスにおける今日的課題，土木学会誌，Vol.68，No.10，1983.
- 2) 西川和廣：道路橋の寿命と維持管理，土木学会論文集，No.501/I-29，pp.1-10，1994.
- 3) 土木学会鋼構造委員会：鋼橋の大規模修繕・大規模更新—解説と事例—，鋼構造シリーズ 26，p.24，2016.
- 4) 東・中・西日本高速道路株式会社：保全点検要領 構造物編，2019.
- 5) 国土交通省 道路局 国道・防災課：橋梁定期点検要領，2014.
- 6) 国土交通省 中部地方整備局 中部技術事務所：橋梁定期点検の統一事項と留意点～品質の高い点検調書作成に向けて～，2017.
- 7) 小川篤生：NEXCO 西日本における高速道路橋の維持管理の現状と今後の方針，日本コンクリート工学会，コンクリート工学，Vol.47，No.9，2009.

1.6 RC床版の長寿命化対策

床版防水層は、更新する床版の耐久性の観点から必要な措置であるとともに、更新に至らず継続使用する既存のRC床版に対しては劣化の進行を抑制するための措置として有効な工法である。1.6節は、RC床版の長寿命化対策（予防保全）としてこれまでに国内で行われている床版防水層と床版補強工法について解説する。

1.6.1 床版防水層

床版上面に防水層を設置することの重要性が知られてきたのは1990年代頃からである。その後の知見として、鉄筋コンクリート床版に雨水などが浸透すると、床版内部の鉄筋や鋼材を腐食させるばかりでなく、コンクリートの劣化、特に繰り返し荷重作用下の床版コンクリートの劣化を促進し、床版の耐荷力や耐久性に著しく悪影響を及ぼすことが明らかになった。

このため、道路橋示方書では平成14年度（2002年度）の改訂において、アスファルト舗装とする場合は、橋面より浸入した雨水などが床版内部に浸透しないように防水層などを設置することが原則とされた。

このような背景から、インフラを管理する事業者を中心に防水層に関する研究が活発に行われており、高速道路会社では、基本的な性能を長期間にわたり保持できる防水層として、施工時や供用期間中に生じる様々な負荷などを考慮した高性能床版防水（グレードⅡ）を大規模更新や修繕に採用している。高性能な防水層の性能照査試験として一般的な防水層で想定している基本照査に加え、30年相当の供用を想定した追加照査（温度変化および薬品負荷、ホイールトラッキング負荷、ひび割れ開閉負荷）が規定されている。他にも、縁石などとの境界部で防水層を立ち上げる端部防水層の設置することが規定されている。

床版防水層は、シート系床版防水層、塗膜系床版防水層など、様々な種類の防水材料が存在しており、一般に下記のように分類される（図1.6.1）。各々の防水層に応じて構成や特性が異なるため、あらかじめ施工方法、施工手順、施工条件などを勘案したうえで材料の選定が行われる。

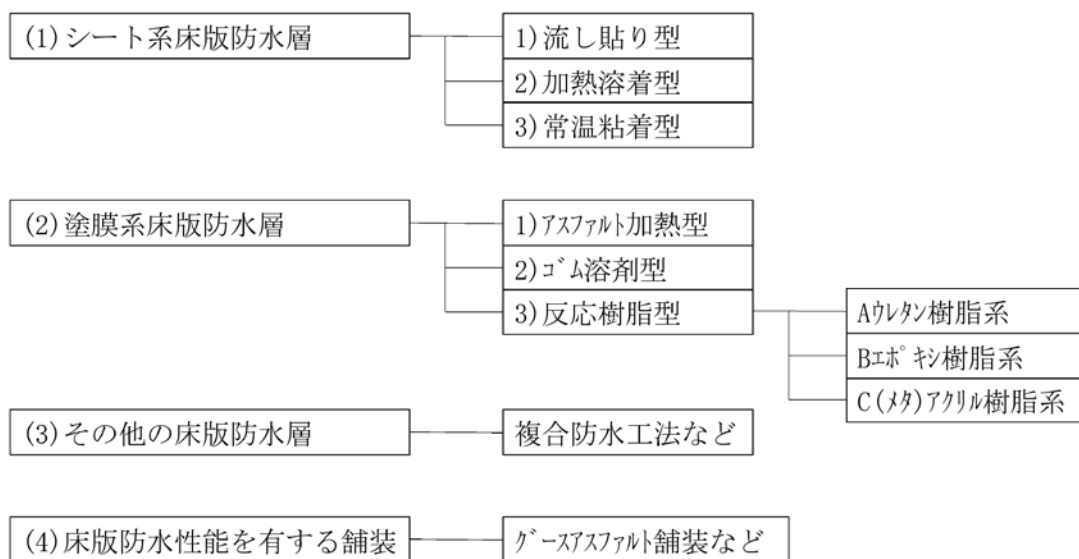


図 1.6.1 床版防水材料の分類¹⁾

(1) シート系床版防水層

シート系床版防水層には、加熱溶融した貼付用アスファルトを流し込んで防水シートを溶着させる流し貼り型、加熱溶融する接着剤が塗られた防水シートを溶着させる加熱溶着型、常温で接着性を有する粘着剤が塗られた防水シートを用いる常温粘着型の3種類がある(図1.6.2)。

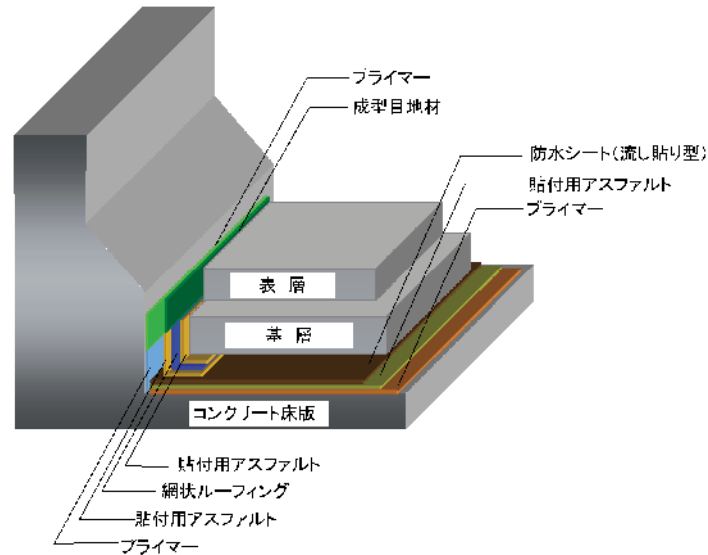


図 1.6.2 流し貼り型シート防水層の構成例¹⁾

(2) 塗膜系床版防水層

塗膜系床版防水層には、合成ゴムや樹脂などで改質されたアスファルト材料を加熱溶融させるアスファルト加熱型、クロロプレンゴムなどの合成ゴムを有機溶剤に溶解したゴム溶剤型、熱硬化性樹脂などの反応樹脂を用いる反応樹脂型の3種類がある(図1.6.3)。

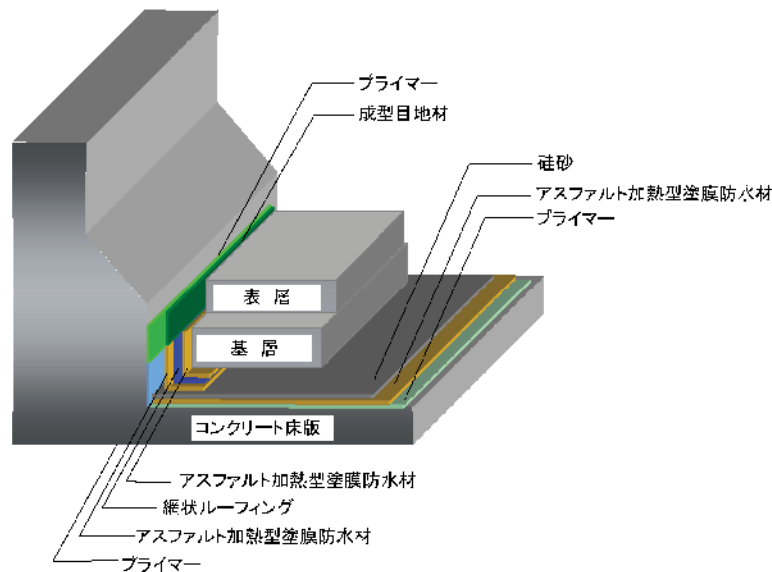


図 1.6.3 アスファルト加熱型防水層の構成例¹⁾

(3) その他の床版防水層

その他の床版防水層とは、上述した防水層以外で防水機能を持つ材料によるもの、もしくは上述した防水材料の組み合わせによる防水層である。複合防水工法は、複数の異なる種類の防水材料を組み合わせることで防水層を形成する工法である（図1.6.4）。例えば、浸透系材料を活用した複合防水工法は、床版コンクリートに浸透系材料（アクリル樹脂系、エポキシ樹脂系、メタアクリル樹脂系などをベースにした低粘度の樹脂）を浸透させ、床版自体に防水機能を与え、さらにその上から、塗膜系防水層（アスファルト加熱型）を塗布する工法である。実績のある塗膜系防水層（アスファルト加熱型）と施工性がほぼ同じであることから採用事例が増えている。

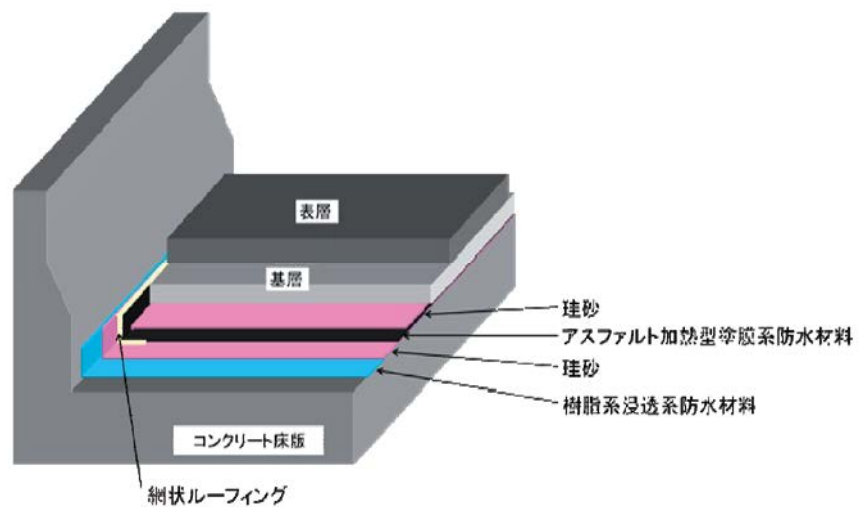
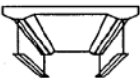







図 1.6.4 複合防水工法の構成例¹⁾

1.6.2 床版補強

床版補強は、古くは道路橋示方書において改訂された自動車輪荷重に対するRC床版の補強方法として考案され、現在は回復不能になる前のRC床版の予防保全対策として施工されている。床版上面から補強する工法と床版下面から補強する工法など、様々な種類の補強工法が開発されている。損傷した床版に対する補強工法の適用範囲は、一般に表1.6.1のように分類される²⁾。輪荷重による床版上面からのひび割れと床版下面からのひび割れがつながり貫通した後は、損傷が急激に進行するため、補強工法の選定にあたっては特に注意が必要である。なお、貫通したひび割れ面のこすり合わせ³⁾や浸透水による石灰分の流出により、ひび割れが拡大し、せん断抵抗を失う段階では、損傷状況により上面増厚工法と鋼板接着工法との併用も有効である。

表 1.6.1 道路橋 RC 床版の損傷状況を考慮した補強工法の適用範囲²⁾

損傷段階	損傷度の目安	床版の損傷状況	工法名				
			縦桁増設工法	鋼板接着補強工法	床版上面増厚工法	床版下面増厚工法	炭素繊維補強工法
①	OK	【強靱な版構造】 	基本的には補強の必要はない	基本的には補強の必要はない	基本的には補強の必要はない	基本的には補強の必要はない	予防保全としての適用可能
②	IV	【並列梁構造】 	適用可能	基本的には補強の必要はない	基本的には補強の必要はない	適用可能	適用可能
③	III	【二方向曲げひび割れ】 	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能
④	II 初期 (こすり合わせが生じていない)	【ひび割れの細網化、貫通】 	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能	適用可能
⑤	II	【サイコロ状】 	適用できない	損傷状況により適用可能	損傷状況により適用可能	適用できない	適用できない
⑥	I	【床版の陥没】 	打ち替えを検討				

(1) 縦桁増設工法

床版を支持する既存の主桁または縦桁の間に縦桁を増設することで、床版に作用する曲げモーメントを減少させる工法である(写真1.6.1)。この工法は、床版を支持する既存の主桁または縦桁の間に縦桁を増設して床版を直接支持させることで、床版支間を短縮し、床版に作用する曲げモーメントを減少させることにより、既設床版に発生する内力の状態を改善するものである。



写真 1. 6. 1 縦桁補強の事例

(2) 鋼板接着補強工法

床版下面に鋼板を接着し、既設コンクリート床版と一体化させ、耐荷力を向上させる工法である(写真1.6.2)。この工法は、床版コンクリート下面に鋼板を接着することで、既存コンクリート床版と一体化させ鉄筋量を補うことで、床版の曲げ耐力とせん断耐力および疲労耐久性の向上を図るものである。下面からの施工であるため、交通規制をせずに施工可能である。



写真 1. 6. 2 鋼板接着工法の事例

(3) 床版上面増厚工法

既設のアスファルト舗装および床版コンクリート上面を切削, 研掃し, 接着剤を塗布した後, スチールファイバーコンクリートやポリマーセメントモルタルを比較的薄層で打設し, 増厚一体化することにより床版の耐荷性能を向上させる工法である (図1.6.5). 舗装打換えにおいて生じる切削機によるRC床版上面の剥ぎ取り損傷に対しても適用できる. この工法は, 床版断面を厚くすることで曲げ剛性と押抜きせん断耐力が上がり, RC床版の耐荷力と疲労耐久性の向上を図るものである. また, 床版上面のコンクリートが健全化することで, 水や凍結防止剤の浸入も抑制できる. なお, 上面からの補強であるため交通規制が必要となる.

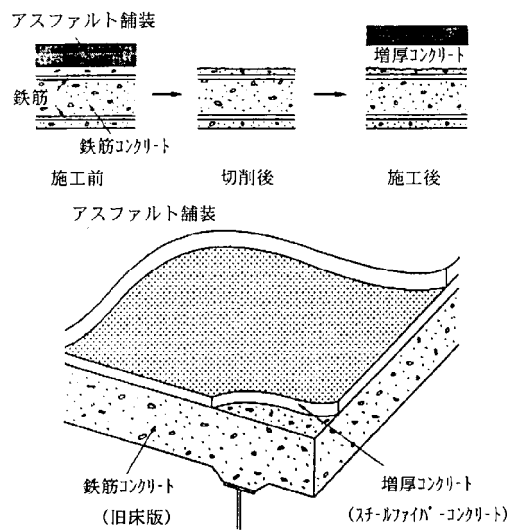


図 1.6.5 床版上面増厚工法概念図²⁾

(4) 床版下面増厚工法

既設の床版下面に鉄筋などの補強材 (鉄筋, 炭素繊維格子など) を配置し, 接着剤の塗布後, ポリマーセメントモルタルで合成させることにより, 床版の耐荷性能を向上させる工法である (図1.6.6). この工法は, 上面増厚工法と同様に床版断面を厚くすることで曲げ剛性と押抜きせん断耐力が上がり, また, 下面に配置した補強材が引張材として効くことで曲げ耐荷力が上がり, RC床版の耐荷力と疲労耐久性の向上を図るものである. 下面からの施工であるため, 交通規制をせずに施工可能である.

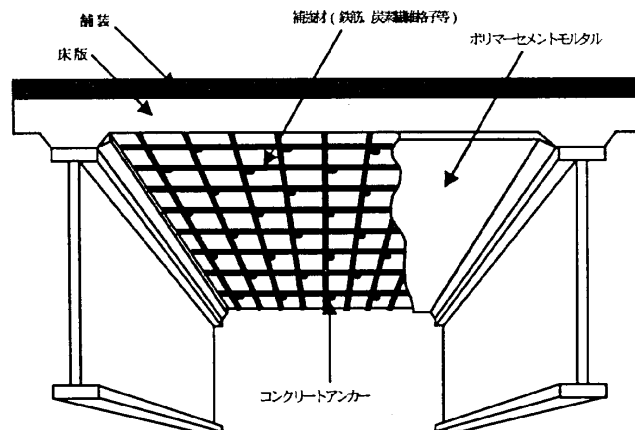


図 1.6.6 床版下面増厚工法概念図²⁾

(5) 炭素繊維補強工法

床版下面に炭素繊維シートを接着し、既設床版と一体化させ、疲労耐久性を向上させる工法である(写真1.6.3)。床版下面全面に接着するタイプと主鉄筋方向と配力鉄筋方向それぞれ間隔をあけて格子状に接着するタイプがある。この工法は、既設床版と炭素繊維シートを一体化させることで、曲げモーメントに対して引張材として機能し、ひび割れの拘束効果、たわみの抑制効果により疲労耐久性の向上を図るものである。下面からの施工であるため、交通規制をせずに施工可能である。



写真 1.6.3 炭素繊維格子接着工法の事例

参考文献 (1.6 RC床版の長寿命化対策)

- 1) 土木学会：道路橋床版防水システムガイドライン（案），pp.9-14，2012.
- 2) 土木学会：道路橋床版の新技术と性能照査型設計，pp.55-75，2000.
- 3) 土木学会：2018年度制定コンクリート標準示方書改訂資料 維持管理・基準編，コンクリートライブラリー153，p.71，2018.