

## 既設 RC 床版の劣化度評価について

Evaluation Method for Deterioration of Expressway Bridge RC Decks

福永 靖雄\*, 松井 隆行\*\*

Yasuo Fukunaga, Takayuki Matui

\*西日本高速道路株式会社 九州支社 管理事業部 改良グループ (〒810-0001 福岡市中央区天神 1-4-2 エルガーラ 9F)

\*\*西日本高速道路株式会社 九州支社 管理事業部 改良グループ (〒810-0001 福岡市中央区天神 1-4-2 エルガーラ 9F)

In the Kyushu District of NEXCO West Japan, the highway of about 1000km of extension etc., is managed, among these about 25% has passed 30 years now. Degradation of the concrete deck of steel bridges of the section recent years especially with much traffic is remarkable, and in order to perform repair and strengthening for the future concrete deck intentionally, it is necessary to ensure evaluation of the concrete deck. Although it is just going to carry out by being what was mainly concerned with the evaluation from a lower deck side also in our company about evaluation of the present concrete deck, what depends the degradation damage situation of the present concrete deck on fatigue due to traffic load but many complex degradation phenomena influenced of damage from antifreeze salt water, the carbonization, etc. are seen. For this reason, in the evaluation from the lower deck side by the conventional isolation lime method, it is hard to say that the concrete deck of present condition is evaluated correctly. For this reason, the proposal of the evaluation technique which evaluates complexly the deck upper surface and a deck lower side is reported. In addition, the repair and strengthening in consideration of LCC are reported.

*Key Words: Concrete Deck, Evaluation, Evaluates Complexly, Complex degradation phenomena*

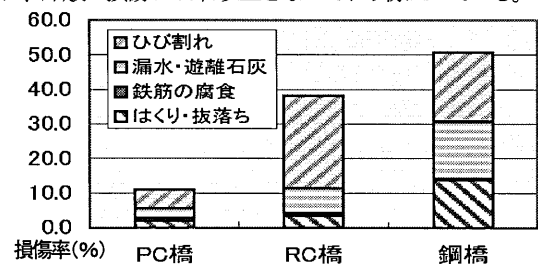
### 1. はじめに

NEXCO 西日本 (株) 九州支社においては、延長約 1000 km の高速道路等を管理しており、この内、現在約 25% が 30 年を経過している。近年、特に交通量の多い区間の鋼橋における RC 床版の劣化が顕著であり、今後、床版を計画的に補修・補強を行っていくためには床版の評価を確実に行う必要がある。現在の床版の評価については、当社においても床版下面からの評価を主としたもので実施しているところであるが、現状の床版の劣化損傷状況は、交通荷重による疲労的なもののみではなく、凍結防止剤等による塩害、かぶり不足による中性化などの影響を受けた複合的な劣化現象が多く見られる。従来の遊離石灰法による床版下面からの評価では、現状の床版を正しく評価しているとは言い難い。このため、床版上面と床版下面を複合的に評価する評価手法の提案と LCC を考慮した床版の補修・補強について検討した内容について報告するものである。

### 2. 実橋梁における床版評価の課題

点検によって発見された構造物の損傷を、損傷率 (損傷面積対象全体面積) で表したものを図-1 に示す。この図から、コンクリ

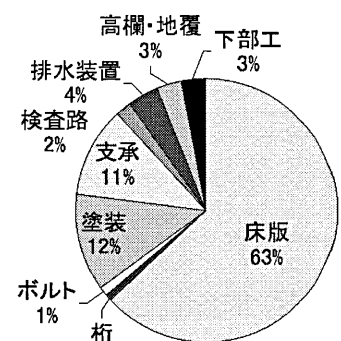
ート RC 橋、PC 橋と鋼橋を同一レベルで比較した場合には、鋼橋の損傷比率が高い。鋼橋の損傷の内訳としては、図-2 に示すように、床版の損傷が 60% 以上となっており際立っている。



【図-1 構造物の橋種別損傷率】

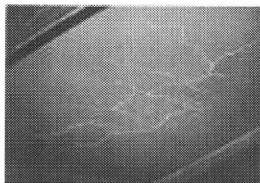
#### 鋼橋床版の損傷について

では、写真 1~6 に示すように「はく離」、「抜け落ち」、「ひび割れ」の他、床版上面側の損傷など様々である。床版上面側の損傷も舗装面へのポットホールという形態で発生し、舗装を緊急的に補修する場合に

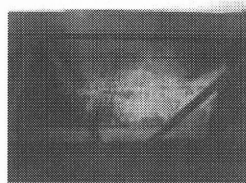


【図-2 鋼橋の損傷内訳】

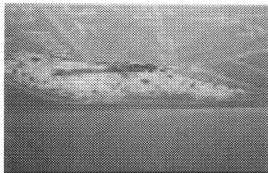
において、床版の損傷が発見されるケースが多い。このように、床版の損傷は多種多様であるが、床版の上面の損傷と床版下面の損傷を併せて評価しなければならないが、この関連性が明らかではなく、現場では床版の評価に苦慮しているのが実態である。



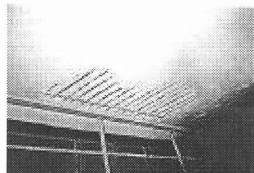
【写真-1】 床版下面のひび割れ



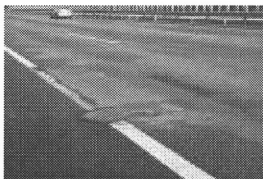
【写真-2】 床版下面の遊離石灰



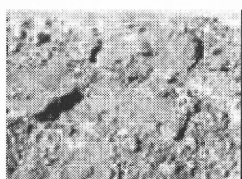
【写真-3】 床版下面の抜け落ち



【写真-4】 床版下面のはく離



【写真-5】 路面上のポットホール



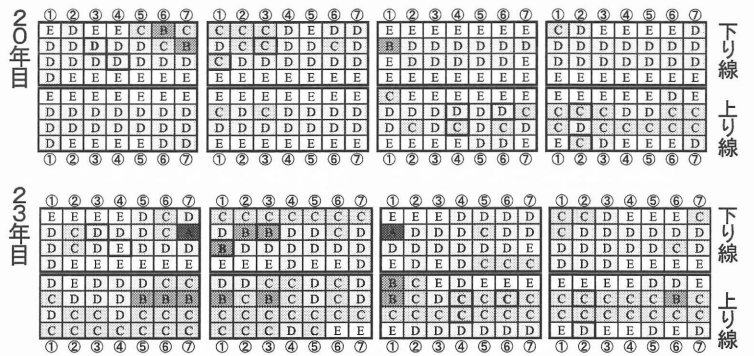
【写真-6】 床版コンクリートの土砂化

3. 床版下面側の評価

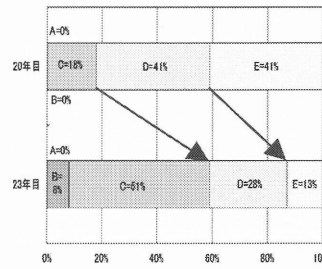
床版の評価については、表-1 に示すように NEXCO 点検要領<sup>1)</sup> に示すパネル判定の他、「道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上」<sup>2)</sup> (平成 16.11 土木学会鋼構造委員会 道路橋床版の調査研究小委員会報告書) などによるひび割れによる評価、たわみによる評価などがある。これらを用いて床版を評価した事例を、鋼橋の床版の事例「M橋」として紹介する。

(1) パネル判定の評価 (20 年目、23 年目の評価)

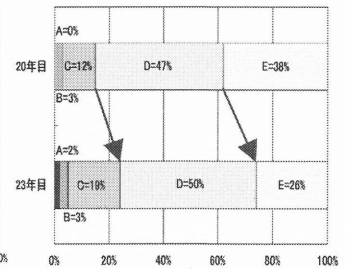
パネル判定とは、鋼橋の主桁から対傾構間の床版下面を目視点検し、床版下面を遊離石灰とひび割れで表-1 に示す A~E のランクで評価するものである。図-3 の上段が 20 年目の評価、下段が 23 年目の評価である。20 年目には、床版の損傷としては、C 判定、B 判定が 20%弱発生し、床版の損傷としては進展期になっていると判断される。23 年目には、床版の損傷が C 判定、B 判定が急激に増加し上り線では 60%、下り線では 20%以上 (A 判定も発生) となっており、損傷としては加速期に入ったものと判定される。



【図-3】 M橋のパネル判定例(上段20年目 下段23年目)



【図-3.1】 パネル判定推移(上り線)



【図-3.2】 パネル判定推移(下り線)

【表-1】 RC床版の損傷メカニズムと評価手法

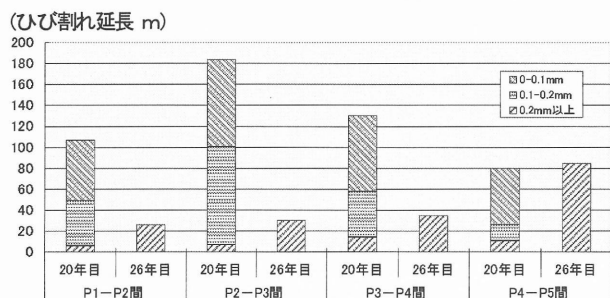
損傷メカニズム		NEXCOの点検要領 <sup>1)</sup>	道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上 (H16.11.土木学会、鋼構造委員会 道路橋床版の調査研究小委員会)	たわみによる評価	
潜伏期	① 版として挙動		遊離石灰及び2方向のひび割れが認められない。	ひび割れによる評価・判定	
	② 並列クラック		遊離石灰が一方に発生。遊離石灰を伴わないひび割れが二方向に発生。	【ひび割れ間隔と性状】 ひび割れは、主として1方向のみで、最小ひび割れ間隔が1m以上 【ひび割れ幅】 最大ひび割れ幅が0.05mm以下(ヘアークラック程度)	$\delta = \delta 0$ (D=0)
進展期	③ 方向曲げクラック		遊離石灰が二方向に発生しており、いずれの方向の間隔が50cm以上となっている。(亀甲状となっていない。またはその間隔が大きい。)遊離石灰を伴わないひび割れが二方向に発生しており、両方ともその間隔が50cm以下となっている。また、「D」でその進行の早いもの。	【ひび割れ間隔と性状】 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。	$\delta 0 \leq \delta \leq \delta c$
	④ 貫通クラック		一般部：遊離石灰が二方向に発生しており、両方ともその間隔が50cm以下で、その色が白いもの。また、「C」でその進行の早いもの。 継目部：施工継目において、遊離石灰が発生しており、その色が白いもの。	【ひび割れ間隔と性状】 0.5m~0.2m格子状に発生 【ひび割れ幅】 0.2mm以下がかなり目立ち部分的な角落ちも見られる	
加速期	⑤ 摺りき			【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以上が目立ち連続的な角落ちが生じている	$\delta) \delta c$
	⑥ 抜け落ち		一般部：遊離石灰が二方向に発生しており、両方ともその間隔が50cm以下で、かつ、遊離石灰が泥水、錆汁で変色している。また、「B」でその進行の早いもの。 継目部：施工継目において、遊離石灰が発生しており、泥水、錆汁で変色している。		

(2) ひび割れによる評価・判定 (26年目での評価)

床版委員会によるひび割れによる評価・判定の基本的な考え方はパネル判定と同じであるため、前記(1)と同様に判定される。

ひび割れの進展の変化をグラフにしたものが、図-4である。

20年目の時点では詳細調査を行っており全ひび割れデータが存在しているが、26年目では、ひび割れの補修を目的として調査されたものであり、0.2mm以上のひび割れ幅のデータしか存在しない。このため、0.2mm以上のひび割れで比較した結果、6年間で急激に劣化が進展していることが伺える。ひび割れの状況から判断し、26年目では加速期に至っていると判断される。

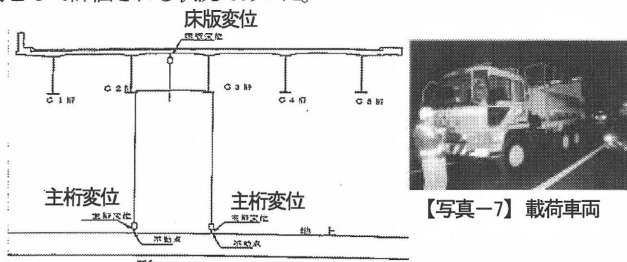


【図-4】床版下面のひび割れ状況

(3) たわみによる評価 (23年目時点での評価)

たわみによる評価は、床版の剛性にて評価するものであり、ひび割れが進展しているものは、当然のごとくたわみが大きくなる。M橋で実施した例では、床版を一度上面増厚(21年目)により補修しているため、増厚後の状況で判定したものを報告する。

床版のたわみについては、計測可能な散水車(写真-7)に水を満載しその重量を把握したものを載荷して計測した(23年目、図-5)した。また、床版の剛性については、上面増厚部が界面剥離や既設床版内の水平ひび割れもかなりの範囲に発見されていることから、全断面有効となるケースと重ね梁になっているケースの2ケースについて解析し、比較することとした。その結果、上面増厚部の剥離や既設床版内の水平ひび割れの影響により実測たわみは重ね梁として解析したものに近いものとなった。この値を用いて評価した結果は、 $\delta_0 < \text{計測値} \delta < \delta_c$ の結果<sup>3)</sup>となり、進展期として評価される状況であった。



$\delta$  : 床版中央に発生するたわみ (計測値)  
 $\delta_0$  : 全断面有効とした場合のたわみ  
 $\delta_c$  : 引張り無視した断面のたわみ  
 【図-5】床版たわみ計測

(4) 各種評価法の課題

パネル判定、ひび割れによる判定、床版たわみによる判定をそれぞれ時期は若干異なるが、同一の橋梁にて評価した事例を示した。その結果、ひび割れの評価とパネル判定では、進展期から加速期と評価でき、床版たわみでは進展期というような評価であった。パネル判定とひび割れでの評価は点検結果による評価に基づいたものであるため、同様の結果になると考えられる。しかし、ひび割れ幅などを現地にて計測することは点検のコストを考えると非常に高額になり現実的ではない。また、パネル判定も床版下面のみの評価であり、現状では床版上面の損傷がすべて評価できていないため、こちらについても課題が残る。

また、床版たわみを基に評価する方法は、定量的に最も比較しやすく、信頼できる方法であると考えられるが、床版の計測たわみ自体が非常に小さな値を計測する必要があることから、計測精度、計測位置等の課題や、初期値が判らないケースが多く、初期値を計算上で求める必要があることなどの課題が挙げられる。また、床版の損傷もパネルによって大きく異なるため、どの場所で測定するかなどの課題があることや、多数の床版を計測することは計測費用が高額となりコスト的な課題も伴う。

4. 床版上面側の状況

今までは、床版下面側からの評価について述べてきたが、床版の上面の評価をどのように床版全体の評価に加えるのかが1つの課題である。

非常に交通量の多い区間では、床版の疲労に伴う劣化が主となり、先に述べた手法である程度は評価されると考えられる。しかし、交通量のあまり多くない区間でも鋼橋床版の損傷は見られ、これらの特徴として床版下面のみの損傷ではなく、逆に床版上面のみが極端に悪いものが多く存在する。

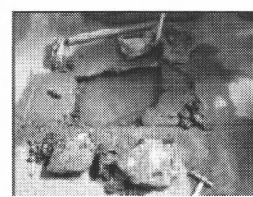
これらの床版は床版下面側の評価だけでは、床版全体としての評価とは言えず、床版上面側の評価を確実に取り込む必要がある。

(1) 床版上面側の損傷

床版上面の損傷は、写真-8、9に示すように路面(舗装面)にポットホールが発生し、舗装帯自体が剥がれるものやポットホールから泥水などがポンピング現象で噴出するものまで様々である。



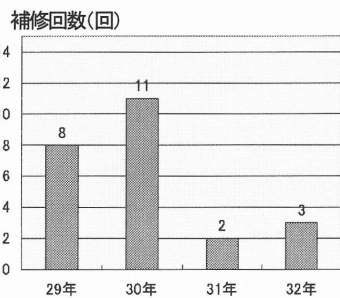
【写真-8】舗装面のポットホール(泥水の噴出状況)



【写真-9】床版の損傷(水の存在)

舗装のポットホールは、舗装自体に起因するもの、床版防水工に起因するもの、床版自体に起因するものがある。橋梁上のポットホールのほとんどは床版に起因したものが最も多く、次いで舗装自体の要因によるものとなる。

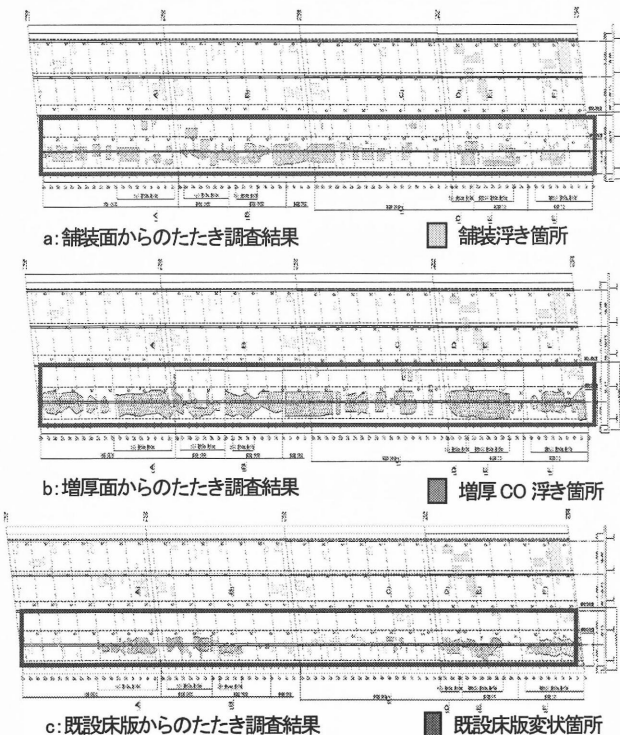
床版上面の状態を把握した例として、先に示した M 橋の例を示す。この橋梁は先ほど示したように、床版下面の劣化もある程度発生している橋梁ではあるが、床



【図-6】路面の補修回数

版上面側も図-6 に示すようにポットホールが近年急激に発生してきている。このため、路面（舗装面）からのたたき調査、増厚部からのたたき調査、既設床版からのたたき調査を行い、床版上面の評価を行うこととした。

図-7 にそれぞれ舗装面、増厚床版面、既設床版面の調査結果赤枠が調査範囲)を示す。調査した箇所は、交通規制の関係から路肩部と車線部に留まってはいるが、舗装面からの調査では調査面積の内20%が何らかの要因で浮きが発生していることが判明した。図の中段の増厚上面からのたたき調査の結果では、40%の浮き・はく離が確認された。図の下段に既設床版（増厚以前の床版面）状況を示すが、10%程度損傷していることが判明した。

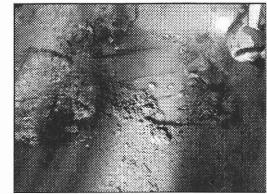


【図-7】床版上面の調査結果

既設床版の状況は写真-9, 10 示すように水の影響で土砂化・泥化している部分も多数見られた。



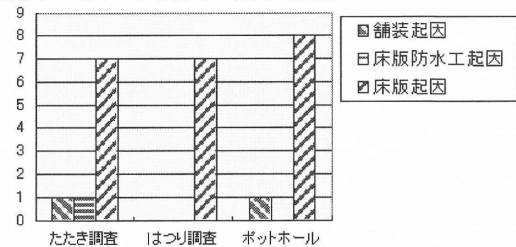
【写真-9】床版上面コンクリートの土砂化(水の存在あり)



【写真-10】床版上面コンクリートの砂利化(水の存在)

また、図-8 に他の橋梁での調査結果を示すが、こちらにおいても橋梁上の舗装の損傷要因は、一部舗装自体によるものを除きほとんどが床版起因によるものであった。これらの調査結果から、橋梁上の舗装のポットホール、浮きなどの損傷（舗装自体のひび割れを除く）を調べることで、床版上面の損傷をある程度把握できるものと思われる。先に示した M 橋のように上面増厚が施工されている橋梁では、上面増厚部の剥離と既設床版の損傷を把握することで、既設床版自体の評価が可能となるものと思われる。

補修回数(回) 【図-8】橋梁部の舗装の損傷要因



## (2) 床版上面側の損傷要因

床版上面の損傷については、極端に床版厚さが不足し、交通荷重による疲労損傷によるもの以外に、床版上面側のかぶりが少ないことに起因し、凍結防止剤、防水工の不備（設置なし）などによるもの、初期コンクリートの品質が劣るため初期ひび割れなどに起因するものなどがある。特に、床版上面のかぶりが少ないものは、凍結防止剤の影響により上側鉄筋の腐食、鉄筋の腐食膨張に伴うかぶりコンクリートの劣化による床版上面の損傷のみが進行し、床版下面からの劣化はほとんど見られないものが多い。しかし、これらの橋梁は、ある時期を境に急激に遊離石灰の漏出や、ひび割れが進展し、表-1 に示している劣化メカニズムの潜伏期、進展期の時間軸と異なり早くなっていることが予想される。

従って、このような床版の場合には、床版下面のみでなく、床版上面の評価を十分に行うことが重要である。

## 5. 鋼橋 RC 床版の評価

### (1) 床版上面の評価手法

先に述べたように鋼橋の RC 床版は、劣化要因、劣化加速要因

により劣化状況が異なっている。このため、床版下面の評価に加え床版上面の評価とを複合的に評価することにより、床版全体の評価とすることが望ましい。

床版全体を評価する手法としては、先ほど述べた床版たわみによる方法が床版の剛性で評価されたものであるため、床版全体の評価に繋がるものと考えられるが、すべての床版を計測することは不可能であり、もう少し簡易に評価できる手法が望まれる。

現在のNEXCO 西日本の要領(表-2)<sup>4)</sup>には、床版上面の劣化度判定があるが、この劣化度判定では、劣化度を判定する場合には、舗装の補修頻度、コンクリートの劣化状況、鉄筋の腐食状況などから判定することになっている。これに現地での調査方法による判定結果を組み合わせ、コア調査、非破壊調査、水の有無などの状況によっては判定を設けることにより、現地での簡便な調査手法も含めた新たな判定が可能になると考えられる。

【表-2】床版上面の劣化度判定(NEXCO 設計要領 第2集)

劣化度	床版の状況
IV	舗装の補修頻度が高く、舗装を剥ぎ取った床版上面のコンクリートがブロック化や泥状化し、鉄筋が露出して断面欠損している。また、床版下面にも遊離石灰等が見られる場合が多い。
III	舗装の補修頻度が高く、舗装を剥ぎ取った床版上面コンクリートがブロック化している。鉄筋が一部露食しているが、断面欠損は見られない。
II	舗装を剥ぎ取り、床版上面の調査をした場合に、一部分に上記IV、IIIの劣化・劣化が見られるが、健全な箇所が多い。

理想的には表-3にあるように、床版上面の評価を加えるためには、床版上面の損傷状況を的確に掴む必要があるが、現実的には舗装を全て撤去し、開削調査を行うことは現実的ではない。そこで、開削調査結果、床版上面の過去の補修履歴、コア調査、非破壊検査等による調査手法より評価する手法を主として新たな判定を取り入れる方法として表-3を新たに提案することとした。

【表-3】新たな床版上面の劣化度判定(案)

新判定	床版の状況	判定の基準
S1 (IVに準拠)	対象パネルに浮き・剥離が生じており、床版コンクリートの砂利化、泥化が発生している。(水が存在している) コア調査により、水平ひび割れ等が確認され、水が存在するもの。	劣化が著しい 緊急的な補修が必要
S2 (IIIに準拠)	対象パネルに床版上面に浮き・剥離が生じているが、砂利化、泥化には至っていないもの。(水は存在しない) コア調査により、水平ひび割れ等が確認され、また、非破壊検査により、内部損傷が確認されたもの。	劣化が大きい。 早急な補修が必要
S3 (IIに準拠)	対象パネルに浮き・剥離が発生しているもの。舗装のボットホールがあり、床版起因によるもの。	劣化が大きくなりつつある。適切な時期に補修が必要
S4	対象パネルに浮き・剥離が発生していない。舗装のボットホールがあるが、舗装の劣化によるもの。	定期的な点検が必要

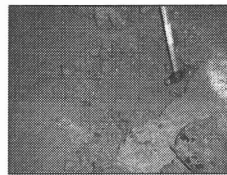
(2) 複合評価手法(案)

床版上面と床版下面の劣化しているパネル位置が合致している場合、床版の耐荷性能が上側からと下側からと両面から低下することになるため、耐荷性能の低下は大きいと考えられる。このため、上面と下面の劣化位置(パネル)が合致しているかどうかの確認を行い、複合評価を行うこととした。床版下面の損傷と上面の損傷が一致していない場合においても、床版上面の損傷状況によっては、床版下面に水の浸透等により劣化が急激に進行する

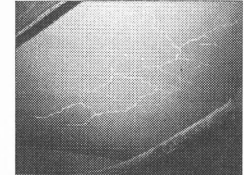
ことが考えられるため、こちらも評価することとした。床版上面と下面の総合評価は、表-3に示すSS~SEの評価とした。この評価においては、S4が現況の床版下面単独の評価であり、表-1のパネル判定に伴うスパン判定に一致するように考慮した。

【表-3】複合パネル評価指標

総合評価	床版上面評価				判定の基準
	S1	S2	S3	S4	
床版下面評価	A	SS	SS	SS	SA
	B	SS	SS	SA	SB
	C	SS	SA	SB	SC
	D	SA	SB	SC	SD
	E	SB	SC	SD	SE



床版上面の状況 パネル判定S1



床版下面状況 パネル判定B

【複合パネル判定 SSの例】

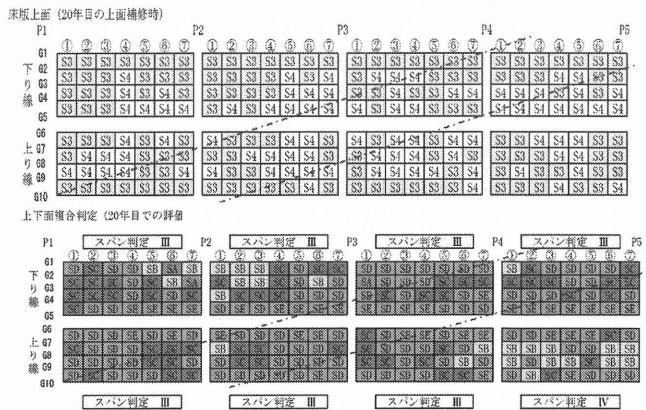
また、床版上面と床版下面の総合評価としての橋梁スパン毎の評価としては、NEXCO 西日本の従来の設計要領(保全編)の考え方に準拠し評価手法を作成した。NEXCO 西日本の要領では、Bパネルが床版全体の40%以上ある場合をランクV判定(劣化が著しく、緊急的な対策が必要)としている。今回の複合判定によるスパン判定においても、床版上面の評価がS1(損傷無し)は、従来と同様の評価となるため、考え方を踏襲し、表-5に示すように複合スパン評価手法を作成した。

【表-4】複合スパン別床版(支間×幅員)の損傷度判定(案)

劣化度	床版の状況	判定の基準
V <sub>1</sub>	床版のパネルの40%以上にSB以上の劣化がある。	劣化が著しい。緊急的な対策
V <sub>2</sub>	床版のパネルの30%以上にSB以上の劣化がある。	劣化が大きい。早急な対策
III <sub>1</sub>	床版のパネルの40%以上にSD以上の劣化がある。	劣化が進行し、適切な時期に対策
II <sub>1</sub>	床版のパネルの30%以上にSD以上の劣化がある。	劣化は小さい。適切な時期に対策
I <sub>1</sub>	床版のパネルの30%未満にSD以上の劣化がある。	劣化は小さい。部分的な補修

(3) 複合判定の事例

先ほどのM橋にて複合判定の例を示す。床版上面については、床版上面増厚工事を実施した時点での床版上面の補修状況から補修跡をS3、その他をS4と判定した。床版下面については、図-3の20年目のデータにて行った結果を図-9に示す。



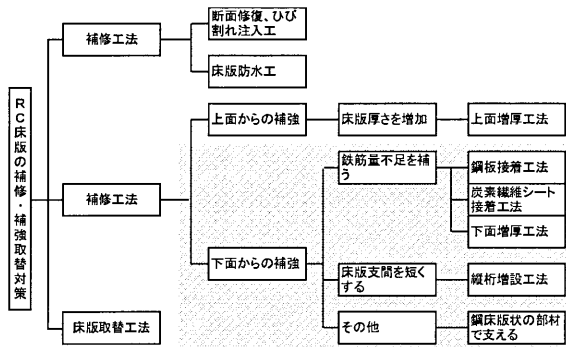
【図-9】複合判定結果(20年目)(上段:上面の評価 下段:複合判定結果)

本橋の20年目の床版下面結果では、進展期から加速期に入った状況と評価されていたが、複合判定結果では、各スパンともⅢFで判定され、劣化が進行し適切な時期に対策が必要との結果となっている。当事の状況から考えた場合には、床版下面の剥離が頻発し、床版上面についてもポットホールが多発し、床版の部分補修と床版上面増厚を行ったことを考えれば、この新たな複合評価手法は、妥当なものと考えられる。また、上り線より下り線側の状況が悪かったことが良く評価でき、さらに、下り線側の第1走行部の損傷も良く評価できており、現実に近い評価が可能になっているものと考えられる。

他の橋梁においても同様に複合判定を実施した結果、現況を非常によく反映させることが可能となった。

#### (4) 複合判定の活用

床版の補修補強<sup>5)</sup>については、図-10に示すような補修工法があるが、どの工法を採用するかは、劣化要因と劣化度評価によって異なってくる。この床版の劣化度評価に複合判定を用いることによって、打ち換え範囲(パネル)の決定、または、床版の取替えの判定などに使用できるものと考えられる。



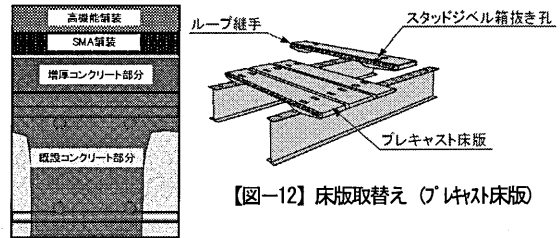
【図-10】 床版の補修・補強の工法選定

複合判定のランクをどのランクで床版打換えの必要があるかは、今後データの集積等が必要などころではあるが、現地の状況等を参考に最終的には判定できると思われる。

複合判定を用いて、床版の打ち換え範囲を決定できれば、床版の取替えとLCCの検討を行うことも可能となる。

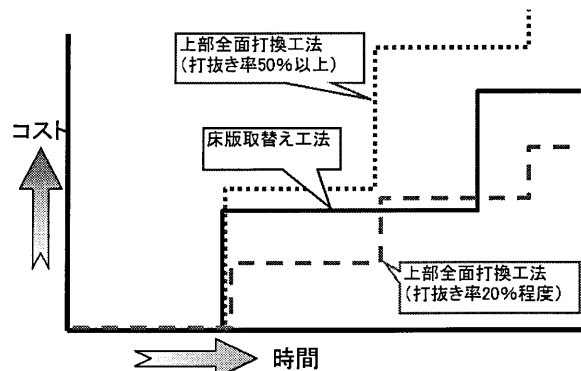
この複合判定を用いLCCの検討を行い、鋼橋床版の補修計画を検討した事例を紹介する。この橋梁では、現地状況と各種調査結果から判断し、SB相当が床版上面、下面側も劣化が大きいため床版全面を打ち換えとして検討した。LCCの検討としては、図-11に示す、床版上面の上側鉄筋位置までをウォータージェットにて撤去し新設コンクリートを打設する工法と図-12に示すプレキャスト床版による取替え工法について比較検討した。LCCの検討結果を図-13に示す。ここでの検討結果では、LCCの検討を行った

結果、プレキャスト床版での取替えが優位となった。



【図-11】

上部全面打替工法+部分打抜き



【図-13】 床版補修のLCCの検討例

## 6. 終わりに

床版の劣化の状況は個々に異なり、その要因もまた同様に個々に異なる。先に述べたように、床版の評価を適切に行うことが、今後の補修計画に結びつくものであるため、十分に議論し評価を行うことが重要である。今後は、鋼橋の床版等の補修が増大することは明らかであり、ますます床版の評価は重要になってくるものと思われる。今回、ここで述べた評価手法は1つの提案であり、今後の床版評価について現地での評価の参考になれば幸いである。

謝辞: 本検討については、(財) 高速道路技術センター「平成18、19年度 重交通区間における鋼橋床版の補修に関する技術検討」委員会(委員長: 日野伸一九州大学教授)の委員をはじめとする各位に貴重なご意見を頂いた。ここに深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 西日本高速道路㈱ 点検要領(平成18年4月)
- 2) 社) 土木学会 鋼構造委員会 道路橋床版の調査研究小委員会「道路橋床版の設計の合理化と耐久性の向上」(平成16年11月)
- 3) 財) 高速道路技術センター「既設鋼橋コンクリート床版の補強に関する検討」(平成13年3月)
- 4) 西日本高速道路(株) 設計要領第Ⅱ集(平成18年4月)
- 5) 国土技術政策総合研究所資料 「道路橋床版の疲労耐久性に関する試験」(平成14年3月)