

鋼橋の詳細調査と疲労損傷対策方針

山崎 秀弘

関東地方整備局 関東技術事務所 維持管理技術課 (〒270-2218 千葉県松戸市五香西6-12-1)

道路橋の高齢化が急速に進みつつある下で、安全・安心に利用できる道路施設を、最適に維持管理していくために、予防保全・長寿命化を進めることが課題となっている。本稿は、鋼橋の疲労損傷について、詳細調査を実施し損傷要因を明らかにし、その対策方針について検討を行った内容について記述する。

キーワード 道路橋、高齢化、予防保全・長寿命化、詳細調査、疲労損傷

1. はじめに

一般交通の用に供する道路は生活に欠かすことのできないものであるが、その重要な道路施設である「橋梁」は、高齢化に伴って通行止め、大規模修繕、架け替え等の対応を余儀なくされる状況が高まりつつある。

国内には道路橋が約68万橋、このうち橋長15m以上は約16万橋存在しており、建設後50年を超える橋梁数は現在は1割程度であるが、20年後には5割を超える。

直轄国道約11,000橋の橋梁点検検査結果において、建設後の経過年数が長いほど、補修を必要とする割合が確実に増加する傾向が明らかとなっており、ライフサイクルコストの最小化、長寿命化を図るため、予防保全、長寿命化修繕計画を進め、橋梁の効率的、効果的な維持管理を行っていくことが求められている。

関東地方整備局が管理している道路橋は約2800橋あるが、このうちの47%が鋼橋。平成15年度から「橋梁定期点検要領(案)」に基づく橋梁定期点検検査を5年ごとを基本に実施しているが、最新の点検結果では、C判定（速やかに補修等を行う必要がある）が37%、S判定（詳細調査を行う必要がある）6%、E判定（緊急対応の必要がある）0%である。なお、主な損傷原因は、鋼橋では「疲労」が最も多く約32%に及ぶ。また、速やかに補修等を行う必要があると判定された損傷が最も多いのは主桁で腐食が49%、塗膜割れを含む亀裂が39%という状況にある。

本報告は、定期点検検査結果を踏まえ、平成21～23年度に詳細調査を実施した21橋及び平成16年度に鋼床版の詳細調査（磁粉探傷試験含む）を実施した1橋について、詳細調査の内容と確認された損傷の現状から亀裂の要因を分析し、鋼橋疲労損傷に対する対策及び課題と今後の方針について報告するものである。

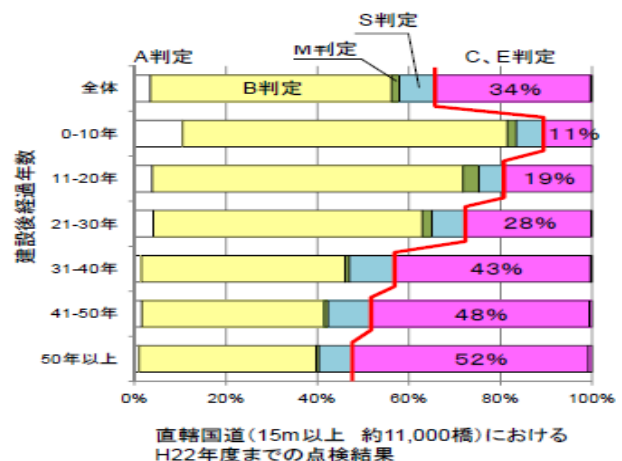


図-1 建設後経過年数ごとの対策区分判定

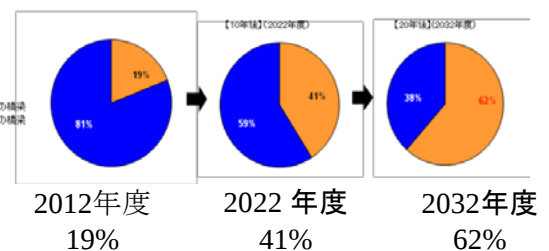


図-2 管内の建設後50年経過する橋梁の増加

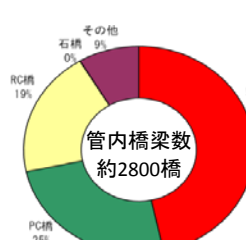


図-3 橋種別割合 鋼橋47%

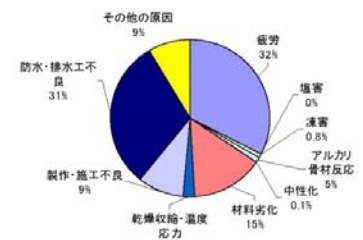


図-4 鋼橋S/E判定割合 疲労32%

2. 調査概要

調査は、橋梁点検検査の対策区分判定S（詳細調査の必要がある）と判定されたうちの鋼橋21橋について、①既往の調査結果、周辺状況等把握したのち、土木研究所CAESARから技術的指導を受け、②詳細目視調査、磁粉探傷試験、超音波探傷試験、切削調査、マクロ調査、荷重車動的測定、応力頻度他測定、FEM解析等を実施、③詳細調査結果の分析・整理、損傷要因の推定を行い、対策方針を検討した。

最も状態が悪かったK橋では3647m2の詳細目視調査、2965箇所の磁粉探傷試験を行った結果1783箇所の亀裂を確認。さらに輪荷重直下部を対象に超音波探傷試験を実施し、亀裂深さが4mmを超えデッキプレート進展亀裂と推定されるものが142箇所確認された。

表-1 対策区分判定

判定区分	判定の内容
A	損傷が認められないか、損傷が軽微で補修を行う必要がない。
B	状況に応じて補修を行う必要がある。
C	速やかに補修を行う必要がある。
E1	橋梁構造の安全性の観点から、緊急対応の必要がある。
E2	その他、緊急対応の必要がある。
M	維持工事で対応する必要がある。
S	詳細調査の必要がある。

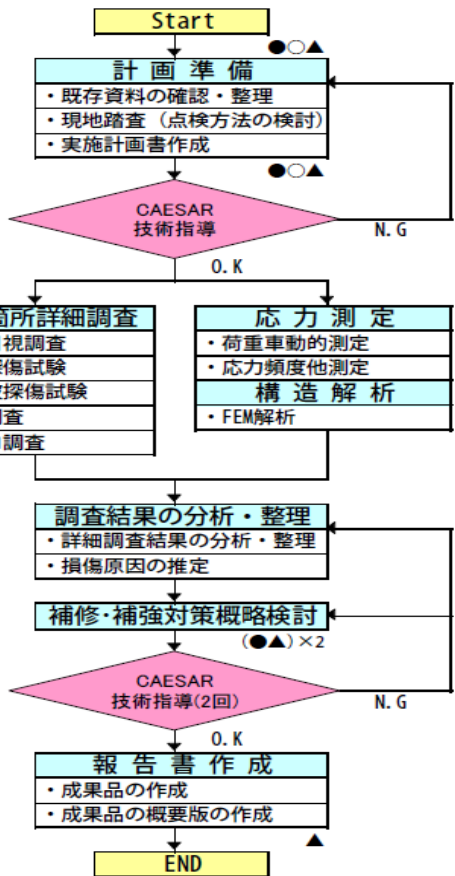
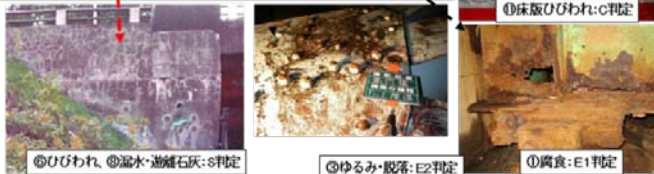


図-5 実施フロー

表-2 非破壊による詳細調査方法

目的	試験名	試験方法	特徴
表層部を確認する試験	目視試験 (VT)	肉眼により、きずの有無や部材の変形、異常を検出する方法。近接目視で確認し、必要に応じて拡大鏡などを用いる。	材料、構造物などすべてに適用できる最も基本的な方法。
	磁粉探傷試験 (MT)	試験体を磁化させて磁粉を表面に散布し、割れなどの部分に吸着されてきた磁粉模様により、表面きずを検出する方法。	磁化する金属のみに適用可能。表層直下のきずも検出できる。
	浸透探傷試験 (PT)	構造物に浸透液を塗付し、その後洗浄除去し、傷や亀裂内に残った浸透液を検出する方法。	比較的少ない材料で探傷出来、機動性に優れる。精度は劣る。
内部を確認する試験	放射線透過試験 (RT)	放射線が物質を透過する程度は、物質の種類と厚さより決まる性質を利用し内部キズの情報を検出する。	様々な材料の内部きずの有無や形状を調べることが可能。装置が高価。
	超音波探傷試験 (UT)	試験体に超音波を伝搬させて、きず等から反射されるエコーにより、きずの有無あるいは距離情報を得る。	内部きずの有無、位置等を調べることが可能。(非金属も可)

磁粉探傷試験

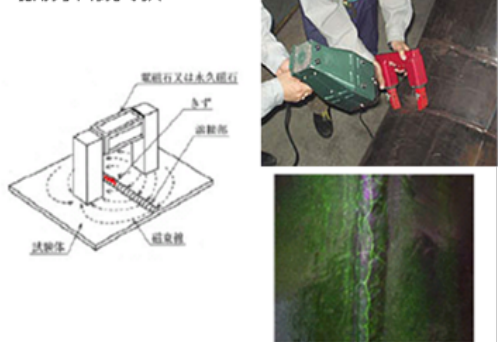


図-6 磁粉探傷試験状況

超音波探傷試験



図-7 超音波探傷試験状況

3. 調査結果

詳細調査の結果、多種多様な鋼橋疲労亀裂が確認された。全体では約4000箇所、30m²当たり1箇所の割合になった。なお、今回は調査した橋梁は上部工形式が鋼床版のものが77%あるため、鋼床版に着目して報告する。

鋼床版は、薄板のデッキを立てリブで補剛した床版で舗装のみを介して車両荷重が伝達される構造である。上部工死荷重が軽減されることにより、長大橋や軟弱地盤上の都市地域などで採用される。

鋼床版の損傷は、横リブーUリブ交差部が最も多く43%、デッキーUリブ溶接部26%、デッキー垂直補剛材22%の順に多い。また、危険な亀裂に分類されるデッキーUリブ溶接部(デッキ進展)及びUリブ突き合せ溶接部で11%に及ぶ。

- ・母材へ進展した亀裂は、早い対応が必要
- ・デッキへの亀裂進展は要注意

表-3 詳細調査実施橋梁の概要及び亀裂状況

NO	橋梁	竣工年	適用基準	橋長[m]	幅員[m]	交通量(昼24時間)	大型車混入率	鋼橋径間数	亀裂発生径間数	亀裂発生径間の上部工形式	発生亀裂	詳細調査年度・亀裂数		
												H21	H22	H23
1	A橋	1981	S55	34.8	18	20,077	30.0 %	1	1	単純箱桁	G3	12		
2	B橋	1967	S39	54.36	12.2	34,524	32.1 %	2	1	単純鉄桁	G1c	8		
3	C橋	1977	S47	58.8	10.7	24,188	53.9 %	9	1	単純鋼床版箱桁	SD1、SD2、	189		
4	D橋	1979	S47	751.1	13.75	24,188	53.9 %	9	3	連続鋼床版箱桁	SD3	139	176	
5	E橋	1978	S47	354.8	10.3	24,188	53.9 %	10	1	単純鋼床版箱桁	G4(ハンド		69	
6	F橋	1974	S47	31	14.75	51,728	28.8 %	1	1	単純鋼床版鉄桁	G1a	98		
7	G橋	1972	S39	37.22	8.5	37,086	30.9 %	1	1	単純鉄桁	G2	23	0	
8	H橋	1975	S47	412.9	13.5	80,585	42.2 %	8	-	連続鋼床版箱桁	SD2、SD4a	232	0	
9	I橋	1977	S47	412.9	13.5	80,585	42.2 %	8	1	連続鋼床版箱桁	SD1、SD2		101	
10	J橋	1983	S39	577.2	15	60,594	37.2 %	8	7	単純鋼床版箱桁	SD1、SD2、	28	31	
11	K橋	1989	S39	556	15	60,594	37.2 %	8	2	連続鋼床版箱桁	SD1、SD2、		1041	742
12	L橋	1973	S39	502.1	8.7	67,544	19.6 %	13	4	単純鉄桁	G2			71
13	M橋	1977	S47	472.8	16.65	67,544	19.6 %	5	2	連続鋼床版箱桁	SD3			9
14	N橋	1982	S53	472.8	13.9	67,544	19.6 %	5	3	連続鋼床版箱桁	SD3			8
15	O橋	1972	S39	479.1	17.1	45,584	16.2 %	7	2	連続鋼床版箱桁	SD4a		23	
16	P橋	1969	S39	529.1	17.81	50,765	17.7 %	10	2	単純箱桁	G1a		11	
17	Q橋	1971	S39	457.2	7.9	47,131	12.3 %	15	1	単純鉄桁	G2		79	
18	R橋	1978	S47	603.6	17.5	76,088	19.3 %	14	3	連続鋼床版箱桁	G3		62	
19	S橋	1996	H06	840	14.9	64,494	42.9 %	7	2	連続鋼床版箱桁	SD1、SD2、		648	
20	T橋	1984	S55	391.8	11.5	38,417	49.2 %	5	3	連続鋼床版箱桁	SD1		116	
21	U橋	1972	S39	266.7	16.45	33,181	31.4 %	11	11	単純鉄桁	SD1	52		
												781	2,357	830

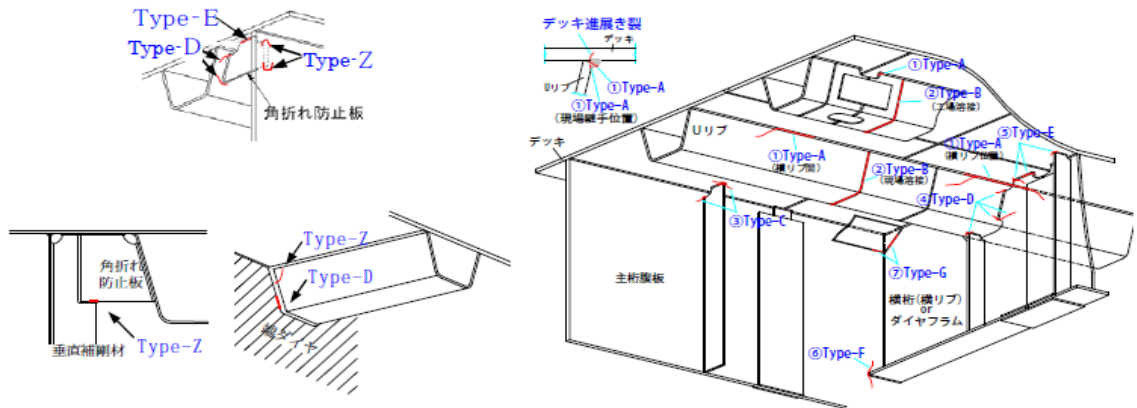


図-8 亀裂発生箇所の概略図

表-4 K橋の亀裂発生箇所別一覧

		G1	中床版	G2	合計	母材進展	
A	デッキーUリブ	106	125	2	233	18	Uリブに進展、1箇所のみデッキ側にも進展
D	角折ーUリブ	584	92	303	979	322	Uリブに進展
D	横リブーUリブ交差	393	57	104	554	62	Uリブに進展
D	Uリブー端ダイヤ	1			1		
B	Uリブ突き合せ		1		1		ビード内のみで進展
E	デッキー横リブ		1		1		ビード内のみで進展
Z	角折ー垂直補剛材	1			1		
Z	主桁ウェブ角折	2	3		5		G1の2箇所が主桁ウェブ側止端
Z	Uリブー端ダイヤ			8	8	8	スカーラップ埋め跡
	き裂総数	1087	279	417	1783		



図-9 損傷状況 A

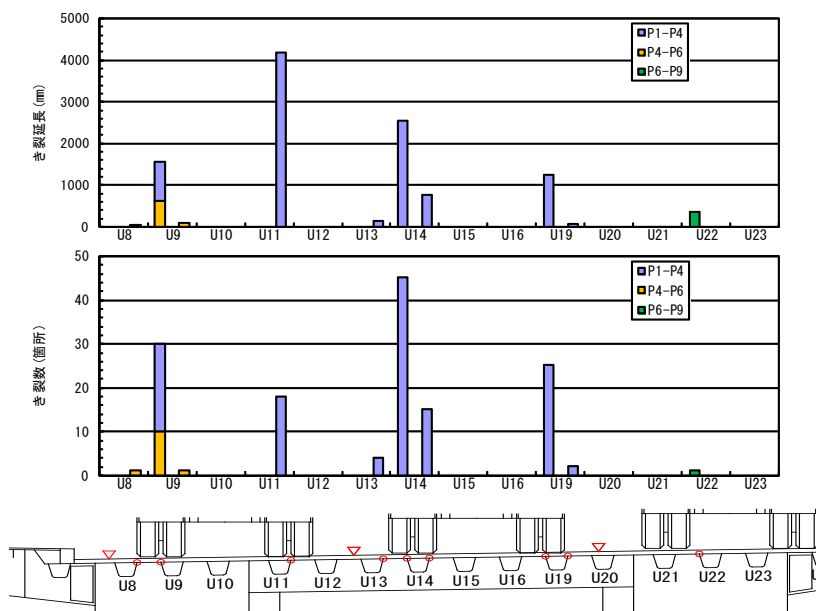


図-10 亀裂発生分布（横断方向）【デッキ進展亀裂】*供用22年（左）一部14年、（右）8年

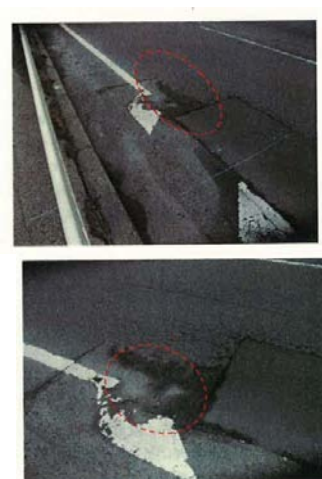


図-11 路面状況

2回の補修跡が確認できる。また、該当Uリブ上にもひび割れが確認できる。デッキ進展亀裂の可能性大

4. 亀裂の要因

調査結果の分析から亀裂要因を示す。

要因1 車両輪荷重(交通量が多く、大型車混入率も高い)の直接载荷による局部的な板曲げによるものと推定される。

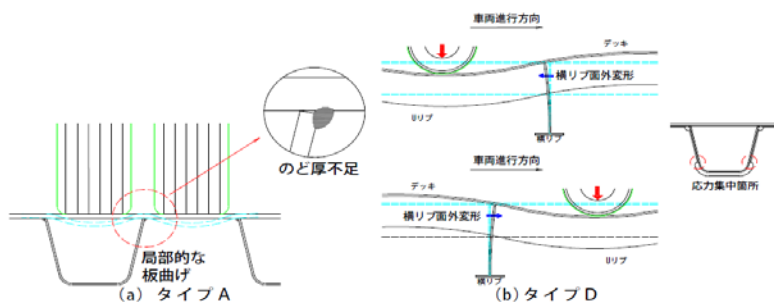


図-12 輪荷重による

要因2 疲労設計（直応力、せん断応力が疲労設計曲線）を超える疲労寿命によるものと推定される。

溶接継手の疲労設計曲線

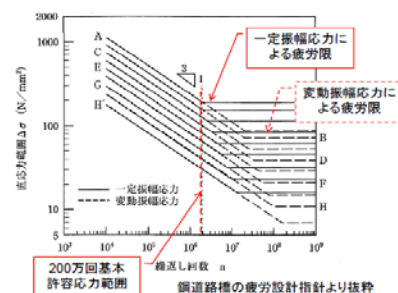


図-13 疲労設計曲線

要因3 構造上の問題（ダイアグラムの控え部材、切り欠き部の補強）による疲労亀裂と推定される。

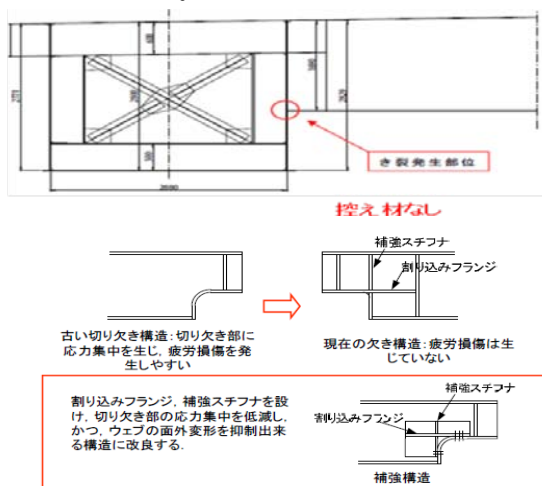


図-14 構造上の問題箇所

要因4 溶接の施工不良（溶込み不足、のど厚不足など）による疲労亀裂と推定される。

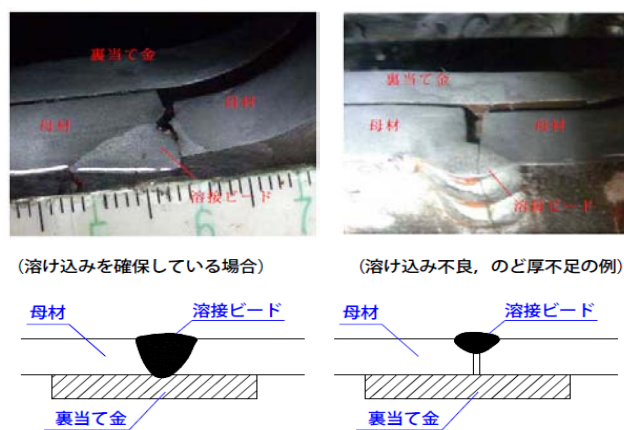


図-15 溶接の施工不良

5. 対策方法

調査結果から考えられる主な対策を示す。

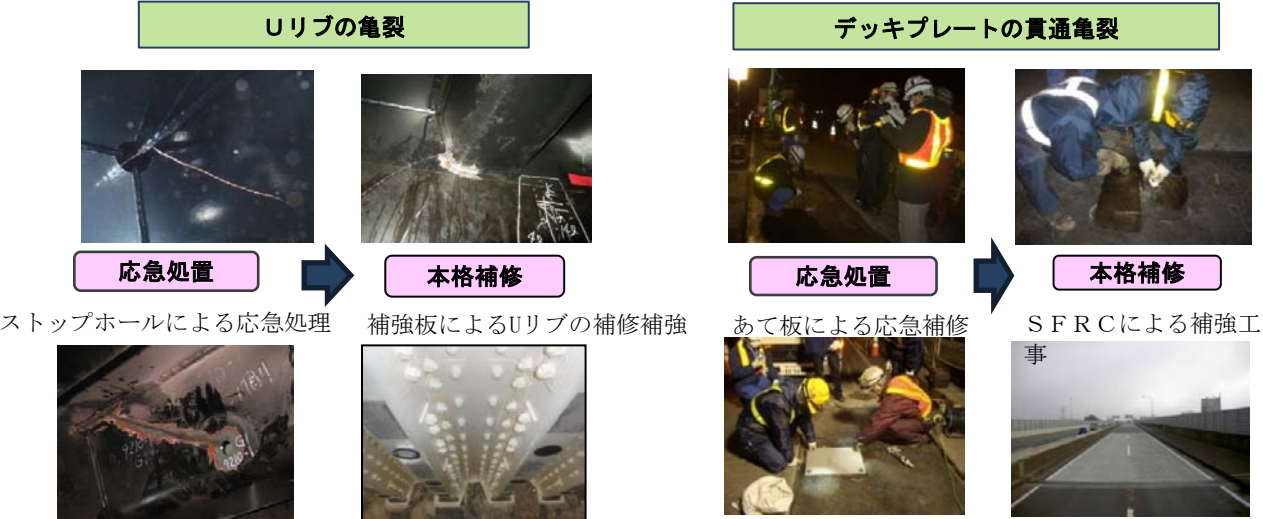


図-16 鋼床版の疲労損傷の対応

- 対策1 一時的な対策としてストップホールを空け、応力の集中を緩和する。
- 対策2 亀裂部分をガウジング等で除去し、再溶接する。
- 対策3 あて板を高力ボルトで取り付け補強する。またはUリブを取り替える。
- 対策4 デッキ上面に鋼板を高力ボルトで固定し、デッキ貫通部を補修する。

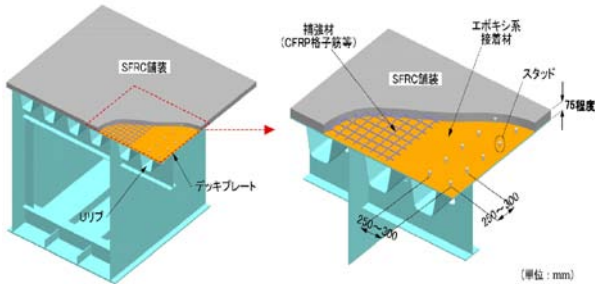


図-17 SFR C舗装の概要図

- 対策5 鋼床版補強用SFRC舗装により車両の輪荷重を分散することで、曲げをなくす。
- 対策6 設計時に想定しない挙動があることを考慮し、①施工しやすい構造（品質劣化を防ぐ）、②点検等が容易にできるよう点検路等を当初設計に反映する。

表-5 デッキ上面からの補強工法一覧

	SFR C 舗装案	SFR C+As 舗装案	当て板補強案
概略図			
構造	・ AS 舗装→SFRC 舗装。 ・ 鋼板とは接着剤 or スタッドにより合成させる。	・ AS 舗装→基層 SFRC、表層 As 舗装。 ・ 鋼板とは接着剤により合成させる。	・ 鋼板を高力ボルトにより接合する（車輪直下のみ）。 ・ 肌隙調整のため鋼板間に接着剤を使用。
特徴	・ デッキの剛性向上により局部変形の抑制。 ・ 応力低減効果は最大。	・ デッキの剛性向上により局部変形の抑制。 ・ 都市部における交通騒音に対して効果的。	・ デッキの剛性向上により局部変形の抑制。 ・ デッキ貫通亀裂に対する応急補修実績あり。
課題	・ ひびわれ、防水対策 ・ 耐久性	・ ひびわれ、防水対策 ・ As 舗装下の SFRC の点検。	・ 高力ボルト継手部の処理。 ・ 死荷重増（約 200kg/m/車線）。

6. 課題と今後の方針

(1) 課題

詳細調査の結果次第では、早急に対応が必要な場合があるが、詳細調査が速やかに対応し切れていない。
長大橋においては、全量調査すると時間と予算が膨大となり、単年度での対応が難しい。
足場等の設置なしに詳細調査を実施できない橋梁があり、実施の準備に時間と予算が必要となり、Uリブにおける内在切れるの詳細調査の実施方針が定まっていない。
鋼橋疲労損傷に関する技術力が不足している。

(2) 対策方針

詳細調査を補修補強工事に含めて行うことで、足場の設置等の軽減を図る。
長大橋における長寿命化修繕計画の一般化（方針）を図る。
詳細調査、補修補強の新技術の活用、開発。
鋼橋疲労損傷に関する技術力の向上。
最後に、橋梁の点検検査の結果を踏まえ、管理事務所において、適切な管理が図られることを期待する。
関東技術は今後とも技術的支援を行っていく考えである。