

鋼構造生産システム研究会

橋梁設計部会 Cグループ

維持・補修関係の調査研究

平成16年 4月

【鋼生研設計部会 Cグループ 維持・補修関係の調査研究 - 報告書】

【目次】

活動記録	4
1章 はじめに	5
2章 各部位の補修・補強事例	6
2 - 1 R C床版の損傷と補修・補強事例	
2 - 1 - 1 R C床版の損傷と補修・補強事例	
2 - 1 - 2 補修事例	
2 - 1 - 3 補強事例	
2 - 1 - 4 取替事例	
2 - 2 鋼材の腐食に関する事例	
2 - 2 - 1 塗替え・補修事例	
2 - 2 - 2 新材料・特殊工法事例	
3章 維持管理要領・補修工法・コストの調査	24
3 - 1 R C床版	
3 - 1 - 1 維持管理点検要領	
(1) 点検	
(2) R C床版の点検調査	
(3) 各機関の点検要領	
3 - 1 - 2 補修・補強工法	
(1) 工法別施工フロー	
(2) 損傷レベルによる工法選定	
3 - 1 - 3 コスト試算	
3 - 2 鋼材の腐食	
3 - 2 - 1 塗装橋梁	
(1) 施工フロー	
(2) 塗替え塗装の調査項目	
(3) 調査手法と評価基準	
(4) 劣化レベルによる素地調整法など	
(5) 塗り替え工法	
1) 塗装	
2) その他工法	
(6) 工法別コスト調査(試算)	
3 - 2 - 2 耐候性橋梁	

4章	橋梁形式別のL C Cの試算 ならびに鋼橋のコスト縮減に関して	57
4 - 1	橋梁形式別L C C試算	
4 - 2	鋼橋のコスト縮減要素の紹介	
5章	おわりに	63
6章	参考文献・資料一覧表	64

活動記録

1 活動テーマ

「維持・補修関係の調査研究」

2 活動期間

平成14年9月～平成16年4月

活動記録

第1回WG 平成14年 9月10日(火) 文献紹介、WG方針(目次策定)

以下WGにおいては、随時資料等を収集、紹介ならびに議論

第2回WG 平成14年 12月12日(木) 文献紹介、研究調査概要、計画

第3回WG 平成15年 3月20日(木) 収集した文献資料より、議論と今後の計画
中間発表に関して

第4回WG 平成15年 6月26日(木) 報告書取り纏め方針と今後のスケジュール
の再確認

第5回WG 平成15年 10月 3日(金) 進捗状況の確認

第6回WG 平成16年 1月22日(木) 報告書新規追加と報告書取り纏めに関して

第7回WG 平成16年 4月21日(水)～ 4月22日(木)
報告書取り纏め、ならびに新規追加

3 ワーキング活動メンバー

	会社名	氏名	()内は旧委員
	JFEエンジニアリング(株)	佐藤 豪	
サブ	新日本製鐵(株)	林 昭男	(中村 宏一)
チーフ	住友金属工業(株)	中川 敏之	
	(株)中央コーポレーション	伊藤 薫	(兵田 幸男)
	豊平製鋼(株)	奥泉 諭	
	(株)檜崎製作所	西村 公利	
	(株)ハルテック	重田 光則	(鈴木 健太郎)
	藤木鉄工(株)	永田 素記	
	(株)横河技術情報	早坂 賢一	

1章 はじめに

鋼橋に関する維持補修分野は多岐に渡っており、またその技術に関しても多方面の分野で研究・開発され、その成果が実施されている状況と考えられる。

また、各官公庁においても、維持・補修に関する基準はある程度整備され、実際に損傷した鋼橋の補修工事も数多く施工されているのが現況である。

しかしながら、鋼橋の設計に携わる立場の我々として、実際の業務で維持・補修に関する技術的な情報を得る機会は少なく、鋼橋メーカーの立場としては、携われる工種も限られているのが現状である。

鋼橋においては、その安全性や寿命を決定付ける重要な因子は腐食と疲労である。

項目としては、RC床版の疲労損傷、鋼橋の疲労損傷、鋼材の腐食、付属物の損傷などが、項目として考えられる。

本報告書では、その中でも代表的な項目であり、かつ維持補修費用としても大きな割合を占めるとされている項目として、腐食に関しては鋼橋の塗装の劣化（鋼材の腐食）を、また疲労に関しては、RC床版の疲労損傷に着目した。

それぞれの項目に対して、第2章において補修事例をとりまとめ、また新材料・特殊工法等の事例調査をおこない紹介することとした。

また第3章においては、現状どのような点検が具体的に実施されているのかを把握する目的で、各種機関（官公庁）での維持補修の点検要領を調査し、横並びに取り纏めて紹介することとした。

さらに、実際に行われている、補修工法・施工フローの調査を実施し、実際に行われている維持・補修技術の現状を確認することとした。

最終的には、各工法のコストを調査することで、橋梁上部構造全体に関するライフサイクルコストを、橋梁形式別、床版形式、防錆仕様をパラメータとし、WGとしての提言を行った。

以上

2章 各部位の補修・補強事例

2 - 1 R C床版の損傷と補修・補強事例

2 - 1 - 1 R C床版損傷実態と補修・補強方法

R C床版は輪荷重が直接載荷され、設計応力における活荷重の影響が大きく、旧設計基準による配筋不足、床版厚不足に加えて、過積載車輛による影響等により、ひび割れ損傷、耐久性、耐荷力不足を招くようになる。

床版損傷の進行過程として次の項目が挙げられる（図2 - 1 - 1 . R C床版損傷メカニズムを参照）。

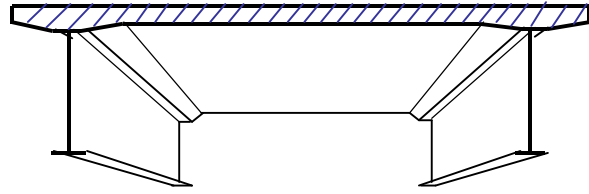
- 一方向ひび割れの発生
- 二方向ひび割れの発生
- 二方向ひび割れの拡大
- ひび割れ幅の拡大
- 抜け落ち現象

補修・補強工法としては、工法面（保全技術）からの最適な方法は、床版上面を増厚し防水層を施し、床版下面にはコンクリート片落下防止のためにFRP接着工法を行うのが望ましい方法である。しかし、現状では、施工費用、交通規制等による施工工期等により工法が選定されている。下表（表2 - 1 - 1（1））に維持補修分類と補修・補強方法を記し、次に損傷の進行過程に沿った、補修・補強方法の主な事例を記す。

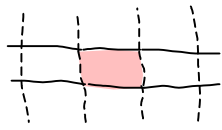
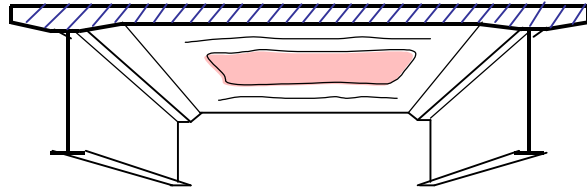
維持補修分類	損傷状態		補修・補強方法	
1 補修 (損傷の進行防止)	表面のひび割れ		防水工法 注人工法(充填工法) 表面処理工法 他	クラック樹脂注入 モルタル吹き付け
2 補強 (耐荷力、耐久性の向上)	貫通クラックの少ない段階	ひび割れ、耐荷力不足	床版下面からの補強	繊維シート(FRP)接着による補強
		床版厚不足		鋼板接着による補強
3 打替・取替 (部分打替、全面打替)	部分的な抜け落ち	押し抜きせん断強度の低下	床版下面からの曲げ補強	縦桁増設工法
			増し厚によるせん断補強 他	床版増厚工法 ISパネル、外ケーブル補強等
			RC床版打ち替え 鋼床版化 床版取替え	他形式への取り替え 合成床版 プレキャスト床版

表 2 - 1 - 1 (1). 維持補修分類と主な補修・補強方法

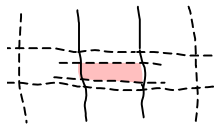
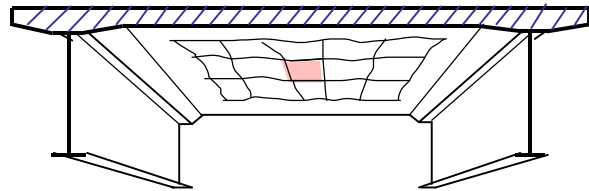
床版は等方性に近い版



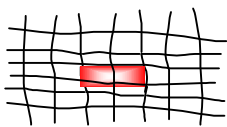
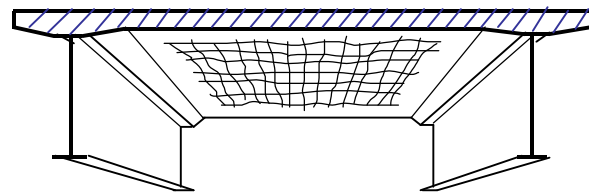
乾燥収縮クラックの発生により異方性版に



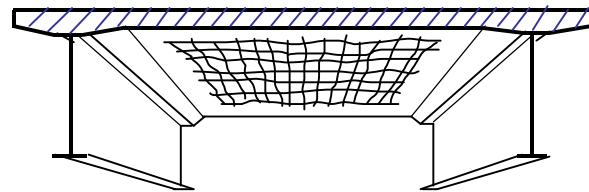
輪荷重により 異方性の方向が 90° 変化



サイコロ状に近い形までクラック密度が増加



クラック幅の拡大 (すり磨き現象、浸透水)



押抜きせん断強度の低下による 抜け落ち

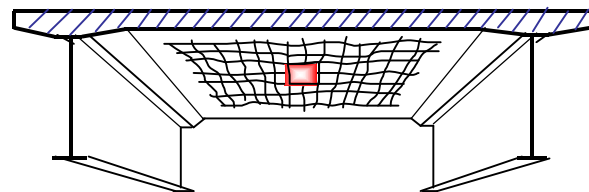

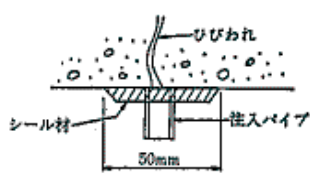
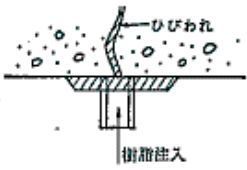
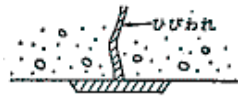
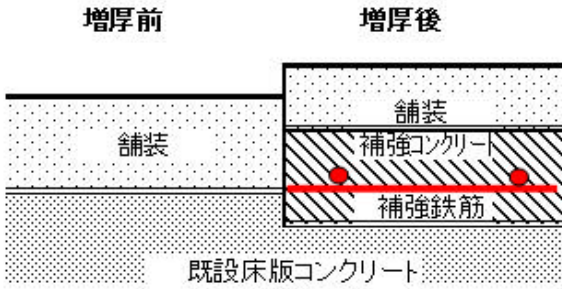
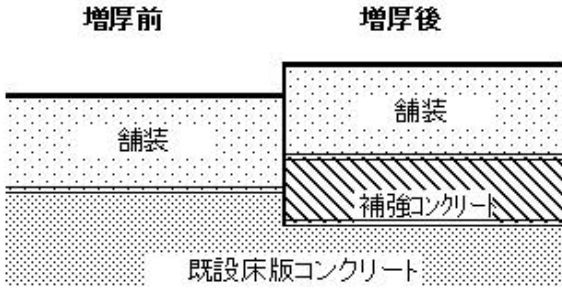


図 2 - 1 - 1 . R C床版損傷メカニズム

2 - 1 - 2 補修事例

RC床版	工法	
補修工法	注入充填工法	
概要	RC床版表面のひび割れ損傷の進行防止のため、床版コンクリートのひび割れ部に樹脂注入を行う修復維持のための工法である。	
概要図	<div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="text-align: center;"> <p>(1) 下地処理</p>  <p>ひびわれを中心とする約7~8cm幅のコンクリート面を、サンダーやワイヤブラシがけ、シンナー拭きなどにより処理。</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>(2) シール作業および注入パイプ設置</p>  <p>シール材でひびわれを密封しつつ、ひびわれ上に適当間隔に注入パイプを設置。(図-4.13参照)。</p> </div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 20px;"> <div style="text-align: center;"> <p>(3) 樹脂注入</p>  <p>注入ポンプにより樹脂を圧入。十分注入し終わったら木栓等により注入口をふさぐ。</p> </div> <div style="text-align: center;"> <p>(4) 注入パイプ撤去および表面仕上げ</p>  <p>注入した樹脂が安定したら、注入パイプを撤去し、表面を仕上げ、注入作業完了。</p> </div> </div>	
特徴 効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 床版の水密性を増す。 2. 鉄筋の劣化を防ぐ効果がある。 3. 硬化後の耐水 耐久 耐候性にすぐれている。 4. 流動性が良く 微細な間隙の隅々まで充填が出来る。 	<p style="text-align: center;">留意点</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 耐力増強は期待できない。 2. 細かいひび割れまで十分に浸透させるために樹脂粘度、注入圧に注意する。 3. 施工時期により 樹脂の温度管理が必要。
主要機材		<p style="text-align: center;">参考文献</p> <p style="text-align: right;">社)日本道路橋会 道路補修便覧</p>

2-1-3 補強事例

RC床版	工法		
補強工法	床版上面増厚工法		
概要	<p>床版上面にコンクリートを増厚する工法であり、活荷重に対する曲げとせん断耐力を高める。圧縮断面の増加による引張鉄筋の応力状態を緩和させるほか、鉄筋を配置すれば引張側でも補強できる。</p>		
概要図	<p>① 補強鉄筋を用いる場合</p>  <p>② 補強鉄筋を用いない場合</p> 		
特徴・効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 増厚により曲げ耐力とせん断耐力が増す。(有効高さが増し剛性が向上する。) 2. 補強鉄筋を配置すれば、負曲げ部に対しても効果が期待できる。 3. 床版下面の変化状態の追跡し易い。 4. 橋梁下面での補修作業がない場合、足場を必要としない。 5. 短期施工が可能。 6. 経済的である。 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 死荷重が、かなり増加する。 2. 橋面の交通規制が必要である。 3. 路面高増加の影響が取り付け道路に及ぶ。 4. ひび割れ損傷の補修は別途必要である。
主要機材	参考文献		

RC床版	工法		
補強工法	床版下面増厚工法		
概要	床版下面に補強鉄筋を配置し、モルタルにより増厚する工法であり、活荷重に対する曲げとせん断耐力を高める。補修工法としては、実績は少ない。		
概要図			
特徴 効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 増厚により曲げ耐力とせん断耐力が増す。 2. 交通規制は、材料搬入時を除き、必要としない。 3. 既設鉄筋応力度の低減(主配力鉄筋方向とも約20%程度)及び床版たわみの減少がある。 4. 新旧床版が一体化し補強効果がある。 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 死荷重の増加がある。 2. 施工実績が少ない。 3. ひび割れ損傷の補修は別途必要である。 4. 逆打ち接合部の品質管理 信頼性に疑問が残る。
主要機材		参考文献	

RC床版	工法		
補強工法	鋼板接着工法		
概要	<p>床版コンクリートの引張縁に鋼板(厚さ4.5～6.0mm)を接着し、既存のコンクリート床版と一体化させ、活荷重に対する抵抗力をます。現在まで他の工法に比し適用例が最も多いが、鋼板の剥離による再補修ができる。</p>		
概要図			
特徴 効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 損傷があまり進行していない床版の補強に適している。 2. 鉄筋量の不足している床版の補強に適している。 3. 道路を全面供用しながら施工可能である。 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 接着用樹脂の耐久性・施工の確実性に対する信頼度が低い。 2. 床版下面が鋼板で隠れてしまうので、施工後の内部変化の追跡が困難。
主要機材		参考文献	(北海道土木技術会)

RC床版	工法		
補強工法	CFRP (炭素繊維シート)接着工法		
概要	RC床版のひび割れ損傷 耐荷力増強のために、帯板状に形成した炭素繊維シートを樹脂により貼り付ける工法である。		
概要図	<p>施工法</p> <ol style="list-style-type: none"> 1) コンクリート表面劣化層の修復、素地調整 2) プライマー塗布 3) 接着剤塗布 4) シート貼り付け (3~ 4 補強により繰り返し) 5) 仕上げ 		
特徴 効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 軽量で高強度が得られる。 2. 軽量ゆえ重機が不要であり、狭いスペースで施工が可能である。 3. 錆・塩害対策が不要である。 4. 防水性が高い。 5. 従来のRC床版の設計法で設計可能である。 6. 曲げ耐力の向上、引張りに有効である。 7. 疲労寿命の向上、死荷重増加がほとんどない。 8. ひび割れの抑制が出来る。 9. 耐震に対し変形性能やじん性の向上が図られる。 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 樹脂接着時の気泡の除去が必要である。 2. 樹脂の含浸に注意が必要である。
主要機材		参考文献	

RC床版	工法		
補強工法	縦桁増設工法		
概要	床版の損傷により打ち替えにいたる前に、車輛の通行を妨げることなく、床版下面に縦桁を増設することにより耐荷力のある床版に補強する工法である。		
概要図			
特徴 効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 交通解放したまま施工できる。 2. 耐荷力が増大する。 3. 施工実績が比較的多い。 4. 現示方書設計荷重に対応。 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1. 桁間に取り付ける増設桁の形状寸法を十分に検討する必要がある。
主要機材		参考文献	(道路橋補修 補強)

2-1-4 取り替え事例

RC床版	工法		
取り替え工法	床版取替え工法 (プレキャスト合成床版)		
概要	交通量の増大、車輛の大型化により、部分的な抜け落ち、押しぬきせん断強度の低下など損傷の著しい場合に、床版を取り替える。		
概要図			
特徴 効果	<ol style="list-style-type: none"> 付近に迂回路が無い場合など、プレキャスト化することで全面通行止めが不要。 (片側交通開放による施工) プレキャスト化することで床版の品質は良好。 現示方書設計荷重に対応。 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 施工段階で交通解放する場合、新旧床版の境で生じる段差に配慮が必要。 死荷重増による鋼桁部の応力照査が必要。 間詰め部コンクリートは早強性のあるコンクリートが必要。 重機が必要。
主要機材		参考文献	(橋梁床版取替の事例集)

RC床版	工法		
取り替え工法	床版取替え工法		
概要	交通量の増大、車輛の大型化により、部分的な抜け落ち、押しぬきせん断強度の低下など損傷の著しい場合に、床版を取り替える。		
打ち替え 取り替え	<ol style="list-style-type: none"> 1. RC床版の打ち替え 2. 鋼床版化 3. 他形式への取り替え <ul style="list-style-type: none"> ・ 合成床版 ・ プレキャスト床版 		
特徴・ 留意点など	<ol style="list-style-type: none"> 1. 交通渋滞を抑えるための現場工期の短縮。 2. 片側交通開放による施工。 		
主要機材		参考文献	デザインデータブック 「橋梁保全技術の紹介」 平成12年9月 社)日本橋梁件建設協会

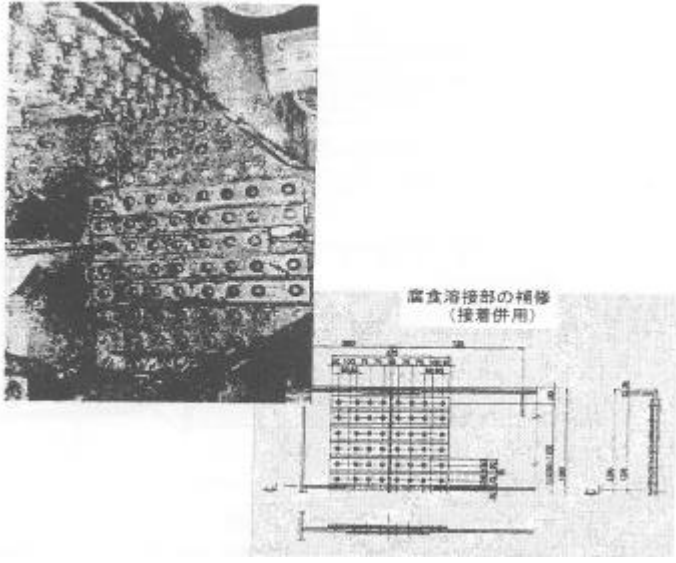
2 - 2 鋼材の腐食に関する補修・補強事例

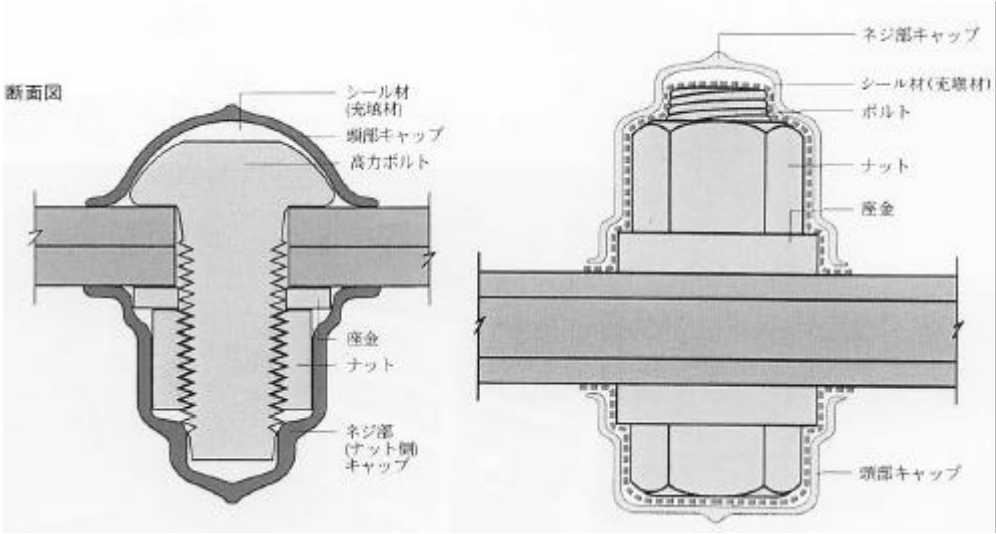
2 - 2 - 1 鋼材腐食・塗替え事例

項 目	工 法	
	港大橋塗装塗り替えにおける塗膜調査と塗装仕様	
概 要	港大橋は1970年に完成、1984年に下路が追加架設された。世界一を誇る全長980mのゲルバートラス橋であり、将来に渡りメンテナンスしていくことが大きな課題であり、そのため塗膜調査と塗装仕様を検討した内容である。	
内 容	<p>調査結果と劣化原因</p> <p>(1) 外観調査 本橋トラス部 横桁下面と高力ボルト接合部及び横構下面に著しい錆が認められる。 本橋トラス部は塗膜の消耗、変退色が大きく、塗り替えが必要な状態の部材比率は、 a) 昭和62～63年に塗装された部位 80%、b) 平成1～3年 60～70%、 c) 平成4～5年 20% 本橋鋼床版部 塗装後16年経過 損傷が少ない。この理由は長期防錆型塗装仕様の適用が考えられる。 劣化原因 本橋の錆は、水分、海塩粒子、車両排気ガス等の蓄積の多い箇所に見られ、日照による乾燥雨水によって洗浄される箇所には少ない。トラス上面の変退色は紫外線による。</p> <p>(2) 計測調査結果 塗膜厚の測定結果 下路の鋼床版桁（新設時の塗膜） 規定膜厚250μに対して計測平均膜厚276μ トラス下弦材（新設+塗替膜厚） 規定膜厚355μに対して計測平均膜厚484μ 白亜化測定結果 トラス部、下路縦桁ウェブ、下フランジの順に、直射日光の当る順に多い。 その他、基盤目試験、アドヒージョン試験、インピーダンス測定結果など記載されている。</p> <p>塗装仕様の検討 (1) 塗装仕様の変遷 a) 新設時(1974年) 鉛系さび止めペイント+MI0+塩化ゴム系、 b) 下路追加架設時(1985年) ジンクリッチペイント+エポキシ樹脂塗料+ポリウレタン樹脂塗料 c) 塗替え時(1986～1992年) 変性エポキシ樹脂塗料+ポリウレタン樹脂塗料 (2) ポリウレタン フッ素樹脂塗料の採用 部材の損傷度合いにより塗料の選定及び部分的に塗り回数を増やすといった均一的性能を維持される仕様の検討が必要。</p> <p>(3) 塗装仕様と適用（概要） 素地調整はパワーツール処理。 トラス上下弦材、横桁下面は孔食部分あり。下塗り変性エポキシ樹脂塗料（弱溶剤型）を1～3回とした。腐食の激しい高力ボルト接合部は、超厚膜型エポキシ樹脂塗料を適用。</p>	
その他	参考文献	1. J A S P - 橋塗協 - H Pより引用

項 目	工 法	
	下路トラス橋の全面プラスト塗装工事 - 伊奈川橋の足場仮設について -	
概 要	橋塗協が飯田国道工事事務所よりケレングレード / 足場仮設に関して工法を含めた工事方法 工期に関して依頼をうけ、検討した内容の報告である。	
内 容	<p> 工事概要 現場塗装工 素地調整～上塗り 3420m² 仮設工 塗装足場、側面塗装足場、板張防護、シート張防護 各位1式 足場仮設 従来の単管足場 トラス側面（斜材）にH鋼を横梁として斜材本体に固定する工法を採用。 （30m/secの最大風速で検討） H鋼の仮設完了後、板張り・シート防護を進める中で、足場自体がトンネル状態になり 照明設置 / 標識 / ミラーなどの計画外の問題が数多く発生。 養生 / 飛散防止 塗料は勿論、研掃材の飛散防止に注意を要した。コンパネの上に全面防災シートを 張り完全に防護した。歩道を利用する歩行者には、起終点に雨傘を設置して利用 してもらった。 研掃材は120t（35kg/m²）使用し回収は人力とバキューム車で行った。 今後の課題 今後、同種工事を実施するには事前に足場の検討を十分に行うことが重要である。 また、同種工事においては通常の足場の積算基準では不具合が見直しが必要であると思 われる。 </p>	
その他	参考文献	1. J A S P - 橋塗協 - HPより引用

2 - 2 - 2 鋼材腐食・工法事例

項 目	工 法		
	腐食現地添接板の補修		
概 要	<p>箱桁内面の滞水による添接板やボルトの腐食損傷箇所に対する補修工法で、腐食減肉した現地添接板に短冊状の補強板を重ね合わせて増厚し接着剤とボルトにより補修する。</p>		
概要図			
特徴・効果	<ol style="list-style-type: none"> 1 . 既設添接部のボルトを撤去し添接板表面をケレンし、既設及び補強板間に接着剤を塗布して、両者をHTBにより締め付ける。 2 . 応力の伝達は円滑になる。 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1 . 伝達力の大きさにより撤去ボルト列数を決定する。 2 . 補強面は、2種ケレン程度とする。
主要機材	<p>鋼橋保全技術の紹介 (社)日本橋梁建設協会</p>		
		参考文献	

項 目	工 法	
	軟質塩化ビニールキャップを使用したボルトの防錆対策	
概 要	<p>施工手順</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. ボルト・ナットまわりの埃、油、水、浮き錆などを除去する。 2. キャップ内面にシール材を注入する。 3. キャップをネジ部、頭部の空気を押し出すようにしてボルト部に被せる。 4. ツバ部が全面密着するように押しつける。 	
概要図		
特徴・効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 耐候性、耐塩水性に優れている。 2. 取付は道具なしで手で簡単に取付けられる。 3. 色は要望に合わせて彩色できる。 4. 経年15年の実橋実績がある。 5. ボルト等形状に合わせて作る注文生産品。 6. 防錆効果を高めるためにはシール材を併用する。 	<p>留意点</p> <p>施工したキャップを将来取り外す事がある場合はツバ部のみにシール材をつける。</p>
主要機材		<p>参考文献</p> <p>鋼橋の点検・補修・補強に関する新技術・新工法 (社)日本橋梁建設協会</p>

項 目	工 法		
	炭素繊維入りポリマーセメント系塗装		
概 要	<p>白色セメントを主体とする無機材料に、塗膜強度、耐久性、耐薬品性等を高めるため、炭素繊維を配合したコンパウンドと、接着強度を高めるよう配合したアクリル系エマルジョンを混ぜ合わせることで簡単に施工できる材料。</p> <p>施工が簡単であり、かつ施工後の再補修も容易である。</p>		
概要図			
特徴・効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. 無機材料であり環境にやさしい 2. 素地調整は3種ケレン程度でよく、黒皮・赤錆上でも施工可 3. 刷け塗りが可能なため、狭い箇所の施工にも適する 4. 塩水噴霧試験により優れた防食性を実証 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1. コンクリート表面のクラックに対する追従性は小さいので注意を要する
主要機材	<p>ハンドミキサー（攪拌機）</p> <p>刷けノリシンガン</p>	参考文献	

項 目	工 法		
	レーザーブレーションによる素地調整		
概 要	<p>Nd : YAGパルスレーザーによるレーザーブレーション手法を応用したケレン法</p> <p>レーザーの照射により、錆が発生した部材から母材を痛めずに錆を確実に除去できる</p>		
概要図			
特徴・効果	<ol style="list-style-type: none"> 1 . ボルトのねじの溝や、ボルト・ナットの接合部などの複雑な形状に対しても良好な錆除去ができる 2 . 部材交換が困難かつ発錆がひどい部位への適用が可能 	留意点	<ol style="list-style-type: none"> 1 . 広い面積には不向きか。
主要機材		参考文献	<ol style="list-style-type: none"> 1 . 大橋、その他；レーザーブレーションによる鉄塔の錆・塗装除去効果の評価試験；平成11年電気学会全国大会

項 目	工 法		
	クリーンブラスト（高速ドライアイスペレット）		
概 要	<p>高速ドライアイスペレット・クリーンブラストは、ブラスト材として液化炭酸ガス（LCO₂）より生成されるドライアイスペレットを用いる。</p> <p>洗浄原理は、高速ドライアイスペレットが、汚染物や塗料内に侵入し、基底面にあたると運動エネルギーがCO₂の横方向に放出され、これが塗料を持ち上げ、剥ぎ取ります。（ガスウェッジ作用）</p>		
概要図			
特徴・効果	<ol style="list-style-type: none"> 1. ブラスト材が処理後瞬時に昇華するため、回収が不要である 2. 作業者・作業環境に大変やさしい（笑） 3. 鋼材はもちろん、アルミ・銅系の非鉄金属から新素材に至るまで表面を傷つけることなく処理が可能 	留意点	1. 使用機材が少々大掛かりか。
主要機材	<p>コンプレッサー アフタークーラー CO₂クリーンブラストマシン 耐圧エアホース ドライアイスペレットBOX ドライアー</p>	参考文献	

項 目	新 材 料、 特 殊 工 法		
	特殊加工や新材料による防食性能のUP		
概 要	<ul style="list-style-type: none"> ・ 塗装橋の使用鋼板に特殊加工を施した鋼板。 ・ 各種材料を複合的に用いて防食性能を向上させた材料。 		
概要図			
特徴・効果	<ul style="list-style-type: none"> ・ 特殊加工により腐食進行度を抑制する。 ・ 新材料、構造により、防食性能を高める。 ・ 美観的に優れる等。 	留意点	
主要機材		参考文献	各鋼橋メーカーにより各種新材料、特殊工法が開発されており、詳細はメーカー各社のホームページを参照。

3章 維持管理要領・補修工法・コストの調査

3 - 1 R C床版

3 - 1 - 1 維持管理点検要領

(1) 点検

橋梁の維持管理の出発点である情報は点検を定期的に行うことによる異常の発見にある。点検は図3 - 1 - 1 (1) に示すような要領で行い、大別すると次の3種類の点検がある。

a) 通常点検

通常点検は日常巡回を行う際に併せて行い、車上からの目視、高架下においては徒歩による点検等によって損傷の早期発見を目的とする。

b) 定期点検

定期点検は定期的を実施するものであり、通常点検では確認し得なかった細部にわたり、路上、路下（高架下）からの目視および簡易な点検機材により行い、損傷の早期発見と橋梁の保全を目的とする。

c) 異常時（臨時）点検

異常時点検は通常点検、定期点検で発見された損傷の詳細な点検のほか、災害発生時の安全の確認、予期し得ない損傷への対処を目的とする。

(2) R C床版の点検調査

R C床版においては輪荷重を直接受ける部材であるため、ひとたび損傷が生ずると急速に悪化する傾向がある。床版の破損状態が悪化すれば、その補修は困難となり、工費もかさむようになるため、日常点検、定期点検によって早期に損傷箇所を発見し、速やかに対策を講ずることが重要である。よって点検時においては維持管理上、現況調査で次の項目に注目しておく必要がある。

a) 構造諸元

- ・ 構造特性（合成、非合成など）
- ・ 設計荷重（摘要示方書、等級）
- ・ 床版の支持条件
- ・ 床版の諸元、舗装

b) 床版の状態（損傷状況）

c) 外的条件（路面状態、交通状況、気象条件など）

d) その他

(3) 各機関の点検要領

ここでは、R C床版に着目して各機関 国土交通省、日本道路公団、首都高速道路公団、阪神高速道路公団 におけるの点検要領・基準（R C床版、及び一般）を比較表としてまとめた。

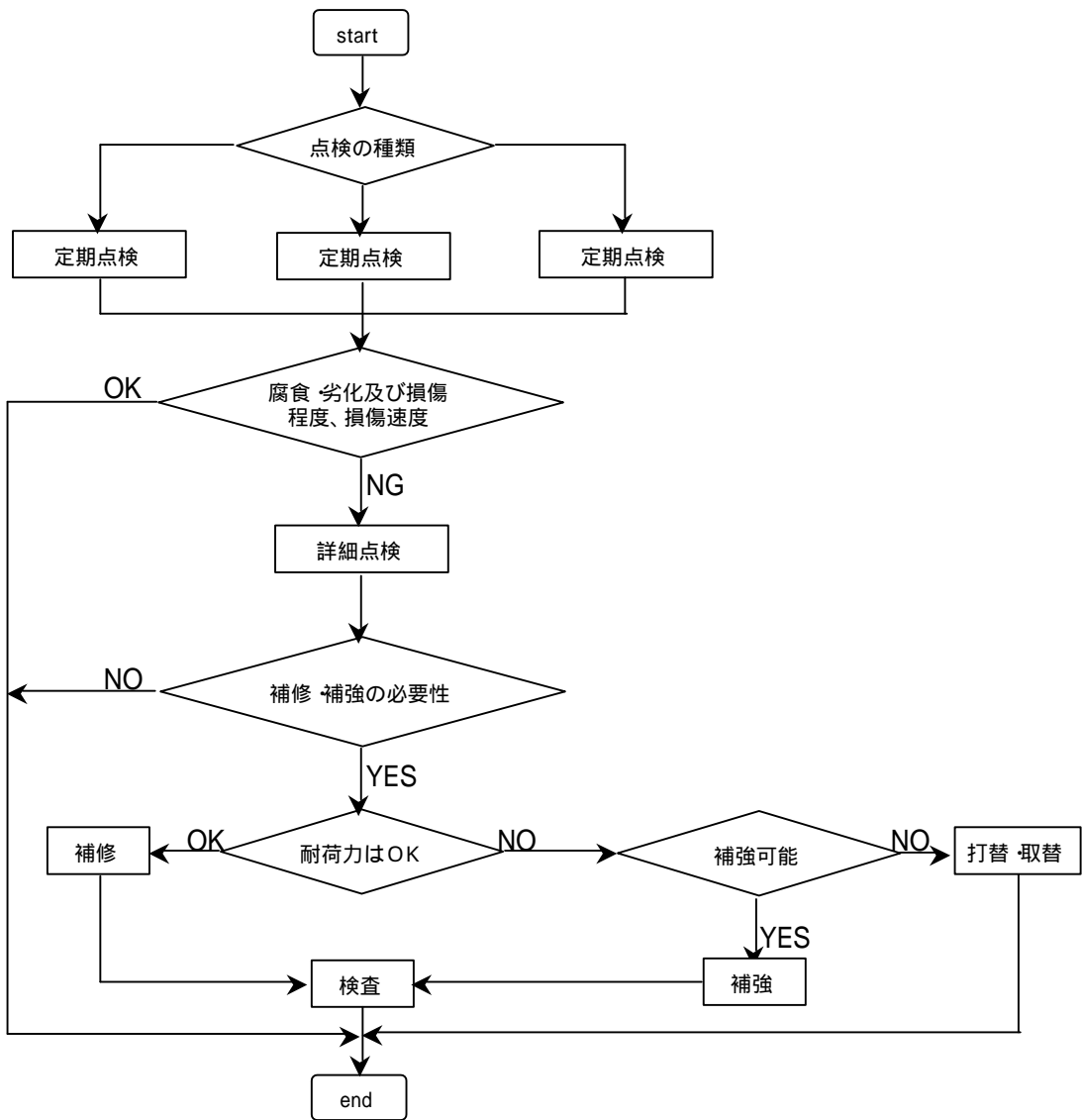


図 3 - 1 - 1 (1) 点検の要領

表 3 - 1 - 1 . 各機関の点検要領

< 社)日本橋梁建設協会 「鋼橋の損傷と点検・診断」(点検・診断に関する調査報告書)平成12年5月発行 より抜粋 >

	国土交通省	日本道路公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団
準拠した点検要領・点検基準	橋梁点検要領(案)」 (昭和63年7月/土木研究所)	維持修繕要領」 (昭和63年5月) 点検の手引き」 (昭和63年3月)	土木構造物点検要領」 (昭和57年3月)	道路構造物の点検基準 (土木構造物編)」 (平成4年4月)
1) 点検の種別と目的)	通常点検 (損傷の早期発見) 定期点検 (橋梁の保全) 異常時点検 (災害発生前後の安全性の 確認) 追跡点検 (損傷の進行状況の把握) 詳細調査 (補修・補強の必要性を判断)	通常点検 (損傷の早期発見) 定期点検 A, B (構造物の安全) 臨時点検 (日常点検または定期点検の 補完)	通常点検 (損傷の早期発見) 定期点検 (損傷の早期発見) 臨時点検 (予期し得ない損傷への対処)	通常(日常)点検 (損傷の早期発見) 定期点検 (構造物の安全) 臨時点検 (損傷の詳細な点検、事故・防災 時など異常事態への対処)

	国土交通省	日本道路公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団																																								
準拠した点検要領・点検基準	「橋梁点検要領(案)」 (昭和63年7月/土木研究所)	「維持修繕要領」 (昭和63年5月) 「点検の手引き」 (昭和63年3月)	「土木構造物点検要領」 (昭和57年3月)	「道路構造物の点検基準 (土木構造物偏)」 (平成4年4月)																																								
2) 損傷度判定	判定基準 判定区分と その内容	5段階 区分 内容	4段階 区分 内容	5(3)段階 区分 内容	5(4)段階 区分 内容																																							
		<table border="1"> <tr> <td></td> <td>損傷が著しく、交通の安全確保の支承となる恐れがある</td> <td>AA</td> <td>損傷が著しく、交通の安全確保または第三者に対し支承となっているか、もしくはその恐れがあり緊急補修の必要がある場合</td> <td>A</td> <td>損傷が著しく、交通への支障および第三者への影響が大であり緊急補修の必要がある場合</td> <td>A</td> <td>損傷が著しく道路構造物の機能低下を招き、安全かつ円滑な交通の確保に支障をきたす恐れ、または第三者への影響が大であると考えられ、緊急補修の必要がある場合</td> </tr> <tr> <td></td> <td>損傷が大きく、詳細調査を実施し、補修するかどうかの検討を行う必要がある</td> <td></td> <td></td> <td>B</td> <td>損傷があり補修する必要があるが緊急補修を必要としない場合 構造物の耐力アップを行う必要および走行性や美観の回復を行う必要の有る場合</td> <td>A</td> <td>損傷が著しく、補修する必要がある場合</td> </tr> <tr> <td></td> <td>損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある</td> <td>A</td> <td>損傷が大きく、補修するかどうかの検討が必要な場合</td> <td>C</td> <td>損傷がありその程度を記録する必要のある場合</td> <td>B</td> <td>損傷があり必要に応じて補修する場合</td> </tr> <tr> <td></td> <td>損傷が認められ、その程度を記録する必要がある</td> <td>B</td> <td>損傷は小さいが、補修するかどうかの件等が必要な場合</td> <td>D</td> <td>損傷がないが、尊称が軽微でその程度を記録する必要のない場合</td> <td>C</td> <td>損傷が軽微である場合 (定期点検のみ)</td> </tr> <tr> <td>OK</td> <td>点検の結果から、損傷は認められない</td> <td>OK</td> <td>損傷がないが、あっても軽微で補修する必要がない場合</td> <td>E</td> <td>損傷はあるものの、その程度が明確に判定できない場合または通常と異なる異常な損傷があり別の方法で再点検する必要のある場合</td> <td>OK</td> <td>日常点検はA、A、B以外 定期点検はA、A、B、C以外</td> </tr> </table>		損傷が著しく、交通の安全確保の支承となる恐れがある	AA	損傷が著しく、交通の安全確保または第三者に対し支承となっているか、もしくはその恐れがあり緊急補修の必要がある場合	A	損傷が著しく、交通への支障および第三者への影響が大であり緊急補修の必要がある場合	A	損傷が著しく道路構造物の機能低下を招き、安全かつ円滑な交通の確保に支障をきたす恐れ、または第三者への影響が大であると考えられ、緊急補修の必要がある場合		損傷が大きく、詳細調査を実施し、補修するかどうかの検討を行う必要がある			B	損傷があり補修する必要があるが緊急補修を必要としない場合 構造物の耐力アップを行う必要および走行性や美観の回復を行う必要の有る場合	A	損傷が著しく、補修する必要がある場合		損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある	A	損傷が大きく、補修するかどうかの検討が必要な場合	C	損傷がありその程度を記録する必要のある場合	B	損傷があり必要に応じて補修する場合		損傷が認められ、その程度を記録する必要がある	B	損傷は小さいが、補修するかどうかの件等が必要な場合	D	損傷がないが、尊称が軽微でその程度を記録する必要のない場合	C	損傷が軽微である場合 (定期点検のみ)	OK	点検の結果から、損傷は認められない	OK	損傷がないが、あっても軽微で補修する必要がない場合	E	損傷はあるものの、その程度が明確に判定できない場合または通常と異なる異常な損傷があり別の方法で再点検する必要のある場合	OK	日常点検はA、A、B以外 定期点検はA、A、B、C以外		
	損傷が著しく、交通の安全確保の支承となる恐れがある	AA	損傷が著しく、交通の安全確保または第三者に対し支承となっているか、もしくはその恐れがあり緊急補修の必要がある場合	A	損傷が著しく、交通への支障および第三者への影響が大であり緊急補修の必要がある場合	A	損傷が著しく道路構造物の機能低下を招き、安全かつ円滑な交通の確保に支障をきたす恐れ、または第三者への影響が大であると考えられ、緊急補修の必要がある場合																																					
	損傷が大きく、詳細調査を実施し、補修するかどうかの検討を行う必要がある			B	損傷があり補修する必要があるが緊急補修を必要としない場合 構造物の耐力アップを行う必要および走行性や美観の回復を行う必要の有る場合	A	損傷が著しく、補修する必要がある場合																																					
	損傷が認められ、追跡調査を行う必要がある	A	損傷が大きく、補修するかどうかの検討が必要な場合	C	損傷がありその程度を記録する必要のある場合	B	損傷があり必要に応じて補修する場合																																					
	損傷が認められ、その程度を記録する必要がある	B	損傷は小さいが、補修するかどうかの件等が必要な場合	D	損傷がないが、尊称が軽微でその程度を記録する必要のない場合	C	損傷が軽微である場合 (定期点検のみ)																																					
OK	点検の結果から、損傷は認められない	OK	損傷がないが、あっても軽微で補修する必要がない場合	E	損傷はあるものの、その程度が明確に判定できない場合または通常と異なる異常な損傷があり別の方法で再点検する必要のある場合	OK	日常点検はA、A、B以外 定期点検はA、A、B、C以外																																					
損傷度判定	<ul style="list-style-type: none"> 損傷度の判定は、対象とした部材別に、損傷の種類、損傷の状態、部材の重要度、損傷の進行状況を考慮して行える基準としている 具体的には、損傷の種類別に <ul style="list-style-type: none"> a. 損傷の位置あるいはパターン b. 損傷の深さ c. 損傷の広がり の3つの要因からシステムティックに損傷度(～)が判定される 	<ul style="list-style-type: none"> 損傷度の判定は各部位ごとにかなり詳細な記述がなされているが、定量的な基準はない 	<ul style="list-style-type: none"> 判定標準は各種の構造物を管理する上である程度統一した判定を行うためのものであり、具体的な判定は構造物毎に定めている 判定作業は点検者が各構造物ごとの判定に基づき行われ、最終判定は公団職員の現地確認による 	<ul style="list-style-type: none"> 損傷度の判定は、日常点検及び定期点検において点検工種、点検項目ごとの判定基準を設け、その中のA、B、(C)について詳述している 判定標準は公団の損傷の実施に基づき定めたもので、損傷の進行状況をつかめるように区分されている 定期点検においては、ひび割れ鉄筋の露出状況について具体的な数値に照らして判定される 臨時点検の判定基準は定期点検の判定基準に準じる 																																								

	国土交通省	日本道路公団	首都高速道路公団	阪神高速道路公団
準拠した点検要領・点検基準	「橋梁点検要領(案)」 (昭和63年7月/土木研究所)	「維持修繕要領」 (昭和63年5月) 「点検の手引き」 (昭和63年3月)	「土木構造物点検要領」 (昭和57年3月)	「道路構造物の点検基準 (土木構造物偏)」 (平成4年4月)
3) RC床版に着目した点検区分 と主な点検項目	通常点検 路上 抜け落ち 路下 抜け落ち		通常点検 (高架下徒歩による点検) 腐食、漏水、変形、その他	日常点検(路下点検:床版下面) はく離、欠落 鉄筋の露出等 漏水、遊離石灰 錆の流出 その他の損傷
	定期点検 遠望 腐食、亀裂、脱落 破断、変形 近接 腐食、亀裂、ゆるみ 脱落、破断、劣化 変形	定期点検、臨時点検 漏水、遊離石灰 ひび割れ、角落、すりへり はく離、抜け落ち 鉄筋の露出、腐食 空洞、豆板 補強縦桁 鋼桁の付着切れ シール材はく離	定期点検 (高架下徒歩による点検) 腐食、漏水、変形、その他	定期点検 (1) 上部工点検(床版点検()) ・ RC床版未補修 ひび割れ はく離 鉄筋の露出及び腐食 錆の流出 漏水 遊離石灰 豆板 空洞 その他の損傷 ・ RC床版補修済み 不良音 漏水及び遊離石灰 鋼板の錆及び腐食 鋼板の変形 シール部の剥離 その他の損傷 (2) 下部工点検 ・ 床版点検()のBランク以上の 未補修箇所 ((1) 上部工点検と同じ)
4) 参考:日本橋梁建設協会として の点検項目	付属物(床版) 着目位置:コンクリート 点検項目 ひび割れ、剥離鉄筋露出、遊離石灰、豆板 空洞、変色劣化、漏水・滞水、欠損 抜け落ち			

3 - 1 - 2 補修・補強工法

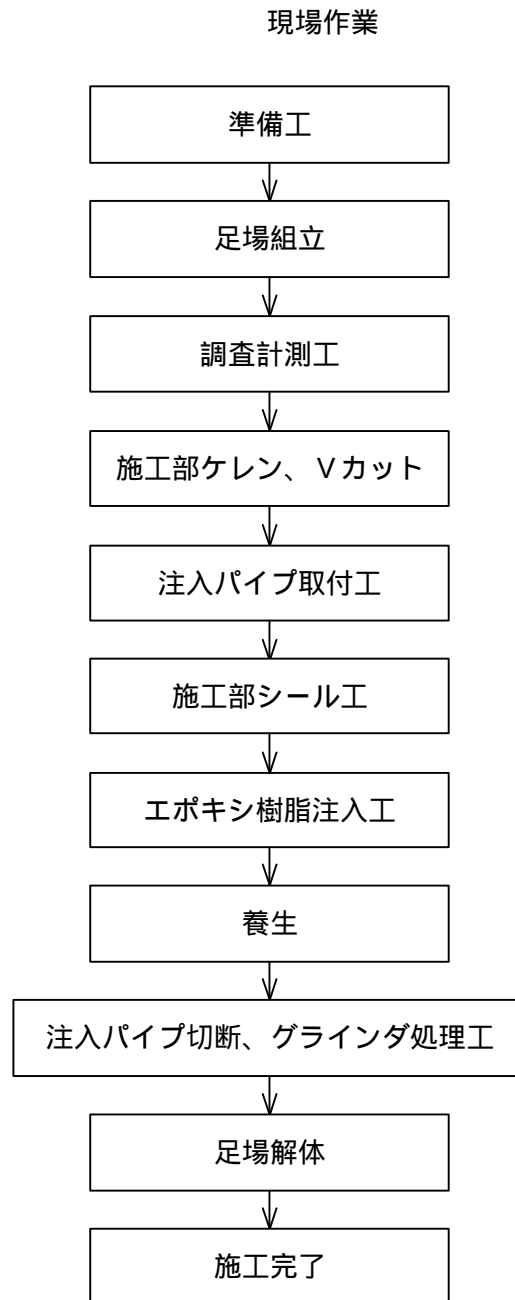
2章に挙げられたRC床版の各補修・補強事例の各種施工フローと、損傷レベルによる工法選定について以下に述べる。

(1) 施工フロー

代表的な補修・補強工法を示す。

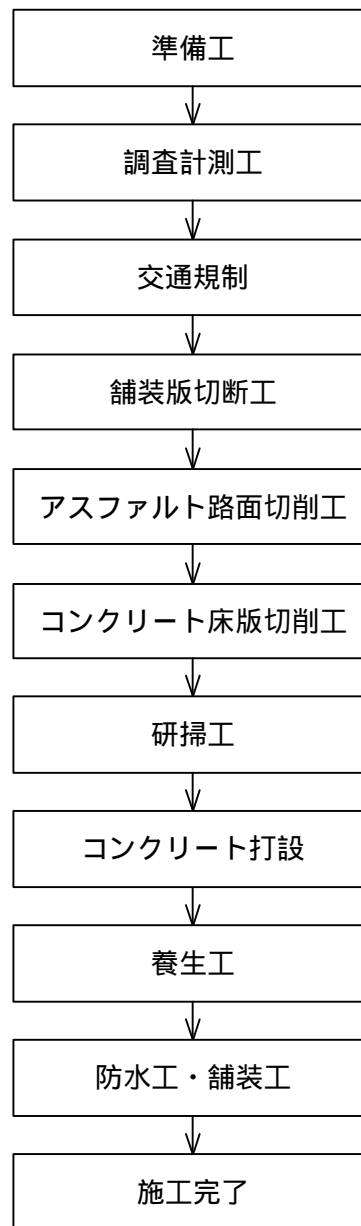
- (補修) 樹脂注入工法
- (補強) 上面増厚工法
- 下面増厚工法
- 鋼板接着工法
- FRP(繊維シート)接着工法
- 縦桁増設工法

樹脂注入工法

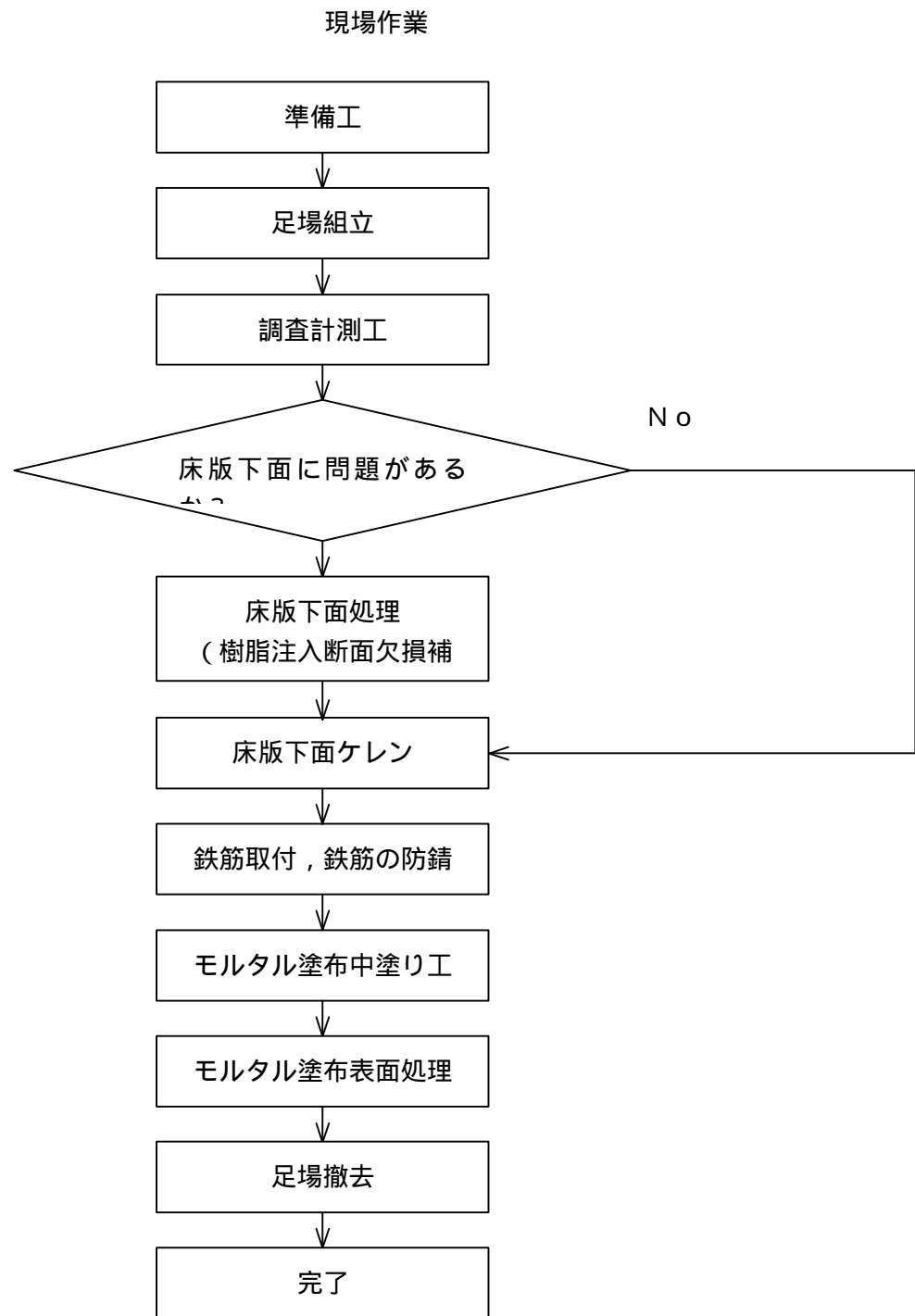


上面増厚工法

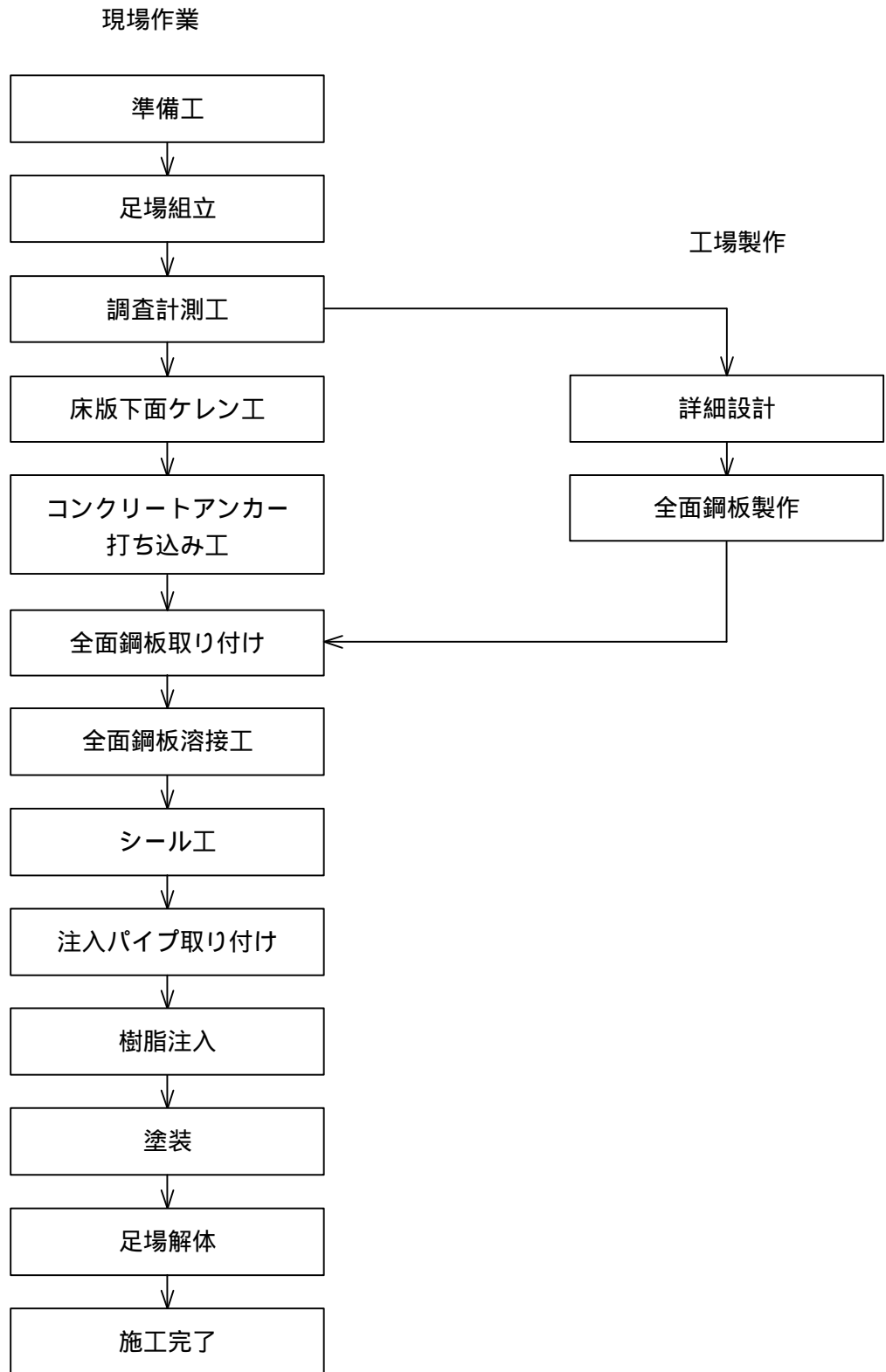
現場作業



下面増厚工法

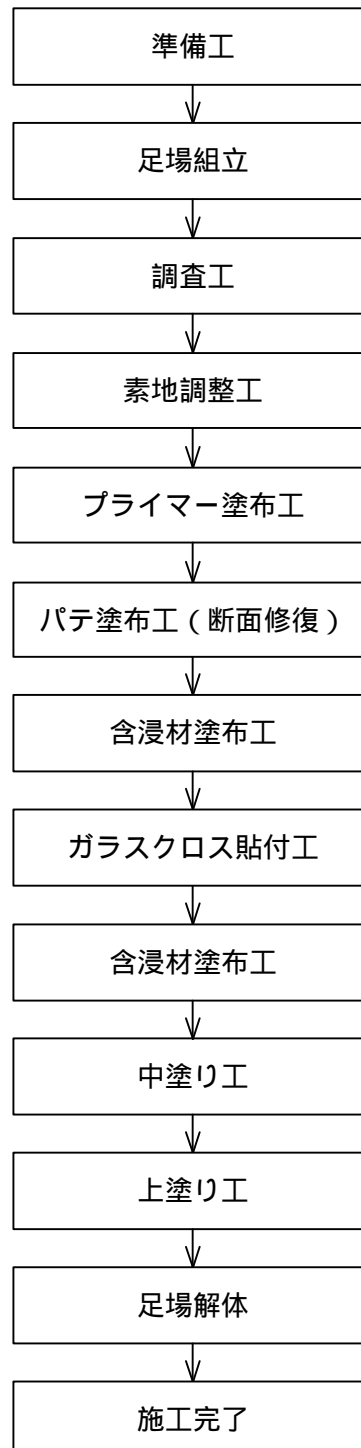


鋼板接着工法

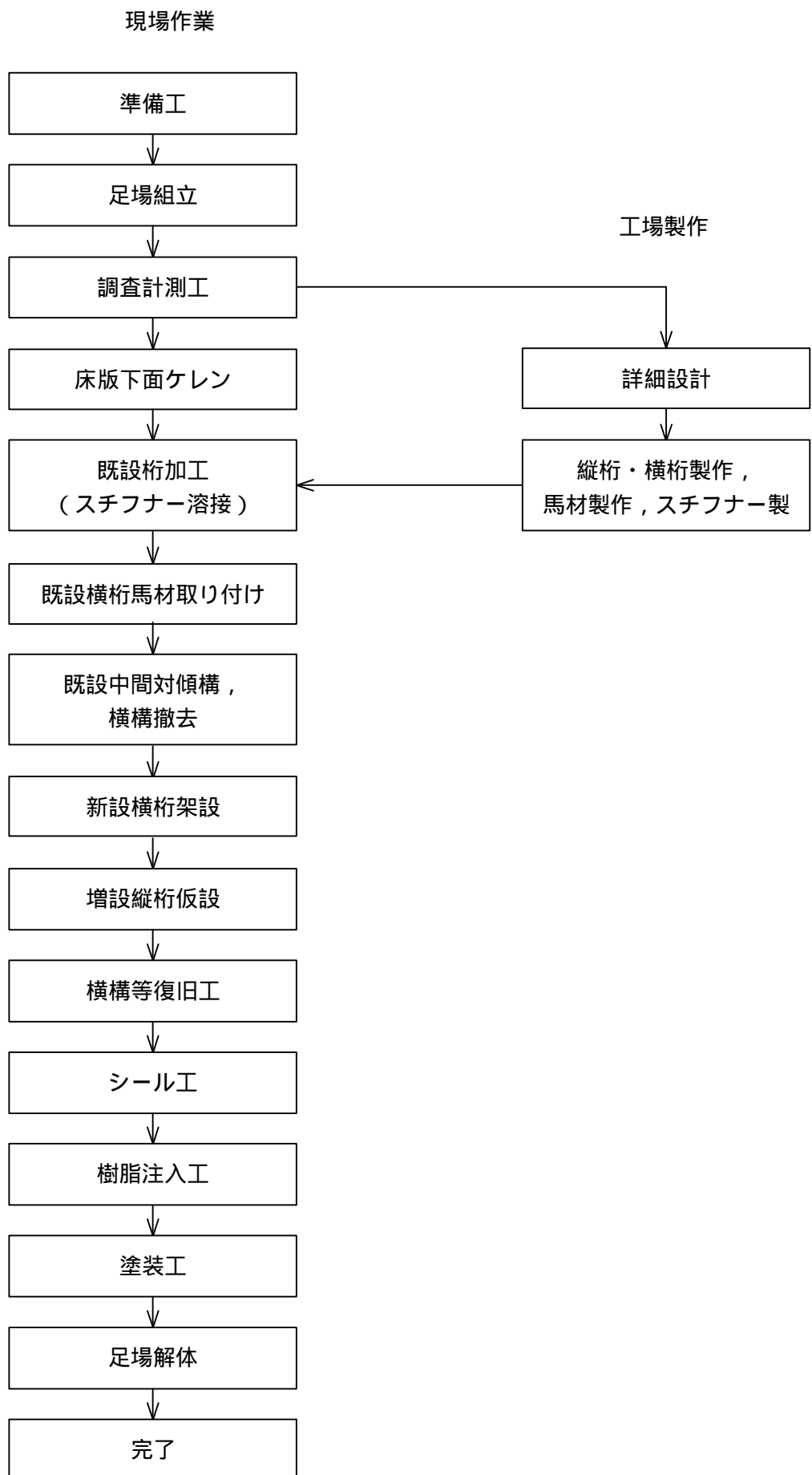


FRP（繊維シート接着）工法

現場作業



縦桁増設工法



(2) 損傷レベルによる工法選定

補修・補強方法には先にも紹介したように様々であり、最適な工法を選択する必要がある。ここでは選択要因の1つである床版の損傷レベルの程度による工法選定について紹介する。

日本道路公団の基準では、床版の損傷メカニズムが限られた場所の施工誤差、部分的欠陥に起因することから、パネル別の判定が必要としている。パネルは主桁と横桁で囲まれた範囲を1パネルとし、パネル毎に判定を行う。(設計要領より引用)

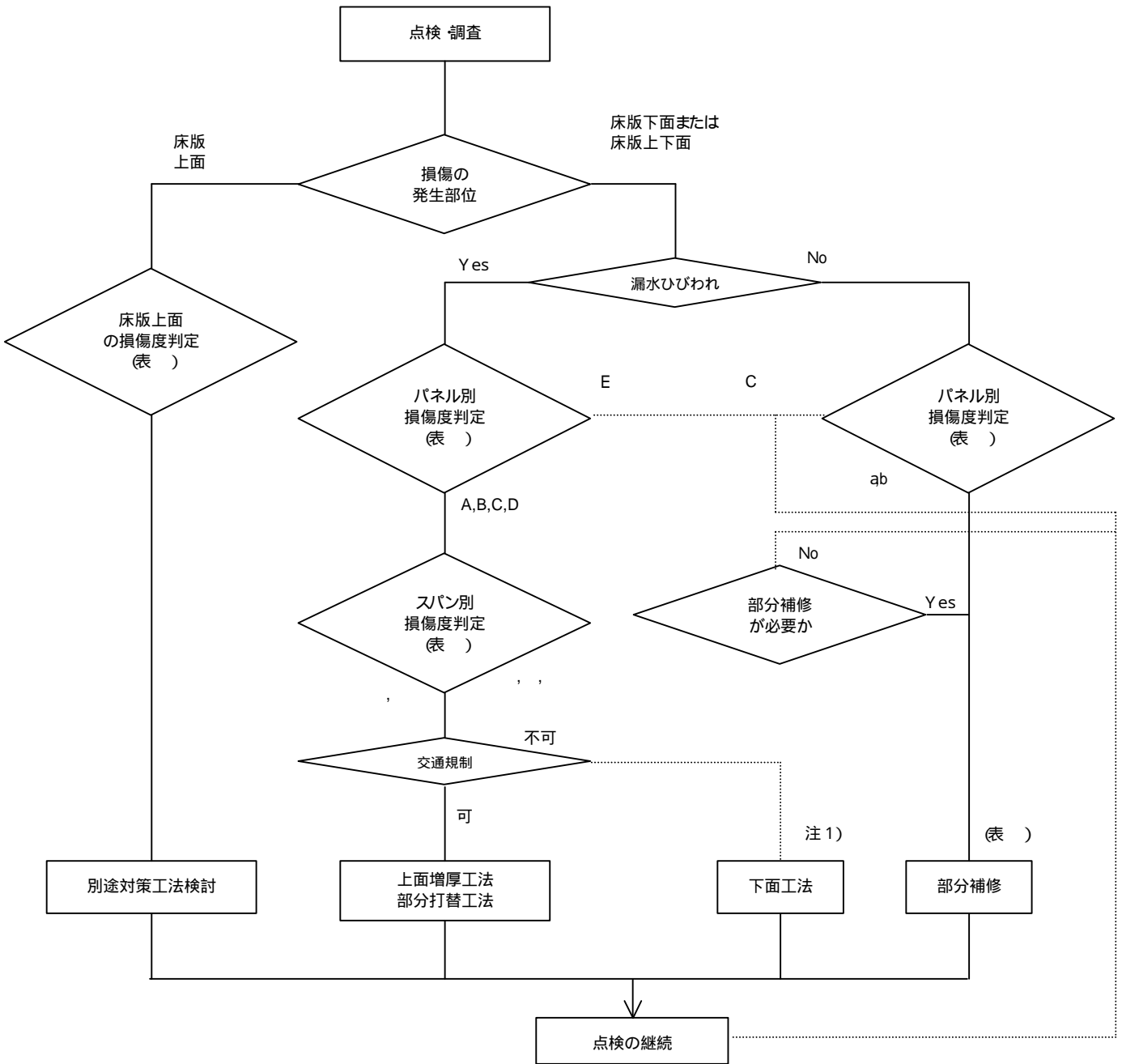


表 パネル別床版（主桁×横桁）の損傷度判定（遊離石灰）

損傷度	床版の状況		判定の基準
A	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」でその進行が早いもの。	損傷が著しい。 緊急な補修が必要。
	継目部	施工継目部において、遊離石灰が泥水、錆汁で変色している。	
B	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」でその進行が早いもの。	損傷が大きい。 早急な補修が必要。
	継目部	施工継目部において、遊離石灰が発生しており、その色が白いもの。	
C	遊離石灰が二方向に発生しており、いずれかの方向の間隔が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。) また、「D」の損傷度でその進行が早いもの。		損傷が大きくなりつつある。 適切な時期に補修が必要。
D	遊離石灰が一方向に発生している。		損傷は小さい。 定期的な点検が必要。
E	遊離石灰が認められない。		—————

表 パネル別床版の損傷度判定 (遊離石灰以外)

損傷度	床版の状況	判定の基準
a	はくり :はくりが径 50 cm以上の範囲にある。 鉄筋の露出 :主鉄筋が 50 cm以上の範囲に露出している。 豆板・空洞 :豆板・空洞が径 50 cm以上の範囲にある。	損傷損傷が著しい。 緊急な補修が必要。
b	はくり :はくりが 10～50 cmの範囲にある。 鉄筋の露出 :主鉄筋が 50 cm以下の範囲に露出している。 豆板・空洞 :豆板・空洞が 10～50 cmの範囲にある。	損傷が大きい。 早急な補修が必要。
c	はくり :はくりが径 10 cm以下の範囲にある。 豆板・空洞 :豆板・空洞が径 10 cm以下の範囲にある。	損傷は小さい。 適切な時期に補修が必要。

表 表 3-2-3 スパン別床版 (支間×幅員)の損傷度判定

損傷度	床版の状況	判定の基準
	床版パネルの 40%以上に B以上の損傷がある。	損傷が著しい。 緊急な補修が必要。
	床版パネルの 30%以上に B以上の損傷がある。	損傷が大きい。 早急な補修が必要。
	床版パネルの 40%以上に D以上の損傷がある。	損傷が大きくなりつつある。 適切な時期に補修が必要。
	床版パネルの 30%以上に D以上の損傷がある。	損傷は小さい。 適切な時期に補修が必要。
	床版パネルの 30%未満に D以上の損傷がある。	損傷は小さい。 部分的な補修が必要。

表 床版上面の損傷度判定

損傷度	床版の状況
	舗装の補修頻度が高く、舗装をは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、鉄筋が腐蝕して断面欠損している。また、床面下面にも遊離石灰等が見られる場合が多い。
	舗装の補修頻度が高く、舗装をはぎ取った床版上面コンクリートがブロック化している。鉄筋が一部腐蝕しているが、断面欠損はみられない。
	舗装をはぎ取り、床版上面の調査をした場合に、一部分に上記、の劣化・損傷がみられるが、健全が箇所が多い。

表

損傷度	床版の状況	部分補修工法			
		床版上面に損傷のある場合			それ以外
		部分打替	パッチング	防水工	断面修復工
a	はくり:はくりが径 50 cm以上の範囲にある。 鉄筋の露出:主鉄筋が 50 cm以上の範囲露出している。 豆板・空洞:豆板・空洞が径 50 cm以上の範囲にある。				
b	はくり:はくりが径 10 ~ 50 cm以上の範囲にある。 鉄筋の露出:主鉄筋が 50 cm以下の範囲に露出している。 豆板・空洞:豆板・空洞が径 10 ~ 50 cm以上の範囲にある。				
c	はくり:はくりが径 10 cm以下の範囲にある。 鉄筋の露出:豆板・空洞が径 10 cm以下の範囲にある。 豆板・空洞:豆板・空洞が径 50 cm以上の範囲にある。				

- * 印は、必要に応じてその都度実施する。なお、床版上面の損傷が床版を貫通している場合には部分打替えとし、下面が健全な場合はパッチング(部分的な樹脂モルタル等による補修)を採用してもよい。
- * 部分打替え、パッチングと防水工は、合わせて行うのが望ましい。

3 - 1 - 3 工法別コスト調査

ここでは、RC床版の補強工法について代表的な補強工法についてのコスト調査結果を、以下の表3 - 1 - 3 に記す。

補修 補強工法		損傷、適用条件、特徴等	施工条件	施工標準単価	備考
補修 注入充填	A	ひび割れ注入 エポキシ樹脂 省力化	ひび割れ幅 = 0.5mm 深さ= 100mm 長さ= 100m	¥ 9,466/m ²	0.02mm のヘアクラックにも充填可 (実験による)
上面増厚工法	A	桁間隔 = 2.0m 以内 1方向ひび割れ及び 2方向ひび割れ	コンクリート工 (t = 6cm) 無筋	¥ 30,860/m ²	平成 9、10年積算資料による 建設物価 1998/8月版 アスファルト表層工、調査工は含まない
	B	せん断耐力向上 曲げ耐力向上 防水効果あり	コンクリート工 (t = 6cm) アスコン (t = 4cm)	¥ 32,580/m ²	
	C-1	せん断耐力向上 曲げ耐力向上 防水効果あり	コンクリート工 (t = 6cm) 無筋	約 ¥ 40,000/m ²	材工 : 切削工、研掃工、増厚工まで
	C-2		コンクリート工 (t = 10cm) 有筋	約 ¥ 60,000/m ²	
	D	せん断耐力向上 曲げ耐力向上 防水効果あり	コンクリート工 (t = 6cm) 無筋 コンクリート工 (t = 10cm) 有筋	約 ¥ 20,900/m ² 約 ¥ 34,700/m ²	床版増厚工のみ
	E	せん断耐力向上 曲げ耐力向上 防水効果あり	コンクリート工 (t = 6cm) 無筋	約 ¥ 35,000/m ²	材工共、直工費
下面増厚工法	A	ポリマーモルタル使用 (補強鉄筋)	標準増厚 t = 18.5 mm	約 ¥ 65,000 ~ ¥ 72,000/m ²	
	B	補強鉄筋あり モルタルによる増厚 曲げ、せん断耐力向上		約 ¥ 66,000/m ²	
	C	供用中でも補強効果高 補強鉄筋あり 樹脂注入	厚14mm ~ 24mm	約 ¥ 79,000 ~ ¥ 109,000/m ²	
繊維シート接着	A	軽量、高強度 せん断耐力向上	(設計価格)	1層 ¥ 28,780 ~ 4層 ¥ 132,770/m ²	クラック部分の樹脂注入、補修は別途 足場などは別途 他諸経費は含まず
	B	軽量、高強度 せん断耐力向上		1層 約 ¥ 22,000/m ²	
	C	軽量、高強度 せん断耐力向上		1層 ¥ 29,000 ~ 2層 ¥ 72,300/m ²	足場などは別途

表 3 - 1 - 3 工法別コスト

[参考：国土交通省ホームページ 新技術情報提供システム]

3 - 2 鋼材の腐食

3 - 2 - 1 塗装橋梁

橋梁の架橋環境はさまざまであるが、塗膜の劣化原因には次のようなものがある。

- a) 塩分・・・塩分の影響は、海上、海岸地域などの飛来塩分量の著しい地域や、寒冷地・山間部の凍結防止剤の散布によりその被害は著しく見受けられる。
- b) 紫外線・・・紫外線は海上、海岸地域や山間部、田園部などで多い。塗膜表面を分解し、白亜化と顔料の艶やかさを低下させる。
- c) 腐食性ガス・発生する個所は化学工場などに限られる。a) b)が加味されると塗膜は著しく劣化する。
- d) 水滴による結露・・・水滴は塗膜を繰り返し透過し、鋼面にマクロセルを形成し、アノード部に塗膜下錆を発生させる。
- e) その他・・・油煙や砂じんによる汚れ。

塗膜は、長期間供用されている間に、水、酸素や上記のような腐食性物質の影響により素地の鋼材の腐食が徐々に進行し、紫外線、熱、降下ばいじんなどによって塗膜表面が風化し、光沢の低下やチョーキング、変退色の進行、汚れの増大などが見られるようになる。

さらに塗膜に割れやはがれなどの欠陥が生じ、ついには塗膜自体の防食や美観保持機能が失われることになる。

塗替えの基本は、塗膜の機能をいかに合理的かつ効果的に良好な状態に維持するかということである。すなわち、塗膜調査により塗膜の劣化程度を調査し、塗膜の管理水準に基づいて、塗替えの判定を行い、最適の塗替え時期を選定し、塗替え塗装工事を行うことである。

(1) 施工フロー

維持管理の第一歩は点検である。すなわち、点検を密にし、塗膜劣化部分の早期発見に努めることが大切である。塗替え塗装の方法や範囲を決定するには、さらに詳細な調査が必要なので、塗膜に異常が認められた個所については、詳細点検を実施する必要がある。

図 3 - 2 - 1 に塗り替え塗装のフローの例を示す。

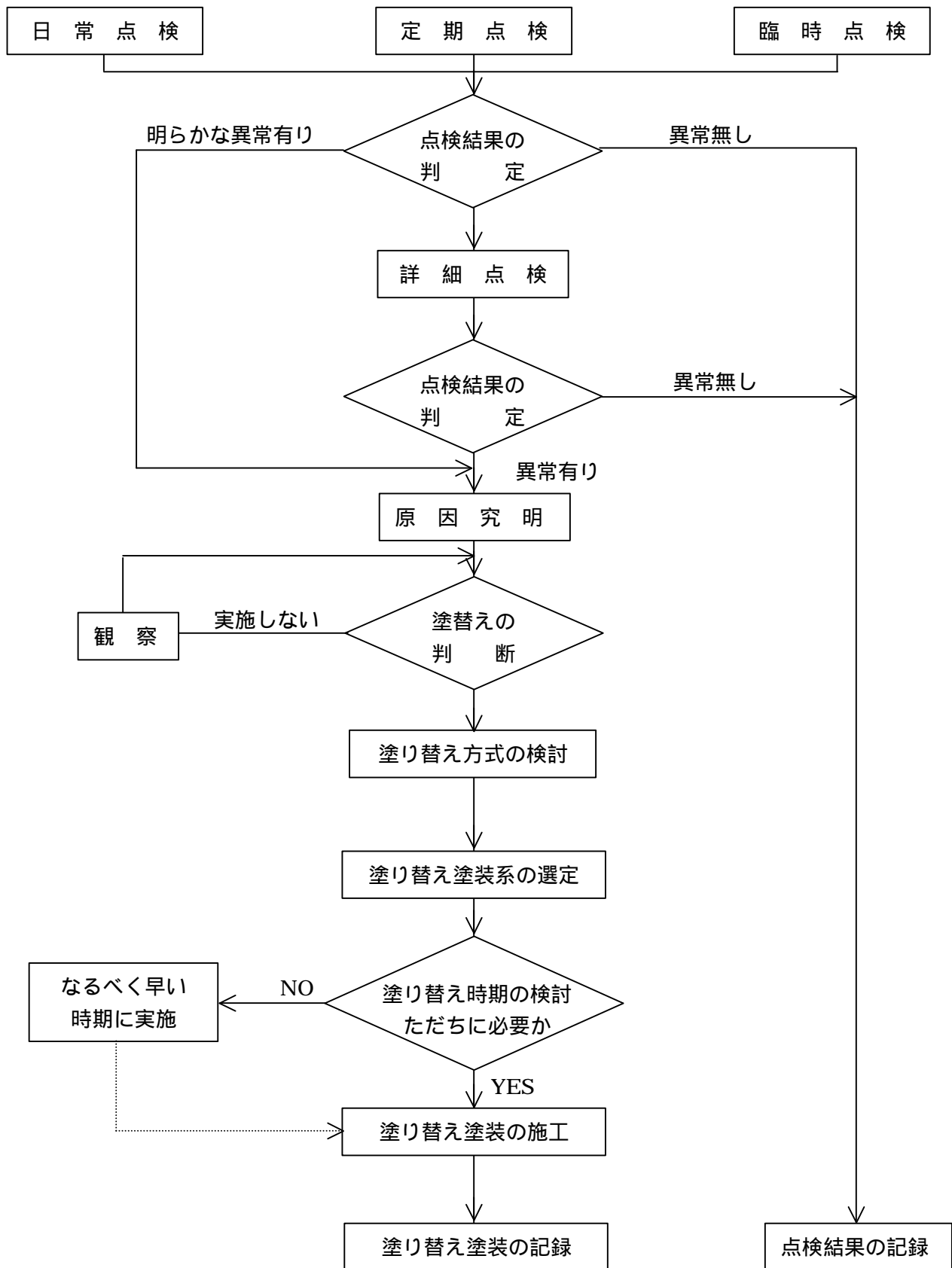


図 3 - 2 - 1 塗り替え塗装の施工フロー例

(2) 塗替え塗装の調査項目

表 3 - 2 - 1 に公共機関等の塗膜調査項目を示す。

表 3 - 2 - 1 塗膜の調査項目

調査項目	目 視 調 査										
	さ び	は が れ	白 垂 化	わ れ	ふ く れ	変 退 色	汚 れ	き ず	漏 水	色 む ら	腐 食
調査機関											
鋼道路橋塗装便覧（日本道路協会）											
日本道路公団											
首都高速道路公団											
阪神高速道路公団											
本州四国連絡橋公団											
J R 総合技術研究所											

従来塗膜調査は、「さび」や「はがれ」など、鋼橋塗膜の保護機能の低下程度を調べる目的を主体に実施されていた。近年は鋼橋などの構造物は地域社会とのかかわりが大きいため、地域環境とマッチングしたカラーデザインなど景観を重視している。このため保護機能と同時に美観の維持も重要な要素となっている。

このため、塗膜調査においては保護機能と美観機能の劣化程度を調査する必要性が生じた。

1) 防錆視点での調査項目

防錆視点での塗膜の劣化は、塗膜による鉄の保護機能の劣化で生じる「さび」と、塗膜の劣化による「はがれ」「割れ」「ふくれ」があるが、調査項目としては、「さび」と「はがれ」が用いられる。

これは、「さび」の場合は、直接的に鉄の腐食に関するものであり、「はがれ」の場合は保護機能として塗膜が欠落している状態であるため近い将来「さび」につながり、かつ塗膜劣化の程度を十分評価することができることによる。

2) 美観視点での調査項目

鋼橋塗膜の美観視点での塗膜劣化は、橋が設置されている環境との融和が損なわれている場合と、橋全体から受ける印象が重要であり、「変退色」「はがれ」「汚れ」がある。「はがれ」は美観を大きく損なうものであり、「変退色」は美観を損なう場合がある。また、「汚れ」は塗膜の劣化ではないが、美観を損なうものとして評価項目に入れられる。

美観視点の調査項目は「変退色」「はがれ」「よごれ」の2項目である。

(3) 調査手法と評価基準

a) 調査手法

鋼橋の塗膜の調査手法には、目視調査、計器による調査、および塗膜汚染物質の分析（塩分測定など）があるが、最も重要視されているのは目視調査である。また、点検の種類、時期などについては以下の通りである。

・ 定期点検

管理する鋼橋の塗膜劣化程度を把握し、塗替え計画を立てる資料を得ることを目的として、塗膜の定期点検を実施する。

点検は目視あるいは双眼鏡を用いた塗膜外観の調査（さび、はがれ、美観など）および漏滞水の有無の確認などについて行う。

点検時期は、塗替え計画を合理的に立てるためにA、B塗装系については2年に1回、C塗装系については3年に1回程度の頻度で塗膜点検を実施することが望ましい。

塗膜点検はできるだけ橋梁に近づき橋梁全体の塗膜劣化度を把握することが望ましいが、橋梁の規模や架設状況などにより橋梁全体の点検を行うことが困難な場合は、塗膜劣化を代表する箇所の塗膜劣化度を把握する。

・ 詳細点検

道路巡回時や定期点検時に、塗膜の早期劣化が発見された場合には詳細点検を実施する。詳細点検は塗膜の早期劣化の原因を明らかにするとともに、塗替え塗装系や素地調整方法を選定するために行うものである。

点検は目視あるいは双眼鏡を用いた塗膜外観調査（さび、はがれ、変退色など）と、架設環境の変化、漏滞水の有無の確認を主として行い、必要に応じ計器を用いて付着力、光沢、チョーキング並びに付着塩分量などについて測定を行う。

b) 評価基準

塗膜の調査方法には目視調査、計器による調査及び塗膜汚染物質の分析（塩分測定など）がある。

(1) 目視調査

目視調査方法としては、標準写真と比較する方法と標準図との対比の方法の2通りがある。本項では日本鋼構造協会指針の例を示す。

1) さび

塗膜下の腐食は複雑な経過の基に起こりさびの発生形態や分布状態はさまざまである。さび発生調査は調査対象面に発生しているさびを全対象とし、標準図と対比しながら評価を行い評価点で表す。

一般に調査は部位別に分けて径間毎に評価を行う。

以下は、さびの評価点を示す。

さび評価点

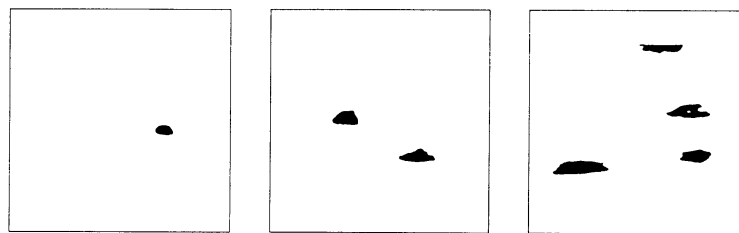
評価点 (RN)	発生状態	外観状態
	発生面	
3	$X < 0.03$	異常なし。 誰が見ても外観的には、さびが認められないか、さびらしきものがあったても無視し得る程度のもの。
2	$0.03 < X < 0.3$	僅かにさびが見られる。 さびが観察される部分以外の塗膜の防食性能はほぼ維持されていると思われる状態。
1	$0.3 < X < 5.0$	明らかにさびが見られる。 誰が見ても発錆部分が多く、何らかの処置を施さなければならない状態。
0	$5.0 < X$	見かけ上ほぼ全面に渡ってさびが見られる。 早急に塗料を塗りなおさなければならない状態。

2) はがれ

はがれは、さびの発生と同様に塗膜にとって重大な欠陥であり、外観上の問題にとどまらず、塗膜の防食の低下に直結する。

調査にあたっては、はがれが発生した層や、はがれの大きさ、密度（剥離面積）などを出来るだけ詳細に観察する事が重要となる。

調査は、日本塗料検査協会のはがれ標準図を参照し、評価点に置き換えて評価を行う。



2点 (9点)

1点 (8点)

0点 (6点)

()内は日塗検評価点を示す。

はがれ標準図

はがれ評価点

評価点 (RN)	日塗検評価点	はがれ発生面積 (%)
3	10	0
2	9	$0 < X \leq 0.5$
1	8	$0.5 < X \leq 2.0$
0	6以下	$2.0 \leq X$

3) 白亜化 (チョーキング)

塗膜の白亜化は、紫外線などにより塗膜表面が分解して粉状になった現象であり、橋梁などでは全体的に白っぽく変化するため初期の状況と比較しなければ色合いによっては、肉眼の評価は困難である。

外観評価に際しては、白亜化であることを確認してから初期の色に該当する標準色見本帳などと比較して評価する。

白亜化評価点

評価点 (RN)	日塗検評価点	はがれ発生面積 (%)
3	8点	ほとんど変化なし
2	6点	僅かに白っぽい
1	4点	かなり白っぽい
0	2点	ほとんど真っ白である

4) われ

塗膜のわれは、重大欠陥とは言えないまでも、われからはがれ、発錆などに発展する可能性がある。また、その危険性は、われの形態すなわち、われの深さ、形状、密度などにより異なる。

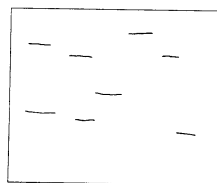
調査にあたっては、出来るだけ詳細にわれ形態や程度を観察し、発生の位置や将来他の欠陥へ発展した場合の履歴を明らかにする必要がある。

尚、一般は以下の3種類に分類される。

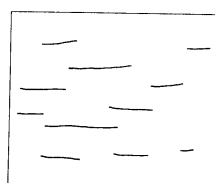
不規則なわれ

線上われ

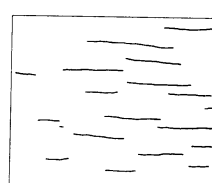
鳥状われ



2点 (8点)



1点 (6点)



0点 (4点)

() 内は日塗検評価点を示す。

われ標準図¹⁾

われ評価点¹⁾

評価点 (RN)	日塗検評価点
3	10
2	8
1	6
0	4以下

5) ふくれ

塗膜のふくれは吸水、膨潤、塗膜下の腐食反応などにより生じ、ふくれの大きさや時間はさまざまである。

全体的観察では小さなふくれの発見は比較的難しいが、発生は塗膜性能を低下させる重要な現象のため、発生状態を十分に注意して観察、記録する。

ふくれ評価点¹⁾

評価点 (RN)	発生状態	
3	発生している面積 (%)	$X < 0.03$
2	同上	$0.03 \leq X \leq 0.3$
1	同上	$0.3 \leq X < 5.0$
0	同上	$5.0 \leq X$

6) 変退色

変退色とは、変色と退色を総称した現象を言う。

変色は塗膜の色合い(色相)、彩やかさ(彩度)、明るさ(明度)のうち、いずれかが変化する現象であり、退色は彩やかさが低下するか、明るさが増す現象である。変退色の評価に当たっては、色差計を用いて測定する方法が一般的である。

7) 汚れ

塗膜の汚れは鋼橋が設置される環境及び交通量に大きく左右される。したがって、塗膜の汚れの内容を調査する事により鋼橋の設置されている環境条件や塗膜劣化因子の推定が容易となり、塗替え塗装計画時の貴重な資料となる。

塗膜表面の汚れを水又は洗剤を用いて 10cmx10cm の面積をふき取り、その洗浄面と周囲の汚れた面との差をグレースケールと比較する事により汚れの程度を評価する。

汚れの評価点

評価点 (RN)	汚 れ の 程 度	グレースケール
3	汚れはほとんどなし	$4 \leq X$
2	やや汚れあり	$3 \leq X < 4$
1	中程度の汚れあり	$2 \leq X < 3$
0	汚れは著しい	$X < 2$

8) 傷

塗膜の傷は塗装のわれと同様重大な欠陥とはいえないまでも、素地まで達している傷は直ちに発錆の原因となる。その危険性は傷の深さ、形状、密度によって当然異なる。

調査にあたっては出来るだけ詳細に傷の形態や程度を観察する必要がある。

評価に際しては、4) われ標準図を参照して評価を行う。

(2) 日本道路公団での評価基準

塗り替えを実施するか否かの判定は、さび、はがれの特定の要因によるもの、または、総合評価によるものとする。

1) さび

部位の評価点が20点程度を超える場合には、塗り替えの考慮が必要となる。

2) はがれ

現地状況等をふまえ、著しく美観が損なわれている場合には、塗り替えを考慮する。

3) 総合評価

総合評価は調査断面毎に求められるさび、はがれ、ひびわれ、チョーキング、環境条件の合計評点の平均値を参考として定める。

また、総合評価は部材毎に1橋単位で求め、各部位の総合評価を行ったあと、総括した橋梁全体としての総合評価を行う。

総合評価と合計評点

総合評価	状 況	合計評点の平均値 (点)	塗装を実施するか 否かの判定
I	塗膜面にさび、ひびわれ、はがれが発生し、塗膜効果が全く失効している。	70～100	緊急な塗替えが必要
II	点さびが多く発生し、ひびわれ、さび、はがれが部分的に発生しているが、一部活膜も残っている。	40～70 未満	早急な塗替えが必要
III	塗膜にほとんどさびはないが、光沢減退チョーキングが著しく、上塗り塗膜が消失している部分もある。	20～40 未満	適時な塗替えが必要
IV	塗膜にほとんど異常がない。	20 未満	調査を継続

(4)劣化レベルによる素地調整法等

素地調整の目的は早期劣化の原因となる鋼面錆を除去し、付着している有害物質の除去と層間付着性をよくするためのアンカーパターン形成（面荒らし）のために行うものである。

素地調整（ケレン）は塗膜の耐久性を左右する大きな要因で、通常50%程度の影響力を持つと言われており、素地調整法の選定に当たっては慎重に検討する必要がある。

表 - 1 に示すように作業内容により1種～4種の4種類に区分されており、塗膜の劣化状態に応じて表 - 2 のように適用される。実際の塗り替えではほとんど3種を適用している。

3種は死膜部分の発生比率により作業時間と費用が大きく異なるので、実用上（積算上）3段階に細分することが多い。塗膜の劣化面積あるいは発錆面積と素地調整との関連づけは表 - 3 に示すように行うことが多い。

素地調整を行う際は環境汚染、通行人や通行車に対する障害防止の対策を十分に行うと共に、密閉部では送排風機設置による換気や照明装置の設置、ケレンダストの清掃に注意する。

表 - 1

種別	作業内容	作業方法
1種	さび、塗膜を除去し、清浄な鋼材面とする。	ブラスト法
2種	さび、塗膜を除去し鋼材面を露出させる。ただし、くぼみ部分や狭あい部分にはさびや塗膜が残存する。	ディスクサンダー、ワイヤホイールなどの動力工具と手工具の併用
3種	さび、劣化塗膜を除去し鋼材面を露出させる。ただし劣化していない塗膜（活膜）は残す。	同上
4種	粉化物および付着物を落とし、活膜を残す。	同上

備考 ジンクリッチペイントやジンクリッチプライマーの活膜は動力工具や手工具で除去するのが難しく、2種のケレンでも残存する。

表 - 2

塗膜の劣化程度	素地調整の種別
発錆がはなはだしく塗膜のわれ、ふくれ、はがれについてもほぼ全面に発生している状態	1種、2種
部分的に点さびおよび塗膜のわれ、ふくれ、はがれが発生しているが活膜も多くある状態	3種
さびの発生がほとんどなく塗膜が変色、白亜化した状態	4種

表 - 3

(1) さびが発生している場合

素地調整種別	さびの状態	発錆面積(%)	素地調整内容
2種	点錆が進行し、板状錆に近い状態や、こぶ状錆となっている。	30以上	旧塗膜、さびを除去し、鋼材面を露出させる。
3種A	点錆がかなり点在している。	15～30	活膜は残すが、それ以外の不良部(さび・われ・ふくれ)は除去する。
3種B	点錆が少し点在している。	5～15	同上
3種C	点錆がほんの少し点在している。	5以下	同上

(2) さびがなくわれ・ふくれ・はがれ・白亜化・変退色などの塗膜異常がある場合

素地調整種別	さびの状態	塗膜異常面積(%)	素地調整内容
3種C	発錆はないが、われ・ふくれ・はがれの発生が多く認められる。	5以下	活膜は残すが、不良部は除去する。
4種	発錆はないが、われ・ふくれ・はがれの発生が少し認められる場合。	5以下	同上
	白亜化・変退色の著しい場合。		粉化物・汚れなどを除去する。

1) 発錆面積、塗膜異常面積；正確にはケレンによる塗膜除去の必要な面積を示す。

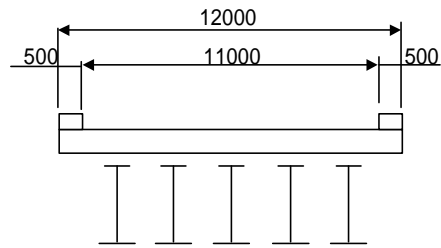
(5) 塗替え工法比較

	通常塗替え	重防食塗替え	常温亜鉛アルミ溶射
特徴	通常塗装系による塗替え	道路橋に適用される塗装系では最も防錆性能に優れたフッ素樹脂塗料による塗替え	溶射ガンを使用し、溶融して溶液化した亜鉛を圧縮空気圧により素地表面に噴射押圧し定着する工法。亜鉛の犠牲防食作用により十分な防錆効果を持続する。
塗装工程	素地調整 3種 タッチアップ 鉛系錆止めペイント 下塗り 鉛系錆止めペイント 中塗り 長油性フタル酸樹脂塗料 上塗り 長油性フタル酸樹脂塗料	素地調整 3種 タッチアップ1,2 有機ジンクペイント タッチアップ3 変性エポキシ樹脂塗料 下塗り 変性エポキシ樹脂塗料 中塗り フッ素樹脂塗料 上塗り フッ素樹脂塗料	素地調整 2種（金属素地50%以上露出） 脱脂処理 溶剤、洗剤 粗面形成処理 常温金属溶射 亜鉛、アルミニウム 封孔処理
特徴比較	<p><長所> 初期投資が安価である。</p> <p><短所> 塗り替え期間が短い（約15年） 素地調整、各塗装段階における施工管理が重要であり、十分な管理が必要である。 塗り替え塗装は新設塗装に比べ防錆性能は劣る。 塗り替え毎に素地調整費用は増加する。</p>	<p><長所> 下塗りの防錆性能および上塗りの耐候性が高く長期間防錆効果を発揮できる。 道路橋に適用される塗装系では最も防錆性能に優れる。 フッ素樹脂は塗装表面が硬く、塗膜を損傷しにくい。 色相や光沢の変化が少ない。</p> <p><短所> 素地調整、各塗装段階における施工管理が重要であり、十分な管理が必要である。 塗り替え塗装は新設塗装に比べ防錆性能は劣る。 塗り替え毎に素地調整費用は増加する。</p>	<p><長所> 被溶射体への熱影響が少なく、熱による変質、変形を起こさない。 被溶射体は、形状、大きさに制限されない。 素地調整の簡素化が図れる。 従来の高度なプラストが不要で、50%以上露出すれば良い。 塩水噴霧試験の結果、従来工法に比べて3～4倍の耐食性を有する。 通常の亜鉛溶射と比較し、被膜粗さが低い。</p> <p><短所> 構造部材で溶射出来ない箇所がある。 （スカーラップコバ面など） 大きなコンプレッサと発電機が必要 溶射時の騒音が大きい。 施工コストが若干高い。</p>
耐用年数	約15年	約30年	約50年
防錆費用 (足場等含まず)	約7300円/m ²	約9700円/m ²	約21500円/m ²
100年 LCCによる 経済性評価 <small>(通常塗替えを1.0とした場合)</small>	× (7.00)	(5.35)	(5.92)

(6) 工法別コスト調査 (試算) ~ (5) による塗替え工法別の100年 L C C を試算する。

試算には、5主単純鋼桁を使用し、環境は一般環境(山間部)を考える。

L C C 算出構造形式



L C C の算出

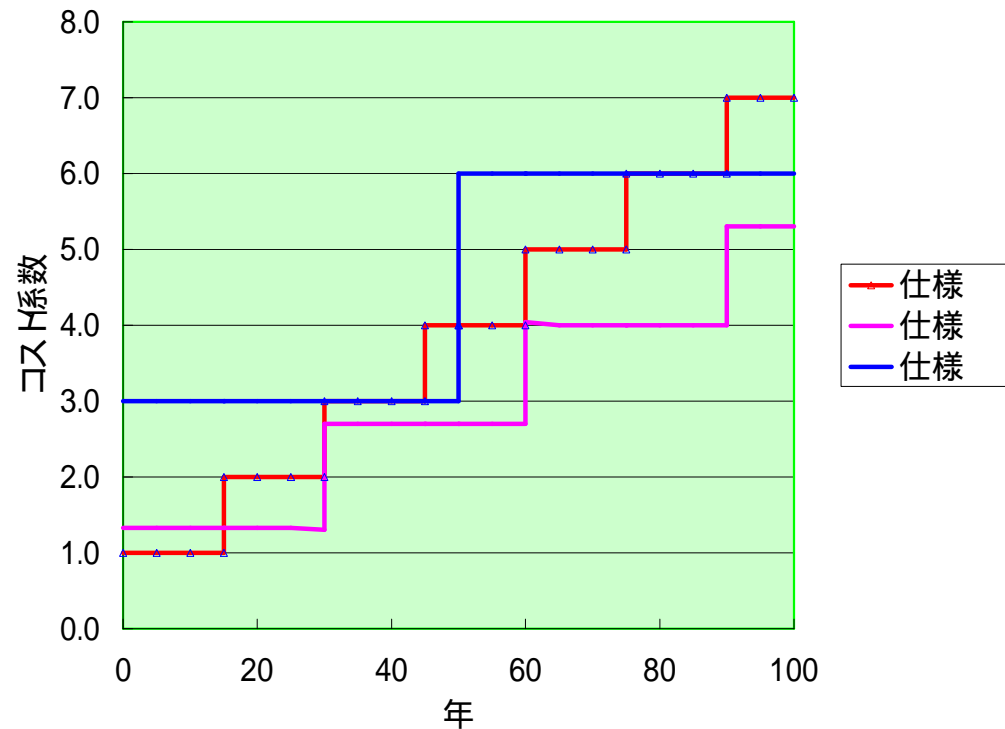
初期建設費と維持補修費

項目	通常塗替え	重防食塗替え	常温亜鉛アルミ溶射
形式	I桁橋(ガイドライン形式橋)	I桁橋(ガイドライン形式橋)	I桁橋(ガイドライン形式橋)
塗装(塗り替え)	通常塗替え	重防食塗替え	常温亜鉛アルミ溶射
塗装	新設初期		
	塗り替え	15年	30年
	部分補修		50年
	13,672,000	18,286,000	40,503,000

構造仕様

橋梁形式	I桁橋(ガイドライン形式橋)
環境	一般環境(山間部)
径間数	1
橋長(m)	40
幅員(m)	12
有効幅員(m)	11
有効幅員橋面積(m ²)	440
桁長(m)	39.8
平均支間長(m)	39
主桁本数	5
工場塗装面積(m ²)	1709

工法別コスト比較(100年)



3 - 2 - 2 耐候性橋梁

(1) 耐候性橋梁の調査項目

耐候性橋梁は、維持管理に関しては全く手をかけないでよいということはない。塗装橋梁と同じように、排水の状況や支承回りの状況等の基本的な項目の点検は必要です。また、耐候性橋梁独特の項目としてさびの状態を定期的に調査していく必要があります。

点検としては安定さびであるか否かの判断より、さびの状態が良いか悪いかの判断に主眼をおいて行うことにする。理由としては、安定さびを非破壊的に、定量的・客観的に判定することは現在の技術レベルではまだ困難であること、また完全な安定さびの生成までに数年から10数年もの長期間を要することの2点の問題があることによる。また、点検維持の観点からいえば安定さびであることは必ずしも絶対的な条件とはいえず、むしろさびの状態をみて順調に安定化に向かっているとか、安定さびができにくい状況であるという形で判断する方が合理的である。

1) 重要点検部分

耐候性橋梁で重点的に点検する部分は、塗装橋梁の塗膜が劣化しやすい部分と同じである。具体的には以下に示す構造部分であると考えられる。

桁の下フランジ下面、下フランジとウェブの溶接部
桁内面、下フランジ下面
トラス橋各点部
桁端及び支点付近、支承部
部材取付部や連結部
ラーメン隅角部など接点部
ゲルバー桁の掛け違い部
伸縮装置、排水装置

2) 点検項目

点検項目としては以下に示す5項目を目安と考えている。

層状剥離さびの有無
粗いさびまたは浮きさびの有無
耐候性鋼板上に存在する水道
耐候性鋼板上の耐水の有無
耐候性鋼板のさび面に接する不純物の有無

が見られる場合は、安定さびにならないので適当な時期に塗装する等の処置が必要である。が見られる場合は、安定さびにならないことも考えられるので以後の経過観察が必要である。、が見られる場合は、安定さびになりにくい状況であるので、その原因を調べて適切な処置を施しておく必要がある。

(2) 層状剥離さびまたは粗いさびが見られる場合の対応の目安

点検の結果、層状剥離さびまたは粗いさびが見られる場合下表に示す対応をとる必要がある。

表 - 1

さびの状態	拡が り	主 部 材	二 次 部 材
層状剥離さびがある	部材全体に拡がっている	裸使用から塗装使用への変更についての必要性を検討する。	漏水などの他の構造的損傷を伴っていないか調査して応急対策を講じる。
	局部的なものにとどまっている。	漏水の原因となる他の構造的損傷を伴っていないか調査して応急対策を講じる。	経年的追跡調査を行う。漏水の原因となる他の構造的損傷を容易に見極められる場合には、その対策を講じておくことが望ましい。
粗いさびがある	部材全体に拡がっている	特になし	漏水の原因となる他の構造的損傷を容易に見極められる場合には、その対策を講じておくことが望ましい。
	局部的なものにとどまっている	漏水の原因となる他の構造的損傷を容易に見極められる場合には、その対策を講じておくことが望ましい。	特になし

注) 主部材、二次部材の区別は、橋の耐荷力、耐久性に着目して次のとおりとする。

主 部 材 ; 主桁、主構、横桁、縦桁、床版、支承、落橋防止装置など

二次部材 ; 横構、対傾構、地覆、排水施設、添架物など

(3) 補修方法

主部材で剥離層さびが全体に広がっている場合には塗装仕様への変更を検討しなければならないが、補修方法としては海岸線近くに架橋され、飛来塩分の影響で損傷を受けた場合の各種補修塗装の結果から(社)日本鋼橋塗装専門会が提案している補修方法を下記に紹介します。

素地調整		・ブラスト処理
塗装仕様	下塗	・ブラスト直後に希釈ジンクリッチペイントを一次プライマー的に塗布 ・ブラスト局面の粉塵の影響が去った後にジンクリッチペイントをオーバーコート ・その上に変成エポキシ樹脂系を塗装
	中、上塗	・ポリウレタン系

4章 橋梁形式別のLCCの試算ならびに鋼橋のコスト縮減に関して

この章においては、3章までに各種調査を実施した維持補修工法やそのコスト等をデータベースとして、各種橋梁形式の橋梁上部構造全体のライフサイクルコストの試算を実施するとともに、鋼橋のコスト縮減に関して、コスト縮減要素を紹介する。

4-1 橋梁形式別LCC試算

(1) LCC試算ケース

以下表4-1(1)に記す各種橋梁について比較を行った。

表4-1(1) LCC比較

比較ケース	支間50m			支間100m	
	1	2	3	4	5
橋梁形式	多主鈹桁橋	少数鈹桁橋	PRC箱桁橋	細幅箱桁橋	PRC箱桁橋
橋長	200m			400m	
支間長	4 x 50m			4 x 100m	
全幅員	10.7m				
有効幅員	9.5m				
橋面積	1900m ²			3800m ²	

表4-1(2) LCC試算要素

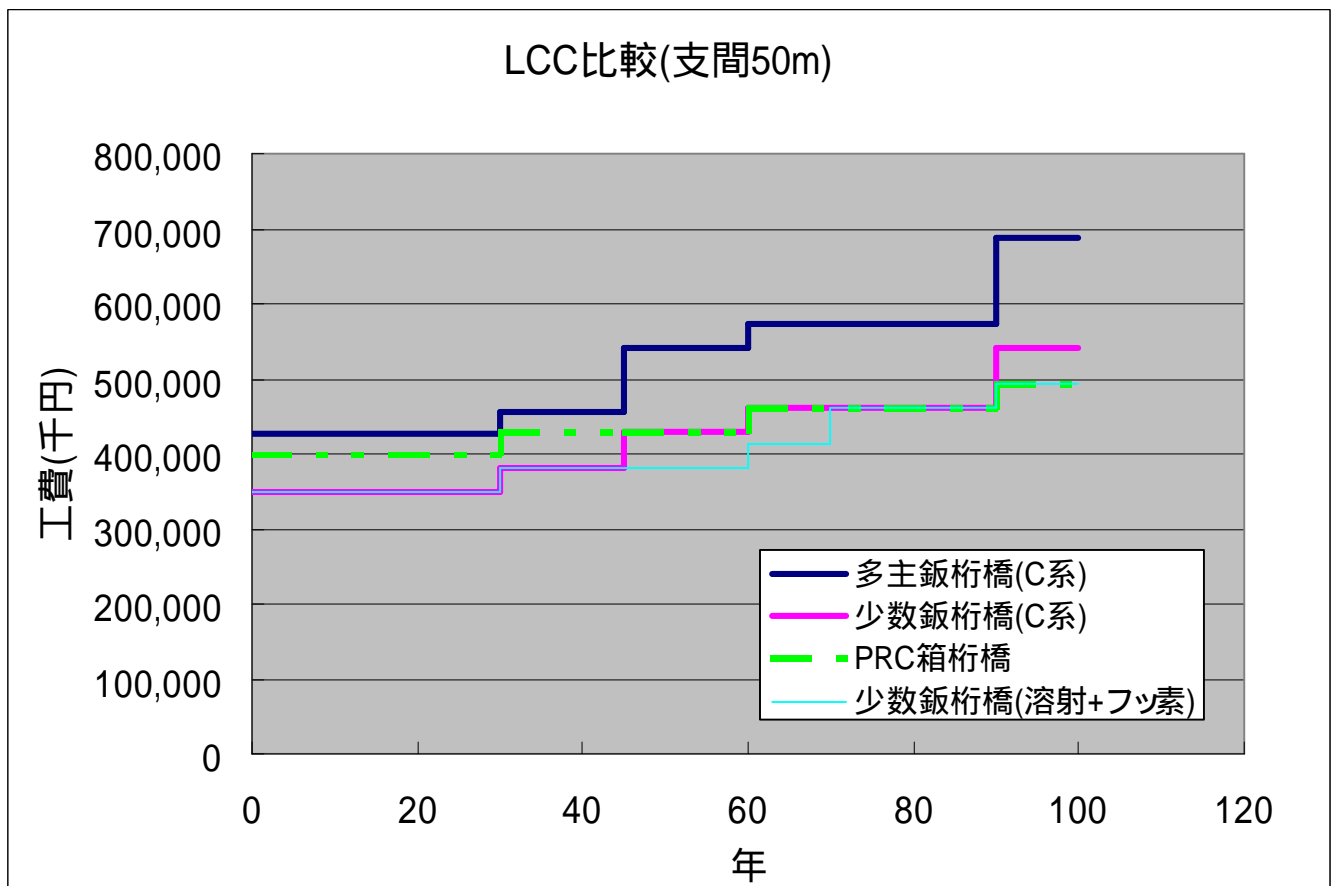
1.	イニシャルコスト		
2.	舗装/防水層		
	舗装打ち替え	30年に1回	5,000 円/m ²
	防水層	30年に1回	10,000 円/m ²
3.	塗装塗替え(鋼橋)		
	C-4系	45年に1回	10,500 円/m ²
	常温溶射+フッ素	70年(1回目)	10,500 円/m ²
		45年に1回	10,500 円/m ²
4.	コンクリート補修(PC橋)		
	中性化防止、塩分浸透防止など		
5.	付属物取替え		
	伸縮装置	30年に1回	3,000 千円/回

表4 - 1 (3) イニシャルコスト

比較ケース		支間50m			支間100m	
		1	2	3	4	5
橋梁形式		多主鈹桁橋	少数鈹桁橋	PRC箱桁橋	細幅箱桁橋	PRC箱桁橋
橋面積	m2	1900			3800	
鋼重	kg/m2	280	230		330	
	t	532	437		1254	
塗装面積	m2/t	15	10.7		13.2	
	m2	7980	4676		16553	
工費	千円/t	800	800		950	
	千円/m2	224	180	210	310	280
イニシャルコスト	千円	425,600	349,600	399,000	1,191,300	1,064,000

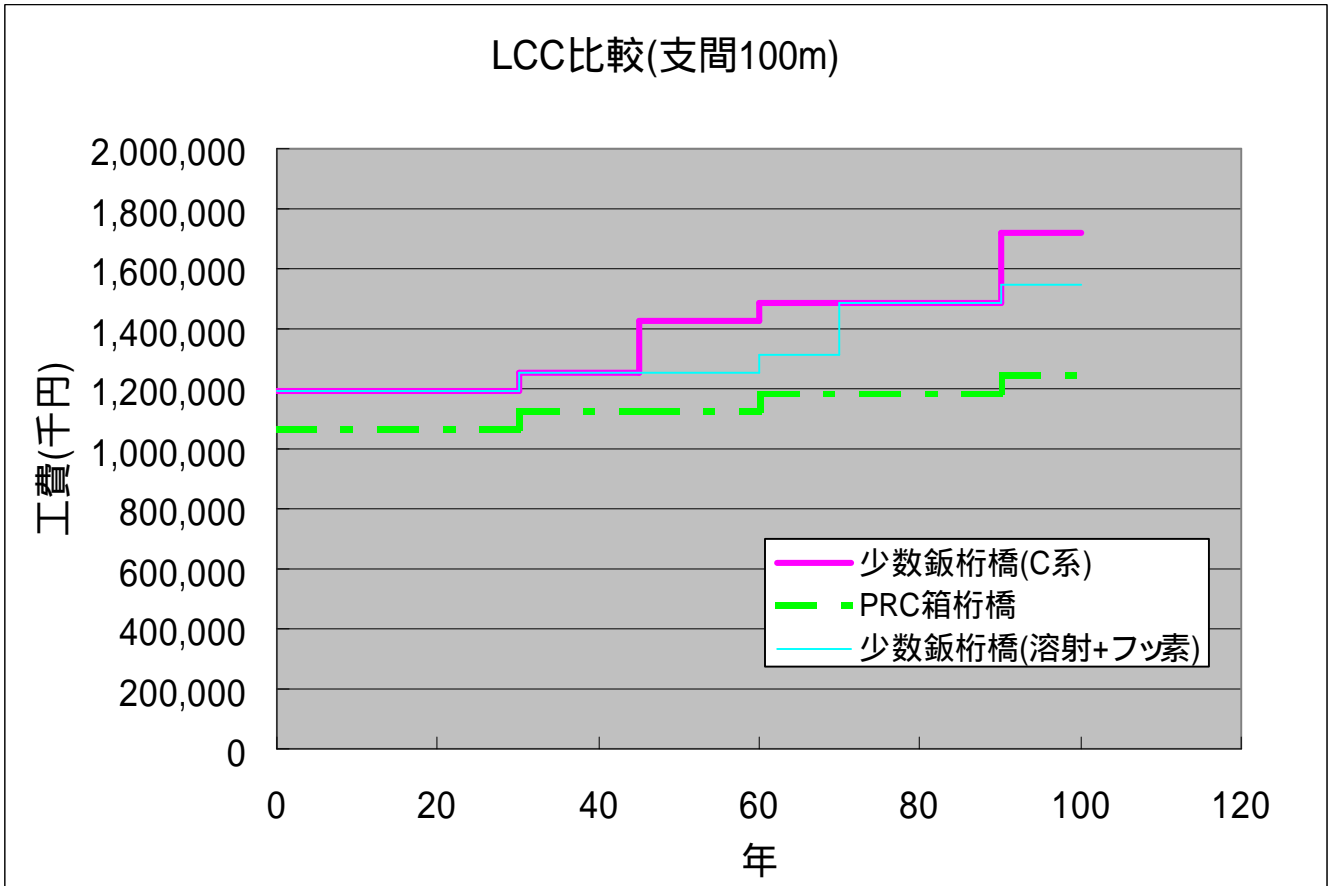
コスト比較試算結果 (支間50m)

図4 - 1 (1) LCC比較(支間50m)



コスト比較試算結果 (支間100m)

図4-1(2) LCC比較(支間100m)



4-2 鋼橋のコスト縮減要素の紹介

ここでは、4-1のLCC試算の結果を受けてコスト縮減要素として、新材料ならびに、設計手法の例を2例紹介する。

4-2-1 高性能鋼材

(1) 概要

近年の鋼橋におけるコスト縮減という社会要請のなか、鋼橋の重量な要素技術である鋼材技術についても、様々な優れた特性をもつ鋼材が開発されており、それらの特性を利用すると、橋梁に要求される性能を高め、ひいては橋梁建設のコスト削減につながる。

その一つとして高性能鋼材(BHS500(W),BHS700(W))があり、高性能鋼材を適用した場合のコスト削減効果について紹介する。

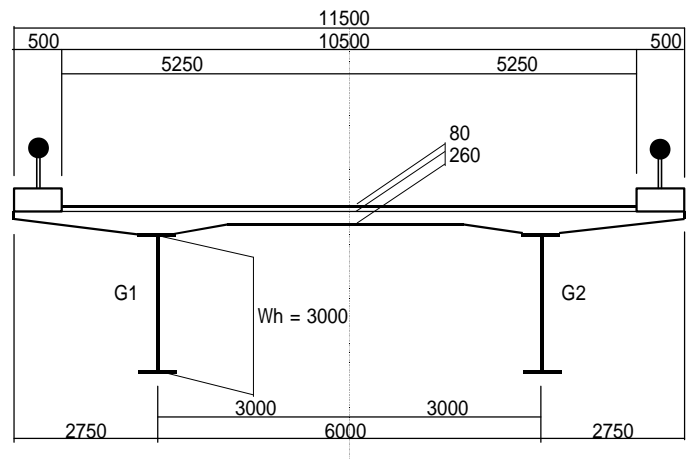
(2) コスト試算

鋼材の材質をパラメーターとし、同一条件の橋梁を対象に概算工事費を算出する。尚、BHS500W,BHS700Wは、降伏点強度がそれぞれ500Mpa,700Mpaの鋼材である。また、耐候性仕様(W)で試算している。

橋梁緒元及び構造図を示す。

○橋梁緒元

支間	2@70.0m
床版	合成床版
幅員	11.5m,10.5m
床版厚	26cm
舗装厚	80mm
桁高	3000mm
フランジ幅	850mm
コンクリート強度	35N/mm ²



コスト試算結果

タイプ	SM570W	BHS500W	BHS700W	
鋼重(t)	350	308	296	
単位面積あたり鋼重(t)	0.238	0.21	0.201	
鋼材費	t単価(万円)	15.3	15.3	16.2
	価格(万円/m ²)	3.6	3.2	3.3
製作費	t単価(万円)	28.1	24.2	24.2
	価格(万円/m ²)	6.7	5.1	4.9
架設費	t単価(万円)	38.6	38.6	38.6
	価格(万円/m ²)	9.2	8.1	7.8
床版費	m ² 単価	4.0	4.0	4.0
合計m ² 単価(万円/m ²)	23.5	20.4	19.9	
比率	1.00	0.87	0.85	

(3) まとめ

- ・従来の SM570W と比較して、BHS500W では 10%以上の鋼重低減が可能となる。
- ・一般的な桁橋では降伏点が 500MPa を超えると疲労限界が支配的となり、それ以上の鋼材強度を高めても鋼材量はそれほど減少しない。
- ・BHS700 はプレートガーダーに使うより、トラスの弦材等で大きな引張力の発生する部材に使う場合にメリットがあると考えられる。

4 - 2 - 2 ハイブリッド桁

(1) 概要

はじめに「ハイブリッド桁 (hybrid girder)」についての定義であるが、フランジ、腹板ともに同じ鋼種を用いた「ホモジニアス桁 (homoginious girder)」と対比する用語として、鋼桁のフランジのみに高強度の鋼材を用い、腹板に低強度の鋼材を用いた鋼桁である。また、中小スパンの鋼橋の場合、水平補剛材を省略し、垂直補剛材も疎に配置したライフサイクルコストの観点から経済性が発揮できる構造的に合理化された鋼桁である。以下に、ハイブリッド桁とホモジニアス桁との経済性の比較結果を記す。なお、ハイブリッド桁の設計は限界状態設計法に基づいて設計を行っている。

(2) コスト試算

ここでは、日本鋼構造協会「限界状態設計法に基づいたハイブリッド桁の設計基準(案)」により“鋼3径間連続非合成2主桁(3@60m=180m 総幅員12.5m)”の橋梁での試設計による積算によりホモジニアス桁との工数算定集計結果と、工場制作費比較結果の報告を行う。なお、ホモジニアス桁は許容応力度法による設計であるため、断面力や安全率などを調整している。

工数算定結果						
集計要素			単位	ハイブリッド	ホモジニアス 水平補剛材なし	比較
						/
鋼材	SM400		kg	247834	62138	0.251
	SM490		kg	48032	108544	2.260
	SM570		kg	164776	303040	1.839
	高力ボルト		kg	12714	11430	0.899
	合計		kg	473356	485152	1.025
主桁	大型材片	材片数	個	102	102	1.000
		材片重量	kg	380084	388808	1.023
	小型材片	材片数	個	446	526	1.179
		材片重量	kg	43596	47952	1.100
	部材数		個	66	66	1.000
加工鋼重	総加工重量		kg	460642	473722	1.028
	SM570相当加工鋼重		kg	164776	303040	1.839
工場制作費の比較						
集計要素			単位	ハイブリッド	ホモジニアス 水平補剛材なし	比較
						/
工場制作費						
	材料費		¥	¥52,943,407	¥59,069,909	1.116
	直接労務費		¥	¥36,233,478	¥48,371,015	1.335
	工場塗装費		¥	¥13,136,752	¥13,403,641	1.020
	工場原価		¥	¥134,386,629	¥161,958,126	1.205
	t当り工数		人/t	2,917	3,168	1.086
	t当り工場単価	工場単価/t		283,902	333,830	1.176
	m2当り工場単価	工場単価/m2		64,491	77,722	1.205

(3) まとめ

工数算定結果においては、鋼重が、ホモジニアス桁がハイブリッド桁よりも 2.5% 重く、また、材片数に着目すると、大型材片数は等しいが、小型材片数に着目した場合に、水平補剛材の無いホモジニアス桁は、ハイブリッド桁に比べて材片数で約 18% 多く、鋼重も 10% 重い。

また工場制作費では、ハイブリッド桁においては小型材片数が少ないことにより、材料費、労務費に与える影響が大きく、ハイブリッド桁がホモジニアス桁よりも、工場制作費で 10% 程度安く製作できるメリットを有していることが分かる。

5章 おわりに

平成9年に公共事業コスト縮減についての「関係閣僚会議」設置され、その後政府全体で公共事業の全てのプロセスをコストの観点から見直す政府プログラムとして「公共事業コスト構造改革プログラム」が策定された。このプログラムの具体的施策に、計画・設計から管理までの各段階における最適化各指針が策定されており、それを受けて国土交通省では、公共事業コスト縮減について具体的施策の中で【3】新技術の活用、【5】管理の見直しを記している。

これらは、良質な社会資本を低廉な費用で整備・維持し、社会資本が備えている基本性能・品質の確保を図ることを目指している。即ち、ライフサイクルコストを考慮した計画的な維持管理を推進することを目指している。【3】新技術の活用 においては、「耐久性」に重きを置いた設計手法や構造詳細の採用等が浸透し、長寿命化を意識した橋鋼橋新形式として「2主鈹桁橋」、「開断面箱桁橋」、「各種の合理化橋梁」、「コンクリート橋との複合または合成構造」などが建設されはじめた。また、【5】管理 という面から道路橋の現状と将来を見た場合に、日本の橋梁工事は高度経済成長期終盤の1970年代前半をピークに数多くの橋梁が架設されており、1966～1980年の15年間に架設された橋梁の数は支間15mを越えるものだけで6万橋にも及ぶ。これは現存する橋梁の約半分にあたり、このうち鋼橋は3万5千橋にも及ぶ。現在最盛期を迎えるこれら多くの橋梁はそのような意識が薄い中で建設されているため、補修・補強により延命化が必須である。

本報告書では「RC床版の疲労損傷」、「鋼材の腐食」に着目し補修・補強事例、新材料・特殊工法事例、また「LCCの試算」と「鋼橋のコスト縮減策(論文)」等の情報を紹介しましたが、これらが鋼橋設計において補修・補強に携わる方々への一助になれば幸いです。

6章 参考文献 資料一覧表

基準・要領、他出版物	発行	発行年
<ul style="list-style-type: none"> 道路維持修繕要綱 道路橋補修便覧 鋼道路橋塗装便覧 橋梁点検要領(案) 鋼道路橋設計便覧 設計要領第二集 維持管理と耐久性を考慮した鋼構造物の計画・設計・施工上の留意点 HANSHIN EXPRESSWAY -都市高速道路ノート コンクリート標準示方書(維持管理編) 橋梁と基礎 <ul style="list-style-type: none"> 特集・21世紀を拓く橋梁の新技術 特集・橋を守る技術と人 	<ul style="list-style-type: none"> 社)日本道路協会 社)日本道路協会 社)日本道路協会 建設省土木研究所 社)日本道路協会 日本道路公団 阪神高速道路公団 財)阪神高速道路管理技術センター 阪神高速道路公団 財)阪神高速道路管理技術センター 土木学会 建設図書 	<ul style="list-style-type: none"> 昭和53年8月改訂 昭和54年2月 昭和54年2月 昭和63年 昭和55年8月改訂 平成4年9月 昭和54年8月 2001・1 1997・8 2001・8

日本橋梁建設協会発行 出版物	発行
<ul style="list-style-type: none"> 支承部補修・補強工事手引き 既設橋梁落防設計手引き 既設橋梁落防施工手引き 既設橋脚耐震補強手引き 既設床版取替の事例集 鋼橋損傷と点検・診断 鋼橋保全技術の紹介 補修・補強工事安全の手引き 新しい鋼橋 新しい鋼橋の誕生 資料編 デザインデータブック 	<ul style="list-style-type: none"> 1999・9 1999・3 1999・3 1999・3 H15年3月 H12年5月 H12年9月 2000・9 H11年8月 1998・4

基準・要領、出版物他	発行	発行年
<ul style="list-style-type: none"> 鋼橋塗装設計施工基準 耐候性鋼の橋梁への適用 新しい合成構造と橋 NCB研究会編 鋼橋の未来 21世紀への挑戦 橋梁技術の変換 道路保全技術者のために 鋼道路橋の建設・管理 橋梁と都市 PROJECT 国土交通省HP 新技術情報提供システム 	<ul style="list-style-type: none"> 財)首都高速道路厚生会 社)鋼材倶楽部 社)日本橋梁建設協会 山海堂 技報堂出版 鹿島出版会 明星大学出版部 橋梁編纂委員会 	<ul style="list-style-type: none"> H7年5月 1996・2 1998・10 2000・12 1998・4 各号 昭和54年8月
http://www.kangi.ktr.mlit.go.jp/NetisPub/NtSearch.asp		

論文等(タイトル)	発行	発行年
<ul style="list-style-type: none"> 中井博、明橋克良 技術報告・ハイブリット桁の設計基準(案)の作成と試設計による有用性の検証(ハイブリット桁の設計基準作成小委員会) 田中、明橋、植野、鞆、檜垣、中井 ハイブリット桁の経済性に関する比較・検討について 高須賀、上村、安波、岡田、遠山、塩飽 少数主桁橋への高強度鋼の適用による鋼重低減効果 三木、市川、楠、川端 橋梁用高性能鋼材(BHS500、BHS700)の提案 	<ul style="list-style-type: none"> 社)日本鋼構造協会 社)土木学会 社)土木学会 社)土木学会 	<ul style="list-style-type: none"> 2002・7 (JSSC No.45) 土木学会第57回 年次学術講演会 (平成14年9月) 土木学会第57回 年次学術講演会 (平成14年9月) 土木学会論文集 No.738/1-64、1-10 2003・7