

V-9 橋梁の健全度評価と維持管理システムの高度化に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）
 研究期間：平 13～平 16
 担当チーム：構造物研究グループ（橋梁構造）
 研究担当者：村越 潤、麓 興一郎

【要旨】

道路橋ストックの高齢化が進む中で、更新時期の平滑化、補修・更新費用の最小化等の観点から、橋梁の点検、診断、劣化予測技術を開発するとともに、これらの技術を活用して、予算等の制約条件の中で、橋梁を効率的かつ計画的に維持管理するための支援技術が求められている。本研究は、橋梁の劣化現象を踏まえた健全度の評価手法、劣化予測手法について検討し、評価・予測結果に応じて適切な補修補強対策が可能な維持管理システムの開発を目標とするものである。平成 16 年度は、補修補強のシナリオに応じて将来の補修費用を年度単位で算出可能な計算プログラムを作成した。また、橋梁の点検データを用いた健全度評価分析および補修費用の将来推移に関する試算を行った。さらに、既設鋼桁橋の溶接継手の疲労損傷を対象として、交通条件や構造条件を基に疲労耐久性を概略評価する方法について検討を行った。

キーワード：道路橋、維持管理、橋梁点検、橋梁マネジメントシステム、健全度評価、劣化予測

1. はじめに

道路橋ストックの高齢化が進む中で、更新時期の平滑化、補修・更新費用の最小化等の観点から、橋梁の点検、診断、劣化予測技術を開発するとともに、これらの技術を活用して、予算等の制約条件の中で、橋梁を効率的かつ計画的に維持管理するための支援技術が求められている。本研究では、橋梁の劣化・損傷現象を踏まえた健全度の評価手法、劣化予測手法について検討し、評価・予測結果に応じて適切な補修補強対策の選定が可能な維持管理システム（以下、BMS）の提示を目標とするものである。

前年度までに、健全度評価の基本的な考え方や対象とする部材、損傷等の評価項目の整理を行った。また、点検データを基にした健全度評価、損傷度の予測手法、損傷度と補修工法の関連付け、補修費用算出方法等について検討を行い、損傷状況に応じた補修の対策選定の考え方をとりまとめた。

平成 16 年度は、橋梁定期点検データを基に部材の損傷度の予測を行い、補修補強のシナリオに応じて将来の補修費用を年度単位で算出可能な計算プログラムを作成した。また、直轄国道事務所管内の橋梁点検データを用いて、補修補強対策のシナリオを与えた場合の補修費用の将来推移に関する試算を行い、各種条件・要因が将来予測に与える影響について検討した。

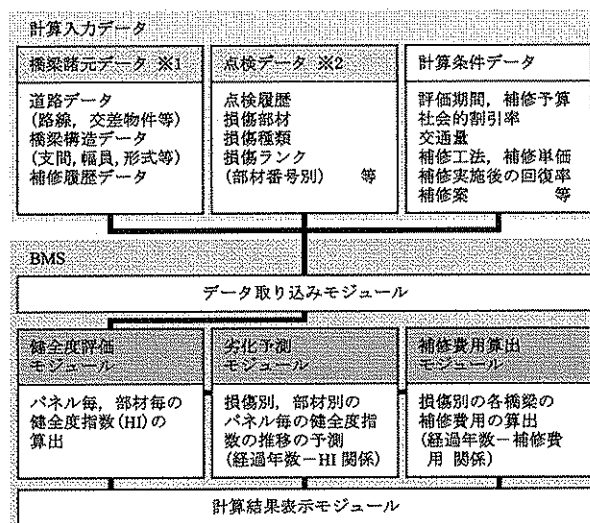
一方、劣化損傷のうち、鋼部材の疲労については、交通条件の厳しい橋梁や構造的に活荷重応力が大き

いと想定される橋梁について、その条件を点検手法（例えば、点検間隔、優先度等）に反映していくことも重要と考えられる。そこで、既設鋼橋の大部分を占める鋼 I 桁橋の溶接継手を対象として、橋梁毎の交通条件や構造条件を基に疲労耐久性を概略評価する方法について検討を行った。

2. 橋梁の維持管理システムに関する検討

2.1 プロトタイプ計算プログラムの概要

図-1 にシステムプロトタイプ計算プログラムの概要を示す。定期点検で得られた損傷の情報を出来る限り



※1 既存のMICHシステムより入力

※2 既存の橋梁管理支援システムより入力

図-1 プロトタイプの概要

活かすようなシステムを目指した。システムは5つのモジュールからなり、まずデータの取込みモジュールにおいて既存の道路管理データベースシステム(MICHI)及び橋梁管理システムから必要なデータの取込みを行い、併せて計算に必要な諸条件を入力する。次に、健全度評価モジュールにより、パネル(点検時の最小部材単位)毎の健全度を算出する。次に、劣化予測モジュールにより、補修補強を行うタイミングを設定したシナリオに応じたパネル毎の劣化を将来予測し、更に補修計画作成モジュールにより補修計画に応じた長期的な評価期間内の補修費用を算出する。

健全度評価を行う前提として物理的劣化現象を対象とし、評価を行う損傷は、将来の健全度の予測が可能であり、かつ耐久性に関係する、①鋼部材の塗装劣化、腐食、②コンクリート部材(コンクリート桁、RC床版)のひび割れ、遊離石灰、剥離・鉄筋露出等の劣化損傷とした。

評価を行う部材は、主桁・横桁・縦桁、床版、橋台・橋脚、支承、伸縮装置とした。また、評価は現行点検において損傷状態が記録されている最小単位である部材番号(パネル)単位で行うこととした。

以下に、劣化予測と補修費用算出のモジュールの概要を示す。

2.2 劣化予測モジュール

(1)劣化予測曲線設定の考え方

劣化損傷の進行は橋梁の各部材の供用状態、損傷要因、維持管理の方法等により変わるものであり、一律に定式化できるものではない。ここでは、点検データが得られていない場合に対して、概略の劣化予測が可能な曲線を設定することとし、対象部位の点検データが得られた後は、それに基づき適宜曲線を修正して予測を行っていくこととした。

劣化予測曲線とは将来の構造物・部材の状態を予測して、その状態に応じて必要な補修補強を選定するための判断材料(評価指標)として用いるものである。ここでは損傷の状態を出来る限り反映するために、部材パネル別の点検結果を基に、当該点検単位に対して劣化予測曲線を設定できるようにした。例えば、鋼I桁橋のRC床版の場合、主桁と対傾構もしくは横桁間のパネル毎に点検結果が記録されるが、このパネル毎に劣化推定を行うこととしている。

劣化予測曲線を設定する場合の縦軸は、使用可能なデータが現状では橋梁点検要領(案)に基づくデータ

であることから、同要領案に基づく判定ランクとした。ただし、同一ランクの場合でも、実際には損傷の程度が異なり補修補強工法も異なる場合があることから、この5ランクを0~100までの値で表現(ランクI:0~10、ランクII:10~50、III:50~75、IV:75~100、OK:100)し、同一ランク内も適宜区分した。また、補修補強を行ったパネルの健全度及び補修補強後の劣化予測曲線は、補修補強工法に応じて設定した。

(2)劣化予測曲線の設定

劣化予測曲線を設定する際の前提条件を以下に示す。また、図-2に初期劣化予測曲線の設定の考え方を示す。

- 1) 縦軸は損傷別の損傷度 DI (0~100 で表現) とし、横軸は時間(供用年数)として表現する。
- 2) 基本的に、上に凸の二次曲線(多項式 $y=ax^2+bx+c$) で与える。その際、供用開始年 ($x=0$) では $y=100$ 、 $y'=0$ とする。ただし、塗装劣化と腐食のように、劣化損傷が進展するに従い、点検記録上の損傷種別が変化していく場合には塗装劣化と腐食の点検結果を併せた劣化予測曲線を設定する。
- 3) 劣化予測曲線による将来予測は、点検時の最小部材単位(パネル単位)で行い、補修補強前の劣化予測曲線は、点検データの有無に応じて以下の通りとする。

①点検データが得られていない場合

既存の調査研究結果を基に、標準的な劣化予測曲線を設定した。具体的には、直轄国道約3,400橋を対象とした橋梁点検の損傷データから損傷種別毎の近似曲線を作成し、標準的な曲線とした。

②点検データが得られている場合

過去に1回の点検データが取得されている場合、上記①の曲線をそのデータを通るように水平方向に移動し、その曲線を劣化予測曲線とする。2回以上のデータが取得されている場合、複数データによる曲線式の回帰を行う。

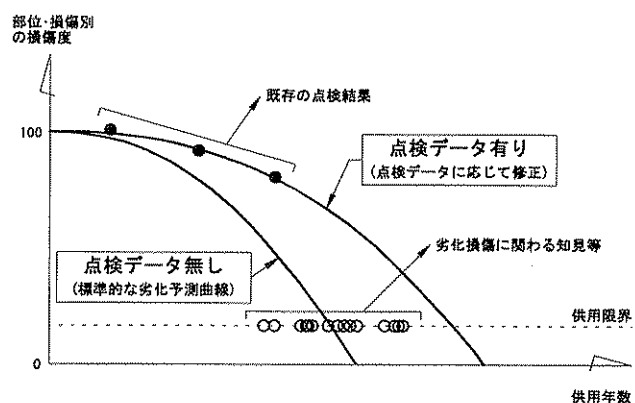


図-2 初期劣化曲線の設定の考え方

4) 補修補強後の劣化予測

曲線は工法によって補修補強後の耐用年数や回復率が異なることを考慮して、工法毎の劣化予測曲線を用意した。耐用年数は、補修補強後の耐久性を検証したデータがほとんど存在しないため、文献1)等を基に決定した。また回復率に関しても、明確なデータが存在している訳ではないが、補修補強後の工法毎の回復率設定が与える影響を考慮するために割り切って値を設定し、試算過程で設定値の感度を確認しながらある程度自由に修正できるようにした。

図-3に、代表例としてコンクリート床版のひび割れについて設定した劣化予測曲線を示す。コンクリート床版の初期曲線として適用基準(S39以前、S39道示以降)、床版の種類(RC床版、PC床版)別に床版の耐用年数を想定し、これをランクIとランクIIの境界値とした。

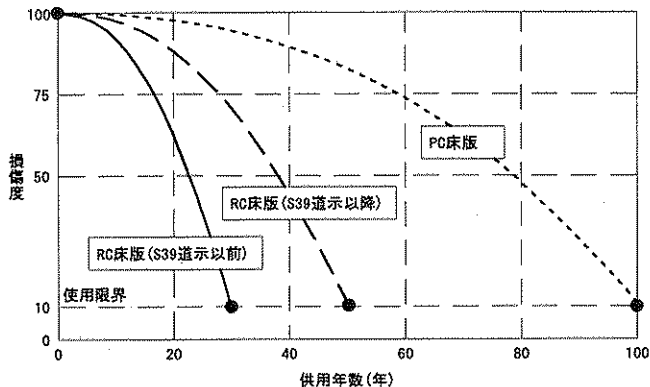


図-3 劣化予測曲線(注:RC床版は表-3)のよ床版設定による劣化予測曲線

表-1 床版ひび割れの補修工法の設定例

損傷度ランク	位置(X)	深さ(Y)	幅(Z)	損傷度	損傷状態	補修工法例	補修単価	耐久年	回復率
OK	—	—	—	100	等方性版に近く版として挙動する。	—	—	—	—
IV	小	小	小	100~75	床版、コンクリートの硬化に伴う乾燥収縮によるひび割れが橋軸直交方向に大きな間隔で発生する段階。	—	—	—	—
		大	大						
III	小	小	小	75~50	軸荷重により縦横のひび割れが交互に発生し、格子状のひび割れが増加する段階。	炭素繊維シート接着工法	71,000 円/m ² (11,900 円/m ²)	10年	80%
		大	大						
II	大	中	小	50~25	軸荷重により床版上面では振りモーメントを受けて橋軸直交方向にひび割れが発生し、下面から発生したひび割れと繋がって貫通した状態。	下面増厚補強工法 上面増厚+鋼板接着補強工法	66,000 円/m ² 186,900 円/m ² (4,700 円/m ²)	30年 15年	80%
		大	大						
I	大	大	大	25~10	貫通したひび割れ面のすり落きや、浸透水による石炭分の流出によってひび割れ幅が拡大し、せん断耐力が失われ、低下した押し抜きせん断強度以上の軸荷重により抜け落ち等も発生する段階。	全面打ち替え(RC床版) 全面打ち替え(合成床版) 全面打ち替え(プレキャストPC床版)	109,000 円/m ² 121,000 円/m ² 133,000 円/m ²	30年 50年 100年	100%
		大	大						

注1) 足場工は吊り足場(単価3,000円/m²)とし補修単価に含まれる。また、各工法ともに防水層設定費用を含めている。
注2) 打ち替え費用は、旧床版撤去費を含む。
注3) 補修費用の()は、その補修工法に対するメンテナンス費用を表す。

2.4 補修費用算出モジュール

本システムで算定を試みる補修計画は、長期補修計画と年度補修計画の2つの補修計画であり、ここでは長期補修計画作成の考え方を示す。長期補修計画の作成方法としては、各橋梁部材の状態を劣化予測及び管理水準に照らし合わせて、現実に想定される補修補強のシナリオを複数設定し、想定する評価期間内で予算を制約せずにLCCを計算する。計算された複数案より、LCCが最小となる案を抽出し、その結果を将来の予算計上の資料とする。LCCを算出する際、各部材の損傷状態に応じて、予め代表的な補修工法を設定し、部材パネル単位で補修費用を積み上げ算出する。表-1,2にそれぞれ床版ひび割れと鋼桁の塗装劣化・腐食に対する損傷度ランクと補修工法・補修費用の関係を示す。

また、各部材に発生する損傷を補修する場合、補修単位は基本的にはパネル単位とするが、補修する工法によっては、広範囲を一括で補修することを考えることとした。補修を

表-2 鋼桁の塗装劣化及び腐食の補修工法の設定例

損傷度ランク	位置(X)	深さ(Y)	幅(Z)	損傷度	損傷状態	補修工法例	補修単価	耐久年	回復率									
OK	—	—	—	100	部分的に塗装が白っぽく劣化する(白亜化)	—	—	—	—									
										IV	小	小	100~90	広範囲に塗装が白っぽく劣化する(白亜化)	—	—	—	—
											大	小	90~75	部分的に塗装が剥離し、下塗りが見える・発生面積<30%以下	塗装工(A)塗装系:長油フタル樹脂系塗料 塗装工(B)塗装系:塩化ゴム系塗料 塗装工(C-3)塗装系:フッ素樹脂塗料 塗装工(C-1)塗装系:ポリウレタン樹脂塗料	4,400 円/m ² 4,000 円/m ² 5,200 円/m ² 4,900 円/m ²	28年 30年 60年 45年	100%
												大	大	75~50	広範囲に塗装が剥離し、下塗りが露出する・発生面積>30%以上	塗装工(A)塗装系:長油フタル樹脂系塗料 塗装工(B)塗装系:塩化ゴム系塗料 塗装工(C-3)塗装系:フッ素樹脂塗料 塗装工(C-1)塗装系:ポリウレタン樹脂塗料	5,900 円/m ² 7,200 円/m ² 7,900 円/m ² 7,400 円/m ²	25年 30年 60年 45年
III	小	小	50~40	部分的に表面塗料が剥離するが、板厚の減少には至っていません;板厚減少率<0%	広範囲に表面塗料が剥離するが、板厚の減少には至っていません;板厚減少率<0%	塗装工(A)塗装系:長油フタル樹脂系塗料 塗装工(B)塗装系:塩化ゴム系塗料 塗装工(C-3)塗装系:フッ素樹脂塗料 塗装工(C-1)塗装系:ポリウレタン樹脂塗料	7,300 円/m ² 8,600 円/m ² 9,300 円/m ² 8,900 円/m ²	28年 30年 60年 45年	100%									
										II	大	小	40~30	局部的又は全体的に剥離が発生し、断面欠損有り。	塗装工(A)塗装系:長油フタル樹脂系塗料 塗装工(B)塗装系:塩化ゴム系塗料 塗装工(C-3)塗装系:フッ素樹脂塗料 塗装工(C-1)塗装系:ポリウレタン樹脂塗料	12,600 円/m ² 13,900 円/m ² 14,600 円/m ² 14,200 円/m ²	28年 30年 60年 45年	100%
										I	—	—	10~0	上部工架け替え	465千 円/m ²	100年	100%	

注1) 架け替え費用は、旧部材撤去費、仮補強、仮橋脚撤去費、新設費を含む。

2.5 ケーススタディ

(1) 検討方法

一直轄工事事務所管内の橋梁 227 橋のうち、現在までに点検が実施されている鋼橋 59 橋を対象に、補修補強対策のシナリオ別の補修費用の将来推移に関する試算を行い、各種条件・要因が将来予測に与える影響について検討した。図-4 に対象とした点検実施橋梁の供用年数分布を、図-5 に部材パネル単位別の損傷内訳を示す。

使用した点検データによれば、損傷記録があり、かつ劣化予測が可能な損傷は、主に主桁の塗装劣化・腐食と床版ひび割れであることから、これらに限定して将来の補修費用を試算した。劣化予測曲線については、前節の方法により設定した劣化曲線を用いることとし、パネル単位の損傷度ランクを基に設定した。なお、点検は実施されているが、損傷がないため点検結果の記録がない場合には、損傷なしとして扱った。

また、シナリオの違いに着目することから、点検費用や伸縮装置等の部材交換等の費用はここでは省略した。評価期間は現時点(2004年時点)から100年とし、社会的割引率は考慮していない。

(2) 補修補強対策のシナリオ

補修補強のタイミングとして、損傷の状態に応じて、表-4 に示すシナリオを想定した。

1) シナリオ I :

損傷度ランク I (DI=10) に達した時点で対策を講じる。劣化の進行途中では何も対処せず、部材取換え(主桁の腐食では上部工架替え、床版は全面打替えとした)で対処するものと考えた。

2) シナリオ II :

損傷度ランク II (DI=15,45) に到達した時点で対策を講じるものである。ランク II は損傷が大きく、詳細調査を実施し補修の要否を検討するレベルであることから、対症療法的な管理に近いものであると考えられる。このシナリオでは、ランク II 内で、ランク I に近いダメージの大きい損傷状態の段階 (DI=15) で補修を行う場合と、ランク III に近い損傷状態 (DI=45) の段階で補修を行う場合の 2 ケースを考えた。

3) シナリオ III

損傷度ランク III (DI=60) に達した時点で対策を講じる。損傷が発見された時点で、早期に対策を講じて長寿命化を図るものである。

表-3 工法による補修補強対象範囲

対象部位	補修補強工法	対象範囲
床版	上面増厚補強工法	床版全体
	下面増厚補強工法	床版全体
	鋼板接着補強工法	パネル毎
	炭素繊維シート接着工法	パネル毎
	部分打ち替え	パネル毎
	全面打ち替え	床版全体
鋼桁	塗装塗り替え	径間毎
	あて板補修	パネル毎
	部材交換	パネル毎
	架け替え	橋梁全体

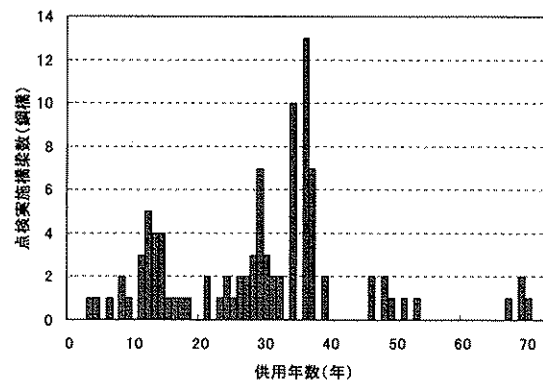


図-4 対象とした橋梁の供用年数分布

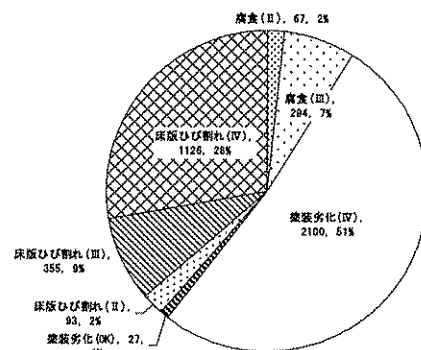


図-5 対象とした鋼上部工部材パネル単位別の損傷内訳

表-4 補修補強の想定シナリオ

補修案	内容
シナリオ I	<ul style="list-style-type: none"> ・ 損傷度ランク I (DI=10) に達した時点で対策を講じる ・ 補修工法例 ①腐食, 塗装劣化: 上部工架替え ②床版: 全面打ち替え (RC床版)
シナリオ II	<ul style="list-style-type: none"> ・ 損傷度ランク II で、I に近い状態 (DI=15) に達した時点で対策を講じる ・ 補修工法例 ①腐食, 塗装劣化: あて板補修 ②床版: 部分打ち替え (RC床版)
	<ul style="list-style-type: none"> ・ 損傷度ランク II で、III に近い状態 (DI=45) に達した時点で対策を講じる ・ 補修工法例 ①腐食, 塗装劣化: A 塗装系による塗り替え ②床版: 上面増厚工法+鋼板接着工法
シナリオ III	<ul style="list-style-type: none"> ・ 損傷度ランク III (DI=60) に達した時点で対策を講じる ・ 補修工法例 ①腐食, 塗装劣化: A 塗装系又は C 塗装系による塗り替え ②床版: 炭素繊維接着工法

2.6 試算結果

ここでは10径間連続鋼I桁橋（橋長319m、1959年供用開始）を例に説明する。

図-6に本橋の床版ひび割れに対するシナリオ別の補修工事費を示す。床版ひび割れに関しては、シナリオI（プレキャストPC床版による全面打ち替え）の管理が一番補修費用が低くなっており、次いで、シナリオIII（炭素繊維接着工法）の予防保全的な管理、シナリオII-2（上面増厚+鋼板接着）およびシナリオII-1（部分打ち替え）の対症療法的な管理の順になっている。図中には、全面打ち替えに対し、文献3)により交通規制による経済損失を考慮した場合も示した。条件としては、本橋に対して24時間交通量約86000台を対象に250日間の交通規制期間を設定し、これにより橋梁通過前後で5分の時間損失が生じるものと仮定した。損失額の評価には種々の仮定が含まれており、この計算値も参考値に過ぎず十分な検討が必要であるが、床版打ち替え費用の数倍のオーダーとなり、工法選択の優位性は失われる結果となる可能性は高い。

図-7に鋼桁の塗装劣化と腐食に対するシナリオ別の補修工事費を示す。床版と同様、どちらもほぼ同様な傾向を示し、鋼桁の塗装劣化と腐食に関しては、シナリオI（架替え）が最も補修費用が高くなっており、次いで、シナリオII-1（当て板補修）の対症療法的な管理が比較的高い補修費となる。シナリオII-2およびシナリオIIIのA塗装系による塗り替えに関しては、いずれもほとんど補修費用に差はなく、シナリオの優位さは認められない。

図-8は、これに対して塗装系の違いによる工事費への影響を算出したもので、DI=30で補修する場合とDI=60で補修する場合を考慮し、A塗装系で塗替える場合とC-3塗装系で塗り替える場合について検討した。結果としては、C-3塗装系の方が、補修単価は高いものの耐久年数の長期化により、補修費を低く抑えられる結果となる。

図-9は管内橋梁全体の床版ひび割れに関するシナリオ別補修工事費、図-10は管内橋梁全体の鋼桁の塗装劣化と腐食に関するシナリオ別補修工事費を算出したものであるが、全体的な傾向は橋梁単体で算出した工事費用と同様である。また、鋼桁と床版の工事費を比較した場合、傾向としては鋼桁の補修工事費が支配的になっている。

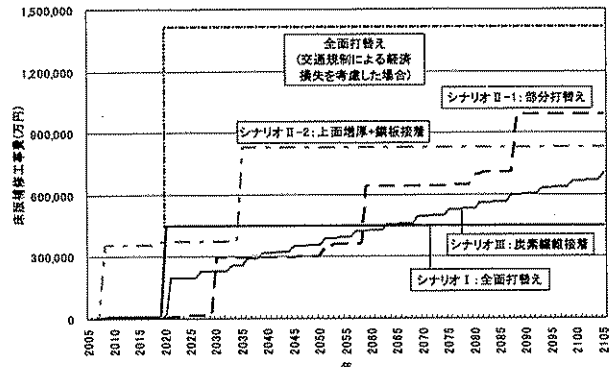


図-6(a) 床版ひび割れのシナリオ別補修工事費 (B)

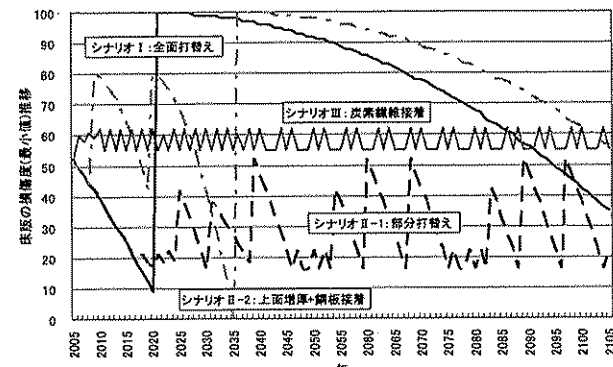


図-6(b) 床版ひび割れの損傷度評価指標の推移 (B橋)

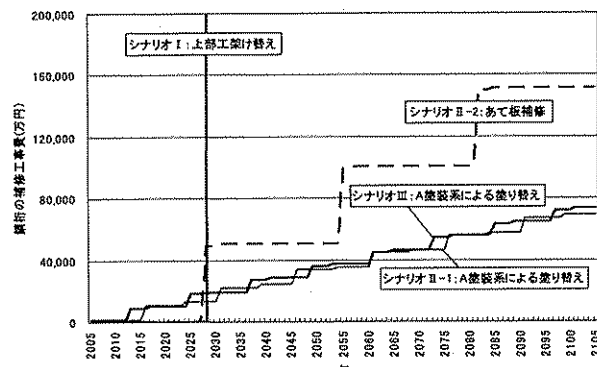


図-7(a) 鋼桁の腐食・塗装劣化のシナリオ別補修費用 (B橋)

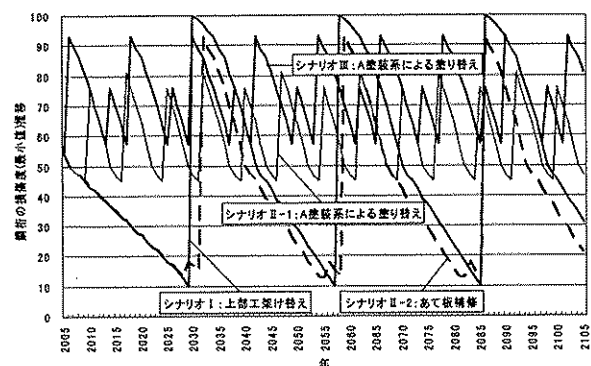


図-7(b) 鋼桁の腐食・塗装劣化の損傷度評価指標の推移 (B橋)

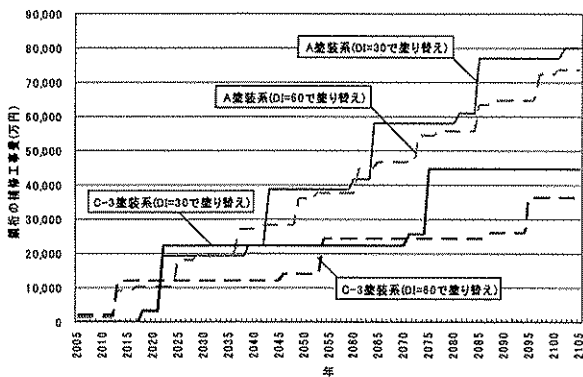


図-8 塗装系の違いによる工事費への影響 (B)

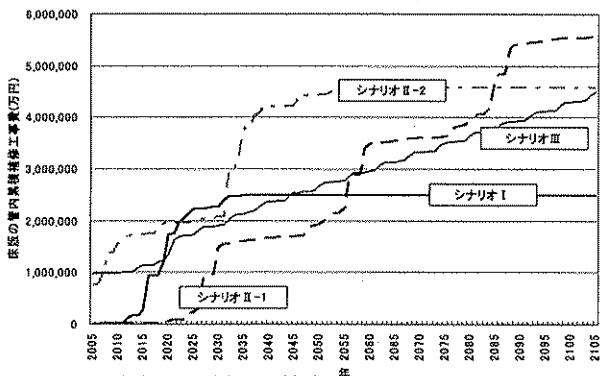


図-9 床版ひび割れの管内橋梁のシナリオ別補修工事費

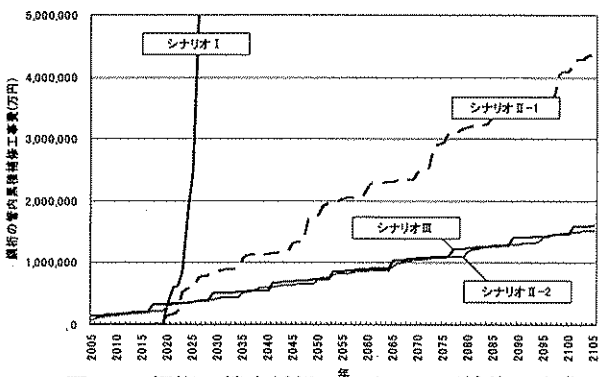


図-10 鋼桁の管内橋梁のシナリオ別補修工事費

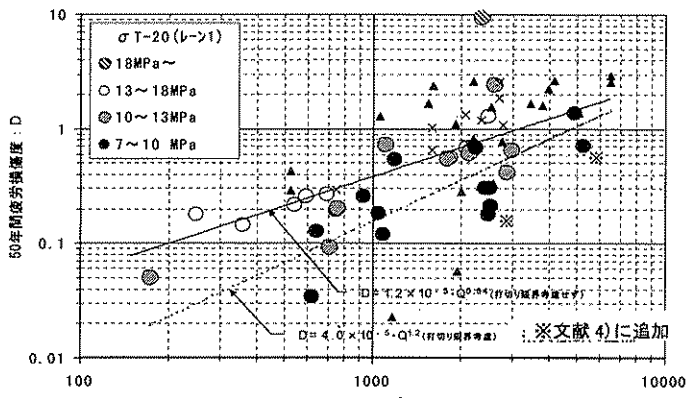


図-11 疲労損傷度と日大型車交通量の関

3. 鋼橋の疲労耐久性評価に関する検討

3.1 評価方法の概要

既設橋の疲労損傷度（主桁ウェブガセット継手を対象）を概略評価することを目的として、道路管理データベース（MICHI）、設計図面等の既存資料により使用可能な情報に応じて以下の方法を考えた。

1) 方法1：大型車交通量のみを考慮した評価法

対象橋梁の日大型車交通量を基に、既存の鋼I桁橋応力測定結果から推定した大型車交通量～疲労損傷度の関係を用いて、疲労損傷度を推定する方法である。

2) 方法2：大型車交通量と橋梁の構造条件を考慮した評価法

格子解析等により応力を算出するのは労力・費用の負担が大きいことから、主要な構造諸元を用いてT荷重載荷時の主桁曲げ応力（以下、 σ_T ）を算出する。この応力と日大型車交通量を基に、既存の鋼I桁橋応力測定結果から推定した大型車交通量・ σ_T ～疲労損傷度の関係を用いて、疲労損傷度を簡易に推定する方法である。

以下、主に方法2について述べるとともに、前述の直轄工事事務所管内の鋼I桁橋に適用した場合の評価結果について考察する。

既存の応力測定データは、主に文献4)に報告されている鋼I桁橋53橋（33橋：合成単純桁、20橋：非合成単純桁）における主桁支間中央下フランジの24時間応力頻度計測結果である。このうち、30橋では荷重車（20tonf ダンプトラック）の静的載荷試験を実施しており、各車線の支間中央載荷時の各主桁の応力測定を行っている。

3.2 方法1(大型車交通量のみを考慮した評価)

図-11に各橋梁の最大応力発生桁について、24時間応力頻度分布より得られる、ウェブガセット継手の50年間の疲労損傷度Dと日大型車交通量の関係を示す。継手の疲労強度にはガセット継手のG等級⁵⁾を用いた。図中のプロットは変動応力振幅に対する打ち切り限界は考慮せずに疲労損傷度を算出している。図中の凡例中の記号は静的載荷試験を実施した橋梁について荷重車載荷時の実応力(各主桁の $\sigma_{T-20(\nu-1)}$ の最大値)により分類している。ここで、 $\sigma_{T-20(\nu-1)}$ とは、着目桁に近い車線(ν-1)に荷重車を載荷した場合の応力度であり、隣接車線に荷重車を載荷した場合の応力度を $\sigma_{T-20(\nu-2)}$ とした。▲は応力頻度測定のみを実施している橋梁である。

荷重車載荷時の応力 $\sigma_{T-20(\nu-1)}$ が大きいほど疲労損傷度が大きくなる傾向が見られるが、概ね疲労損傷度と日大型車交通量の相関があることから、方法1では以下の式(1)により疲労損傷度を計算するものである。

$$D = 1.2 \times 10^3 \times Q^{0.84} \times N / 50 \quad (N: \text{供用年数}) \dots \text{式(1)}$$

今後、路線の活荷重特性が把握できれば、方法1,2ともにより精度の高い推定につなげられるものと考えられる。

3.3 方法2(交通量と構造条件を考慮した評価)

疲労設計を行う場合にはT荷重載荷時の応力が必要となるが、鋼道路橋の疲労設計指針⁵⁾適用以前の既設橋では改めて格子解析により応力を算出する必要がある。一方、格子解析による計算値については実測値とのずれも指摘されており、ここでは、格子解析を行わずに簡易に応力を算定する方法を考えることとした。

図-12に前述の静的載荷試験による支間中央下フランジ応力に対する、格子解析及び簡易算定式による計算値を示している。なお、図中のプロットは、前述の30橋の内の10橋のレーン1とレーン2の全桁(全データ数: 66データ)を使用した。

簡易算定式はAASHTO LRFDコード中⁶⁾の荷重分配係数(以下、DF)の評価式を参考に、載荷位置中心と対象主桁間の距離 d 及び主桁間隔 s 、支間長 L 、床版張出長 de によるパラメータを導入し、前述の静的載荷試験結果と一致するように回帰したものであり、次式で表される。

$$DF(\text{内桁}) = 0.308 - 0.087(d/s) - (s/677900)^{0.4} \times (s/L)^{0.3} \dots \text{式(2)-1}$$

$$DF(\text{外桁}) = DF(\text{内桁}) \times (0.78 + de/2790) \dots \text{式(2)-2}$$

式(2)は、図-13に示すようにT荷重を一本梁モデルに載荷した時の断面力に乗じる値として与えるものである。この式により求めた応力と格子解析と比較しても概ね推定可能なことがわかる。上記の方法1の結果を踏まえつつ、式(2)の σ_T を利用することにより、以下の疲労損傷度の算定式が得られる。

$$D = \{1.05 \times (\sigma_{T(\nu-1)})^3 + \sigma_{T(\nu-2)}^3\} \times Q \times 365 \times N / C \dots \text{式(3)}$$

ここで、

$\sigma_{T(\nu-1)}$: 着目桁に近い車線(レーン1)にT荷重を載荷した場合の応力度

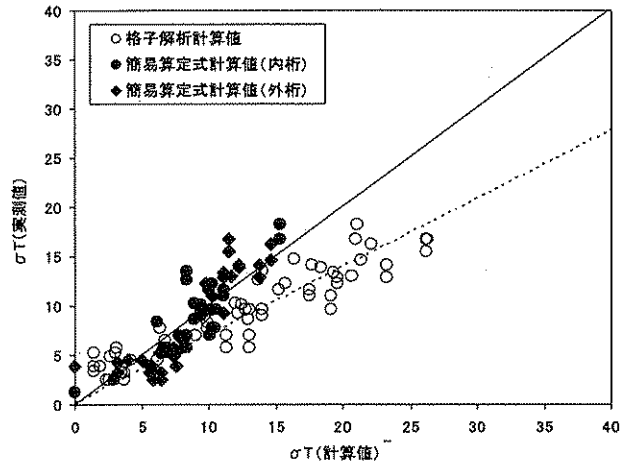


図-12 格子解析及び簡易式による σ_{T-20} 計算

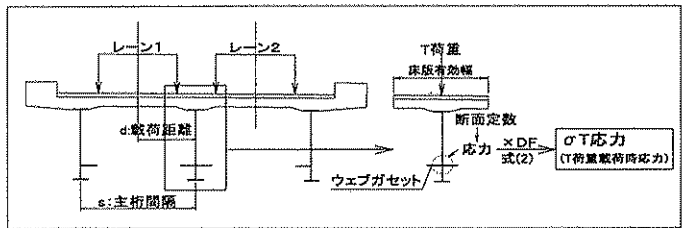


図-13 T荷重載荷時応力の算出手

$\sigma_{T(\nu-2)}$: 隣接車線(レーン2)にT荷重を載荷した場合の

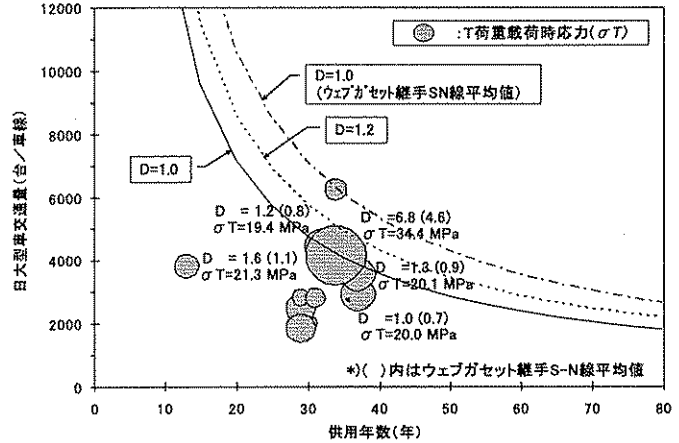


図-14 方法2による疲労損傷度照査結果

応力度

Q: 日大型車交通量(台/車線)

N: 供用年数

3.4 実橋に対する適用結果

前述の直轄工事事務所管内の鋼橋59橋を対象に方法2による疲労損傷度(主桁ウェブガセット継手)の試算を行った。橋梁点検結果では、主桁溶接継手の疲

劣亀裂は報告されていない。方法2では59橋のうち構造条件（主桁断面、床版厚、車線位置等）の資料が収集できた15橋について評価を行った。なお、方法2では主桁毎に評価されるが、ここでは各橋梁につき主桁各1本のみ対象とし、その桁の応力を $\sigma_{T(\nu-1)}$ とした。 $\sigma_{T(\nu-2)}$ については σ_T が大きい場合には車線応力比($\sigma_{T(\nu-2)}/\sigma_{T(\nu-1)}$)は0.5以下であることから、本検討では $\sigma_{T(\nu-2)}$ を $\sigma_{T(\nu-1)} \times 0.5$ と仮定し計算を行った。

図-14に評価結果を示すが、疲労損傷度1.0を目安値とすると、方法2の照査では5橋（6主桁）において応力($\sigma_{T,20}$)の高い橋梁（主桁）で1.0を超える橋梁が確認された。また、5橋のうち1橋梁については、部位は異なるものの現地調査時に横桁取付け部に疲労亀裂が確認された。

4. まとめ

橋梁定期点検データを基に部材の損傷度の予測を行い、補修補強のシナリオに応じて将来の補修費用を年度単位で算出可能な計算プログラムを作成した。また、直轄国道事務所管内の橋梁点検データを用いて、補修補強対策のシナリオを与えた場合の補修費用の将来推移に関する試算を行い、各種条件・要因が将来予測に与える影響について検討した。その結果、各補修補強のシナリオによる将来推移の傾向を把握するとともに、予防保全による管理の有効性について確認した。

また、鋼I桁橋の溶接継手を対象として、既存の応力頻度測定結果を基に、橋梁毎の交通条件や構造条件を考慮して疲労耐久性の相違を概略評価する方法について提案し、実橋への適用性について検討を行った。評価結果は必ずしも精度の高いものではないが、疲労損傷に対して、点検段階での相対的な重み付け、例えば、日大型車交通量を基に疲労の影響の厳しい橋梁の絞り込み、点検の優先順位付け等の判断材料等への活用は可能と考えられる。

【参考文献】

- 1)建設省土木研究所：ミニマムメンテナンス橋に関する検討，土木研究所資料 第3506号，平成9年6月
- 2)建設省土木研究所：橋梁点検要領(案)，土木研究所資料 第2651号，昭和63年6月
- 3)道路投資の評価に関する指針(案)，(財)日本総合研究所，平成10年6月
- 4)建設省土木研究所：既設橋梁の耐久性評価向上技術に関する調査研究Ⅱ・Ⅲ，土木研究所資料 第2615号(昭和63年)，第2682号(平成元年)
- 5)(社)日本道路協会：鋼道路橋の疲労設計指針，丸善出版，平成14

年3月

- 6) AASHTO LRFD Bridge Design Specification Second Edition 1998
- 7)次村,村越,麓,高木：応力頻度測定結果を基にした既設橋の疲労損傷度の評価に関する検討,土木学会第58回年次講演会,平成15年9月
- 8)次村,村越,麓：既設鋼桁橋の疲労損傷度評価法に関する検討,土木学会第59回年次講演会,平成16年9月