

(164) コスト縮減状況下における既設橋の補修レベルと

優先順位に関する考察

富士技研センター株式会社 ○ 非会員 西山文男

富士技研センター株式会社 正会員 村坂宗信

1. はじめに

本邦において架橋後30年以上経過している橋梁は、いわゆる昭和40年代橋の団塊の世代を通じて建造された長大構造物を含めて全国に13万橋を超えている。初期の設計段階で、橋の寿命を70~100年程度としたこれらの橋梁構造物をいかに低コストで維持させるかは、限られた国家予算の中で大きな問題として浮上している。既存の橋梁を主体とした構造物は、機能低下や老朽化が懸念されるが、このような原因による倒壊現象に結びつく危険を未然に防止するために維持管理の観点から日常或いは定期的に橋梁点検が行われている。5年に一度行われる震災点検は、全国レベルで行われ、審査要領に従った定期的判断によって構造部材の劣化レベルと補修の可否を判定する全国一律の定期システム診断に相当する。しかしコスト縮減の観点から、補修コストの重要性を構造細部に亘って投資効果の優先順位を判定する要素に欠ける所がある。

本論文は、橋梁劣化ランクを橋梁台帳等の基礎データを基に各因子に対する重み付けを数量化理論により定量的に評価する手法を用いて、その構造物の位置する地域重要度別ランクと組み合わせ、限られた予算内において『どの橋梁』の『どの構造部分』を優先的に整備すべきかを示唆するものである。

2. 健全度評価の方針

構造物の寿命は『その供用が何らかの理由により停止されるまでの期間、或いは構造物を使用出来ない終りの段階』と定義され、その主な要因は、①物理的寿命(主に材質劣化)、②機能的寿命(主にコンクリート、ゲルバー橋のような荷重の変化に補強対応が困難な構造系)、③経済的寿命(将来の経済効果を期待出来ない経済便益の価値が低く、もはや、維持補修の投資効果がない橋梁、たとえば、新しくバイパス計画がある場合等)の3つに分類される。②機能的寿命と③経済的寿命はそれぞれの投資効果の有効性を示す要因は異なるが、補修の優先順位を決める尺度は、交通機関の経済効果を考えた地域住民の社会的ニーズの重要度によって補修レベルを考えるべき点で、その目的においては一致していると云える。

従って、ここでは、①物理的要因である構造部材の劣化と②社会的ニーズの重要性からくる供用ルートの経済便益、を③立地条件の整合性を満たした3つの要因を組み合わせることで補修投資効果のプライオリティーを考察するものとする。投資効果の優先順位を決定する判断材料は、以下の3項目とする。

- ① 構造物の劣化度に関するシステム診断
- ② 供用ルートの重要性とB活荷重対応に関する必要性
- ③ 立地条件

震災等によって発生した緊急をようするものは上記のいずれの要因より緊急投資の必然性が上回っていると判断し、以下の優先順位の対象から外すものとする。上記の3項目は構造物の供用期間中に維持補修のために投資する総コスト(L.C.C)を基準として論ずるもので、各年度別に限定した単年度を対象とした考えに基づかない。

2-1. 機能的重要度評価

機能的健全度評価は供用ルートの地域的重要性の構造ランクによって分類するものとする。表-1は供用ルートの重要性を構造物の立地条件にしたがって分類した道路構造令(日本道路協会)に従うものとする。評価点数を示す重み係数を第1種、第1級を10として以下第3種、第4級を1まで仮に定義する。

表-1 供用ルート地域重要性評価度

	構造物の立地条件	道路構造令	評価点数
1	高速道路(専用道)	第1, 2種 第1級	10
2	空港・高速道へのアクセス道路	第3, 4種 第1級	10
3	一般国道など幹線道路網の整備	第3, 4種 第1級	9
4	重要港湾・工業団地から主要都市を結ぶ路線	第4種 第1, 2級	8
		第3種 第1, 2級	7
5	渋滞対策路線・駅や市街交差点附近の道路 又は防衛施設のアクセス道路	第4種(第1, 2級)	5
6	観光地・総合病院への医療ルート、企業立地に 関連するルート、商店街の目抜き通り	第4種(第2, 3級)	4
7	市町村役場と県の庁舎(県・郡の支所)、 バス路線、通学路	第3種(第2, 3, 4級)	2

ここに、構造物の分類は、道路構造令(社団法人 日本道路協会) P-3 以降に示す区分けによる。

第1~4種: 高速道路とそれに準ずる一般国道から市町村道に至る道路の都市部と地方部に分けた分類

第1~4級: 計画交通量が1日30000台以上~500台まで道路区分に従って定義した分類

2-2. 物理的健全度評価

建設省土木研究所の『橋梁点検要領(案)』では物理的点検項目が多岐に亘り分類されており²⁾、個々の損傷レベルの判定もほぼ的確に統一された基準により判定できるものとされている。橋梁調書には橋梁部材を構成するアイテムが20項目あり、これらの各項目が更に損傷パターンによって2~10項目に細分化される。しかしながら、これらの細分化されたすべてのアイテムが補修や架け替えに直結するわけではないので、これらを大別して4ブロックの分類した。表-2は大別した4ブロック(I橋面工、II上部工、III下部工、及び、IVその他アクセサリ関係)とその所属する各部材が材質の劣化要因を示す。

表-2 橋梁部材アイテムと物理的材質劣化現象

アイテム	部材ブロック名	主な材質劣化要因	主な対策方法
I	橋面工	床版 床1. 剥離、鉄筋露出 床2. 床版ひび割れ 床3. 遊離石灰、抜け落ち等	下面増厚 上面増厚 部分補強
		地覆 地1. 凍害によるはだ落ち 地2. 地覆幅の拡大の必要性	部分打換え+マグネライン等による 被覆ライニング全面打換え
II	上部工	主桁 主1. 腐食、剥離、鉄筋露出 主2. 亀裂、破断、ひび割れ 主3. 遊離石灰、異常振動 遊部材(同上)	増桁 アウトケーブル補強 主桁断面補強(複合構造)
III	下部工	躯体 剥離、鉄筋露出 遊離石灰、張肩のはだ落ち	部分打換え マグネラインによるライニング補強
		基礎 フーチング露出 杭基礎上端破壊劣化	フーチングPC補強 増厚補強
IV	その他 アクセサリ	支承 サビ劣化	免震沓取換え
		高欄 衝突荷重による破損	防護柵兼用高欄に変更
		舗装 はくり、わだち、穴等	低騒音排水性舗装への変更
		伸縮装置 ゴム沓の劣化 伸縮量の増大	伸縮装置システム設計により設計変更

地覆は床版の一部と考え特に橋脚の肩張り出し部とともに露出部として構造劣化が問題となるので、橋面工として重要アイテムに定義する。ここで、横げた、縦げた、対傾構及び横構は広義の意味で主げたの補助的役割をになっているとして劣化レベルの観点からは従部材として扱うものとする。下部工橋脚の凍害劣化を受けやすい露出部は下部工の重要アイテムとなる。排水装置、遮音壁、伸縮装置、高欄、舗装および照明装置はアクセサリとする。

2-3. 数量化理論Ⅱ類による解析

物理的健全度評価の解析結果について以下に説明する。

橋梁点検データは5年毎に行われた震災点検により全国的に診断管理カルテが用意されている。本論では、これらの点検データから鋼橋250橋、コンクリート橋250橋、合計500橋分のデータを母集団として標準的な補修レベルを表-3に示した。

表-3 機能劣化度を重み係数で示した基本データベース

		鋼橋(250橋)						コンクリート橋(250橋)								
		1軸		2軸		3軸		1軸		2軸		3軸				
上部構造	主部材	腐食	9.3	30.0	8.1	22.9	0.6	11.6	上部構造	主部材	腐食	16.8	34.3	11.8	28.9	5.8
		亀裂	15.3		4.2		0.2				13.4	6.4		9.2		
		その他	5.4		10.6		10.8				4.1	10.7		2.7		
	2次材	腐食	2.9	6.3	3.0	9.2	4.4	12.7		2次材	腐食	3.3	10.0	9.8	19.5	1.9
		亀裂	0.4		0.3		2.4				6.4	7.1		7.0		
		その他	3.0		5.9		5.9				0.3	2.6		8.4		
	床版	腐食	9.6	22.4	19.3	26.6	15.0	25.6		床版	腐食	11.9	20.9	13.9	23.1	9.8
		亀裂	5.5		1.3		5.7				7.2	3.9		7.3		
		その他	7.3		6.0		4.9				1.8	1.6		5.4		
下部	橋脚橋台	11.0	21.1	7.3	13.6	1.7	8.9	下部	橋脚橋台	11.9	20.1	7.6	8.6	5.5		
	基礎	10.1		6.3		7.2			8.2	1.0		10.6				
支承	本体	4.1	6.4	9.8	13.3	15.3	24.4	支承	本体	2.3	3.1	4.2	6.0	7.3		
	周辺部	2.3		3.5		9.1			0.8	1.8		8.8				
伸縮装置		5.9		6.4		2.2		伸縮装置		4.0		7.8		0.6		
地覆		3.6		4.0		4.0		地覆		3.2		3.9		1.8		
高欄		3.3		2.1		7.7		高欄		1.9		1.1		6.9		
舗装		1.0		1.9		2.9		舗装		2.5		1.1		3.0		
合計(%)		100.0		100.0		100.0		合計(%)		100.0		100.0		100.0		

補修レベルの必要性の基準を4段階の外的要因として示した。その健全度を評価する評価判定は部材の重要度を考慮して鋼橋とコンクリート橋をそれぞれ別に一軸、二軸及び三軸毎に重み係数を用いて判別した。ここに一軸はx軸上に、二軸はy軸上に、三軸はz軸上に対応した値を判別基準値にとるものとする。

表-4は補修レベルを4項目に分類する評価判定を示す。

表-4 補修レベル分類の評価判定基準

補修レベルの項目	評価判定		
	一軸(x軸)	二軸(y軸)	三軸(z軸)
OK:現状維持	境界値より小さい値	境界値より下の値	境界値より下の値
Ⅳ:軽い補修を要する			境界値より上の値
Ⅲ:大掛かりな補修を要する		境界値より上の値	
Ⅱ:補修より架け替えを進める		境界値より大きい値	

ここで一軸・二軸・三軸とは数量化理論の計算から得られる座標軸の境界線を示す。第一分類作業で一軸(x軸)の判定基準として計算された値より小さいデータを示す部材はカテゴリー(OK、Ⅳ、Ⅲ)それ以上のデータを示す部材はカテゴリー(Ⅱ)に分類される。第二分類作業で二軸(y軸)の判定基準として計算さ

れた値より小さいデータを示す部材はカテゴリー(OK、IV)それ以上のデータを示す部材はカテゴリー(III)に分類される。さらに第三分類作業で三軸(z軸)の判定基準として計算された値より小さいデータを示す部材はカテゴリー(OK)それ以上のデータを示す部材はカテゴリー(IV)に分類される。

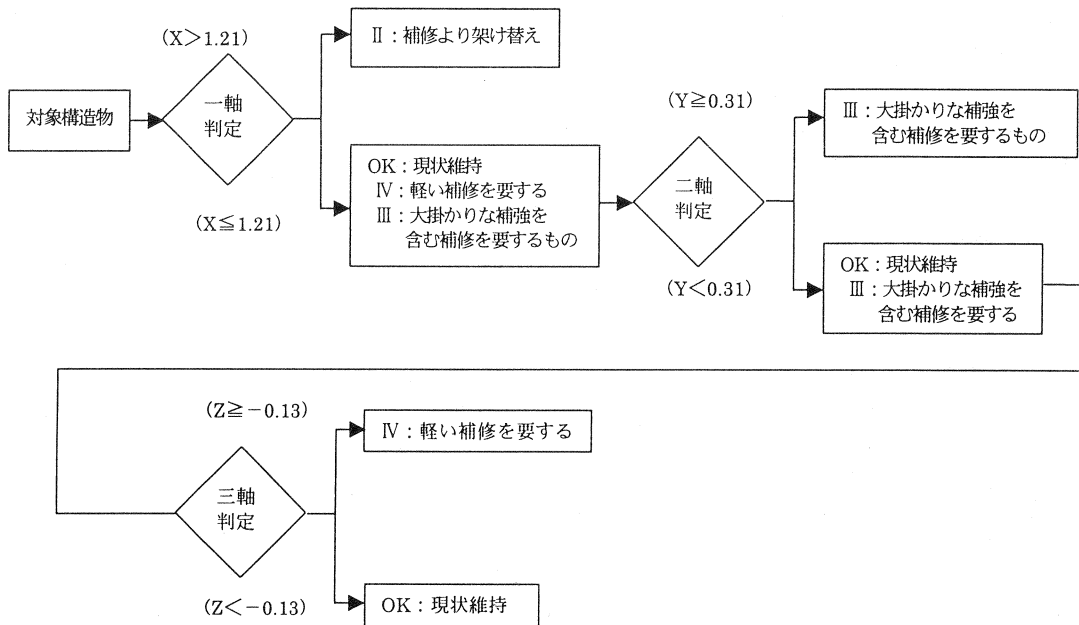


図-1 補修判定のフロー

図-1は、補修判定のフローを分かり易くフローにしたものである。

図-1により、一軸(x軸)判定において、第一次境界値 $x > 1.21$ の領域では“II”、 $x \leq 1.21$ の領域では、その他“(OK、IV、III)”の2つのカテゴリーに分類することにより“II”レベルを抽出し、第二軸(y軸)判定において、第二次境界値 $y > 0.31$ の領域では“III”、 $y \leq 0.31$ の領域では、その他“(OK、IV)”の2つのカテゴリーに分類することにより“III”レベルを抽出し、第三軸(z軸)判定において、第三次境界値 $z > -0.13$ の領域では“IV”、 $z \leq -0.13$ の領域では、残りの“(OK)”の2つのカテゴリーに分類することにより“IV”レベルを抽出する。図-2(a)に対象10橋のサンプリングデータに対する一軸(x軸)～二軸(y軸)の第一次判定による散布図を示し、図-2(b)に対象10橋のサンプリングデータに対する一軸(x軸)～三軸(z軸)の第二次判定による散布図を示す。

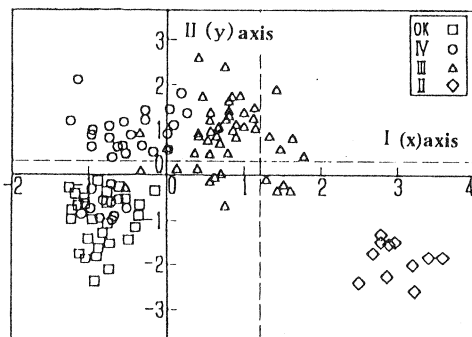


図-2(a) 10橋の一軸～二軸判定による散布図

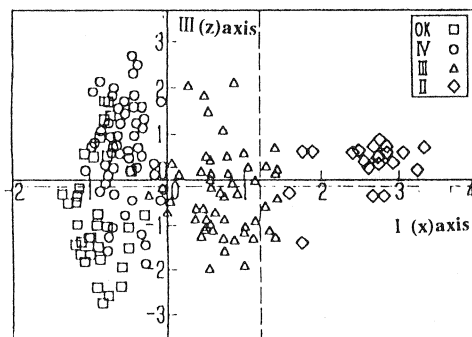


図-2(b) 10橋の一軸～三軸判定による散布図

3. 社会的重要度と構造別健全度の相関における(L.C.C.)の優先順位

別紙論文¹⁾により、対象とされた10橋の材質劣化に関するサンプリングデータから各橋梁の補修レベルの総合評価が、表-5のようにされたものとする。

構造部材の劣化に関するシステム診断の評価結果¹⁾を表-5、及び表-6に示す。

表-5 対象10橋の構造部材別レベル評価

橋梁名	上部型式	主1	主2	主3	補剛	床1	床2	床3	躯体	基礎	支承	高欄	地覆	舗装	伸縮
A橋	Concrete	OK	OK	IV	III	IV	II	OK	II	OK	III	OK	IV	OK	OK
B橋	Steel	II	OK	OK	III	OK	IV	II	III	III	II	III	IV	II	II
C橋	steel	OK	OK	OK	OK	OK	IV	OK	OK	OK	OK	IV	OK	OK	OK
D橋	concrete	OK	OK	OK	OK	IV	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
E橋	steel	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	IV	OK	OK
F橋	steel	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	IV	OK	OK	IV	OK	OK	OK
G橋	concrete	II	II	II	III	II	II	II	III	OK	II	IV	OK	II	OK
H橋	steel	II	OK	OK	OK	OK	OK	III	III	OK	II	OK	OK	III	OK
I橋	steel	OK	OK	OK	OK	OK	IV	OK	IV	OK	OK	II	OK	OK	OK
J橋	steel	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

表-6 対象10橋の材質劣化レベルによる補修評価

橋梁名	上部型式	一軸	二軸	三軸	総合評価	点検年	架設年
G橋	concrete	3.35695	3.86911	-2.57261	II	1988	1958
B橋	steel	1.72693	4.82695	0.40028	II	1989	1964
A橋	concrete	-0.42508	2.01531	1.68597	III	1984	1962
H橋	steel	0.55693	1.75967	-2.22590	III	1992	1978
I橋	steel	-0.68597	-1.30512	1.29875	IV	1988	1962
C橋	steel	-0.58026	-1.10289	0.88691	IV	1994	1972
F橋	steel	-0.59691	-1.16972	-0.11698	OK	1992	1968
J橋	steel	-1.00581	-0.59027	-0.33958	OK	1992	1984
E橋	steel	-1.18345	-0.76118	-0.44987	OK	1993	1975
D橋	concrete	-0.80591	-1.00291	-0.55893	OK	1998	1984

以上は物理的寿命からくる材質劣化からくる補修レベルの優先順位であるが、これに対して経済的寿命からくる優先順位を表-1 地域的重要性評価度を組み合わせる事によって総合的投資優先順位が草案される。

4. 補修整備レベルの総合判定

先に述べた①、②及び③項目の『補修整備投資の優先順位に対する評価の要因』のうち、③の震災等によって生じた緊急必要性を除いて(L.C.C)コスト上で論ずる優先順位を立案する。

表-7 材質劣化、地域別重要度及び立地条件の総合評価

橋梁名	①劣化レベル診断による評価	②地域的重要度による評価(河川)	③立地条件による評価	総合評価
G橋	II	9	A	架け替え
B橋	II	8	B	大型補強②
A橋	III	7	A	大型補強②
H橋	III	8	A	大型補強①
I橋	IV	5	C	軽微な補強②
C橋	IV	5	B	軽微な補強①
F橋	OK	4	A	現状維持・定期点検
J橋	OK	3	B	河川構造令・抵触部改良②
E橋	OK	2	B	河川構造令・抵触部協議①
D橋	OK	2	C	河川構造令・抵触部協議②

総合評価による維持補修、レベルと概算工費を(L.C.C)内で概算工費を積算し、年度別予算との相関により着工順序と予算配分を決定する資料を提供する。

(表-6)は供用ルート上の橋梁が河川等を横過する場合に河川構造令を既存の構造物が河川条件を満たしているか?を照査し、すべて“OK”のものを(A)、部分項目が抵触するものを“(B)”重要項目が抵触するものを“(C)”の3段階に評価分類する。

ここで云う河川条件とは① 河積阻害率 ② H.W.L.と桁下高のクリアランス ③ 橋台と法面の位置と構造関係 ④ フーチング上面と河川低水敷き部との関係等を示すが、詳細についてはここでは触れない。³⁾(構造物等設計審査要領(案)参照)

5. まとめ

コンクリート構造物の物理的耐用年数は、コンクリート素材の性能低下によるところが大きいのが、この原因はコンクリートの中性化による鉄筋の腐食によって決まる。コンクリート構造物の寿命は、機能的耐用年数や経済的耐用年数によって決まるのがもっとも望ましい本来のあり方であるが、この理想とすべき寿命の前に物理的耐用年数からくる寿命が優先する要因となる。海砂を用いたために生じたアルカリ骨材反応やコンクリートの表面から鉄筋のかぶりまで中性化が浸透して鉄筋を腐食し膨張させ亀の子状のクラックが生じたり、凍害による材質劣化によって構造機能が極度に劣化している橋梁構造物が調査結果により判明している。とくに風雨や雪によって凍結融解が繰り返される橋梁の地覆や橋脚の張り出し肩部の材質劣化が激しくこれらの特に露出の激しい風雪に晒される部分に対しては、①コンクリート材質自身の劣化に対する耐久性の向上、②マグネライン等によるライニング手段が特に望まれると判断される。これらの部分対策は橋梁の物理的余寿命を延ばすばかりでなく、橋梁の美観的要素を増すことになる。これに要する費用コスト面からは、若干の増は認めるものの、(L.C.C)コストの面からすれば格段に安価な試算が得られている。

各年度毎の維持補修に計上される予算がある一定値に限られた場合であり変動がなければ、比較的軽微なものと大型補修の年度毎に分割した合計が各年度の予算内になるように工事の分割や設計の段階で投資レベルを検討する工夫が必要となる。数値解析上はこれらの考え方を理論化することは非常に困難である。これに関しては施主とコンサルタントが技術的に可能な補修順序を先に優先順位の検討項目を念頭において立案することになるがここでは依然として経験を踏まえたエンジニアリングが必要となる。

6. 参考文献

- 1) 林、駒沢；数量化理論とデータ処理(朝倉書店)
- 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 1998.9
- 3) 構造物等設計照査要領(案)
- 4) 道路構造令(日本道路協会)
- 5) 村坂宗信、西山文男；システムダイナミクス理論によるコンクリート構造物の余寿命診断と補強設計の実例 平成10年度コンクリート構造物の補強設計の実例(1998.4.24~25)
- 6) 村坂宗信、西山文男；ファジー数量化理論による橋梁健全度診断評価 平成10年度 第26回 関東支部技術研究会 講演概要集(1999.3.17~18)
- 7) 小林一輔；コンクリートが危ない 岩波新書(616)