

保有性能と損傷からみた既設橋梁の対策優先順位決定に関する一手法

A new method to determining the priority in countermeasure of existing bridges
from the point of view of performance and damage.

古市 亨*, 松井繁之**, 井上 晋***, 浅井忠昭****

Toru Furuichi, Shigeyuki Matsui, Susumu Inoue, Tadaaki Asai

*工修, 第一技研コンサルタント株式会社 研究室長 (〒556-0005 大阪市浪速区日本橋 4-5-21)

** 工博, 大阪工業大学教授, 構造実験センター (〒614-8289 京都府八幡市美濃山一ノ谷 4)

*** 工博, 大阪工業大学教授, 都市デザイン工学科 (〒535-8585 大阪市旭区大宮 5-16-1)

**** 国際航業株式会社 関西技術部 (〒660-0805 兵庫県尼崎市西長洲町 1-1-15)

Generally, various structural performances are required for the bridge. However, it is very difficult to evaluate all of performances quantitatively. Accordingly, in this paper attentions on performance and damage of existing bridges were paid. From the point of view of the performance, design data on main girder, deck plate, pier and Bridge-fall prevention system, of many existing bridges were collected and a restoration design was made. A simplified method to quantify the each performance level of bridges by data analysis (with parameters of construction age, applied specifications, and structural types) was proposed. While, from the point of view of the damage, we paid attention on importance and damage level of the structure member of bridges. We offered a simplified method to determining priority in countermeasure by the result of bridge inspection. Furthermore, We offered a new method to determining ultimate priority in countermeasure based on judgment of overall priority in damage and remaining performance.

Key Words: existing bridges, damage, data analysis, performance evaluation, priority

キーワード: 既設橋梁, 損傷, データ解析, 性能評価, 優先順位

1. はじめに

我が国にも着実に社会資本が蓄積されてきたが、ストックの増大・老朽化に伴って維持管理費が増大し、今後財政上の負担となることが予想される。一方、我が国の少子・高齢化は急速に進展しており、生産年齢人口はすでに 1995 年をピークに減少し、今後はこれまでのような公共投資は不可能になると考えられる。

橋梁を例にとると、我が国の橋長 15m 以上の主要な道路橋だけでも約 150,000 橋以上あり、そのほとんどが 1975 年を中心とした近傍に偏って建設されている。この偏りは先進諸国と比べて顕著で、将来のある時期に我が国の橋梁が一斉に設計寿命を迎えることを意味している。また現在でも、コンクリートの塩害や中性化、鋼橋の疲労損傷などに代表されるように、高度経済成長期に建設された橋梁の劣化問題が頻繁にメディア等で採り上げられ、国民の維持管理への関心は高まっている。そこで、構造物の維持管理の現状を見れば、維持管理の

基本的な考え方や、その具体的手法論に関しては近年徐々に整備されつつあると言える。しかしながら、莫大な量の構造物と財政の問題、技術者の不足等の理由から、適切に維持管理されている構造物は極めて少なく、特に、市町村レベルにおいては、構造物を管理する側の技術者の養成と適切な維持管理システムの構築が急務となっている。このような背景から、橋梁の基本性能と損傷に着目し、橋梁の初期点検レベルでの維持管理手法を提案することを試みた。

まず、基本性能に関しては、橋梁を構成する部材のうち、主桁、床版、橋脚および落橋防止システムに着目し、その構造形式や道路橋示方書（以下、“示方書”という）の年代等から既設橋梁が現在保有している性能を複雑な構造計算をすることなく簡易に判定できる方法を構築する。これにより、橋梁点検結果がない場合においても、対策の優先度を大略判定できると考えている。本手法は、現状で橋梁点検を実施していない道路管理者がその調査順位決定に用いることにも使用できる。

また、損傷に関しては、維持管理において基本データとなる橋梁点検結果を用いて損傷対策の優先度を決定するための基礎材料の一つとして「橋梁を構成する各部材の重要度」を取り上げ、橋梁の維持管理に従事している熟練技術者（道路管理者、受託者、学識経験者）に対してアンケートを実施した。その傾向と立場の異なる熟練技術者間の考え方の乖離や問題点の抽出を行ったうえで、橋梁の点検結果から損傷対策の優先度を簡易に判断できる手法を構築する。この手法は、点検結果に基づく橋梁の損傷度と橋梁を構成する各部材の重要度から対策の優先順位を簡便に判定しようとするものであり、主として維持管理にかかわる技術者が比較的少ないと考えられる道路管理機関が使用することを意識して作成するものである。

以上の手法は、それぞれ独立して対策の優先度を簡易に判定する際にも用いることができると考えているが、本来は損傷度に基づく優先度と現在の保有性能に基づく優先度を総合的に判断したうえで対策の最終的な優先度を決定することが望ましいので、この2つを併用する場合の判定手法も検討することとした。

2. 保有性能からみた既設橋梁の対策優先順位決定手法

2.1 対象とする性能とは

橋梁はその立地条件、交通環境、地質条件等の影響を受けるため、上部工、下部工の形状、大きさが異なる。橋梁に求められる性能は多岐にわたり、要求性能も時代により変化していく。橋梁を適切に維持管理するためには、当該橋梁が有する性能を的確に評価し、要求性能レベルと比較したうえで対策の必要性を判定することが重要となる。一般に、橋梁には図-2.1に示すような性能¹⁾が要求されると考えられるが、すべての性能を定量的に評価することは現状の技術では困難である。

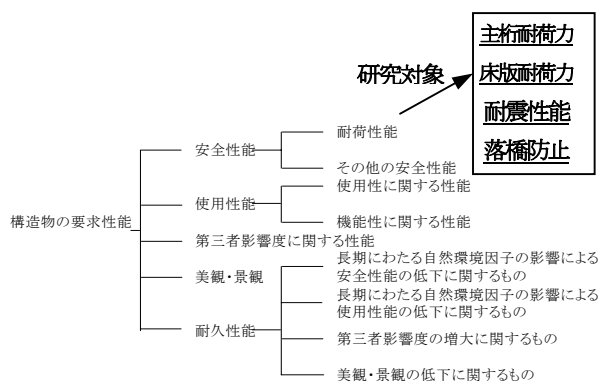


図-2.1 構造物が照査されるべき性能の分類

このため、本文では、既設橋梁の性能の中でも最も重要と考えられ、かつ定量評価するための情報収集が比較的容易であると考えられる安全性能に属する耐荷性に着目し、その中でも比較的データ収集が容易と考えられ

た上部工における①主桁耐荷力、②床版耐荷力、下部工における③橋脚耐震性、④落橋防止を抽出し、各橋梁の施工年度、適用示方書、工種、寸法等のデータ分析を行い、現在使用されている平成14年示方書²⁾での要求性能との比率から、橋梁が保有する各性能を点数化することを試みた。

2.2 主桁耐荷力の評価手法

(1) 主桁に関する示方書の変遷

我が国においては「明治19年国県道の築造基準」から、「平成14年道路橋示方書」に至るまで、自動車交通の発展や橋梁技術の進歩、時代背景に対応して、表-2.1に示すように多くの示方書・基準・通達等が出されている²⁾。昭和14年までは、道路構造令の中の標準や細則であったが、昭和14年に道路橋単独での技術基準として鋼道路橋示方書が制定されている。表中、各年代における主桁設計時の車両荷重と分布荷重・群衆荷重の変遷を示す。実際には設計時の車両荷重の載荷方法は異なるが、車両荷重は年代が新しくなるに従い大きくなり、分布荷重・群衆荷重は小さくなってきている。なお、車両荷重に関しては、我が国の高度成長期に建設された多くの橋梁は、昭和31年道路橋示方書で採用された設計荷重20tfを用いて設計されているが、平成5年に国際競争力の強化、車両の大型化への対応として設計自動車荷重は25tfに改訂され、現在に至っている。

表-2.1 主桁に関する示方書（一等橋）の変遷

適用示方書	西暦	車道		歩道
		車両荷重 t f	分布荷重 kgf/m ²	群衆荷重 kgf/m ²
明治19年築造標準	1886	—	450	450
明治35年築造標準	1902	7.88	613	613
大正8年道路構造令	1919	7.88	613	613
大正15年道路構造細則	1926	12	600	500
昭和14年示方書	1939	13	500	500
昭和31年示方書	1956	20	350	350
昭和39年示方書	1964			
昭和47年示方書	1972			
昭和55年示方書	1980			
平成2年示方書	1990	25	350	350
平成5年示方書	1993			
平成8年示方書	1996			
平成14年示方書	2002			

(2) 主桁耐荷力評価の基本的な考え方

前項に示した示方書・基準で設計された既存橋梁の主桁耐荷力は現行の設計自動車荷重25t（B活荷重）下で、許容応力内に納まることによって評価してよい。これは終局耐荷力ではないが、耐荷性を判断する慣用法と言える。したがって、既設橋梁がこのB活荷重に対してどの程度の耐荷力を有しているかを判断基準とすることとした。つまり、平成5年示方書の25t荷重より軽い設計荷重で設計された既設橋梁に死荷重とB活荷重を載荷させ、その死荷重応力度と活荷重応力度の合計と許容応

力度の比率を基本指数 α_1 として評価することとした。

主桁耐荷力基本指数 α_1

$$\alpha_1 = \sigma_a / (\sigma_B + \sigma_d) \quad (\text{式2.1})$$

式中、 σ_a ：許容応力度(N/mm²)

σ_d ：設計死荷重応力度(N/mm²)

σ_B ：B活荷重による活荷重応力度(N/mm²)

(3) 収集データ

既設橋梁に関しては、示方書年代だけでなく、橋種、竣工年度(適用示方書)、橋長、幅員など主桁耐荷力に影響を及ぼす多くの要因が考えられるが、この組合せは多岐にわたり、すべての要因の組合せを考慮して応力設計(試設計)を行うことは不可能であった。このため、これまでに主桁耐荷力の評価を行うため、設計計算結果が残っている橋梁の設計計算例を収集・整理・分析することにより、各示方書年代別の耐荷力を評価した。表-2.2に主桁耐荷力評価を行うために収集した鋼橋43橋、コンクリート橋73橋、計116橋、317主桁の内訳を示す。ここでは、鋼橋もコンクリート橋も一括して取り扱うことにしたが、これは両者とも設計は許容応力度法を用いているからである。

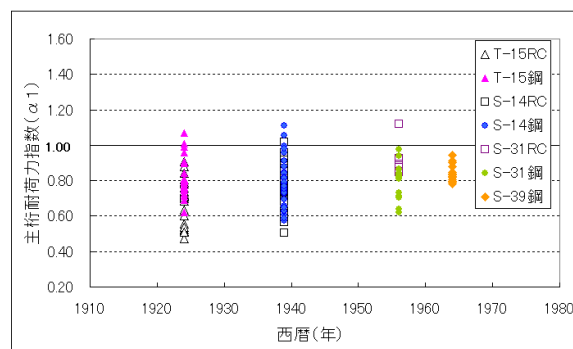
表-2.2 主桁耐荷力評価のために収集したデータ

適用示方書	西曆	設計荷重		計	
		橋格	(tf)	橋梁数	桁数
大正15年道路構造細則	1926	一等橋	12	24	80
		二等橋	8	7	18
昭和14年示方書	1939	一等橋	13	40	113
		二等橋	9	4	11
昭和31年示方書	1956	一等橋	20	18	47
		二等橋	14	6	10
昭和39年示方書	1964	一等橋	20	11	24
		二等橋	14	6	14
				116	317

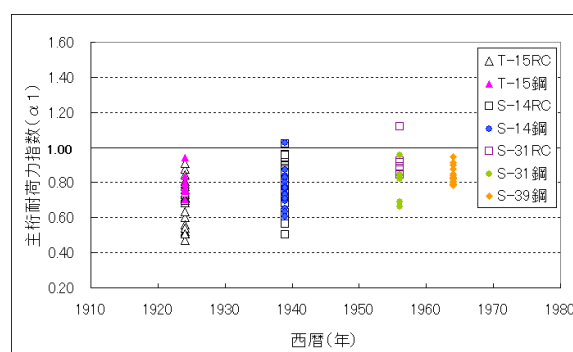
(4) 主桁耐荷力の評価

当初、既設橋梁において、主桁の耐荷力に影響を与える要因(橋種、適用示方書、橋長、幅員等)との相関性を分析したが、データ数が少なく、バラツキも大きく、判定基準となる傾向を得ることはできなかった。しかし、示方書年代と主桁耐荷力基本指数 α_1 の間には一定の相関が認められた。図-2.2に各年代の示方書で設計された主桁の耐荷力基本指数の分布を示す。図(a)には全データの分布を示すがバラツキが大きいことが分かる。このバラツキの原因の1つとして、旧示方書における鋼橋の設計は、電算技術が未発達であったため、1主桁を対象とした1-0法により設計されたものもあると推測できるが、今回の鋼橋は全て格子計算(RCは1-0法)で行ったため、外桁と内桁の荷重分配が異なる結果となった可能性がある³⁾。このため、データ分析時に鋼橋については、外桁と内桁の平均を取り、この値を主桁の耐荷力基本指数とした。この値を用いた分布を図(b)に示すが、図(a)よりバラツキは小さくなっている。

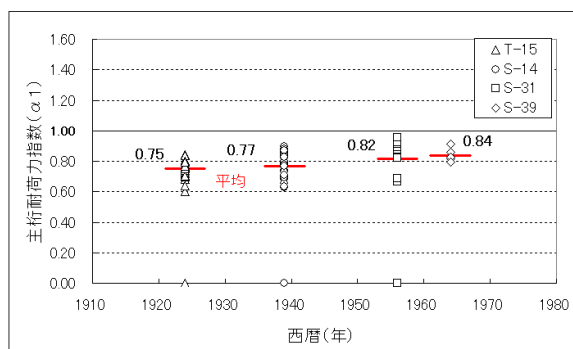
また、今回のデータの中には、オーバーレイ、増桁、拡張など竣工当時と荷重条件が変化した可能性もある



(a) 全データ



(b) 鋼橋の外桁・内桁データを平均(荷重分配考慮)



(c) 統計上の非超過確率80%外のデータを消去

図-2.2 主桁耐荷力基本指数 α_1 の算出

表-2.3 主桁耐荷力に関する基本点数

適用示方書	道路の種類	設計荷重	基本指数 α_1	基準点数 α
平成6年道示 (1994)	高速道、一般国道、 都道府県道、他	B活荷重	1.00	10.0
	その他の市町村道	A活荷重	1.00	10.0
昭和39年道示 (1964)	一等橋	TL-20	0.84	8.4
	二等橋	TL-14	0.69	6.9
昭和31年道示 (1956)	一等橋	TL-20	0.82	8.2
	二等橋	TL-14	0.67	6.7
昭和14年道示 (1939)	一等橋	TL-13	0.77	7.7
	二等橋	TL-9	0.61	6.1
大正15年(1926) 道路構造細則案	街路(一等橋)	TL-12	0.75	7.5
	国道(二等橋)	TL-8	0.66	6.6

ことから、平均値と標準偏差を求め、統計上の非超過確率80%外のデータを消去したものを図(c)に示す。この残存した全データの平均値を示方書年代別の主桁耐荷力基本指数 α_1 と定め、2等橋も含め整理したものを表-2.3に示す。なお、この α_1 に10を乗じた値を主桁耐荷力に関する基本点数 α と定義することとした。つまり、平成5年以降の示方書を適用して設計されている場合を10点満点と考えた。

2.3 床版耐荷力の評価手法

(1) 床版に関する示方書の変遷

我が国においては「大正15年道路構造細則」から「平成14年道路橋示方書」に至るまで、表-2.4に示すような示方書・基準・通達²⁾が出されており、設計輪荷重、曲げモーメント計算式、最小床版厚などの項目に対して改訂が加えられている。主桁同様、設計輪荷重は年代が新しくなるに従い大きくなり、主筋の曲げモーメントは昭和31年、昭和46年と算出式が変化している。また、配筋筋量に関しては、昭和31年から、昭和42年度までは主筋の25%と規定されていたが、以降は主筋の70%以上と増加している。なお、床版の損傷が顕在化してきた昭和53年以降は許容応力度に対して200kgf/cm²程度余裕を持たせるよう規定されている。

(2) 床版耐荷力の基本的な考え方

主桁同様、現在は平成5年に制定された設計自動車荷重25t(B活荷重:床版用として、後輪軸重20t)を満足することが求められていることから、既設橋梁がこのB活荷重に対してどの程度の耐荷力(許容応力度に対する耐荷性)を有しているかを判断基準とすることとした。

床版耐荷力基本指数 β_1

$$\beta_1 = \sigma_a / (\sigma_B + \sigma_d) \quad (\text{式2.2})$$

式中、 σ_a : 許容応力度(N/mm²)

σ_d : 設計死荷重応力度(N/mm²)

σ_B : B活荷重による活荷重応力度(N/mm²)

(3) 収集データ

床版においては、主筋を対象とした場合、示方書年代、床版支間により、床版厚、鉄筋量の復元が可能であることから、表-2.4を参考に、表-2.5に示す4種類の示方書、3種類の床版支間(L=2.5m, L=3.0m, L=3.5m)で試設計を行った。なお、B活荷重耐荷力評価を行うための実際の計算は「RC床版維持管理マニュアル」(大阪府土木部道路課 平成8年3月)⁴⁾に示されている各年代標準断面(床版厚、主鉄筋量)を用いて行っている。

表-2.5 床版の試設計一覧表

適用示方書 床版支間	昭和14年	昭和31年	昭和47年	昭和53年
2.5m	○	○	○	○
3.0m	○	○	○	○
3.5m	○	○	○	○

(4) 床版耐荷力の評価

式2.2に示す床版耐荷力基本指数 β_1 を算出した結果を図-2.3に示す。図より、示方書が古い順に小さくなり、床版支間が短いほど耐荷力が大きくなっていることが分かる。さらに、各年代とも床版支間による耐荷力の比は相似形であることから、各年代における3種類の床版支間の平均値をその年代別の床版耐荷力基本指数 β_1 と

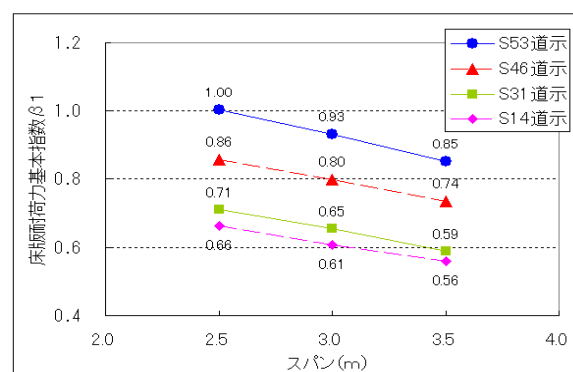


図-2.3 年代・床版支間別の耐荷力基本指数 β_1

表-2.4 床版に関する示方書の変遷

適用示方書	西暦	輪荷重 P (tf)	曲げモーメント	曲げモーメント(配筋筋量)	許容応力度 kgf/m ²	最小床版厚 L=2m (cm)
			主筋	配筋筋		
大正15年道路構造細則	1926	4.5	$M=P \cdot (L-b/2)/4 \times (1+i)$	—	1200	14.0
昭和14年示方書	1939	5.2	$M=P \cdot (L-b/2)/4 \times (1+i)$	—	1200	14.0
昭和31年示方書	1956	8.0	$M=0.4 \cdot P \cdot (L-1) \times (1+i)/(L+0.4)$	主筋の25%以上	1400	14.0
昭和39年示方書	1964	8.0	$M=0.4 \cdot P \cdot (L-1) \times (1+i)/(L+0.4)$	主筋の25%以上	1400	14.0
昭和42年局長通達	1967	8.0	$M=0.4 \cdot P \cdot (L-1) \times (1+i)/(L+0.4)$	主筋の70%以上	1400	14.0
昭和47年道示	1971	8.0	$M=(0.12L+0.07) \times P \times 0.8$	$M=(0.10L+0.04) \times P \times 0.8$	1400	16.0
昭和53年示方書	1980	8.0	$M=(0.12L+0.07) \times P \times 0.8$	$M=(0.10L+0.04) \times P \times 0.8$	(1400-200)	16.0
平成2年示方書	1990	8.0	$M=(0.12L+0.07) \times P \times 0.8$	$M=(0.10L+0.04) \times P \times 0.8$	(1400-200)	16.0
平成5年示方書	1993	10.0	$M=(0.12L+0.07) \times P \times 0.8$	$M=(0.10L+0.04) \times P \times 0.8$	(1400-200)	17.0
平成8年示方書	1996	10.0	$M=(0.12L+0.07) \times P \times 0.8$	$M=(0.10L+0.04) \times P \times 0.8$	(1400-200)	17.0
平成14年示方書	2002	10.0	$M=(0.12L+0.07) \times P \times 0.8$	$M=(0.10L+0.04) \times P \times 0.8$	(1400-200)	17.0

表中、L: 床版スパン、i: 衝撃係数

定め、この β_1 と床版支間別の比率を床版支間による補正係数 β_2 とした（表-2.6 参照）。

表-2.6 床版耐荷力基本指数 β_1 と支間補正係数 β_2

(a) 床版耐荷力基本指数 (β_1)

適用示方書	スパン			基本指数 β_1
	2.5m	3.0m	3.5m	
	①	②	③	平均
S53道示	1.00	0.93	0.85	0.93
S46道示	0.86	0.80	0.74	0.80
S31道示	0.71	0.65	0.59	0.65
S14道示	0.66	0.61	0.56	0.61

(b) 床版スパンによる補正係数 (β_2)

適用示方書	スパン		
	2.5m	3.0m	3.5m
	①/④	②/④	③/④
S53道示	1.08	1.00	0.91
S46道示	1.07	1.00	0.92
S31道示	1.09	0.99	0.90
S14道示	1.10	1.01	0.92
平均	1.08	1.00	0.91
スパンによる補正係数 β_2			

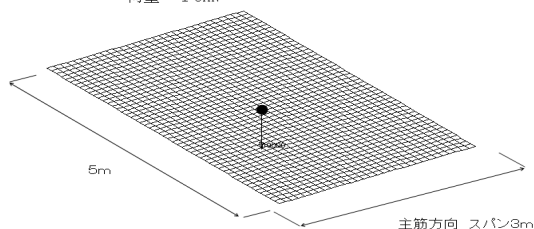
また、基本的には主筋により評価を行っているが、配筋も耐荷力に影響を与えると考え、配筋量が主筋の25%から70%に変化した昭和42年前・後の床版の差をFEM解析により分析することとした。解析は主筋量と配筋量を考慮した直交異方性モデルを用い、配筋量を主筋の25%から70%に変化させた時の床版中央主筋方向の曲げモーメント M_x を算出した。図-2.4より、配筋が主鉄筋の25%時の床版中央主筋方向曲げモーメント M_x (3,067 KN・m) に対して、配筋量が主筋の70%の時は2,368 KN・mと曲げモーメントは23%低減しており、配筋量の影響が大きいことが分かる。この曲げモ

ーメントの差を配筋量による耐荷力の比率として表し、配筋に関する補正係数 ($\beta_3=0.77$) とした。

床版の耐荷力に関する点数 β は表-2.7に示すように、示方書年代別の主筋耐荷力基本指数 β_1 に10を乗じた値を基本点数 β_{1d} とし、これに床版支間による補正係数 β_2 、配筋量による補正係数 β_3 を乗じた値とした。

解析条件

主筋方向 $E_c = 3.0 \times 10^4$ N/mm²
板厚 = 180 mm
主筋: $\phi 19-145$ etc (As15.58cm²)
直交異方性モデル (材料)
拘束条件: 4辺単純支持
荷重: 1 OKN



(a) 解析モデル

適用示方書年度	配筋筋量	M_x (KN・m)
昭和42年以降の配筋	$\phi 18-145$ etc $A_s=15.58$ cm ²	3067
昭和42年以前の配筋	$\phi 13-270$ etc $A_s=4.90$ cm ²	2368
	比率	0.77

(b) 解析結果 (主筋方向曲げモーメント M_x)

図-2.4 配筋に関する係数 β_3 の算出

2.4 橋脚耐震性能の評価手法

(1) 下部工 (橋脚) に関する示方書の変遷

下部工による基準⁵⁾は表-2.8に示すように「昭和39年下部工構造設計指針」で設計方針が表記されているが、「昭和55年道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」が

表-2.8 橋脚に関する示方書の変遷

適用示方書	年	西暦
道路橋下部構造設計指針 くい基礎の設計編	昭和39年	1964
道路橋下部構造設計指針 調査および設計一般編	昭和41年	1939
道路橋下部構造設計指針 橋台・橋脚の設計編 直接基礎編	昭和43年	1968
昭和55年示方書 IV下部構造編	昭和55年	1980
平成2年示方書 IV下部構造編	平成2年	1990
平成8年示方書 IV下部構造編	平成8年	1996

表-2.7 床版耐荷力性能に関する点数 β

(a) 耐荷力基本指数

適用示方書	道路の種類	設計荷重	基本指数 β_1	基準点数 β_{1d}
平成8年道示(1994)	高速道、一般国道、 都道府県道、他	P=10.0tf	1.00	10.0
	その他の市町村道	P=10.0tf	1.00	10.0
昭和53年道示(1978)	一等橋	P=8.0tf	0.93	9.3
200kg/cm ² の余裕	二等橋	P=5.6tf	0.70	7.0
昭和46年道示(1971)	一等橋	P=8.0tf	0.80	8.0
曲げモーメント式変更	二等橋	P=5.6tf	0.59	5.9
昭和31年道示(1956)	一等橋	P=8.0tf	0.65	6.5
曲げモーメント式変更	二等橋	P=5.6tf	0.48	4.8
昭和14年道示(1939)	一等橋	P=5.2tf	0.61	6.1
	二等橋	P=3.6tf	0.47	4.7
大正15年(1926) 道路構造規則案	街路(一等橋)	P=4.5tf	0.57	5.7
	国道(二等橋)	P=3.0tf	0.42	4.2

$\beta =$

(b) スパンによる補正係数		(c) 配筋による補正	
床版支間	補正係数 β_2	設計年次	補正係数 β_3
2.5m	1.08	昭和42年以降	1.00
3.0m	1.00	昭和42年以前	0.77
3.5m	0.91		

発行されるまでは、技術者の判断により安全性の取り扱いにバラツキがあった。また、昭和55年以後には平成2年に一部見直しが行われ、「平成8年道路橋示方書・同解説 IV下部構造編」で大きな見直しが行われている。要は下部工では耐震性が最も重要な照査項目となった。

(2) 耐震性能の基本的な考え方

下部工の耐震性を評価する場合、橋台に起因した被災履歴が少ないことから、ここでは橋脚の耐震性能に着目し、各年代の橋脚が保有する履歴、耐力、構造特性などをもとに、橋脚の耐震性に関する評価とその根拠についてとりまとめる。対象とする橋脚はRC橋脚に限定し、対象とする部材は、柱のみとし、梁および基礎（フーチング、杭）については除外している。RC橋脚（以下、“橋脚”という）の大規模地震に対する耐震性能については、平成8年に道路橋示方書・V耐震設計編⁷⁾（以下、“H8示方書V”という）において、地震時保有水平耐力法により設計することが規定された。

地震時保有水平耐力法は、大規模地震時に構造物の非線形域の変形性能や動的耐力を考慮して、地震による荷重を静的に作用させて設計する耐震設計法であり、地震時保有水平耐力は式2.3を満足するように照査される。

$$Pa \geq Khe \cdot W \quad (\text{式2.3})$$

Pa ：橋脚の地震時保有水平耐力

Khe ：地震時保有水平耐力法に用いる等価水平震度

W ：地震時保有水平耐力法に用いる等価重量

本法では、式2.3を変形し、H8示方書Vが要求する耐力に対して、既設橋梁がどの程度の耐荷性を有しているかを判断基準（式2.4参照）とすることとした。靱性についてはここでは割愛している。

橋脚の耐震性能指数 Sp

$$Sp = Pa / Khe \cdot W \quad (\text{式2.4})$$

(3) 収集データ

橋脚の耐震性能に関しては、H8示方書Vで設計された橋脚の耐震性を基本性能とし、H8示方書Vで設計（補強）されていない橋脚の耐震性評価を行うこととし、補強前の状態のデータ収集を行った。耐震性能に関しては、示

方書年代(3年代)だけでなく、橋脚柱形式(5形式)、橋脚高さ(6種類)も耐力に影響を与えると考えた。表-2.9に橋脚の耐震性の評価を行うために収集・使用した192基の内訳を示す。

(4) 耐震性能の評価

図-2.5に各年代の示方書で設計された橋脚の耐震基本指数の分布を示すが、バラツキが大きいことが分かる。橋脚の耐震性能においては、示方書年代だけでなく、柱形式と橋脚高さも大きな要因の一つであると推測できたため、橋脚柱形状、橋脚高さについても同様の分析を実施した。表-2.10に示方書年代、柱形式、橋脚高さ、それぞれの耐震性能指数の集計を示す。表-2.10より、以下の傾向を得た。

- ① 示方書年代と耐震性能指数(平均値)は適用示方書が古い橋脚ほど耐震安全係数が低くなる傾向にあることが分かる。
- ② 橋脚柱形状に着目した場合には、壁式、ラーメン、矩形の柱の耐震性能指数は高く、円形、小判の柱が低くなる傾向にある。
- ③ 橋脚高さについては、5m以下の低い橋脚、および20m以上の高橋脚の耐震性能指数が高く、標準的なH=5m~20m程度の橋脚の耐震性能が低くなる傾向にあることが分かる。
- ④ 示方書年代と同様に、橋脚柱形状、橋脚高さもデータのバラツキも大きい。この原因として、橋脚の設計は上部工と比較して設計は上部工に制約されること、ならびに一般に材料・施工に対して安全の余裕の取り方が一定ではないことが考えられる。しかし、一定の傾向は捉えることができた。

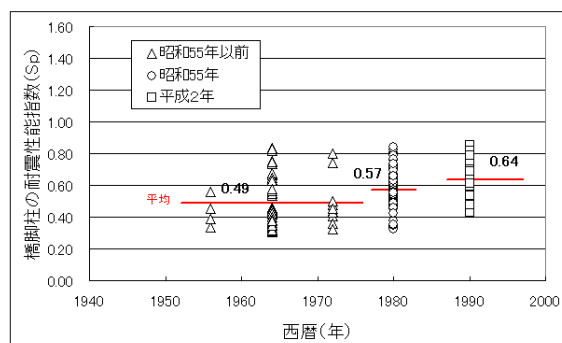


図-2.5 示方書年代別の耐震性能指数 Sp の推定

表-2.9 橋脚の耐震性能評価のために収集したデータ

構造形式	適用示方書	昭和55年以前	昭和55年通示 1980通示	平成2年通示 1990通示	計
柱形式 (橋脚)	円柱	15	36	6	57
	小判柱	8	1	1	10
	矩形柱	20	31	19	70
	壁式	4	12		16
	ラーメン	20	19		39
計		67	99	26	192
橋脚高さ	H < 5m	8			8
	5m ≤ H < 10m	18	29	13	60
	10m ≤ H < 15m	27	29	7	63
	15m ≤ H < 20m	13	29	2	44
	20m ≤ H < 25m	1	8	2	11
	25m ≤ H < 30m	0	4	2	6
計		67	99	26	192

表-2.10 橋脚耐震性能指数 Sp の整理結果

(a) 適用示方書		(b) 橋脚柱形状		(c) 橋脚高さ	
適用示方書	Sp	橋脚形状	Sp	橋脚高	Sp
H2通示	0.638	壁式	0.601	H < 5m	0.573
S55通示	0.573	ラーメン	0.564	5m ≤ H < 10m	0.527
S55通示以前	0.488	矩形	0.553	10m ≤ H < 15m	0.547
平均	0.552	円形	0.536	15m ≤ H < 20m	0.565
		小判	0.514	20m ≤ H < 25m	0.609
		平均	0.552	25m ≤ H < 30m	0.632
				平均	0.552

表-2.11 橋脚の耐震性能に関する点数

(a)基本点数

適用示方書	Sp	$\gamma 1$
平成8年道示 (1996)	—	10
平成7年復旧仕様 (1995)	—	10

適用示方書	Sp	$\gamma 1$
平成2年道示 (1990)	0.64	6.4
昭和55年道示 (1980)	0.57	5.7
昭和55年道示以前	0.49	4.9
全体平均	0.552	

(b)橋脚柱形状による補正係数

柱形状	Sp2	$\gamma 2$
壁式	0.801	1.09
ラーメン式	0.564	1.02
矩形柱	0.553	1.00
円柱	0.536	0.97
小判柱	0.514	0.93
全体平均	0.552	

(c)橋脚高さによる補正係数

柱高	Sp3	$\gamma 3$
$H < 5m$	0.573	1.04
$5m \leq H < 10m$	0.527	0.96
$10m \leq H < 15m$	0.547	0.99
$15m \leq H < 20m$	0.565	1.02
$20m \leq H < 25m$	0.609	1.10
$25m \leq H < 30m$	0.632	1.15
全体平均	0.552	

このため、橋脚の耐震性能に関する点数 γ については、示方書年代別の耐震指数 S_p に10を乗じたものを基本点数、柱形式、橋脚高さについては、次式に示すように、橋脚形式、橋脚高さの性能指数と平均値との比を補正係数として表すこととした。

橋脚柱形状による補正係数 $\gamma 2$

$\gamma 2 = \text{各橋脚柱形状の耐震安全係数} / \text{平均値}$

橋脚高さによる補正係数 $\gamma 3$

$\gamma 3 = \text{各橋脚高さの耐震安全係数} / \text{平均値}$

表-2.11 に示すように橋脚耐震性能に関する点数 γ は、示方書年代別の基本点数 $\gamma 1$ に、柱形状の補正係数 $\gamma 2$ 、橋脚高さの補正係数 $\gamma 3$ を乗じた値とした。ただし、前述したように、これらの値はバラツキが大きかったため、192 脚のデータについて、データ分析のために用いた個々の橋脚における耐震性能指数 S_p に10を乗じたものと、今回提案した評価手法により、推定した橋脚耐震に関する点数 γ の相関を照査した。図-2.6 にその結果を示すように、20%程度のバラツキはあるが、一定の傾向を

示している。

2.5 落橋防止システムの評価手法

(1) 落橋防止システムに関する示方書の変遷

落橋防止システムにおいては、昭和 47 年道路橋示方書⁵⁾以降にその内容が記載されている。平成 14 年示道路橋方書においては、移動制限構造のように名称が変わっているものや、緩衝機能の追加などの変更がある。これらの要求性能の変化は表-2.12 のとおりである。

表-2.12 落橋防止システムに関する示方書の変遷

適用示方書	西暦	桁かかり長	落橋防止構造 外力(Hf)	移動制限構造 外力(Hs)
昭和47年道示	1971	1.0SE以上	—	$H_s = 1.5Kh \cdot Rd$
昭和55年示方書	1980		$H_f = 2.0Kh \cdot Rd$	$H_s = 1.5Kh \cdot Rd$
平成2年示方書	1990			
平成7年復旧仕様	1995		$H_f = 1.5 \cdot Rd$	$H_s = 3.0Kh \cdot Rd$
平成8年示方書	1996			
平成14年示方書	2002			

(2) 落橋防止システム性能の基本的な考え方

落橋防止システムの耐震性能の評価に際し、落橋防止システム全体としての基本点数を 10 点とし、各システムの優先順位・重要度に応じた基本点数を分配することとした。設定に際しては、落橋防止機能および大規模地震時の慣性力に対する耐荷性能を重視し、桁かかり長、落橋防止構造、変位制限構造を基本構造として選んだ。落橋を防止するという視点で捉えた場合、落橋防止システムにおいて、最後に機能する桁かかり長が最も重要な構造であると考え、桁かかり長が整備されているほど耐震性能の 50%以上は確保されていると考え、10 点中、6 点の配点とした。また、桁かかり長に達する前に機能する落橋防止構造の重要度がその次に高いものと考え、桁かかり長の半分である 3 点の配点とした。変位制限構造については、支承と補完しあって大規模地震に抵抗すると

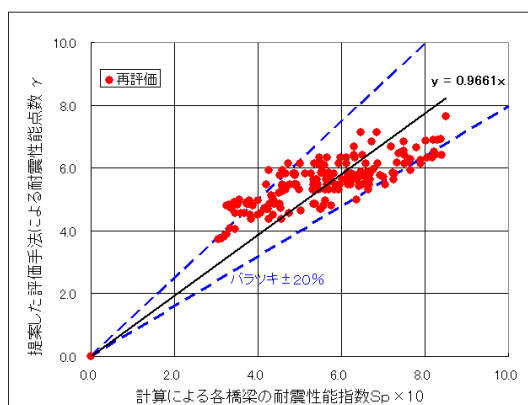


図-2.6 橋脚の耐震性に関する点数の

再評価という機能から、桁かかり長、落橋防止構造と比べると重要度は低いと考え、1点の配点とした。

基本点数の配点

桁かかり長の基本点数 $\eta 1=6.0$

落橋防止構造の基本点数 $\eta 2=3.0$

変位制限構造の基本点数 $\eta 3=1.0$

次に、各構造の基本点数に、対象橋梁の設計年次における性能を考慮するため、H8 示方書Vを基本として補正係数 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 、 $\delta 3$ を設定した。

1) 桁かかり長の補正係数 $\delta 1$

対象橋梁の桁かかり長に対して、H8 示方書Vに示される桁かかり長 SE を主判断軸とし、落橋防止構造の設計移動量 SF ($=0.75 \cdot SE$) を補助軸と考え、補正係数 $\delta 1$ は以下の3段階に分類した。

- ① 1.0 SE 以上: $\delta 1=1.0$
- ② 1.0 SE 未満 1.0 SF 以上: $\delta 1=0.5$
- ③ 1.0 SE 未満: $\delta 1=0.0$

2) 落橋防止構造の補正係数 $\delta 2$

対象橋梁の設計年次における落橋防止構造の設計地震力算定式 H_f から耐震性能を評価するものとし、許容応力度の割増係数、緩衝効果等を考慮して以下の式にて補正係数 $\delta 2$ を算定する。

$$\delta 2 = (H_{fi} / k_i) / (H_{f8} / k_{f8}) \times b_i$$

式中、 H_{fi} : 設計当時の示方書の設計地震力

k_i : 設計当時の示方書の許容応力度の割増し

H_{f8} : H8 示方書Vの設計地震力

k_{f8} : H8 示方書Vの許容応力度の割増し

b_i : 緩衝係数 (H7 復旧仕様以降の落橋防止構造については緩衝機能を保有することが推奨されているため、緩衝係数として 1.0 を、それ以前の示方書の場合は緩衝係数 0.8 を考慮した。)

各示方書による落橋防止構造の補正係数を算出すると下記の通りとなる。

- ① H14, H8 示方書で設計された橋梁
 $\delta 2 = \{(1.5R_d / 1.5) / (1.5R_d / 1.5)\} \times 1.0 = 1.0$
- ② H7 復旧仕様で設計された橋梁
 $\delta 2 = \{(1.0R_d / 1.0) / (1.5R_d / 1.5)\} \times 1.0 = 1.0$
- ③ H2, S55 示方書で設計された橋梁
 $\delta 2 = \{(2 \cdot K_h \cdot R_d / 1.5) / (1.5R_d / 1.5)\} \times 0.8 = 0.27$
 * K_h は現行基準のⅡ種地盤の最大値 0.25 と仮定した。
- ④ S55 示方書より前の基準では $\delta 2=0.0$ とした

3) 変位制限構造の補正係数 $\delta 3$

落橋防止構造と同様に、設計年次における変位制限構造の設計地震力算定式 H_s から耐震性能を評価するもの

とし、以下の式にて補正係数 $\delta 3$ を算定した。

$$\delta 3 = (H_{sj} / k_j) / (H_{s8} / k_{s8}) \times b_1$$

式中、 H_{sj} : 設計当時の示方書の設計水平力

k_j : 設計当時の示方書の許容応力度の割増し

H_{s8} : H8 示方書Vの設計水平力

k_{s8} : H8 示方書Vの許容応力度の割増し

なお、変位制限構造は H8 示方書V以降に規定されているため、H8 以前については、可動支承部の移動制限装置と読み替えるものとする。

(2) 落橋防止システムの評価

設定した基本点数 $\eta 1$ 、 $\eta 2$ 、 $\eta 3$ 、および各構造の設計年次における補正係数 $\delta 1$ 、 $\delta 2$ 、 $\delta 3$ により、落橋防止システムに関する評価指標として、以下の落橋防止システム点数 η を算定する。

落橋防止システムに関する点数 δ

表-2.13 落橋防止システムに関する点数の根拠

桁かかり長		桁かかり長と必要長による評価	
基準点数 $\eta 1$	6.0	評価式	$\delta 1$
×		$1.0 SE \leq$ 桁かかり長	1.00
		$0.75 SE \leq$ 桁かかり長 $< 1.0 SE$	0.50
		桁かかり長 $< 0.75 SE$	0.00
落橋防止構造		設計年次による補正係数	
基準点数 $\eta 2$	3.0	適用示方書	$\delta 2$
×		平成14年道示	1.00
		平成8年道示	1.00
		平成7年復旧仕様	1.00
		平成2年道示	0.27
		昭和55年道示	0.27
		昭和55年以前	0.00
変位制限構造		設計年次による補正係数	
基準点数 $\eta 3$	1.0	適用示方書	$\delta 3$
×		平成14年道示	1.00
		平成8年道示	1.00
		平成7年復旧仕様	0.50
		平成2年道示	0.50
		昭和55年道示	0.50
		昭和55年以前	0.00

$$\delta = \eta 1 \times \delta 1 + \eta 2 \times \delta 2 + \eta 3 \times \delta 3$$

式中の各係数は表 2-13 を参照する。

2.6 性能の重要度比較評価 (配点)

前節までに、上部工に関する耐荷力 (主桁、床版) と下部工に関する2つの耐力 (耐震性、落橋防止) に関する配点とその根拠を示してきた。しかし、この4項目についても維持管理に対する重要度は異なると考えられることから、アンケートを行い⁶⁾、その結果を踏まえ、4部材の重み付けを行った。

(1) アンケート結果

重要度に関して、発注者側として近畿地方の国土交通省、府県 (公社含む)、市役所、受注者としての設計コンサルタント、施工業者 (メーカー、ゼネコン)、さらに学識経験者に対してアンケートを実施した。

Q 主観で結構です。以下に示す4部材の性能の中で最も重要な項目を最高10点とし、重要度に応じて他の部材についても点数(10～0点)をつけてください。

- ① 主桁の25t耐荷力 () 点
- ② 床版の25t耐荷力 () 点
- ③ 橋脚耐震性 () 点
- ④ 落橋防止システム () 点

図-2.7に上記アンケート結果を示すが、これより、以下の傾向を得た。

- ① 重要度は床版耐荷力→主桁耐荷力→橋脚耐震性→落橋防止システムの順であった。常時における床版、主桁耐荷力より、いつ発生するかわからない橋脚耐震性、落橋防止システムの評価を低くしたとの意見が多かった。
- ② 耐荷力に関しては、主桁より床版を高く評価している。これは近年の実測、解析等で床版、高欄等の余剰部材により、主桁の耐荷力は比較的余裕があることが認識されていること³⁾、一方、床版に関してはこれまで多数の損傷が発生しているためと推測できる。
- ③ 橋脚耐震性と落橋防止システムでは、今まで地震で桁がずれることはあっても落橋までに至るケースが少なく、落橋防止システムを整備しても下部工が破壊すれば意味がない、などの意見があり、落橋防止システムの評価が低かった。

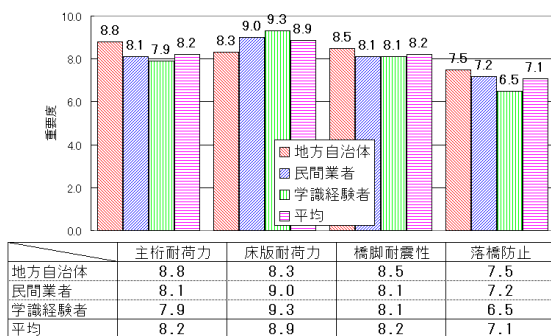


図-2.7 性能の重要度に関するアンケート結果

(2) 耐荷性能の重要度比較評価

前節のアンケート結果を参考に、橋梁が有している4項目の性能について、重み係数を決定した。配点するにあたっての基本的な考え方を以下に示す。

- ① 常時、輪荷重の繰返し走行による疲労の影響を受け、損傷が発生したときに直接的な被害を受ける床版の

B活荷重耐荷力が最も重要と考え1.0とした。

- ② 常時ではあるが、各種実験、解析等で床版、高欄等の余剰部材により、計算上の耐力より余裕がある主桁B活荷重耐荷力は床版より小さい0.8とした。
- ③ いつ発生するかわからない地震への対応である橋脚耐震性と落橋防止システムについては、耐荷力に比べ低くした。橋脚の耐震性については0.8とし、下部工に設置されている落橋防止システムは配点を0.6とした。

(3) 橋梁単位で保有している耐荷性能に関する点数

橋梁単位で保有している性能に関する点数 θ の算出方法を表-2.14に示すが、前節で配点した各項目の点数($\alpha, \beta, \gamma, \delta$)に、重み係数を乗じ、4項目の合計を橋梁単位で保有している得点と設定した。

表-2.14 橋梁が有している性能に関する得点 θ

基本点数				重み係数	計
上部工	主桁のB活荷重耐荷力	α	×	0.8	= 0.8α
	床版のB活荷重耐荷力	β	×	1.0	= 1.0β
上部工	橋脚の耐震性能	γ	×	0.8	= 0.8γ
	落橋防止システム	δ	×	0.6	= 0.6δ
Σ					θ

(4) 保有性能からみた対策優先順位の設定

前項で橋梁が有している性能に関する得点 θ を算出したが、その点数が低いものから対策(点検・調査)を行うことが必要と判断し、対策順位を決定する。優先順位決定に用いた9橋の諸元、橋梁が有している性能とその根拠、優先順位を表-2.15に示す。表中、竣工年度の古い順に橋梁を並べている。

基本的には竣工が古い順に総得点が低く、対策順位が高くなる。しかし、C橋はD橋に比べ、竣工が古いにもかかわらず総得点は高くなっている。このように、示方書年代だけでなく、床版支間による補正係数、桁かかり長により逆転することもある。また、B橋は現有示方書を満足する橋脚、落橋防止システムの補強対策を実施したため、総得点が10点程度上昇し、対策優先順位は2位から5位まで下がった。

なお、本判定に用いる諸元は表中に示すように竣工年度(適用示方書)、等級、床版支間、下部工形式など、比較的容易に収集できるデータを用いて対策優先順位を決定することができたことが分かる。

表-2.15 各橋梁の橋梁諸元と橋梁が有している性能から見た対策優先順位

NO.	橋名	竣工	適用 示方書	橋格	床版 スパン (m)	柱 形式	橋脚 柱高 (m)	桁 かかり (SE)	落橋 防止 構造	移動 制限 構造	対策 履歴	基本点数・基本指数												性能点数				総得点	対策 順位					
												主桁				床版				橋脚				α	β	γ	δ							
												示方書		スパン		配力筋		示方書		形式		高さ								桁かかり		落防		移動
												α	β_1	β_2	β_3	γ_1	γ_2	γ_3	δ_1	δ_2	δ_3													
1	A橋	1930	T15	1926	1等橋	2.5	壁	22.0	0.74	無	無	7.5	5.7	1.08	0.77	4.9	1.09	1.10	0.00	0.00	0.00	7.5	4.7	5.9	0.0	15.4	1							
2	B橋	1942	S14	1939	1等橋	2.5	ラーメン	13.0	1.10	H8	H8	7.7	6.1	1.08	0.77	10.0	—	—	1.00	1.00	1.00	7.7	5.1	10.0	10.0	25.2	5							
3	C橋	1959	S31	1956	1等橋	3.5	小判	26.0	1.05	無	無	8.2	6.5	0.91	0.77	4.9	0.93	1.15	1.00	0.00	0.00	8.2	4.6	5.2	6.0	18.9	3							
4	D橋	1967	S39	1964	1等橋	3.5	矩形	18.0	0.86	S39	S39	8.4	6.5	0.91	0.77	4.9	1.00	1.02	0.50	0.00	0.00	8.4	4.6	5.0	3.0	17.1	2							
5	E橋	1974	S47	1972	1等橋	3.5	円	8.0	0.95	S47	S47	8.4	8.0	0.91	1.00	4.9	0.97	0.96	0.50	0.00	0.50	8.4	7.3	4.6	3.5	19.8	4							
6	F橋	1981	S55	1980	1等橋	2.5	壁	16.0	1.01	S55	S55	8.4	9.3	1.08	1.00	5.7	1.09	1.02	1.00	0.27	0.50	8.4	10.0	6.3	7.3	26.2	6							
7	G橋	1991	H2	1990	1等橋	2.5	矩形	16.0	1.05	H2	H2	8.4	9.3	1.08	1.00	6.4	1.00	1.02	1.00	0.27	0.50	8.4	10.0	6.5	7.3	26.3	7							
8	H橋	1995	H5	1993	1等橋	3.0	壁	4.0	1.05	H5	H5	10.0	10.0	—	—	6.4	1.09	1.04	1.00	0.27	0.50	10.0	10.0	7.3	7.3	28.2	8							
9	I橋	1998	H8	1996	1等橋	3.0	ラーメン	15.0	1.10	H8	H8	10.0	10.0	—	—	10.0	—	—	1.00	1.00	1.00	10.0	10.0	10.0	10.0	32.0	9							
																				6				3	1	0.8	1.0	0.8	0.6					
																				η_1				η_2	η_3	重み係数								
																								基本点数										

3. 損傷状況からみた既設橋梁の対策優先順位決定手法

3.1 損傷状況に関する基本的な考え方

各道路管理者の多くはこれまで「橋梁定期点検要領(案)」(国土交通省 国道・防災課, 平成16年3月)(以下,「要領(案)」という),あるいは独自の点検要領に従って,点検を実施しており,各点検要領では,損傷状況に応じて損傷ランクが定められているが,橋全体の損傷ランクを判定する手法は確立されていない。このため,橋梁点検結果を用いて損傷対策の優先度を決定するために,「判定区分(損傷ランク)の点数化」と「橋梁を構成する各部材の重要度」に着目し,判定区分に関しては,橋梁の維持管理に従事している技術者(道路管理者,維持管理業務受託者)に対してアンケートを実施した。本手法は,点検結果に基づく橋梁の損傷度と橋梁を構成する各部材の重要度から対策の優先順位を簡便に判定しようとするものであり,主として維持管理にかかわる技術者が比較的少ないと考えられる道路管理者が使用できるようにすることを意識して作成した。なお,橋梁を構成する部材,および判定区分については,上記要領(案)を基本として分類している。

3.2 損傷に対する標準点Xの設定

各部材の損傷レベルの判定は表-3.1に示す要領(案)の判定区分(損傷ランク)に準拠することとした。各部材毎の損傷に対する標準点Xを設定し,表-3.1の判定区分に従い,現地で実施した損傷調査結果をそのまま点数に置き換える。その点数設定根拠を以下に示す。

表-3.1 判定区分と損傷に対する標準点 X

判定区分 損傷ランク	標準点 (X)	判定の内容
A	0	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	7	状況に応じて補修を行う必要がある。
C	10	速やかに補修等を行う必要がある。
E1	1000	橋梁構造の安全性の観点から,緊急対応の必要がある。
E2	1000	その他,緊急対応の必要がある。
M	0	維持工事で対応する必要がある。
S	7	詳細調査の必要がある。

- ① 橋梁全体の判定区分が E1, E2 の場合には,緊急対応が必要と考え,他の損傷と差別化を計り,必ず優先度が高くなるよう損傷の標準点を1000点と設定した。
- ② 速やかに補修等を行う必要がある判定区分Cは本手法が対象とする最も基本的な損傷と位置づけ,標準点10点を配点としている。
- ③ 状況に応じて補修を行う必要がある判定区分Bは標準点として7点を与える。判定区分Cの1ランク下の損傷と考えており,判定区分Cの70%と仮定した。
- ④ 詳細調査の必要性がある判定区分Sは7点を与える。実際には詳細調査後に最終的な判定区分が決定されるが,予防的見地から判定区分Bと同程度と評価した。
- ⑤ 維持工事で対応する必要がある判定区分Mの標準点は0点とした。損傷のランクによる橋梁の安全性評価

が本マニュアルの目的であるため,通常の維持管理業務での対応は終了,あるいは実施することを前提として,配点しないこととした。

3.3 橋梁を構成する各部材の重要度Yの設定

(1) 橋梁を構成する部材

各機関では独自に点検マニュアルを作成し,部材毎に点検を実施しているが,本評価手法では,要領(案)に示されている部材の分類を参考に,表-3.2に示す15部材に分類することとした。

表-3.2 橋梁を構成する部材

①主構	⑥舗装	⑪橋台
②床組	⑦伸縮装置	⑫橋脚
③床版	⑧中央分離帯	⑬基礎工
④高欄・地覆	⑨支承	⑭付属施設
⑤防護柵	⑩排水施設	⑮落橋防止システム

(2) 橋梁の重要度に関するアンケート

道路管理者の多くはマニュアルを作成しているが,橋梁を構成する部材毎の重要度は明確にされていない。しかし実際には,直接に輪荷重の影響を受ける主構・主桁,床版と,排水装置や高欄など二次部材のその重要度は異なると考えた。また,この重要度については,その設定する条件・時期によっても配点を変えるべきと考えられる。このため,橋梁を構成する各部材に関する重要度に関して,いくつかの条件を挙げ,その条件毎に発注者と設計コンサルタントを対象に以下のアンケートを実施した。

Q:主観で結構です。構成する各部材の中で最も重要な部材を最高10点とし,重要度に応じて他の部材についても点数(10~0点)をつけてください。

- | | |
|--------------|-------------|
| ① 主 桁 () | ⑧ 中央分離帯 () |
| ② 床 組 () | ⑨ 支承 () |
| ③ 床 版 () | ⑩ 排水施設 () |
| ④ 高欄・地覆 () | ⑪ 橋台 () |
| ⑤ 歩車道防護柵 () | ⑫ 橋脚 () |
| ⑥ 舗 装 () | ⑬ 基礎工 () |
| ⑦ 伸縮装置 () | |

図-3.1に示すアンケート結果では,直接輪荷重の影響を受ける床版,主桁が重要と考える技術者が多く,次いで,伸縮装置,支承,舗装の順であった。これは,伸縮装置の機能により,下部へ水の供給が損傷に影響を与えるためである。舗装は床版対策時に同時に補修することが多く,特に交通規制が必要な項目であることから,道路管理者,設計者とも日常的に問題意識が高いと考えられる。橋脚,橋台,基礎工が高い配点となっていたが,兵庫県南部地震を受けて改訂された新たな耐震設計の印象が強い設計者が配点したためと考える。

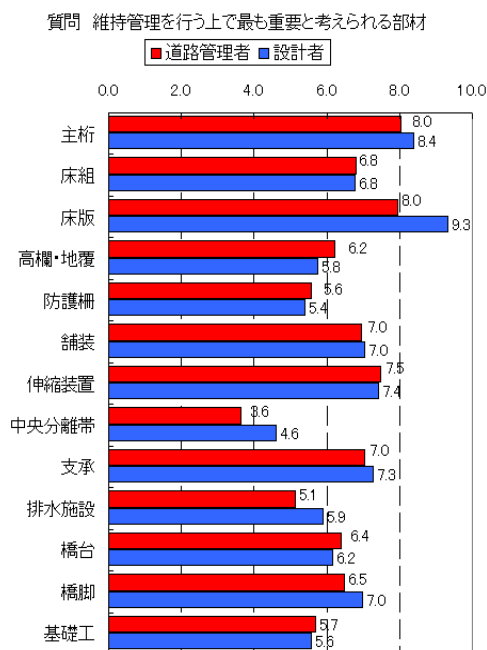


図-3.1 アンケート結果

(3) 橋梁を構成する各部材の重要度

前項の関するアンケート結果を参考に各部材の重み付け係数 Y を表-3.3 のように決定した。上記配点を行った根拠・理由を以下に示す。

- ① 直接、輪荷重の影響を受ける部材（床版、舗装）の配点を高くした。
- ② 主桁、床版、支承を特に重要な部材と考えた。
- ③ 伸縮装置、排水装置に損傷が発生すると下部への漏水が発生し、支承を含む他の部材へ影響を及ぼすため高い配点とした。
- ④ 下部工に関しては、アルカリ骨材反応等の特殊な事情がない限り、損傷が耐震性に与える影響は少ないと考えた。
- ⑤ 基礎工に関しては一般的には損傷は確認できない。このため、損傷がある場合には「損傷＝洗掘」の可能

性が高く、配点も高くした。

なお、アンケートには、照明柱・標識柱、落橋防止システムは含まれていなかったが、照明柱は近年、疲労損傷による事故が問題になっているため、配点を高くした。

また、落橋防止システムについては、平成7年の復旧仕様以降の構造には耐力があるが、それ以前の構造は耐力不足となる。これより、損傷している構造は旧構造のものが多くと考え、配点を低くした。

表-3.3 橋梁を構成する部材の重要度 Y

部材名	重要度係数(Y)	部材名	重要度係数(Y)
① 主桁	1.0	③ 支承	0.9
② 床組	0.8	⑩ 排水施設	0.7
③ 床版	1.0	⑪ 橋台	0.6
④ 高欄・地覆	0.4	⑫ 橋脚	0.7
⑤ 歩車道柵	0.4	⑬ 基礎工	0.9
⑥ 舗装	0.8	⑭ 照明柱・標識柱	0.7
⑦ 伸縮装置	0.8	⑮ 落橋防止システム	0.3
⑧ 中央分離帯	0.4		

(4) 橋梁単位の損傷に関する点数

橋梁単位の損傷に関する係数は、損傷状況を主判定軸 X として、部材毎の重要度 Y を乗じて、部材毎に得点をつけ、部材毎の点数の合計を 1 橋当りの損傷の総得点 P とする。式 3.1 に 1 橋当たりの損傷総得点 P の算出式を示す。

1 橋当りの損傷の総得点 Pi

$$P_i = \sum X_i \times Y_i \quad (\text{式 3.1})$$

式中、X_i : 部材毎の損傷に関する基準点 (表-3.1 参照)

Y_i : 部材毎の重要度係数 (表-3.3 参照)

i : 各部材の番号

(5) 損傷からみた優先順位設定

前項で橋梁毎の損傷に関する総得点 P の算出手法を提案したが、その総点数が高いものから対策を行うことが必要と判断し、対策順位を決定することとなる。表-3.4 に損傷からみた対策の優先順位決定の判定例を示す。

表-3.4 損傷状況から見た既設橋梁の対策優先順位

NO.	橋名	NO. 部材	1 主桁	2 床組	3 床版	4 高欄	5 防護柵	6 舗装	7 伸縮	8 中分	9 支承	10 配水	11 橋台	12 橋脚	13 基礎工	14 付属	15 落防	総得点 (T)	順位
		重要度(Y) ①	1.0	0.8	1.0	0.4	0.4	0.8	0.8	0.4	1.0	0.7	0.6	0.7	0.9	0.7	0.3		
1	A橋	損傷(Y) ②	7	0	10	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	19.8	3
		得点 ①×②	7.0	0.0	10.0	0.0	4.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
2	B橋	判定区分	E															1000.0	1
		損傷(Y) ②	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		得点 ①×②	1000.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
3	C橋	判定区分				B	B	B					B	M		M		15.4	5
		損傷(Y) ②	0	0	0	7	7	7	0	0	0	0	7	0	0	0	0		
		得点 ①×②	0.0	0.0	0.0	2.8	2.8	5.6	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0		
4	D橋	判定区分					B			C								6.8	9
		損傷(Y) ②	0	0	0	0	7	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0		
		得点 ①×②	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
5	E橋	判定区分											B	B		B		14.0	6
		損傷(Y) ②	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7	7	0	7	0		
		得点 ①×②	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	4.9	0.0	4.9	0.0		
6	F橋	判定区分				B	B			B								8.4	7
		損傷(Y) ②	0	0	0	7	7	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0		
		得点 ①×②	0.0	0.0	0.0	2.8	2.8	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
7	G橋	判定区分									B			C		C		21.0	2
		損傷(Y) ②	0	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	10	0	10	0		
		得点 ①×②	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	7.0	0.0	7.0	0.0		
8	H橋	判定区分					C		C									16.0	4
		損傷(Y) ②	0	0	0	0	10	10	10	0	0	0	0	0	0	0	0		
		得点 ①×②	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	8.0	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		
9	I橋	判定区分			S	M		M			M	M		M	M	M	M	7.0	8
		損傷(Y) ②	0	0	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
		得点 ①×②	0.0	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0		

表 3.4 に示すように、判定区分の高いもの、部材の配点
 が大きなものに損傷がある場合には、各橋梁の対策順位
 が高くなる。

4. 保有性能と損傷からみた対策優先順位決定

4.1 保有性能・損傷の重要度比較

前章までに、橋梁単位で保有している性能、損傷から
 みた橋梁の対策優先順位決定手法を示したが、最終的な
 対策の優先順位を決定するには、これらを同時に取り扱
 う必要がある。そのため、保有性能、損傷の重要度につ
 いては、学識経験者の意見、アンケート結果などから、
 あまり変動しない性能に関する得点より、既に顕在化し
 ている損傷の方が重要度は高いと考え、以下の重み付け
 を行い、相乗させることとした。

保有性能・損傷の重要度

保有している性能の重要度係数 $J1 = 0.7$

損傷状況の重要度係数 $J2 = 1.0$

4.2 保有性能と損傷からみた対策優先順位決定手法

性能に関する点数 θ は値が大きいくほど安全性が高く、
 損傷に関する点数 P は値が大きいくほど危険性が高く評価
 することとなる。このため、性能に関する評価がプラス
 (+)、損傷に関する評価はマイナス(-)と考え、性能、
 損傷をまとめた橋梁単位で保有している点数 T を式 4.1
 のように決定した。

保有性能と損傷からみた橋梁単位の点数 T

$$T = \theta \times J1 - P \times J2 \quad (\text{式 4.1})$$

表-2.14 に示す性能に関する得点 θ と表-3.3 に示す損
 傷に関する点数 P を、この T に代入すると、保有性能と
 損傷からみた橋梁単位の点数による優先順位が決定す
 る。表-4.1 に 9 橋の性能と損傷からみた対策の優先順位
 を示すが、今回の判定例は損傷による点数に差が大きく、
 全体の評価も損傷の優先順位と傾向は似ているが、性能
 の点数によりその順位が逆転している橋梁が現れるこ
 とがある。

表-4.1 保有性能と損傷からみた優先順位

NO.	橋名	性能		損傷		全体	
		総得点 θ	優先 順位	総得点 P	優先 順位	総得点 T	優先 順位
1	A 橋	15.4	1	19.8	3	-9.0	2
2	B 橋	25.2	5	1000.0	1	-982.3	1
3	C 橋	18.9	3	15.4	5	-2.2	4
4	D 橋	17.1	2	6.8	9	5.2	7
5	E 橋	19.8	4	14.0	6	-0.2	5
6	F 橋	26.2	6	8.4	7	9.9	8
7	G 橋	26.3	7	21.0	2	-2.6	3
8	H 橋	28.2	8	16.0	4	3.7	6
9	I 橋	32.0	9	7.0	8	15.4	9
		0.7		1.0			
		重要度 J1		重要度 J2			

5. まとめ

今回提案した既設橋梁の対策優先順位決定手法は、既
 存の設計計算データ、試設計、アンケートなどを併用す
 ることで、施工年次、構造形式、構造寸法等、比較的入
 手が容易な基本的なデータを用いて簡易に各橋梁が有
 する性能、あるいは損傷に関する優先順位を付けること
 ができたと考える。

さらに、橋梁が保有している性能に関する点数、橋梁
 単位の損傷に関する点数に関して、その重要度を考慮し
 た総合的に対策の優先順位決定手法を提案することが
 できた。

本手法は性能、損傷を総合的に比較することもできる
 が、性能に関する点数 θ だけを用いることで、橋梁の点
 検順位決定、耐荷力・耐震性の補強順位決定が可能にな
 り、損傷に関する点数 P を用いることで、損傷に関する
 補修・補強対策順位を決定することもできる。

本手法は各橋梁が保有している性能、損傷に関して、
 簡易に優先順位を決定するためには非常に有用な手法
 であると考えますが、実際に道路管理者が維持管理を行
 うためには、架橋状況、橋梁規格、交通特性、地域特性、
 住民要望など様々な問題、制約が予想される。このため、
 維持対策の実施には更に別の項目を配慮して順位を決
 めることになるであろう。

現在、大阪府吹田市の協力の下、上記内容を踏まえ、
 実際の各種条件に対応した市町村レベルにおける対策
 の優先順位決定手法を検討しており、後日報告する予定
 である。

最後に、本論の各種提案手法の作成については、アン
 ケート調査に協力頂いた道路管理者、建設コンサルタン
 ツ協会の各位、さらに事前アンケートを実施頂いた吹田
 市建設緑化部の方々に追うところが大きく、ここに感謝
 の意を表します。

参考文献

- 1) 土木学会: コンクリート標準示方書【維持管理編】、2001. 1
- 2) 日本道路協会: 道路橋設計示方書、昭和 14 年 2 月。
- 3) 渥美、羽柴、古市: 既設橋梁の 25t 車両対応の耐荷力評価法、
橋梁と基礎、Vol. 33, , pp32-36, 1999. 7.
- 4) 大阪府土木部 道路課: 【RC 床版維持管理マニュアル】、
平成 8 年 3 月。
- 5) 多田浩之: 橋梁技術の変遷、鹿島出版会、2001.
- 6) 建設コンサルタンツ協会近畿支部: 橋梁維持管理研究委員会
調査研究報告書(その 2) [橋梁に要求される性能と維持管理
手法に関する調査研究の報告書]、平成 14 年 4 月。
- 7) 日本道路協会: 平成 8 年道路橋示方書 V 耐震設計編、
平成 8 年 3 月。
- 8) 国土交通省 国道・防災課: 橋梁定期点検要領(案)、
平成 16 年 3 月。

(2007 年 9 月 11 日受付)