

都市高速道路網における鋼橋の耐用年数とトータルコストに関する一試算

A Trial Calculation on Service Life and Total Cost of Steel Bridges in Urban Elevated Highways

北田 俊行*, 関 惟忠**, 松倉 孝夫***, 西岡 敬治****, 岩崎 一好*****, 矢野 幸子*****

Toshiyuki KITADA, Koretada SEKI, Takao MATUKURA, Takaharu NISHIOKA, Kazuyoshi IWASAKI and Sachiko YANO

*工博 大阪市立大学 助教授 工学部土木工学科 (〒558 大阪市住吉区杉本3-3-138)

**阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課 課長 (〒541 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

***阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課 調査役 (〒541 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

****阪神高速道路公団 保全施設部 保全技術課 係長 (〒541 大阪市中央区久太郎町4-1-3)

***** (株)日本構造物設計事務所 大阪技術部 課長 (〒550 大阪市西区阿波座1-6-13)

***** (株)日本構造物設計事務所 大阪技術部 (〒550 大阪市西区阿波座1-6-13)

This paper deals with the service life and total cost of steel bridges in urban elevated highways from a viewpoint of maintenance. As for the service life, the concept of a management period for maintenance is introduced instead of it. The management period for maintenance is decided on the basis of the fatigue life of lower flange plates of plate girder bridges. Total cost is on trial simulated using the data on cost which was utilized in 1992 for maintenance in steel bridges of about 30 years old in the Hanshin Expressways, on the basis of the conditions that circumstances of maintenance, and social and economical situations are not changed during the management period. The simulation results in that the cost for repainting, repavement and replacement of expansion joints is about 30% of the total cost after 90 years. It is also concluded that the improvement of pavement and painting materials, and change of simply supported bridges into continuous bridges are effective.

Key Words : service life, total cost, management, steel bridges, urban elevated highway

1. まえがき

阪神高速道路の大阪池田線は、昭和39年の一部区間供用開始から現在まで30年を経ている。そして、現在では同高速道路の供用総延長は、平成6年4月の湾岸線の開通に伴い、図-1に示すように200kmに達している。また、供用後15年以上を経過した区間が、全路線の50%以上を占めるに至っている¹⁾。阪神高速道路のような大都市における高速道路網では、以上のような維持管理対象構造物の増加、特に湾岸線に代表される自然、および交通環境の厳しい路線の増加や、損傷・腐食・劣化の多様化と複雑化、および維持修繕費の漸増などから、構造物の維持管理における効率化、および質的向上の重要性が今まで以上に高まっている。

そのために、阪神高速道路公団においては、損傷・腐食・劣化の早期発見、および発見されたこれらの欠陥に対する補修・補強方法の早急な検討、これらの情報の計画・設計・施工段階へのフィードバック^{2) 3)}などが行われている。

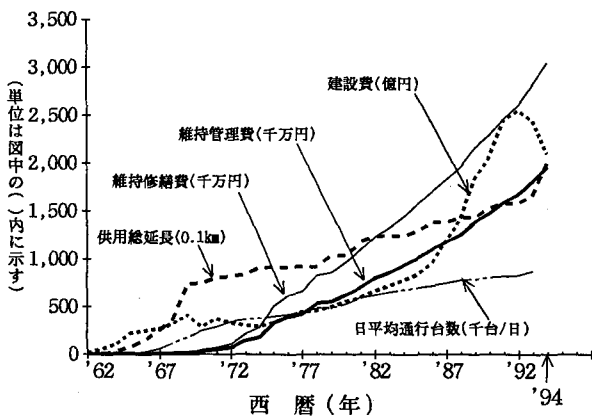
このような維持管理方法の中で、現在、以下のような

課題について検討されている^{4) 5)}。

- ① 計画、設計、施工、および維持管理に必要なすべての経費（トータルコスト）が最小となるように構造物を計画、設計、施工、および維持管理する必要があるのではないか。
- ② そのためには、構造物の耐用年数を明確に定める必要があるのではないか。
- ③ 耐荷力、および使用性などの低下と言うより、社会情勢の変化に伴う機能不備によって耐用年数が定められる可能性の大きい構造物の設計耐用年数をいかに決めるべきか。
- ④ 現在の積算方法では、トータルコストが最小となるような構造物を建設するのは難しいのではないか。
- ⑤ 道路網としての機能を満足するため、既存構造物とこれから建設される構造物との耐用年数、および維持管理方法などについての均衡をどのようにして図るか。

また、供用延長の漸増に伴う維持管理費の増大は、図-1に示すとおり明白である。このことは、構造物の維持管理において無視することの出来ない問題である。そ

ここで、構造物の計画時、建設時、および全供用期間にわたる経済性の向上や、限られた維持管理費のさらなる有効活用の可能性について検討することが不可欠である。



図－1 供用延長、日交通量、および維持管理費の推移

なお、図－1中の用語のうち、維持修繕費には、鋼橋の上下部構造物以外の構造物に関する費用と利用者へのサービスの費用も含まれている。これに対して、本論文では、鋼橋の維持管理に関係する費用のみを抽出した費用を、維持管理費として定義している。

以上のような維持管理に対する課題に対して、欧米では、維持管理に関する総合的な考え方として“Bridge Management System(BMS)”⁶⁾が、具体的に提唱されつつある。また、国内でもBMSの構築に向けて、各関係機関において動き始めている。

阪神高速道路公団でも、維持管理の視点から、BMSの考え方を導入して構造物の一生を通じての必要経費を最小にする維持管理方法の構築をめざしている。その一端として、平成2年度から「鋼橋の耐久性に関する調査研究委員会」を組織し、阪神高速道路の維持管理の現状分析や文献収集を行うとともに、それらに基づいて維持管理にかかわる広範な検討を進めてきた^{2)～6)}。

本論文は、阪神高速道路公団において、鋼橋を対象と

した維持管理の効率化、および経済性向上に向けて、その耐用年数の設定法、および鋼橋の一生に必要な総経費（トータルコスト）に関して検討した現時点における成果についてまとめたものである。

2. 耐用年数（管理対象期間）

2. 1 耐用年数の種類

土木構造物の耐用年数の考え方は大きく次の3種類に分けることができる。

①経済的耐用年数：有料道路や有料橋においては、償還年数と償却年数とのバランスから決定される。また、維持管理や補修に関する費用の増大と経済効果の減少とのバランスからも決定される。

②機能的耐用年数：時代の変遷に伴い、期待される機能の不備によって決定される。

③物理的耐用年数：構造力学的、および構造工学的な構造物の寿命から決定される。

また、上記のうち物理的耐用年数については、設計荷重の再現確率から追求するものと、構造材料の特性の劣化から追求するものがあると考えられる⁷⁾。

各機関・団体における耐用年数の事例とその耐用年数の種類を表－1にまとめて示す。

表－1を見ると、上記耐用年数の種類の内、物理的耐用年数を採用している場合が多いことがわかる。

2. 2 管理対象期間の設定

本来、耐用年数は、構造物を設計する際に、設計荷重、強度劣化、機能の低下、疲労強度、および経済性・社会的背景などのいろいろな条件を考慮して決定されるべきものである。しかしながら、現状では、社会的価値、および要求される機能の変化をもとに決定される耐用年数は、長期的（50～100年）な社会状況変化の予測が明確

表－1 各機関・団体における耐用年数の比較

設計基準等	耐用年数	耐用年数	耐用年数の種類	備 考
道路橋示方書 ⁸⁾		50年	物理的	設計基準風速の生起確率
鋼道路橋設計便覧 ⁹⁾		50～100年	機能的、物理的	
大蔵省令 ¹⁰⁾		40～50年	経済的	減価償却試算の耐用年数
イギリス BS5400 Part3 ¹¹⁾		120年	物理的	疲労寿命
カナダ・オンタリオ州道路橋設計基準 ¹²⁾		50年	物理的	
JR ¹³⁾	鉄道橋	60年	物理的	疲労寿命
	新幹線	70年	物理的	
本州四国連絡橋公団 ¹⁴⁾		100年	物理的	疲労寿命
アメリカ AASHTO/LRFD ¹⁵⁾		75年		

でないことから、構造物の設計に用いる耐用年数としての精度が十分に確保できない。また、設計時に設定される荷重に関する不確定性（活荷重、風荷重、および地震荷重）も、避けることの出来ないものであり、この不確定性の経年変化を考慮して耐用年数を決定することも困難である。

そこで、本研究においては、設計時に決定される耐用年数の代わりに、維持管理の観点から決定される狭義の耐用年数で、既設構造物を対象とする「管理対象期間」を設定する。この管理対象期間を用いて、維持管理の効率化・経済性の向上などについて検討を行う。

この管理対象期間は、現状、および将来において予測される荷重に対して少なくとも構造物（鋼橋）が使用できると期待される期間とする。

ただし、管理対象期間は、あくまでも、一つの仮定であり、厳密にこの期間内だけ橋梁を維持管理するという意味ではなく、この期間後も橋梁を使用することを目標に維持管理していくものとする。

2.3 管理対象期間の設定方法

一般的な橋梁の耐用年数は、50年程度¹⁶⁾と言われているが（表-1 参照）、ここでは、鋼橋の物理的耐用年数が、疲労により決められる場合が多い¹⁷⁾ことを考慮して、管理対象期間を設定するために、疲労寿命に着目する。

対象とする橋梁は、建設年度が古い路線区間で多く参照され、維持管理対象件数の多い昭和42年制定の標準橋¹⁸⁾とする。すなわち、鋼単純合成鈹桁橋とする。

(1) 疲労寿命の算定条件

算定方法：JSSC疲労設計指針（以下、指針）¹⁹⁾に準じて、疲労照査を行い、その結果から疲労寿命を算定する。ただし、疲労限については、ある場合と無い場合の2種類を対象とする。

着目部位：単純合成鈹桁橋の部材のうち、取り替えの不可能な主部材である主桁とし、その中でも、疲労損傷の可能性が大きいと予測される支間中央の下フランジとする。なお、疲労強度は、分配横桁取り合い部の垂直補剛材下端の取り付け溶接部を対象にし、まわし溶接部もあるので、E等級の十字溶接継手部として評価する。

荷重条件：旧道路橋示方書²⁰⁾のT-20荷重、および阪神高速道路の実態荷重（以下、HDL荷重）²¹⁾とする。

照査応力算定方法：対象橋梁を立体構造物にモデル化し、FEM解析により応力を算定する。また、FEM解析により得られた結果を、実橋梁で実施された載荷試験結果²²⁾と比較し、補正を行う。

(2) 疲労寿命の算定

橋梁形状、およびその、解析モデルを以下に示す。

- 支間長：29,400mm
- RC床版厚：180mm
- 主桁本数：5本
- 主桁間隔：4×3,850mm=15,400mm
- 主桁形状：上フランジ 300×22 (mm)(SM490)
腹板 1,700×9 (mm)(SM490)
下フランジ 500×32 (mm)(SM490)

解析モデル：主桁、RC床版、分配横桁、端横桁、および横桁部ラテラルガセットをシェル要素で、それ以外の部材はビーム要素でモデル化する（図-2 参照）。

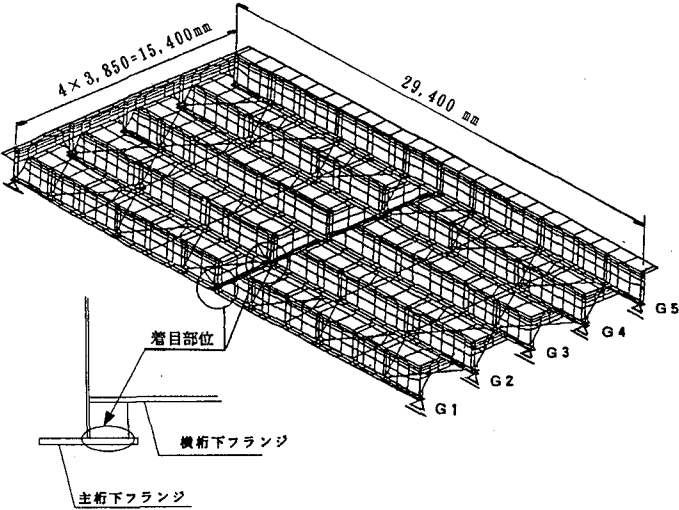


図-2 標準橋（昭和42年）のF.E.M.解析モデル

等価応力範囲 $\Delta\sigma_e$ は、各荷重による応力範囲 $\Delta\sigma_i$ から、式(1)により算出する。

$$\Delta\sigma_e = \sqrt[m]{\sum \Delta\sigma_i^m \cdot n_i / \sum n_i} \quad \text{--- (1)}$$

式(1)で、 m は、図-3に示す設計S-N線の傾きを表す指数であり、 $m=3$ である。

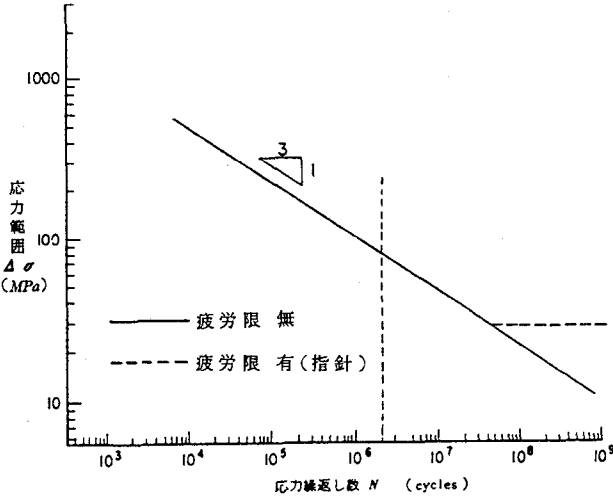


図-3 設計S-N線図

橋軸方向の載荷位置は、主桁の支間中央断面における主桁系曲げモーメントの影響線を考慮して決定した。

橋軸直角方向の載荷位置は、文献21)に示されている実測値を基に決定した。

載荷面積（輪帯幅など）は、載荷位置直下の部材の応力を対象とするわけではないので、考慮していない。

表－2に採用した活荷重モデルを示す²¹⁾。

疲労寿命を算定する際の、日交通量は、阪神高速道路の、混雑が激しい路線での実測平均値の代表例として、25,000(台/車線)、および、その最大交通量に近い

$\gamma_w=1.10$ とする。

検査係数 γ_i : 構造物の供用中の定期検査により、疲労限界状態にいたる前に損傷を発見する可能性を考慮した係数であり
 $\gamma_i=0.90$ とする。

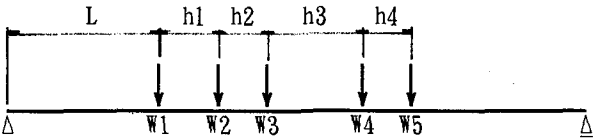
主桁下フランジの板厚が厚いため($t=32\text{mm}$)、板厚の増加に伴う疲労強度の低下を考慮し、補正係数 C_t を基本許容応力範囲に乗じる。 C_t は式(2)により算出した。

$$C_t = \sqrt[4]{25/t} \quad \text{----- (2)}$$

表－2 活荷重モデル（支間中央対象ケース）²⁰⁾

モデル No.	車種	軸間距離 (m)				等価輪荷重 (tf)					前輪位置 L (m)	車両混入率 (%)
		h1	h2	h3	h4	W1	W2	W3	W4	W5		
1	A1	大型2軸	4.0			3.09	4.19				11.0	0.506
2	A2		4.0			3.09	4.84					0.638
3	A3		4.0			3.09	7.54					0.060
4	B1	大型3軸(1) $\gamma > 1.25$	5.4	1.3		3.50	3.68	2.17			9.6	1.430
5	B2		5.4	1.3		3.50	5.71	3.55				2.546
6	B3		5.4	1.3		3.50	8.29	5.21				0.076
7	C1	大型3軸(1) $\gamma \leq 1.25$	3.3	1.3		3.50	2.90	2.90			11.7	0.364
8	C2		3.3	1.3		3.50	5.12	5.12				0.146
9	D1	大型3軸(2) $\gamma \leq 1.25$	1.6	4.5		3.02	3.02	3.62			13.4	0.726
10	D2		1.6	4.5		3.02	3.02	5.51				0.706
11	E1	大型4軸	1.4	4.0	1.2	2.31	2.31	3.29	3.29		9.6	0.098
12	F1	セミトレ(1)	3.0	5.0		3.18	4.23	4.30			12.0	0.129
13	G1	セミトレ(1)	3.0	6.1	1.2	3.03	3.01	2.30	2.30		12.0	1.338
14	G2	4軸	3.0	6.1	1.2	3.03	5.62	5.24	5.24			0.687
15	H1	セミトレ(2)	3.0	1.3	5.0	3.25	2.30	2.30	3.01		12.0	0.069
16	H2	4軸	3.0	1.3	5.0	3.25	5.24	5.24	5.62			0.051
17	I1	セミトレ(2)	3.0	1.3	6.4	3.25	2.78	2.78	2.78	2.78	10.7	0.123
18	I2	5軸	3.0	1.3	6.4	3.25	6.11	6.11	6.11	6.11		0.105
T-20			4.0			2.00	8.00				11.0	9.292

γ : タンデム軸重比



30,000(台/車線)とする。大型車混入率は実態調査から10%とする²¹⁾。

疲労照査の安全係数は、指針¹⁹⁾から次の通りとする。

冗長度係数 γ_b : 対象とする部材に、疲労損傷が生じた時に、それが構造物全体の強度、または機能におよぼす影響を考慮した係数であり、 $\gamma_b=1.10$ とする。

重要度係数 γ_w : 構造物の重要度、すなわち構造物が疲労限界状態に達した時の社会的影響を考慮した係数であり、

(3) 解析結果

FEM解析値と実橋載荷試験結果²²⁾を比較し、主桁下フランジの応力度を示すと、次の通りとなった。

FEM解析値の応力度 $\sigma_F = 96\text{kgf/cm}^2$

実橋載荷試験結果の応力度 $\sigma_T = 128\text{kgf/cm}^2$

以上の数値から、実橋載荷試験結果の方が、約33%大きいことから、FEM解析による応力度に $\alpha=1.33$ の補正係数に乗じるものとした。

FEM解析により得られた応力度を基に、前述の条件によって疲労寿命を算定した結果を表－3に示す。

表－3 主桁下フランジにおける疲労寿命

対象荷重と 疲労限の有無		G 1 桁(走行車線載荷)		G 2 桁(追越車線載荷)	
		25000(台/車線)	30000(台/車線)	25000(台/車線)	30000(台/車線)
HDL 荷重	疲労限無	69.7年	58.2年	141.3年	117.7年
	疲労限有	85.3年	71.0年	2294.0年	1911.7年
T-20	疲労限無	241.7年	201.4年	146.1年	121.8年
衝撃係数(道示): 1.25 疲労限: 296(kgf/cm ²) 200万回疲労強度: 816(kgf/cm ²) 大型車混入率: 10(%)					

疲労限界をもうけた場合のG1桁（耳桁）の疲労寿命は、HDL荷重の場合、約85年となった。

以上の結果より、維持管理対象期間としては、疲労寿命のみを考慮すれば、80～90年が考えられる。

3. トータルコストの試算

一般的にトータルコストとは、構造物の計画・設計・建設から、その構造物が寿命を終えるまでの全期間を通じて必要とされる費用の総合計である。

ここでは、一例として、阪神高速道路の一路線区間のデータを用いて、トータルコストを以下に従って試算してみた。

3. 1 目的

既に述べたとおり、阪神高速道路における維持管理作業、および、その費用は、今後も漸増し続けることは明らかである。このような状況に対して、トータルコストを予測し、その傾向を把握することによって、維持管理の効率化、および維持管理費の有効的な利用法の方角性を明らかにすることが極めて重要である。

また、BMSの概念を導入した維持管理方法の1つとして、トータルコストを最小とするような方法^{23)～25)}が考えられるが、その方法の手がかりとなる参考資料を作成することも本試算の目的である。

さらに、塗装、舗装、および伸縮装置については、改良案を採用した場合の効果についても、試算し、検討を加える。

3. 2 トータルコストの試算方法

(1) 管理対象期間の設定

対象橋梁が河川を横断する単独橋であれば、その橋梁のみについて管理対象期間を設定すればよいといえる。しかし、阪神高速道路のように都市内高速道路網においては、路線の大半が高架橋により構成されていること、また、全路線内においても建設年度が異なることなどを考慮して、建設年度の同じ路線区間ごとに管理対象期間を設定するものとする。

また、一般的に新しい路線ほど新しい設計基準が適用され、より優れた構造となっていると考えられる。したがって、高速道路網の機能の弱点となる建設年度の古い路線区について管理対象期間を設定する。

さらに、都市内高速道路網としての機能を保持するため、道路網を切断することになる橋梁の架け替えは最終の手段とし、部分補修・補強、および取り替えが可能な部材については、その作業を行い、出来る限り長く橋梁を維持することが必要となる。したがって、ここでは取り替え可能部材についての管理対象期間は考慮せず、部分補修・補強、および取り替えが困難と考えられる主部材である主桁について管理対象期間を設定する。

以上の点を考慮し、トータルコストの試算に用いる管理対象期間は、2. 耐用年数（管理対象期間）で算定した疲労寿命を参考に、90年と仮定するものとする。なお、

疲労寿命の算出対象橋梁は鋼I桁橋であり、鋼箱桁橋の疲労寿命は異なると考えられるが、管理対象期間は構造物の形式ごとに設定されるものではなく、路線ごと、または道路網として設定されるべきものであるため、形式によらず、一律90年として考える。

(2) トータルコストの試算方法

前項で設定した管理対象期間90年を通じて行われるであろう維持管理に必要となる費用について、トータルコストの試算を行う。

ただし、本研究におけるトータルコストは、現時点から、管理対象期間の90年終了時点まで維持管理状況、および社会・経済情勢が大きく変化しないという仮定に基づき、維持管理に要する各項目の費用を加算したものである。

なお、この試算において、鋼橋の価値の変化、金利・物価変動、および社会的便益（損益も含む）等の影響については考慮されていない。これは、本論文における検討は、維持管理に必要となるトータルコストの試算であり、上記の影響の考慮は別問題としているためである。また、上記影響をトータルコストに反映させるには、各影響を金額（コスト）に換算しなければならないが、現状ではそのためのデータ、および方法ともに不備であり、今後への課題と考えられる。

3. 3 試算例

試算を行う上での仮定、および条件を以下に示す。

基準年：平成4年

試算データ：建設後約30年経過した都市内高架道路網内の一路線のデータを用いる。

試算費用：建設費：上記建設時に要した費用を物価上昇率を用いて、平成4年時点の費用に換算する。

維持管理費：平成4年度決算報告書を基に算出した維持管理に関する、各項目のkm当たりの単価を基準とする。この単価は、各項目の実施頻度を考慮している。

検討項目：鋼橋の維持管理に関係ない項目は除外する（たとえば、緑地帯管理費など）。また、一般的に維持管理とみなされる項目を対象とし、サービスの項目は除外する（たとえば、交通渋滞表示・サービス施設などの項目は除外する）。一例として、阪神高速道路公団の維持修繕項目と今回の検討で対象とした維持管理項目（*印をしない項目）とを、図-4に示す。

試算対象：①鋼I桁橋

②鋼箱桁橋

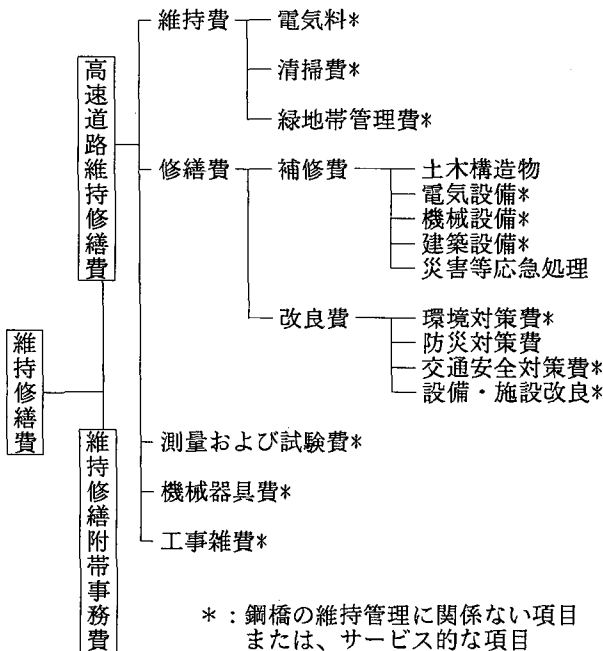
③鋼I桁橋と鋼箱桁橋とが混在する仮想路線。データとして用いた路線での鋼

I 桁橋と鋼箱桁橋の延長比率が約 3 : 1 であるため、混在延長比率は 3 : 1 と仮定する。

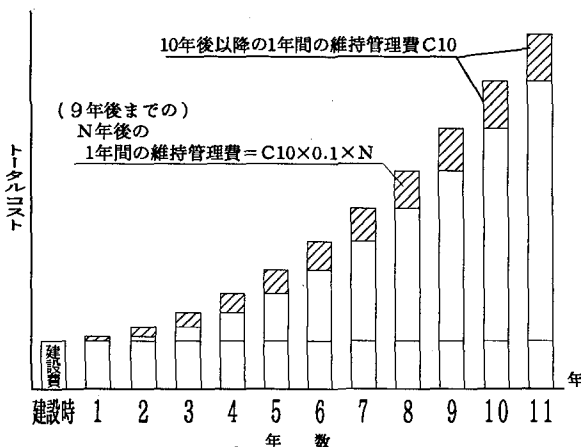
加算方法：単純加算

図－5 に示すように、建設後10年間は供用直後であり、この間の年間の維持管理費は少ないと考え、平成4年度の年間維持管理費 $C_{10} \times 0.1 \times$ 建設後年数と仮定した (C_{10} : 平成4年度年間維持管理費)。なお、10年後以降は、年間維持管理費 C_{10} (一定額) を加算している。

費用：鋼 I 桁橋全体の建設費を100として、全費用を換算する



図－4 維持修繕費の項目



図－5 加算方法模式図

3. 4 検討対象とする改良案

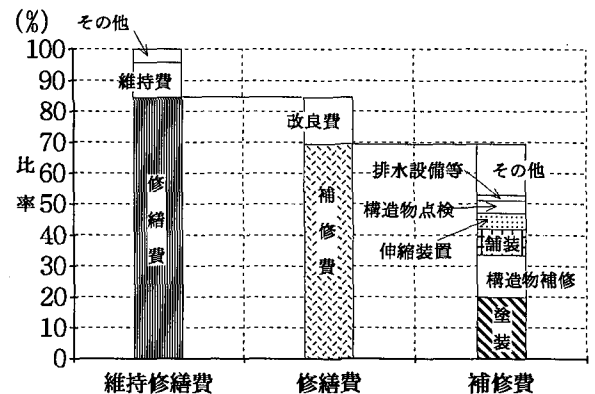
図－6 に示すように、維持修繕費の内でも、大きな割合を占めている舗装、塗装、および伸縮装置については、

以下に示す維持修繕費を低減し得る新技術を導入した場合の、トータルコストの試算も行う。

すなわち、これらの新技術とは、現時点で採用されつつある技術とし、以下に示すものとする。

- ① 塗装材料の改良：塗装材料をフッ素樹脂系塗料とし、塗替え周期の長期化を図る。
- ② 舗装材料の改良：ストレート・アスファルトから改質アスファルトに変更し、打換え周期を長期化する。
- ③ 伸縮装置の改良：橋梁の連続化を行い、伸縮装置の数を低減する。なお、阪神高速道路公団では、この改良工事と同時に鋼製支承をゴム支承に交換している。

また、これらの新技術導入は建設後30年の時期に行われるものと仮定して、改良に要する工事費用を30年目の費用に加算し、30年以降の各項目における維持管理費を低減する。



図－6 維持修繕費の内訳 (平成4年度実績) ²⁾

3. 5 トータルコストの試算結果

前項で示した考え方に従い、以下の4ケースについて試算を行った。

- ① 鋼 I 桁橋
- ② 鋼箱桁橋
- ③ 仮想路線 (鋼 I 桁橋 : 鋼箱桁橋 = 3 : 1)
- ④ 鋼 I 桁橋 (改良案採用)

(1) 建設費の試算

建設時の1km当たり鋼 I 桁橋建設費を基準とし、それを消費者物価指数²⁶⁾を用いて平成4年における費用に換算し、100とする。

構造形式別の建設費は、以下の方法で比率を算出し、換算した。

上部構造物工事費については、想定路線における鋼 I 桁橋と鋼箱桁橋の各延長合計と径間数から、その平均径間長を求める。この平均径間長から、各形式の概算工事費を算出し、その比率を用いる。

下部構造物工事費は、前述の平均径間長より求められる概算上部構造物反力によって各形式における橋脚1基

当たりの概算工事費を算出する。これに、1km当たりの下部構造物基数を乗じて1km当たりの下部構造物工事費を算出し、その比率を用いる。なお、下部構造、および基礎構造の条件は次のとおりとした。

橋脚高さ：16.0m
杭 長：30.0m
以上の検討結果をまとめて、表－4に示す。

表－4 1km 当たりの鋼橋建設費の形式別比率

工事費 形 式	鋼 I 桁橋	鋼箱桁橋	仮想路線
上部構造工事費	72	119	84
下部構造工事費	28	20	26
建設費合計	100	139	110

(2) 維持管理費の試算

維持管理費は、対象路線の平成4年度の実績を基に、以下の点に関して補正を行い算出する。

塗 装：各年度の工事数量が大きく異なることから単年度の実績を用いず、塗装面積、塗装頻度、および塗装単価を考慮して算出した。なお、試算に用いた塗装面積は、鋼 I 桁橋、および鋼箱桁橋の平均径間長に近い径間長の標準図より求めた。その結果を表－5に示す。なお、昭和42年の標準図には鋼箱桁橋がないため、昭和62年の標準図²⁷⁾を準用した。また、塗装の塗替えであるため、箱桁の内面は考慮していない。予想に反し、箱桁の塗装面積がかなり広い結果となった。これは、鋼 I 桁橋の主桁本数5本（ウェブ塗装面10面）、桁高1.7mに対して、鋼箱桁橋は主桁本数2本（ウェブ塗装面4面）、桁高2.8m、下フランジ幅が2.9mと面積が大きく、塗装面積が大きくなったためと考えられる。

表－5 橋梁形式別塗装面積

橋 梁 形 式	径間長	塗装面積	1km当塗装面積
単純合成 I 桁橋(S.42)	30.0m	1123.2㎡	37440 ㎡/km
単純合成箱桁橋(S.62)	65.0m	2446.9㎡	37645 ㎡/km

鋼桁補修：これは鋼桁亀裂部補修であり、現状では鋼 I 桁に特有の補修であるため、形式別の試算において、補正を行った。

伸縮装置補修：鋼 I 桁橋と鋼箱桁橋の径間長が異なるため、伸縮装置の数が相違することを考慮し、伸縮装置数の比率で補修費を換算した。試算条件と結果を表－6に示す。

支承補修：伸縮装置と同様に、鋼 I 桁橋と鋼箱桁橋の径間長の違いから、支承数が異なることを考慮した。試算条件は、伸縮装置の場合と同じとする。ただし、桁本数の違いは無視

している。試算結果を表－7に示す。

塗装改良：試算に用いる現況塗装と想定した塗装改良時の条件を、表－8に示す。

舗装改良：試算に用いる現況舗装と想定した舗装改良時の条件を、表－9に示す。

伸縮装置改良：現況の単純鋼 I 桁橋のうち50%を5径間連続に改良し、同時に改良部の鋼製支承をゴム支承に交換すると仮定する。試算に用いる現況と改良時の条件を表－10に示す。

なお、各維持管理費の数値には前述の鋼 I 桁橋の建設費“100”を基準に換算した値を用いる。

表－6 1km当たりの橋梁形式別伸縮装置数

項 目 形 式	鋼 I 桁橋	鋼箱桁橋
試算延長	1.00km	1.00km
平均径間長	31.5m	55.8m
径 間 数	32	18
径間連続数	1	3
伸縮装置数	32	6

表－7 1km当たりの橋梁形式別支承箇所数

項 目 形 式	鋼 I 桁橋	鋼箱桁橋
径 間 数	32	18
径 間 連 続 数	1	3
1連当支承箇所数	2	4
支 承 箇 所 数	64	24

表－8 塗装改良条件

項 目 方 法	現況塗装	塗装改良
塗 装 仕 様	ポリウレタン樹脂塗料	フッ素樹脂塗料
塗 装 周 期	10年	18年
㎡当単価比率	1.00	1.23
1年当費用比率	1.00	0.68

表－9 舗装改良条件

項 目 方 法	現況舗装	舗装改良
舗 装 材 料	ストレート・アスファルト	改質アスファルト
舗 装 周 期	7年	14年
㎡当単価比率	1.00	1.76
1年当費用比率	1.00	0.88

表－10 伸縮装置改良条件

項 目 方 法	現況	改良時
径 間 数	32	32
改 良 径 間 数	—	15(5径間連続3連)
改良伸縮装置数	—	12
未改良伸縮装置数	32	20
1年当費用比率	1.00	1.00×20/32=0.625

(3) トータルコストの試算結果と考察

以上の建設費、および維持管理費を用いてトータルコストの試算を行った結果を、表－11～13、および図－7～10に示す。

表-11 1km当たりの形式別トータルコスト(90年後)

項目 形式	建設費	維持管理費	合計	比率		
鋼 I 桁橋	100	217	317	1.00	1.15	1.10
鋼箱桁橋	139	136	275	0.87	1.00	0.96
仮想路線	110	177	287	0.91	1.04	1.00

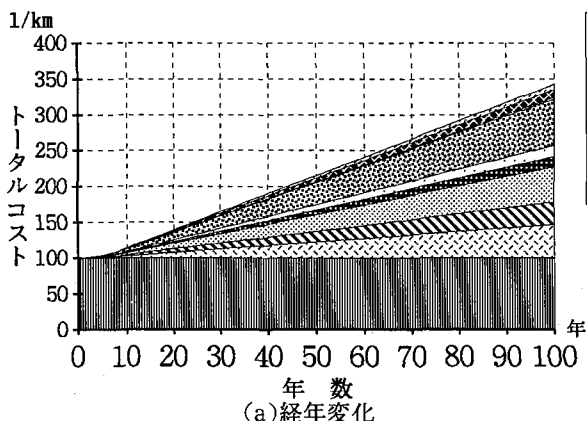
表-12 トータルコスト(90年後)における
建設費と維持管理費との比率

改良	費用 建設費	維持管理費
鋼 I 桁橋	1	2.17
鋼箱桁橋	1	0.97
仮想路線	1	1.61

表-13 改良案採用による費用低減率(90年後)
(塗装, 舗装, および伸縮装置を改良した場合)

費用	全費用	費用比率 %	塗装舗装伸縮費用	費用比率 %	低減率 %
改良	317	100	172	100	----
採用	292	92	147	85	25

(低減率は建設費100に対する比率)

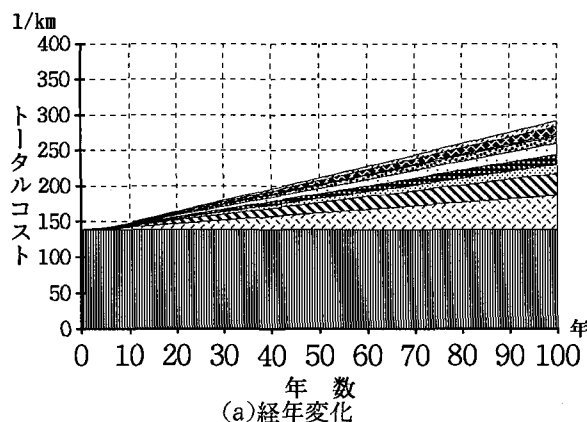


物価上昇を含まず



(b)90年後のトータルコスト

図-7 トータルコストの経年変化 (鋼 I 桁橋)

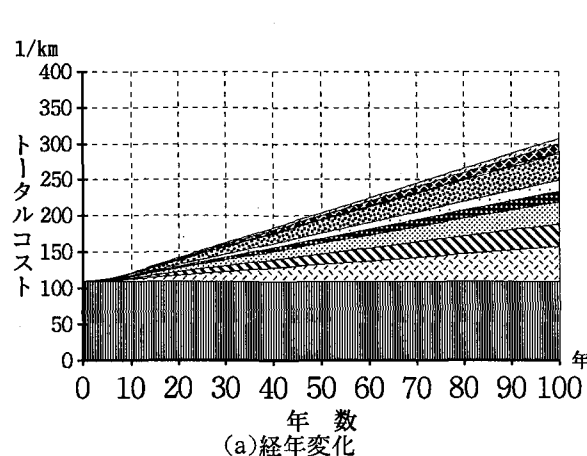


物価上昇を含まず

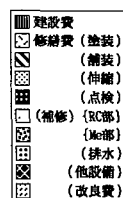


(b)90年後のトータルコスト

図-8 トータルコストの経年変化 (鋼箱桁橋)



物価上昇を含まず



(b)90年後のトータルコスト

図-9 トータルコストの経年変化 (仮想路線)

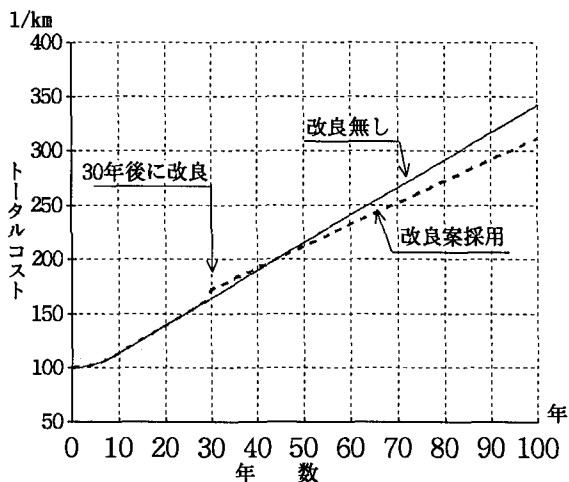


図-10 改良案採用の効果（鋼 I 桁橋）

試算によって得られた代表的な成果を以下にまとめる。

① 仮想路線または鋼 I 桁橋の90年後のトータルコストにおいては、建設費、「塗装+舗装+伸縮」の費用、および、これら以外の費用が、それぞれ、全体の約1/3を占める。

② 90年後の維持管理費の合計は、鋼箱桁橋が鋼 I 桁橋に比べて低くなっている。この差は、鋼箱桁橋では建設費が高いが、鋼製部の補修費が鋼 I 桁橋に比べ現時点では少ないことが主な要因となっている。

しかし、今後、鋼 I 桁橋において、現在発生している損傷の一通りの補修が終了すると予想されること、および将来にわたり鋼箱桁橋の鋼製部に補修が必要ないと確定できないことなど、不確定な要素が多く、一概にトータルコストにおける鋼箱桁橋の優位性を判断することはできない。しかし、現在の損傷発生状況が今後も続く場合、建設費の高い鋼箱桁橋を多用することは、トータルコストで考えれば鋼 I 桁橋に比べ安価になると考えられる。

③ 鋼 I 桁橋では「塗装+舗装+伸縮」の維持管理費が90年後のトータルコストのうち約1/3を占めている。これらの費用を低減すれば、コストの削減に大きな効果が得られる。今回の改良案採用の試算結果によれば、トータルコストで8.0%の削減となる。この削減費用は、建設費を100としたとき、25%に相当する。

特に、舗装と伸縮装置の補修・補強は、その工事の際に通行止めを伴うため、改良案の採用は、直接の費用だけでなく社会的影響・便益を考えれば、極めて有効な方法である。

したがって、維持管理の立場より、塗装、舗装、および伸縮装置の3項目について、新技術の開発を進めるなど、今後も検討を続ける必要があると考えられる。

④ 今回の試算は、現時点における維持管理の実績を基に、大胆な仮定を行い、試算したものであり、今

後5年、あるいは10年間隔で再度見直しを行えば、試算の精度も上がり、より利用価値の高い資料となるといえる。

4. まとめ、および今後の課題

本研究で得られた主な成果をまとめると、以下のとおりである。

(1) 耐用年数に代わるものとして管理対象期間という概念を導入した。これは、維持管理の視点から種々の検討を行う際の、期間の決め方の一つとして有効である。

(2) 漠然とは理解されていたトータルコストと維持管理に要する費用の内訳との関係について、大胆な仮定に基づく試算ではあるが、問題提起となる資料を作成した。

(3) 改良構造の開発の有効性など、今後の維持管理方法の方向性のある程度明らかにできた。

また、このテーマに関する、今後の検討課題としては、以下のものがある。

(4) 今回は、管理対象期間を昭和42年の標準橋に係する路線を対象に設定した。今後は、新旧路線の管理対象期間の整合性について検討する必要がある。

(5) トータルコストについては、現時点でのデータを基に試算したものであり、90年後のトータルコストの精度は良くない。今後は5年、10年の間隔で再検討を行い、精度を上げる必要がある。

また、現時点のデータは、いわゆるバスタブカーブ（維持管理費の経年変化曲線）における底にさしかかりつつある段階のデータであると考えられる。今後は、カーブが上昇する時期におけるデータの収集が重要である。

(6) 現在の維持管理は、損傷・腐食・劣化の早期発見、および発見された欠陥に対する対処という事後保全 (curable maintenance) から、計画・設計・施工段階へのフィードバックという、ある程度の予防保全 (preventive maintenance) も実施されているが、今後は、本格的な予防保全へと進めていく必要がある。そのために、損傷などの進行性状の把握、限界状態の考え方による損傷程度の適切な判断方法の確立などを行うことが必要である。

(7) トータルコストと維持管理データベースとのリンクなどにより、トータルコストを考慮した補修方法の選定が簡単にできるようなシステムが必要である。

(8) モニター橋、あるいはモニター部材・部位を設定し、これを詳細に点検することで、他の同種の橋梁の状態を把握できるような、維持管理手法の簡便化も必要である。

以上の課題について、今後、さらに検討を進める予定である。

なお、本研究は、「鋼橋の耐久性に関する調査研究委

員会」(委員長: 福本嘯士 大阪大学・教授)の中の「鋼橋の耐久性向上に関する検討部会」(主査: 北田俊行 大阪市立大学・助教授)による検討の一環として行ったものであり、同委員会、および部会の検討成果に基づいている。委員各位ならびに関係各位に深謝の意を表する次第である。

参考文献

- 1) 阪神高速道路公団: 阪神高速道路公団の仕事, 平成6年度
- 2) 阪神高速道路公団・(財) 阪神高速道路管理技術センター: 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, 平成4年9月
- 3) Kitada, T., O.Yoshikawa and S.Mizobuchi: Design and Construction of Steel Bridges Considering Maintenance and Durability, Bridge Management 2, Edited by J.E. Harding and M.J.Ryall, Thomas Telford, pp.170 ~ 179, April 1993
- 4) Mizobuchi, S., T.Naganuma, M.Iwasaki and T.Kitada: Management System for Steel Bridges in Hanshin Expressway, Proc. of the 3rd Pacific Structural Steel Conference, JSSC, pp.829 ~ 836, October 1992
- 5) 福本嘯士・北田俊行・吉川紀・長沼敏彦・溝渕修治・岩崎雅紀: 阪神高速道路における鋼構造物の維持管理の現状と展望, 橋梁と基礎, Vol.27, No.3, pp.27 ~ 33, 1993年3月
- 6) OECD, Scientific Expert Group: Road Transport Research, Bridge Management, 1992
- 7) 小堀為雄: 土木構造物の耐用年数, ①耐用年数の定義, 土木学会誌, pp.8 ~ 11, 1983年10月
- 8) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, II. 鋼橋編, 丸善, pp.52 ~ 61, 平成6年2月
- 9) 日本道路協会: 鋼道路橋設計便覧, 丸善, pp.2 ~ 5, 昭和55年8月改訂
- 10) 大蔵省令 第15号, 昭和58年4月1日
- 11) British Standards Institution: BS 5400 Part3, Code of Practice for the Design of Steel Bridges, 1982
- 12) Ontario Ministry of Transport and Communication: Ontario Highway Bridge Design Code, 1983
- 13) 土木学会: 国鉄建造物設計標準・解説, 昭和58年4月
- 14) 土木学会, 本州四国連絡橋 鋼上部構造研究小委員会: 調査研究報告書, 昭和58年3月
- 15) Modjeski and Masters, Inc.: Draft LRFD Bridge Design Specifications and Commentary, Development of Comprehensive Bridge Specifications and Commentary, March 1993
- 16) (財) 阪神高速道路管理技術センター: 損傷と補修事例に見る道路橋のメンテナンス, 平成5年3月
- 17) 三木千寿: 土木構造物の耐用年数, ②鋼構造の耐用年数, 土木学会誌, pp.8 ~ 11, 1983年10月
- 18) 阪神高速道路公団: 鋼単純合成げた標準設計(案), 昭和42年5月
- 19) (社) 日本鋼構造協会編: 鋼構造物の疲労設計指針, 技報堂出版, 1993年4月
- 20) 日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, I. 共通編, 丸善, pp.10 ~ 20, 平成2年2月
- 21) 阪神高速道路公団・(財) 阪神高速道路管理技術センター: 阪神高速道路の設計荷重体系に関する調査研究, 阪神高速道路公団設計荷重(HDL)委員会報告書, 1986年12月
- 22) 阪神高速道路公団: 堺 S402 主桁垂直補剛材点検業務報告書, 昭和59年2月
- 23) Somerville, G.: Design Life of Structures - the Present Position, The Structural Engineer, Vol.69, No.7/2, pp.145 ~ 151, April 1991
- 24) Piringer, S.: Whole-Life Costing of Steel Bridges, Bridge Management 2, Edited by J.E. Harding and M.J.Ryall, Thomas Telford, pp.584 ~ 593, April 1993
- 25) Leeming, M.B.: The Application of Life Cycle Costing to Bridges, Bridge Management 2, Edited by J.E. Harding and M.J.Ryall, Thomas Telford, pp.574 ~ 583, April 1993
- 26) 経済企画庁編: 平成5年度版経済白書, 参考資料, pp.55, 大蔵省印刷局
- 27) 阪神高速道路公団: 鋼構造物標準図集, 昭和63年10月

(1994年9月14日受付)