

鋼橋のトータルコストに関する研究

保 全 施 設 部	保 全 技 術 課	関 惟 忠
工 務 部	設 計 課	長 沼 敏 彦
保 全 施 設 部	保 全 技 術 課	乙 黒 幸 年

.....

要 約

本研究は、阪神高速道路における鋼橋のトータルコストを維持管理の観点より試算したものである。試算は、建設後約30年を経過した鋼桁橋に対して、平成4年度の維持管理費用をデータとして行っている。耐用年数に代わるものとして、維持管理上の管理対象期間という概念を導入し、これを90年と仮定することによりトータルコストを試算した。また、維持管理状況、および社会・経済情勢は、管理対象期間中は大きく変化しないものと仮定した。

試算の結果、塗装・舗装・伸縮装置の維持管理費用が、90年後のトータルコストの約30%を占めることが明らかとなった。さらに、塗装、および舗装材料の改良や、単純桁橋のノージョイント化がトータルコストの低減に効果的であることが明らかとなった。

キーワード：トータルコスト、維持管理費用、耐用年数、BMS

まえがき

阪神高速道路は、昭和39年の供用開始から30年を経て、現在では供用総延長も200kmに達した。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た。このような現状において、自然、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。

管理部門においては、損傷・腐食・劣化の早期発見、発見された欠陥に対する補修補強方法の早急な検討、およびこれらの情報の計画・設計・施工段階へのフィードバックなどを行っているが、図-1に示したとおり維持管理費の増大は顕著である。

以上のような維持管理に対する課題に対して、欧米では“Bridge Management System (BMS)”という維持管理に関する総合的な考え方が、具体的に提唱されつつあり、国内でもBMSの構築に向けて動き始めている。保全技術課としても、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とする維持管理方法の構築をめざしており、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関わる広範な検討を進めてきた。

本論文は、鋼橋を対象とした維持管理の効率化、経済性向上に向けて、耐用年数を設定することにより、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をまとめたものである。

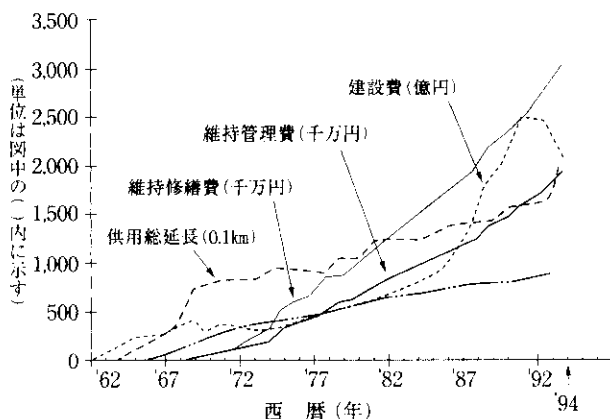


図-1 供用延長、日交通量、維持管理費の推移

1 耐用年数 (管理対象期間)

1-1 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・機能劣化、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実性(活荷重、風荷重、地震荷重)も、避けることの出来ないものであり、この不確実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、維持管理の効率性・経済性の向上などについて検討を行う。

1-2 管理対象期間の算定

管理対象期間の設定においては、疲労寿命に着目して算定を行う。算定方法としては、JSSC疲労設計指針に従い疲労照査を行い、その結果から疲労寿命を算定する。着目部位は、単純合成I桁の部材のうち、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した。

表-1は、算定結果を示したものである。疲労限界をもうけた場合のGI桁(耳桁)の疲労寿命は、HDL荷重の場合約85年となった。この結果より、管理対象期間としては、疲労寿命のみを考慮した場合、80~90年と考えられる。

2 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、ある一路線のデータを用いて、トータルコストを以下の条件に従い試算した。

2-1 試算の考え方

2-1-1 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な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、路線により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

表-1 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	着目桁と走行台数	G1桁		G2桁	
		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	480.7年	400.6年
	疲労限有	85.3年	71.0年	3695.7年	3079.6年
T-20	疲労限無	241.7年	201.4年	168.2年	140.1年
衝撃係数(道示): 1.25 200万回疲労強度: 816(kgf/cm ²)		疲労限: 296(kgf/cm ²) 大型車混入率: 10(%)		走行車線載荷	

られる。したがって、今回は高速道路網の機能の弱点となる建設年度の古い路線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。

以上の点を考慮して、トータルコストの試算に用いる管理対象期間は、1 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。

2-1-2 試算の考え方

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、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。この試算においては、鋼橋の価値の変化、金利・物価変動、および社会的価値(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、本検討が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、上記影響を反映させるためには、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、方法ともに不備であり、今後への課題と考える。

2-2 試算方法

試算を行う上での仮定、条件を以下に示した。

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の一路線のデータ

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当たりの単価とする。

検討項目：鋼橋の維持管理に関係ない項目は除外する(緑地帯管理等)。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(交通渋滞表示・サービス施設等)。図-2に維持修繕項目と今回の検討対象項目を示した。

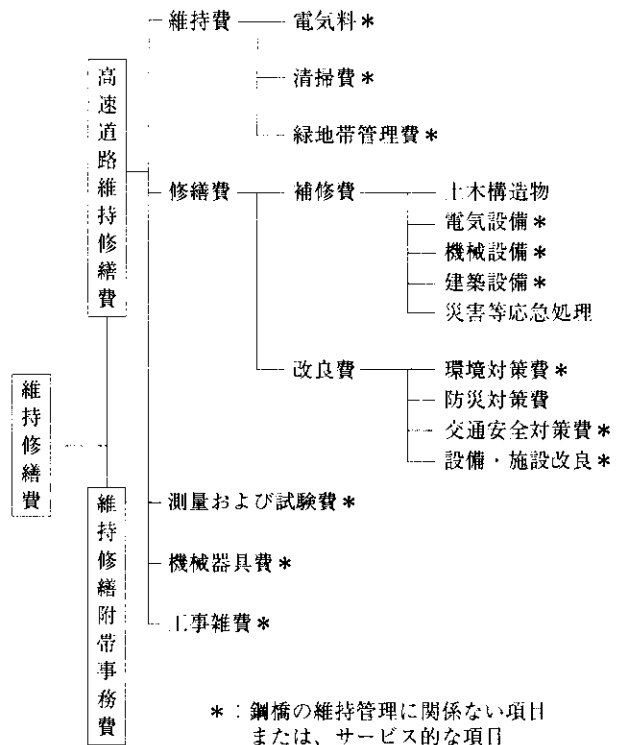


図-2 維持修繕費の項目

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。試算データの路線での鋼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：単純計算

図-3に示したように、建設後10年間の維持修繕費用は、年間維持管理費用C×0.1×建設後年数とした。なお、10年後以降は、年間維持管理費用C（一定額）を加算する。

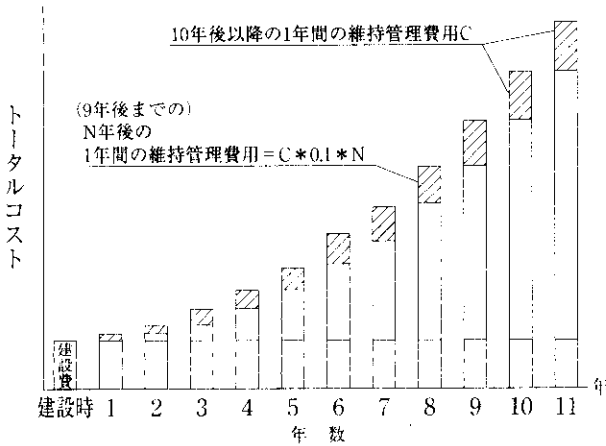


図-3 加算方法模式図

費用：橋梁全体の建設費を100として、全費用を換算する。

2-3 改良案の検討

図-4に示した維持修繕費の内でも、大きな割合を占めている舗装、塗装、伸縮装置については、以下に示した維持修繕費を低減し得る新技术を導入した場合の、総コストの試算も行う。すなわち、これらの新技术とは現時点で採用されつつある技術とし、以下に示したものとする。

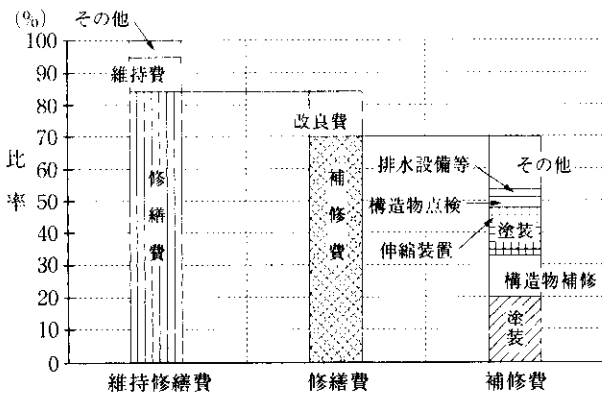


図-4 維持修繕費の内訳（平成4年度実績）

- 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、同時に鋼製支承をゴム支承に交換する。

また、これらの新技术導入は建設後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修繕費を低減する。

3 トータルコストの試算結果

前章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）

3-1 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²⁾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。

上部工工事費は、データ路線における鋼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。

下部工工事費は、前述の平均径間長より求められる概算上部工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当たりの下部工基数を乗じて1km当たりの下部工工事費を算出し、その比率を用いる。なお、下部工、基礎工の条件は次のとおりとした。

橋脚高さ：16.0m

杭 長：30.0m

以上の試算結果を表-2に示した。

表-2 1km当たりの鉄橋建設費の形式別比率

形式	鋼I桁橋	鋼箱桁橋	仮想路線
工事費			
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

3-2 維持修繕費の試算

維持修繕費は、対象路線の平成4年度実績を基に、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、塗装単価を考慮して算出した。試算に用いた塗装面積は、鋼I桁橋、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-3に示した。なお、昭和42年標準図には鋼箱桁橋の標準図がないため、昭和62年標準図を準用した。また、塗装の塗替えについては、箱桁内面は考慮していない。

表-3 橋梁形式別塗装面積

橋梁形式	径間長	塗装面積	1km当塗給面積
単純合成I桁橋 (S.42)	30.0m	1123.2m ²	37440 m ² /km
単純合成箱桁橋 (S.62)	65.0m	2446.9m ²	37645 m ² /km

鋼桁補修：鋼桁亀裂部の補修であり、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：鋼I桁橋と鋼箱桁橋の径間長が違うため、伸縮装置の数が異なることを考慮し、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-4に示した。

表-4 1km当たりの橋梁形式別伸縮装置数

形式	鋼I桁橋	鋼箱桁橋
項目		
試算延長	1.00km	1.00km
平均径間長	31.5m	55.5m
径間数	32	18
径間連続数	1	3
伸縮装置数	32	6

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。この結果を表-5に示した。

表-5 1km当たりの橋梁形式別支承箇所数

形式	鋼I桁橋	鋼箱桁橋
項目		
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

塗装改良：現状塗装と塗装改良時の条件を表-6に示した。

表-6 塗料改良条件

方法	現状塗装	塗装改良
項目		
塗装材料	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
m ² 当単価比率	1.00	1.23
1年当費用比率	1.00	0.68

舗装改良：現状舗装と舗装改良時の条件を表-7に示した。

表-7 舗装改良条件

方法	現状舗装	塗舗改良
項目		
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	7年
m ² 当単価比率	1.00	1.00
1年当費用比率	1.00	0.88

伸縮改良：現状の単純鋼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。

現状と改良時の条件を表-8に示した。

表-8 伸縮装置改良条件

方法	現状	改良時
項目		
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

なお、各維持修繕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。

3-3 トータルコストの試算

3-1、3-2で試算した建設費、維持修繕費を用いて、トータルコストの試算を行った。この結果を表-9~11、および図-5~8に示した。

表-9 1km当たりの形式別トータルコスト(90年後)

形式	項目	建設費	維持修繕費	合計	比	率
鋼1桁橋		100	217	317	1.00	1.15
鋼箱桁橋		139	136	275	0.87	1.00
仮想路線		110	177	287	0.91	1.04

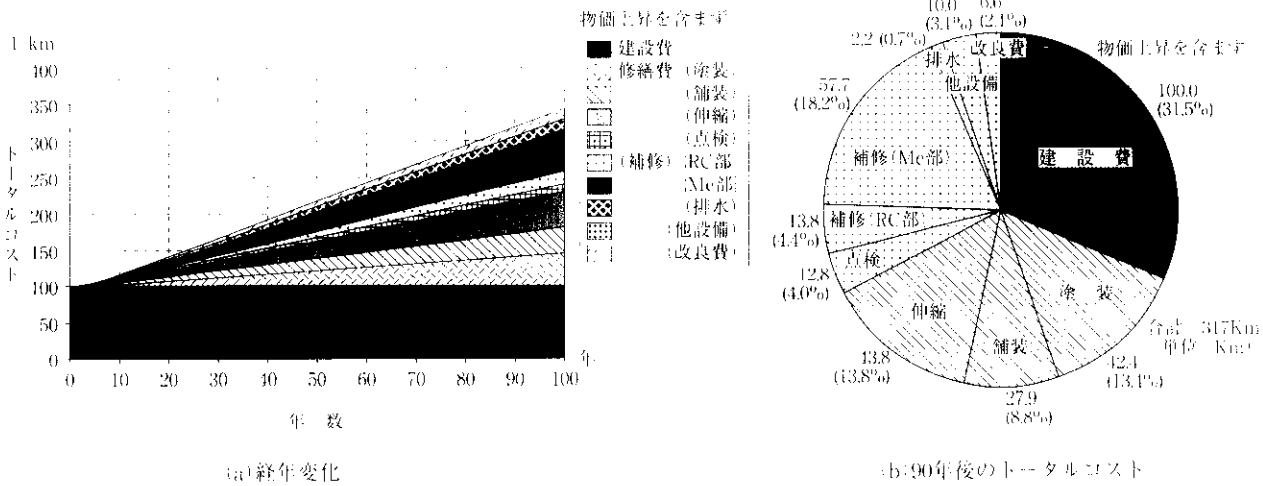


図-5 トータルコストの経年変化(鋼1桁橋)

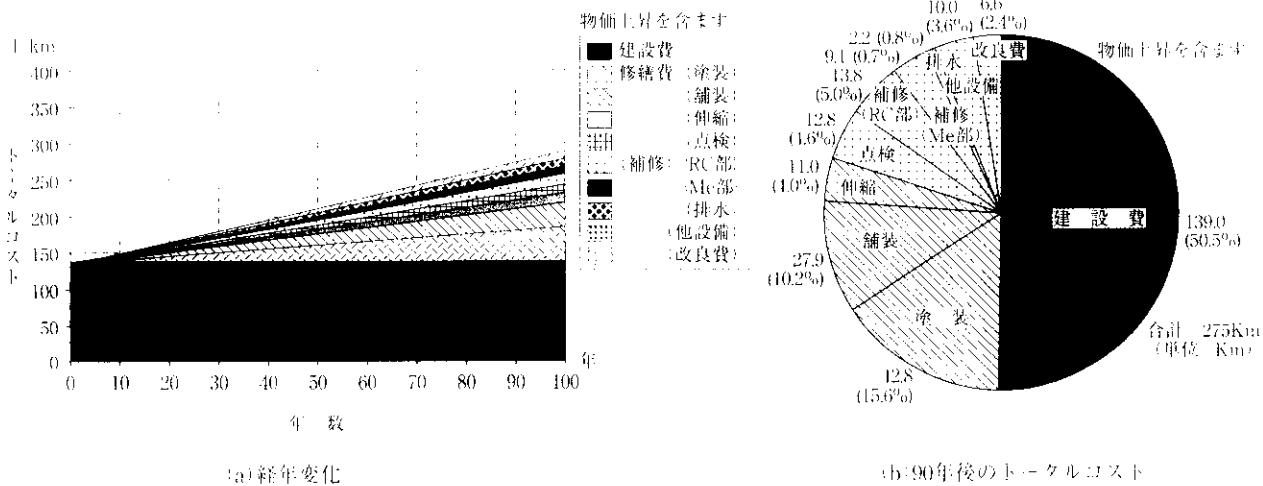


図-6 トータルコストの経年変化(鋼箱桁橋)

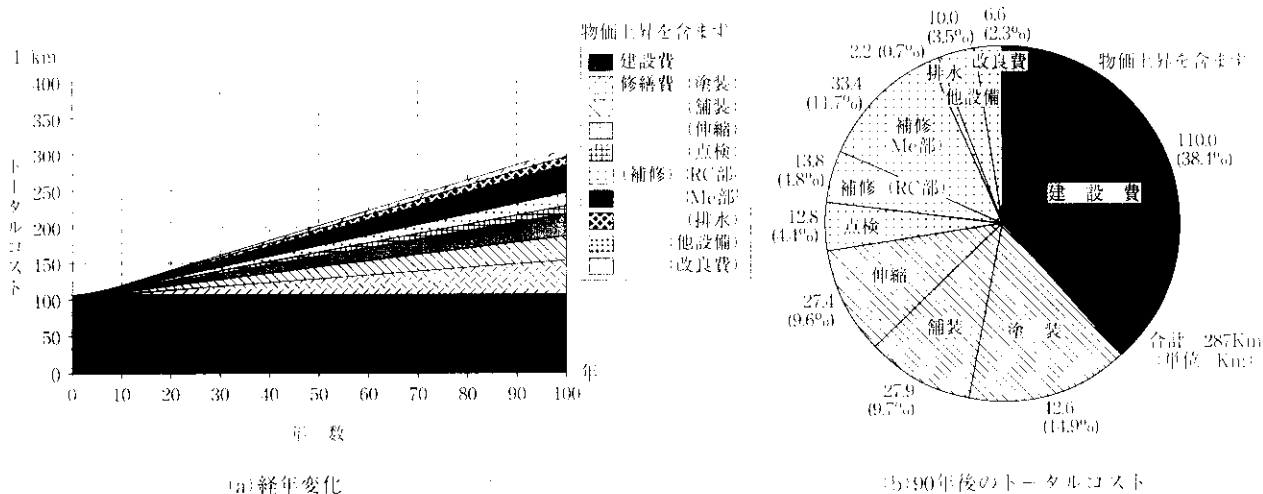


図-7 トータルコストの経年変化(鋼箱桁橋)

表-10 トータルコスト(90年後)における
建設費と維持管理費の比較

費用 改良	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-11 改良案採用による費用低減率 (90年後)
(塗装、舗装、伸縮装置を改良した場合)

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

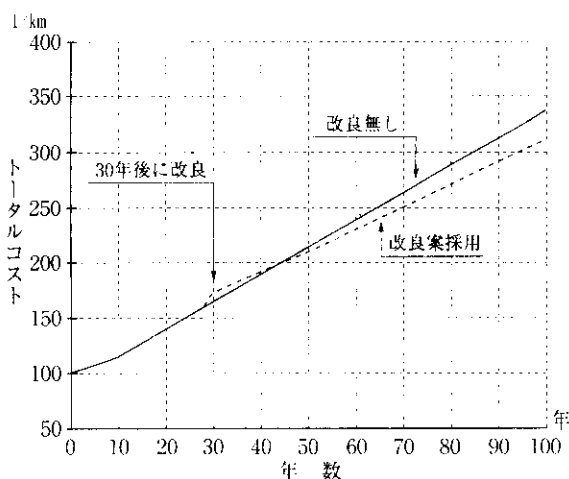


図-8 改良案採用効果(鋼 I 桁橋)

3-4 考察

試算によって得られた代表的な成果を以下にまとめた。

- 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+伸縮装置」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 建設費に対する90年後の維持管理費の合計の比率は、鋼箱桁橋が鋼 I 桁橋に比べて低くなっている。

この差は、鋼箱桁橋の建設費が高いこと、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 桁橋は、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、不確定な要素が大きく、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。だが、現在の損傷発生状況が今後も続くとは仮定した場合、建設費の高い鋼箱桁橋を多様することは、トータルコストで考えるならば、鋼 I 桁橋に比べて安価になると考えられる。

- ③ 「塗装+舗装+伸縮装置」の維持修繕費用が90年後のトータルコストの約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%の削減となる。この削減費用は、建設費を100としたとき25となっている。

特に、舗装と伸縮装置の補修・補強は、維持修繕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はなく、社会的影響・便益を考えれば、きわめて有効な方法といえる。

したがって、維持管理の立場より、塗装、舗装、伸縮装置の3項目については、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もとに、大胆な仮定を行い試算したものである。今後5年、10年と経過した時点で再度見直しを行えば、試算の精度が上がり、より利用価値の高い資料となるといえる。

4 まとめ

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が作成できた。

- (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がある程度明らかにできた。

また、今後の検討課題として以下のことが考えられる。

- (4) 今回は、管理対象期間を昭和42年の標準橋に関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年のオーダーで再検討を行い、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における底にさしかかっている段階のデータであると考えられるので、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。

- (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) インデックスとしてのモニター橋を設定し、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が必要である。

以上の課題については、今後検討を進める予定である。

あとがき

本研究は、「鋼橋の耐久性に関する調査研究委員会」（委員長：福本晴士 大阪大学・教授、鋼橋の耐久性に関する検討部会主査：北田俊行 大阪市立大学・助教授）のなかで検討を行ったものであり、同委員会、および部会の委員各位ならびに関係各位に深く感謝の意を表す次第である。

参考文献

- 1) 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
- 2) 経済企画庁編：平成5年度版経済白書、参考資料、大蔵省印刷局