

## 6. 道路ネットワーク維持管理の必要性と鋼橋の更新時期について

—Fix It First(まず修繕を)—

保全委員会 保全第一部会

保全第二部会

## 6. 道路ネットワーク維持管理の必要性和鋼橋の更新時期について

### —Fix It First (まず修繕を)—

保全委員会 保全第一部会 保全第二部会

亀山誠司 本間 順

#### 1. はじめに

2012年12月に発生した笹子トンネル天井崩落事故は道路管理者および、インフラ整備に携わる我々土木技術者に衝撃を与えた。また、尊い命を失ったばかりか、道路網が一旦閉鎖されれば、いかに大きい経済的な打撃を受けるかということを実感した。この事故を受けてインフラの老朽化対策が今「必要な公共投資」の柱となりつつある。

橋梁、トンネルに関しても、近年には、床版の陥没やコンクリート片の剥落などの劣化事例も多くなっている。ここでは、吊橋の保全工事を題材に、浜松市の原田橋の補修事例、第1弁天橋の撤去事例を紹介し、今後の道路ネットワークの維持管理の必要性和鋼橋の更新時期について考察した結果を報告する。

#### 2. 米国におけるインフラの老朽化対策

##### 2.1 老朽化の背景

米国では1920年代に数多く建設された橋梁が、1970年代には50年を超える「高齢橋」となっていた。1つの事例として1967年12月、ウェストバージニア州とオハイオ州を結ぶシルバー橋が前触れもなく突然崩壊した。31台の車がオハイオ川に落下し、46名が命を落とした。

1980年代には、「荒廃するアメリカ<sup>1)</sup>」など書籍にも取り上げられ社会的に大きな問題となった。これは、ベトナム戦争の後遺症でインフラの維持、補修に十分にお金を回せなかったために補修が遅れたとしている。

図-1に米国のガソリン税と用途内訳の推移を示す。

1980年半ばまでガソリン1ガロン(3.785L)あたり4セントに抑えていたが、「荒廃するアメリカ」と指摘された後、道路整備へ充当分(図の青線)は、ガソリン税の税率を上げ、8セント、90年代は10セント、

現在では15.44セントまで上げ、財源を確保している。しかし、未だに、数万橋の欠陥橋梁が存在し、最近でも突然崩壊に至る事故が起きている。

米国のガソリン税額と内訳の推移

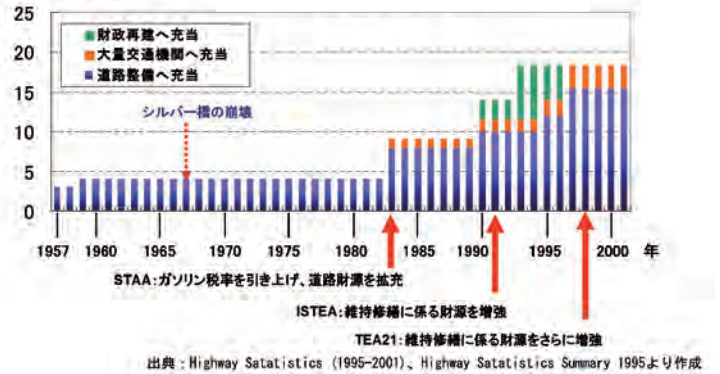


図-1 米国のガソリン税と内訳の推移(国交省HPより)

##### 2.2 米大統領一般教書演説(2013年2月)

オバマ大統領は2013年2月12日の演説において、特にインフラ整備については、米国で7万もの橋梁が老朽化していることを例に挙げて、緊急修繕事業(“Fix It First” program)を提案した。“Fix It First”は「(新設よりも)まず修繕を」という意味である。

一般教書演説の翌週の2月20日にホワイトハウスは、“Fix It First”の概要を公表し、500億ドルのうちの8割にあたる400億ドルを道路、橋梁、公共交通及び空港の緊急補修に充てる考えであることを示した。

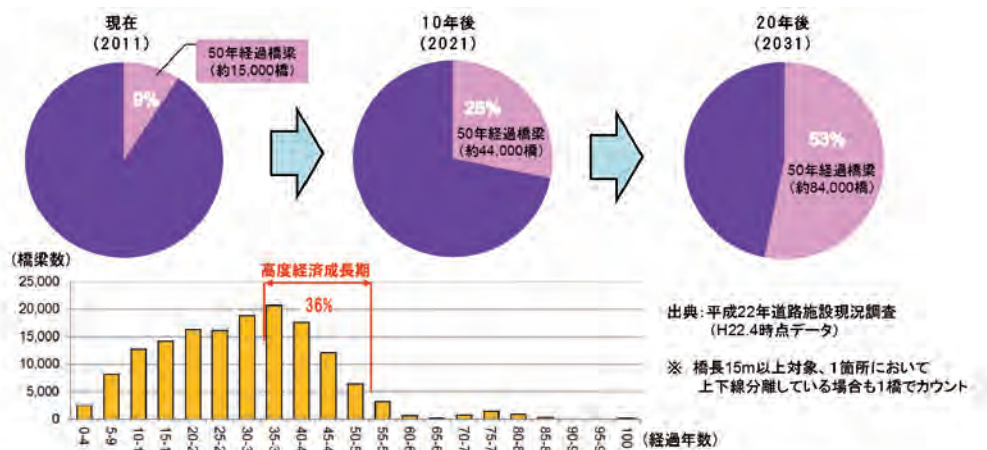


図-2 日本の橋梁数と老朽化の割合(国土交通省HPより)

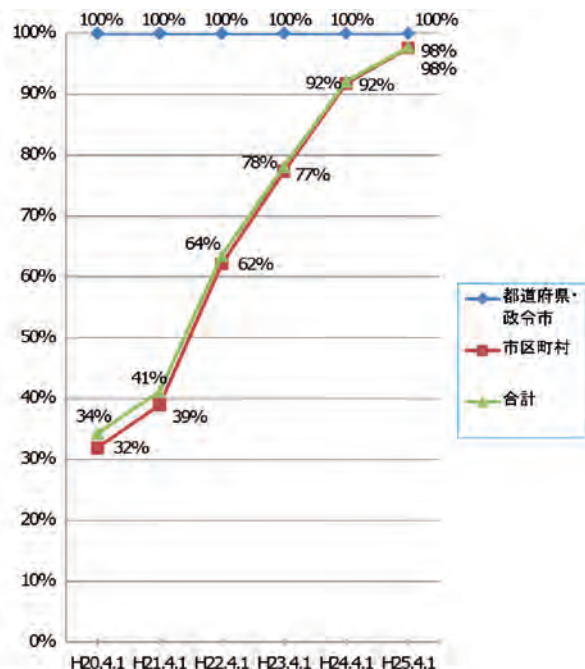
### 3. 日本における橋梁の老朽化の現実

#### 3.1 日本の橋梁の現状

日本における橋梁数は長さ2mを超える橋梁が約70万橋ある(国土交通省資料)。うち30万橋がいつ建設されたか分かっていない。建設年度が分かっている15m以上の橋は15万7千橋を超えており、前頁の図-2に示すように1955年から75年の高度成長期に架けた橋は全体の36%を締め、2011年に50年以上経過の割合は9%であるが、10年後(2021年)には28%、20年後(2031年)には53%になる統計結果が出ている。

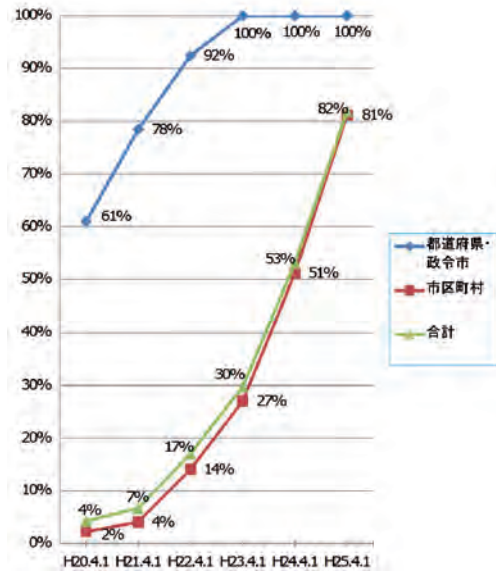
#### 3.2 点検橋梁の現状

国土交通省、鉄道、高速道路会社等は長期的な維持修繕計画を策定済みである。一方、地方自治体では、点検実施済みが、図-3に示すように平成20年の団体数ベースで30%程度であったが、平成18年に木曾川大橋トラス斜材の破断事故を受けて、国主導で長寿命化策定計画の補助予算を計上したことが引き金となり、地方自治体での橋梁点検が本格化した。現状では地方自治体で98%の点検が完了している。長寿命化策定計画についても図-4に示すように、都道府県・政令指定都市では100%完了している。また、市町村でも80%を超え、今年で長寿命化修繕計画はほぼ完了する予定である。ただし、計画は立てたものの実施にあたっては、優先順位の設定、基準や前例が少ない中の補修設計、予算の確保など多くの課題を抱えている。



※対象橋梁は15m以上

図-3 地方自治体管理橋の点検状況の推移 (団体数ベース)



※対象橋梁は15m以上

図-4 地方自治体長寿命化計画策定状況の推移 (団体数ベース)

#### 3.3 通行止め橋梁数の推移

橋梁の「高齢化」により、通行止め、通行規制中の橋梁数は年々増加傾向にある。表-1に示すように全国の橋梁に関する国土交通省資料によれば、平成23年に通行止めの橋梁数は172橋であったのに対し、平成25年度では232橋と2年間で60橋(34%)増加している。また、通行規制数も1130橋から、1149橋と19橋(1%)増加している。特に、市町村で通行止めが多くなっており、老朽化橋梁は今後も増加すると推定される。

表-1 全国の橋梁の通行止め、通行規制等状況 (H25.04)

	<H23.4時点>			<H25.4時点>		
	橋梁数	うち都道府県管理道路(政令市含む)	うち市区町村管理道路	橋梁数	うち都道府県管理道路(政令市含む)	うち市区町村管理道路
通行止め	172	18	154	232(1.34)	9(0.50)	223(1.44)
通行規制	1,130	151	977	1,149(1.01)	149(0.98)	999(1.02)
合計	1,302	170	1,131	1,381(1.06)	158(0.92)	1,222(1.08)

※高速・直轄・地方公共団体が管理する道路橋の合計 (出典元:国土交通省HPを元に加工)  
 ※通行規制等には、老朽化による損傷や旧設計条件の使用等に伴う重量制限や通行止め。  
 ※対象橋梁は15m以上。  
 ※( )内数値は、平成23年4月に対する、平成25年4月の増加・減少割合を示す。

通行止めにする一番の理由は、橋梁の老朽化である。道路管理者は、安全を最優先するため、通行止めを行った結果と推測される。

そして、財源の問題や技術的な問題により通行止めにしたままにされる傾向にある。迂回路がある場合は地域住民への影響は少ないが、山岳部や、離島などの場合の通行止めは、インフラの遮断であり、“集落の孤立”となることが推定される。実際、これだけの通行止め、通行規制が増えているが、残念ながらメンテ

ナンスに対する社会的な理解度は十分に深まっているとは言えない。

既存インフラを効率的かつ適切に維持・更新していくためには、早期発見・補修により道路全体の長寿命化を図る「予防保全的管理」が重要であり、長寿命化対策を推進し、トータルコストの削減を実現する必要がある。そのためには、道路利用者自らが清掃するなど、“地域の橋を守る”関心を高めることが日常的なマネジメントとして重要である。

#### 4. 「命の橋」原田橋の補修事例

##### 4.1 原田橋の概要

原田橋は浜松市天竜区佐久間町の川合地区と中部地区を二分する天竜川上及び佐久間ダムの下流に位置する。昭和31年に架設され、供用後57年が経過している。図-5に一般図を、写真-1に原田橋の外観図を示す。

〔橋梁概要〕

橋名：原田橋

橋格：2等橋（T-9）

管理者：浜松市（2007年に政令指定都市となると同時に静岡県より原田橋管理を移管）

適用基準：鋼道路橋設計示方書案（昭和14年2月）

橋長：138.8m

幅員：5.5m

上部構造：単径間補剛吊橋

メインケーブル：6×65φ（6×37共芯）

同橋梁は、平成5年～平成17年までの間に当時管理していた、静岡県によってTL-20対応の床版補強工事や塗装工事が行われた。その後、平成23年10月に浜松市が行った原田橋の点検の結果、A1左岸側下

流部でワイヤーロープの部分的な破断が確認された。

その時は、破断ストランドロープの引張試験や動的載荷試験、耐荷力照査を実施し、通行には影響無し、と判断されたため、補修や規制等は実施しなかった。平成24年4月20日に吊索バンド部においてケーブルのずれが確認されたため、安全を考慮し、通行止め措置を市が行った。



写真-1 原田橋外観図（右岸側）

##### 4.2 緊急仮設道路の設置

4月24日に一時全面通行止めを行うと同時に地元へは迂回路で交通対応を行うこととなった。しかし、原田橋付近には迂回路が無く、大型車で迂回する場合、76kmの迂回となり、通常20分（8km）のところを2時間30分かかり、山間部道路の弱点が浮き彫りになる形となった。

普通乗用車でも山道を迂回路とした場合、1時間20分（24km）かかり、日常生活に支障をきたす結果となった。あたり前に通行できる橋が寸断されることで道路ネットワークの重要性が改めて問われる事例であった。

そこで、一時的な措置として、仮設道路を河川内に

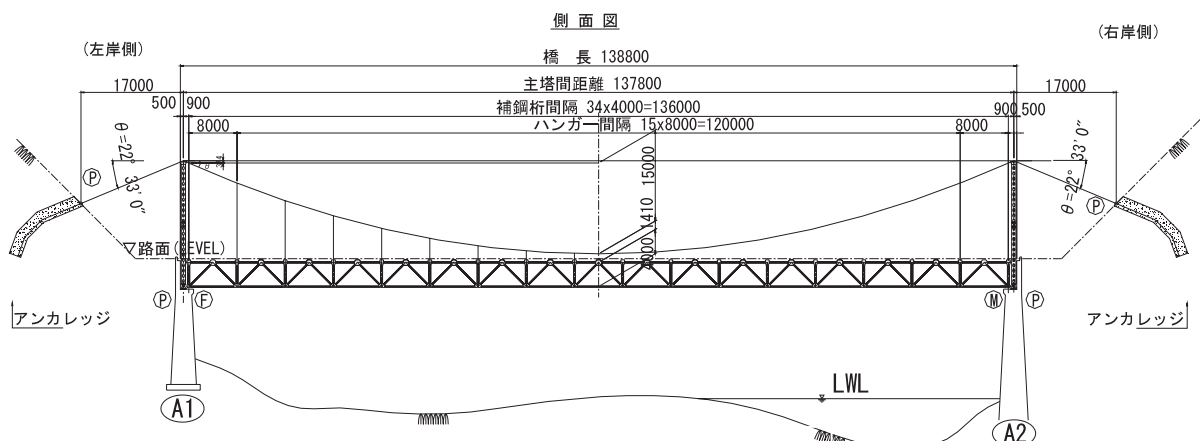


図-5 原田橋構造一般図



施工し、交通解放することが決定された。ただし、仮道路の構造は、流水をヒューム管（ $\phi=1.0\text{m}$ ）で導く方式の河川内の盛土であり、大雨時および佐久間ダムの放流時には、水位が上昇すると仮設道路が使用できなくなる。長期的な供用は困難なため、供用は非出水期の5月末までの時限的な措置とされた。作業は急ピッチで行われ、5月3日午後3時に仮設道路の供用を開始した（図-6 参照）。

しかし、この仮設道路も佐久間ダム放流等により、流水部に設置したヒューム管の断面において、50%以上の水位となった時は、通行止めとなるなど、いつ陸の孤島となるか予断を許さない状況であった。



図-6 河川内緊急道路

#### 4.3 全面通行止めの影響

大雨により河川内道路が全面通行止めとなった場合、幼稚園、小学校、高校の通学の足は、1時間に1本の電車に、対岸側病院への緊急搬送ルートはヘリによる代替え輸送に頼らざるを得なくなり、さらに、生活物資の調達手段を失い、仕事場への通勤手段の喪失、観光客の減少等、山間部の唯一の道路は非常に重要なアクセス道路であり、地元住民から原田橋が「命の橋」と言われるゆえんであった。

この河川内道路の使用は当初、5月末までとされた

が、応急対策工事の工期等を考慮し、6月末までに延期された。

#### 4.4 天竜川原田橋対策プロジェクトチームの設立

浜松市より、国土交通省 中部地方整備局（以下：中部地整と記す）に技術支援要請があり、5月2日に浜松河川国道事務所内に支援本部が設けられ、浜松市、中部地整、浜松河川国道事務所による原田橋対策プロジェクトチームが設立された。

また、さらに（独）土木研究所、国土技術政策総合研究所が助言に加わり、5月10日に現地調査を実施した。当協会は、中部地整からの要請で5月14日から詳細調査を実施した（調査は3回実施）。実施工は協会会員会社が特別随意契約にて担当した。

#### 4.5 ケーブル端末部の詳細調査

##### 4.5.1 ケーブル構成

本橋のケーブル構成は、1本が $\phi 3.1\text{mm}$ の素線を37本纏めよったワイヤーロープ6本（ストランドロープ）と、中央の共芯をワイヤーでよったものが $\phi 65$ のメインケーブルとなる（図-7）。メインケーブルは上流側、下流側にそれぞれ6本あり、上下のケーブルが天秤構造となり、アンカー基礎へは3本のアンカーで接続されている。

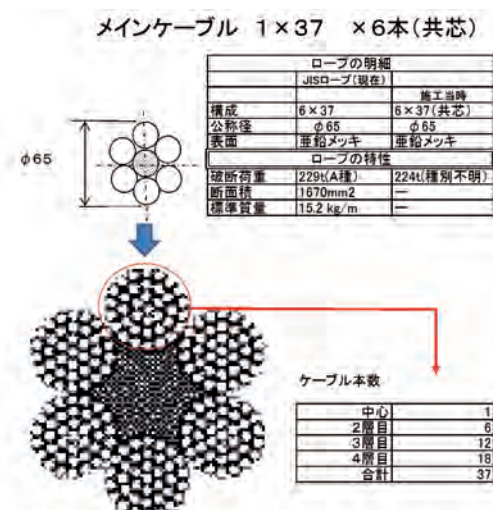


図-7 ケーブル構成

##### 4.5.2 ケーブル端末部の詳細調査(5/14日)

本橋のアンカー部は落石防止網にて前面が覆われており、近接目視ができない状況にあったが、この落石防止網を部分的に切断し、近接調査を実施した。

ケーブル端末部はケーブル製造時に施した端末処理用ラッピングのままであり、詳細点検にラッピングを撤去し、腐食詳細部を確認した。その結果、下流側の

6本のアンカーケーブルの内、中央部下段のケーブルは、ワイヤーロープ6本中4本が完全に破断した状態にあった(写真-2)。

また、下流側の橋中央部においては、吊索バンド部ケーブルのずれ量が100mmあり、桁中央部は下がっていることが予想された(写真-3)。そのため、詳細な計測が必要であると判断した。



6本中4本が完全破断

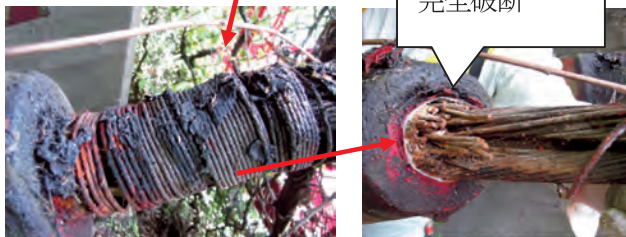


写真-2 A1下流部の腐食状況

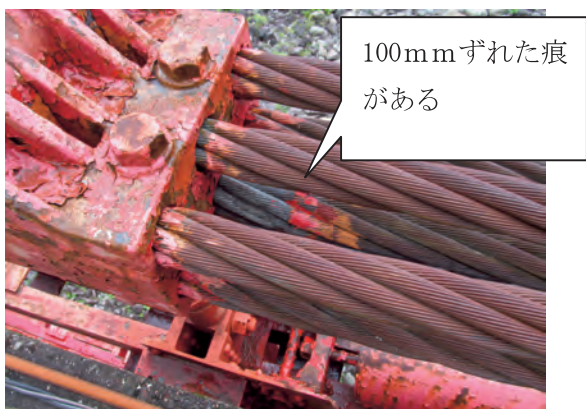


写真-3 ソケット部のケーブルのズレ量

#### 4.5.3 ケーブル端末部の局部点検 (5/17日, 24日)

ソケット端末部は、鑄込み処理が施してあり、撤去可能な範囲でラッピングワイヤーを除去し、素線の破断状況を確認した。その結果、24箇所の内、上流側の2か所で、それぞれ1～2本の素線が破断していることが判明し(写真-4)、上流側の対策も必要であると判断した。



写真-4 上流側の素線の破断状況

#### 4.5.4 全磁束法による調査 (5/24-26日)

腐食部の断面欠損率を把握するために破断ケーブル1本を除く23本で全磁束法を用い、断面欠損率を算定した(写真-5)。

全磁束法とは、東京製綱テクノス(株)の特許技術でありロープの廻りを磁化し、磁界を発生させ、磁界内の磁束量を測定することで相対的にロープ内部を含めた断面の減少量を測定することができるものである。

計測の結果、断面欠損率は最大1%程度であり、測定範囲においては、ほぼ同様であった。

全磁束法においては、肝心のソケット端末部での腐食率を直接計測できないこと、疲労における劣化度の判定は不可能であることに留意する必要がある。本橋の場合、全般的な腐食率を確認するために実施した。



写真-5 全磁束法の設置状況

#### 4.6 3次元計測(5/26)

本橋は、下流側のケーブルのずれにより、床版の沈下、塔の倒れの量を3次元測量により把握し、立体解析に反映させた。3次元計測に用いた装置は、地上型レーザーキャナ(ライカジオシステム社製)であり、レーザーにより構造物の点群データを取得できるノンプリ



ズム型の計測機械である。

3次元計測装置は、13点をターゲットとし、可視できる範囲は、忠実な計測が可能であった(図-8)。4名1日の現場作業の後、立体座標作成を行い、3日後に完了した。この結果、塔の倒れ量はA1側18mm(破断側)、A2側8mmであり、いずれも影響を及ぼす倒れ量ではなかった。しかし、床版中央部では、設計値から185mmの沈下量であった。損傷前の初期値が無い場合、下流側のケーブルが破断した関係での沈下であるかは不明であった。

この結果をもとに、立体解析データを作成し、ケーブルの安全性を検証した。

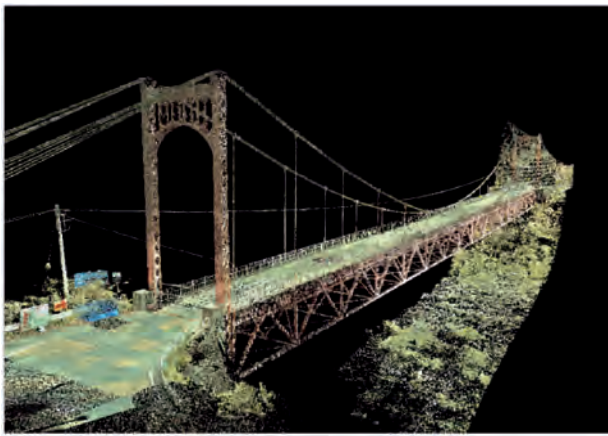


図-8 3次元計測後の合成のデータ

#### 4.7 補修方法の検討(5/27)

5月23日時点で6月末までに交通解放する方法を検討する必要があった。

表-2に示すように、対策案①～⑥を抽出し、比較検討した。当該吊橋を交通解放するためには主ケーブルの安全率(3.0)を確保する必要がある。その対策として、当初は案③のベント支持案が有力であったが、上流の佐久間ダムの放流により、大規模なベントの基礎を構築する必要があり、また安全性を考慮するとベント案は廃案となった。

この時点で具体化されていないが、新橋への架替え計画があるため、応急復旧案である第④案のセーフティーケーブル工法が経済性、施工性の両面から最有力案となった。その案は原田橋対策プロジェクトチームの会議の審議にかけられた後、了承され補修工事を実施することになった。

#### 4.8 立体解析の実施(5/27～6/12)

次頁の表-3に立体解析・規制車両の検証結果を示す。表中、青丸印は有効断面(ただし、公称径の3%を断面欠損と仮定)、白丸印は無効断面(ケーブルが無効として計算)、赤色印はセーフティーケーブル(補強ケーブル)追加箇所を示す。

CASE5, 6, 8は上流側が健全と仮定した場合、CASE9は上流側の素線破断部を考慮し、断面欠損とした場合を示す。ケーブルの安全率3を確保できるケースは

表-2 補修対策の検討比較表

	短期的な応急処置方法	概要	設置までの期間	規制期間	特徴	経済性	採用
①	仮設河川内道路の使用延長	1回の佐久間ダムの放水により、一週間程度は全面通行止めとなる	1週間	河川放流時:2週間	一時通行止めによる規制が多い	○	×
②	仮橋の設置	仮橋施工の場合、延長は140mあり、設置まで時間がかかる。	半年程度	完成まで河川内道路(年間4,5回の通行止め)を半年通行	設置まで時間がかかる。	△	△
③	ベントによるサポート	施工は可能である。ただし流水に抵抗できないため、ベント等に矢板で囲う必要がある。	1ヶ月以内	河川内道路を1ヶ月使用	放水時のために強固な構造が必要。ケーブル破断時の対応は困難と推定される。	○	△
④	短期的な応急復旧による補修(セーフティーケーブルの追加)	規制は伴うが最も短期的かつ、比較的容易に施工が可能である。	1ヶ月以内	河川内道路を1ヶ月使用	規制を伴うが最も早く施工ができる。ただし架け替えを前提とした応急復旧工である。	○	◎
⑤	恒久的な補修(ケーブル取替え)	ベント支持、ケーブルクレーン架設等費用は膨大である。	1年程度	完成まで河川内道路(年間4,5回の通行止め)を1年実施	迂回路が無いことから大規模な補修となり施工期間が長くなる。	△	△
⑥	恒久的な迂回路の施工	河川内道路の嵩上げ	—	—	河川協議が必要であり、緊急対応が不可能である。	○	×

表-3 立体解析結果

		下流側のみ補強			上下流補強
		CASE-5 (現状)	CASE-6 【応急対策後】	CASE-8 【応急対策後】	CASE-9 【応急対策後】
内 容		(実モデル) 通行規制(4T車連行)	(実モデル) 通行規制(4T車連行)	(実モデル) 緊急車順走行時 8T車単独走行	CASE-6の上流側も 追加ケーブル 通行規制(4T車連行)
荷重条件		10台 14m連行荷重 (T荷重)	—	大型車1台(8T車) (T荷重)	10台 14m連行荷重 (T荷重)
断面概要(下流)					
断面概要(上流)					
判 定	安全率(切断荷重/張力)	△	○	○	○

△・・・安全を確保できない(3.0未満)  
○・・・安全を確保できる(3.0以上)

CASE6、8、9 であり、4t 車両の連行荷重、8t 車両の単独荷重のみ走行が可能となった。そのため、現地では損傷がない上流側を片側交互通行とし、普通乗用車は連行で通行可能であるが、4t 超～8t 車は 1 台限定で規制して通行可能としている。

#### 4.9 補修方法の計画および製作(5/27～6/12)

##### 4.9.1 設計方針

迂回路の確保が困難なことおよび河川内に設けた緊急路が6月末までしか使用できないことから、早急な補修工法の選定が必要であった。この条件を基に、最速で安全性を確保できる補強方法として、補強(セーフティー)ケーブルの追加設置を計画した。本工法の特徴は、①本橋架替えの計画がなされていることを考慮し、維持管理投資を少なくできること、②腐食したケーブルの活荷重を分散させる補助的な役割(図-9)を果たす。すなわち、架け替えまでの暫定処置で、簡易的にケーブルを追加することで現道交通に安全を確保する設計手法である。

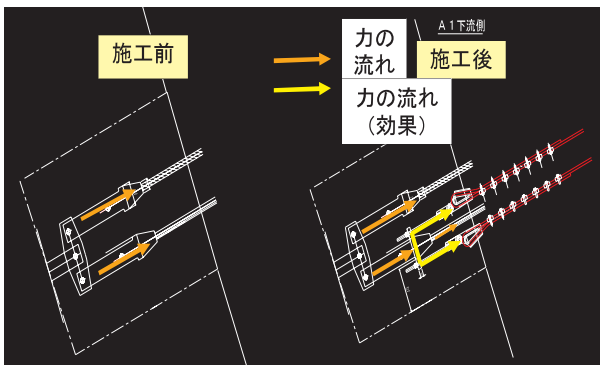


図-9 セーフティーケーブルの補強効果

##### 4.9.2 セーフティーケーブルの設計

セーフティーケーブルは、死荷重対応の現状ケーブルに追加し、活荷重無載荷状態で、微少のケーブル張力を導入することで、活荷重のみに抵抗する構造とし

た。解析結果より、規制する活荷重(4t 車の連行、8t 車の単独走行)に対し、腐食ケーブルのバイパス効果を発揮できる荷重耐力を想定し、1 本あたり負荷張力 80kN と設定した。ケーブルは片側 2 本とし、上下ケーブルが引っ張り合う構造により不均等荷重係数 1.5 を見込み  $80/2 \times 1.5 = 60\text{kN}$  とした(表-4)。ケーブルは市場性のあるストランドロープ(φ30、7×7)を使用し、既設吊索部の幅 62mm を通る最大径として φ30×2 本を配置した。(図-10)。

表-4 セーフティーケーブルの設計強度

負担ケーブル比率					(単価:kN)	
	活荷重(kN)	現橋ケーブル断面	セーフティーケーブル	現断面割合	セーフティーケーブル割合	補強ケーブル荷重
上流側	281	111.55	17.52	0.864	0.136	38.216
下流側	180	74.39	17.52	0.809	0.191	34.38
合計	461					

セーフティーケーブル設計荷重						(単価:kN)
	活荷重	初期導入張力	合計	不均等係数	荷重	設計荷重
上流側	38.216	15	53.216	1.5	79.824	80
下流側	34.38	15	49.38	1.5	74.07	80

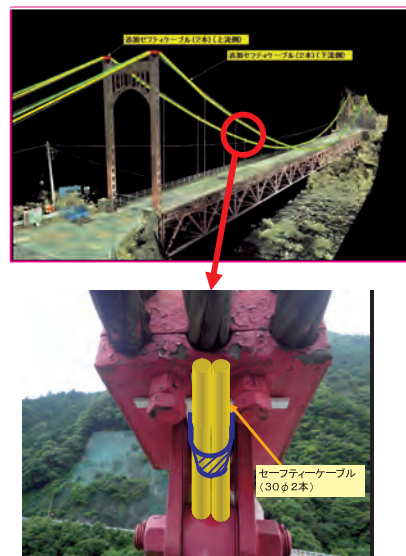


図-10 セーフティーケーブルの設置イメージ



#### 4.9.3 主塔追加サドル

主塔の上の追加サドルは、既設サドルの上に被せた構造（写真-6）とし、3次元計測で得られた既設構造寸法から形状を決定した。原寸から製作まで1週間で現場搬入した。既設サドルとはボルトによる4点固定とくさびによる打込み固定の併用設置とした。これは、既設サドルが鋳物であり、溶接性が懸念されること、および鉛直力による摩擦抵抗力が十分であることにより採用した。

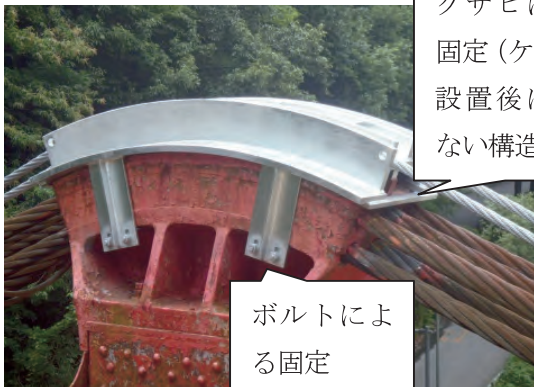


写真-6 塔頂部の追加サドル

クサビによる固定（ケーブル設置後は抜けない構造）

ボルトによる固定

#### 4.9.4 ロッド定着構造

既存のソケット鋳物の裏側孔を利用し、曲線の支圧部の加工精度を上げるため、 $\phi 170$ の丸鋼より削り出しでロッド定着部を製作した（写真-7）。



写真-7 ロッド定着構造

丸鋼を加工

#### 4.9.5 偏向治具

セーフティーケーブルは、塔頂サドル部では既存ケーブルの上側、吊索バンド部では既存ケーブルの下側に配置される（写真-8）。6本の既存ケーブルの間を通し、下側へ誘導させるため、強制的に偏向させる治具（写真-9）を考案した。既存のケーブルに定着するために、Uグリップを配置した特殊な形状を製作した。

ケーブルに曲げ荷重がかかるが既存のケーブル剛性が大きいので、ケーブルからの反力に抵抗できるように22mmの鋼板をベースプレートに採用した。



写真-8 新旧ケーブルの交差状況



写真-9 偏向治具

#### 4.9.6 現場施工

現場施工は平成24年6月14日～25日の11日間で完了した。当初工程は6月末までであったが、6月19日の大雨により、佐久間ダムが放流され、仮設の河川道路が流され、使用できない状態となった。そのため、街は孤立し、JRで移動するか、車で1時間以上の迂回が必要な状況となった。そのため、作業員の増員、昼夜間作業体制、材料搬入の前倒し、重機や機材の増強で対応し、25日の正午に片側交互通行規制で、開通することができた。

ただし、警備員の配置の他、ひずみゲージ、パトランプ、ウェブカメラ、風速計を設置し、モニタリングの技術を駆使し、24時間体制で現在も安全監視を続けている。写真-10にケーブルの引込み状況を示す。



写真-10 ケーブルの引き込み状況

## 5. 第1弁天橋の事例

### 5.1 第1弁天橋の概要

浜松市において、原田橋が平成24年6月に補修工事を終えた後、所掌の全橋梁を対象とした緊急点検を職員が実施している最中、平成25年2月10日に同市天竜区水窪町の国道152号上にかかる鋼製の歩行者用の吊橋「第1弁天橋」の主ケーブル定着ソケット基部のターンバックルが切れ、橋の一部が大きく傾いた(写真-11, 12)。

当時の事故は、高校生7名が橋を渡っている途中で6名が負傷したが、幸い重大事故には至らなかった。同橋は全長32m、幅員1.2mで原田橋と同様に半世紀前の1956年に完成した橋である(57年経過)。

原田橋対応の協会会員会社が、緊急時の災害協定を締結していた関係から、同社が事故後、現場に出向き撤去工を実施した。ここでは、その撤去概要について報告する。



写真-11 下流側から撮影



写真-12 下流側より左岸側を撮影

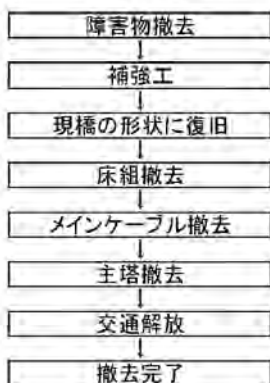


図-11 作業フロー図 (概略)

### 5.2 損傷の原因

吊橋が傾いた原因は左岸下流のターンバックルの腐食による破断と推定される。文献<sup>2)</sup>のターンバックル方式(解放型)ではなく、鋼管にネジを切った特殊な構造で、すなわち、直径 $\phi 75$ 、鋼管板厚3.2mm、長さ900mmのパイプ式ターンバックル構造であった。

中央部には、架設時に長さを調整する孔が開いていた。この孔より、泥や雨水が入り、腐食しやすい環境となり、経年劣化により減肉し耐力のない状態で活荷重が載荷され破断に至ったと推測される(写真-13、14参照)。

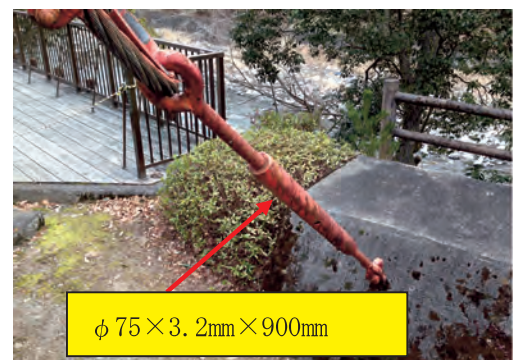


写真-13 破断していない上流側



写真-14 破断した下流側

### 5.3 撤去工事

既設橋梁は、傾いたことで主塔の座屈、弦材の座屈、端部のターンバックルの破断部材の損傷が激しかった。

また、橋梁は一般国道152号上にあり、近隣の迂回路は街路の狭い道で、一刻も早い撤去が求められた。

関係部門の検証や現場調査で3日間かかった後の13日から本格的な撤去を開始した。

撤去順序を図-11に示す。主塔基部の座屈している箇所を補強後、メインケーブル引込みのためのアンカー工を設置しメインケーブルを引き込み完成形に近い状態に再現する。その後、床組、メインケーブル、主



塔の撤去の手順で実施した。

補剛桁は傾き、崩壊、落下を避けるため、施工時の安全のためにベントを使用した。橋は傾いており、順序よく実施しないと崩壊する恐れがあるため、1ステップずつ確実に解体することを心掛けた。

過去に事故が発生した橋梁撤去工事では、橋梁の専門知識の無い地元業者による例がみられる（例えば銚子大橋の解体工事など）。解体工事は難易度が高い場合が多く、条件によっては橋梁の専門知識を持った会社の対応が欠かせない。

解体時、各ステップの応力変動を把握しないままの撤去は、局部的な座屈、全体座屈などで事故につながる。部材の切断箇所の設定および解体順序の施工計画は特に重要である。

詳細工程は、表-5 に示すように、国道を寸断しており、迂回路は旧道の商店街を通るため、大型車が通れず、一日も早い復旧が望まれた。そのため、マスコミが多く押しかける中、緊迫した作業で、実質3.5日で撤去工事を完了することができた（写真15, 16）。

また、この事故の後、同様な形式の他の橋梁に対し、事故防止のため、補助ワイヤーの設置による、二次災害防止対策工事も実施した（写真-17）。同市内には50年以上の吊橋は10橋あり、同市に限らず、今後の維持・補修、管理方法の確立が、緊急の課題である。



写真-15 引き込み装置の設置



写真-16 主構の撤去



写真-17 補助ワイヤーの設置

表-5 第1弁天橋の撤去作業工程

	数量	2月												備考	
		10日	11日	12日	13日	14日	15日	16日	17日	18日	19日	20日			
準備・測量工	1式	3.5日で撤去完了													
障害物撤去工	1式														
主塔補強PL溶接工	2箇所														
主塔転倒養生	2箇所														
メインケーブル引込工	2本														
ベント設置工	1基														
信号機撤去工	2基														
手摺撤去工	60m														
床組撤去工	30m														
メインケーブル撤去工	100m														
ベント撤去工	1基														
信号機復旧工	2基														
交通規制	1式	国道1号2号通行止め													
主塔撤去工	2基														
後片付け工	1式														

## 6. 鋼橋の更新時期を考える

### 6.1 原田橋、第1弁天橋の劣化要因の背景

昨年4月以来、吊橋で原田橋、第1弁天橋と連続して、劣化が顕在化した。その要因を以下に整理する。

#### ① 耐用年数

浜松市は、天竜川水系を抱えており、吊橋・トラス・アーチ構造など、長スパン橋梁が多い。それは1950年代のダム建設に伴い、電源開発(株)が建造した橋を譲り受けた橋梁であり、それらの多くは架設後50年～60年経過し、耐用年数を迎えている。

#### ② 橋梁のデータベース化と長寿命化計画の未整備

同市は、8年前に政令指定都市となり、12市町村が合併し市域が大幅に拡大し、点検対象の橋梁数は膨大となった。長寿命化計画を策定し、今後、補修・補強、更新計画を順次実施する中での出来事であった。

#### ③ 点検が難しい部位の存在

原田橋は、ケーブルアンカー位置の急斜面に落石防止ネットが設置されており、県の管理時代から、近接による目視点検が困難な状況にあった。また、第1弁天橋は、地元会社の製作による特殊なターンバックル構造で、点検の盲点をついた箇所での破断であったことが挙げられる。

吊橋構造は、アンカー基部の腐食など、点検が困難な箇所が多い構造である。一般的に吊橋専用の点検マニュアルは存在せず、構造も種々あるため、マニュアル化が望まれる。

同市の現状はインフラ施設の老朽化に悩む日本の縮図と言える。むしろ、これらの現象を教訓とし、今後のインフラの保全および技術者の育成が急務であると考える。

### 6.2 鋼橋の寿命はあるか？

橋梁では、財務省の資産価値は40年との記述があるが、法的な寿命は明確にない。近年まで、一般的に50年としてきた寿命も財源の確保が厳しく、新道示には長寿命化が叫ばれ、耐久年数100年を目安にすることが記述されている。しかし、100年は、適確な点検とこまめな補修・補強の実施が前提であり、何もしなければ、致命的な構造の欠陥となり架替えとなる。ただし、維持管理を適切に行えば、鋼橋の寿命は200年以上を目指すことも可能である。(ニューヨークのブルックリン橋は130年以上経過している。)

鋼橋の耐用年数として、下記①～④<sup>4)</sup>がある。

- ①機能的耐用年数(橋梁の機能が不足・低下により、限界に達するまでの期間)
- ②物理的耐用年数(構造部材による腐食・劣化等による強度低下、外的要因による構造破壊など、物理的な原因で使用に耐えられなくなるまでの年数)
- ③経済的耐用年数(橋梁の陳腐化等によって効率的な利用ができなくなり、経済的な面から限界となる年数)
- ④社会的耐用年数(社会的要請や新規計画により橋梁の当初機能が不要となるか、または、別の機能が求められるまでの年数)

この①～④に対し、土木構造物の健全度における耐用年数は次に示すように定義する場合が多い。すなわち、「土木構造物の耐用年数を決定づける寿命は、構造物の物理的強度や機能面の劣化状態が、『**経済性**』を加味した上で致命的となる状態に至るまでの期間とする<sup>4)</sup>」というものでありこの考え方を基に評価される。

ここで、留意点として、耐用年数の算定では、対象となる橋梁が供用期間中に構造物に致命的とはいえない程度の変状が生じた場合は、通常の保守管理において修繕されることを前提とされている点である。

すなわち、耐用年数とは、構造物の建設後、放置したまま寿命に至る期間ではなく、通常の維持管理体制下で寿命に至る期間のことである。

### 6.3 鋼橋の架替え理由(図-12)

国土技術政策総合研究所資料の統計データによれば、架替えの一番の理由は改良工事による架替えであり、全体の40～50%を占めている。

	昭和52年度	昭和61年度	平成8年度	平成18年度
上部構造の損傷	295	280	252	179
下部構造の損傷	71	44	32	32
腐食力不足	29	208	100	60
機能上の問題	248	314	542	319
改良工事	778	682	894	688
耐震対策	0	54	38	33
その他	124	109	65	51
合計	1545	1691	1923	1312

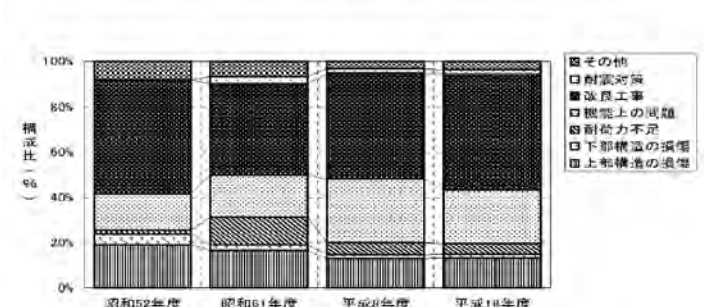


図-12 橋梁の架替え理由



二番目には機能上の問題となっている。橋梁の老朽化に関連する上部構造の損傷は三番目となっており、平成 18 年までの架替え理由の調査では損傷が理由で架替えた橋は 15%程度と言える。

また、平成 18 年度の調査で鋼橋の上部構造の損傷による架替え理由の内訳は、図-13 に示すように鋼材の腐食が 60%、床版の破損が 37%で、疲労その他は 2%弱である。腐食と床版の損傷が大部分を占める。

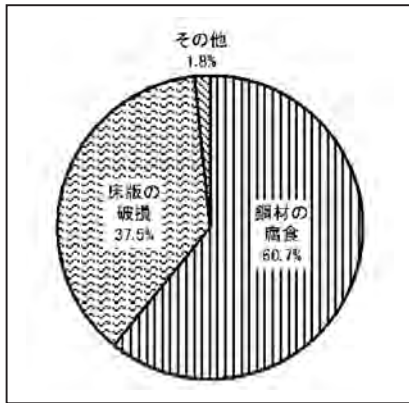


図-13 鋼橋上部構造の損傷の内訳

#### 6.4 鋼橋の劣化進行過程

図-14 に上部構造の劣化進行過程のイメージ図を示す。縦軸の上段には鋼材の腐食の度合を示し、下段には部材の性能低下の度合いを示す。横軸は使用期間を示し時間軸を示す。橋梁完成後、劣化までは、①潜伏期、②進展期、③加速期、④劣化期に分けることができる。腐食を例にとり説明すると、何もしない場合

要緊急対策	損傷が著しく構造物の安全性が短期間に失われる可能性のある場合
要対策	劣化(フクレ、ワレ、ハガレ)が相当範囲に広がっている場合
要監視	劣化が部材に発生しているが、即時対策が必要でない場合
損傷なし	損傷がない場合

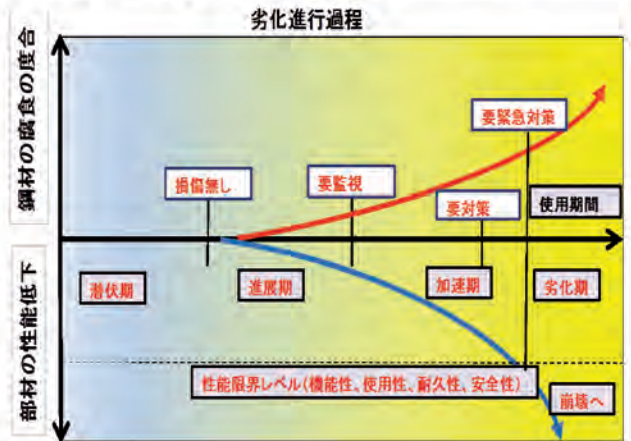


図-14 劣化進行過程

でも、対策が必要な損傷は現れない。しかし、ある時期(例えば 30 年)を超えると進展期を迎え、環境条件にもよるが対策が必要な時期に達する。性能限界レベル(機能性、使用性、耐久性、安全性など)を超え、処置を施さず放置していると、崩壊へとつながっていく。

#### 6.5 経済的な損失について(原田橋の事例)

原田橋に着目すると、図-15 に当初計画された補修工程と、今回実施したセーフティーケーブル設置の場合との工程比較を示す。

前者の場合では、仮橋設置から、測量、設計～調査、工事完了まで 1 年近くかかる計画であった。更に全

面通行止めは 5 月末～9 月末までの出水期は河川道路が使用できず、1 時間以上の迂回路を通行することになる。

一方、実施した後者の応急復旧による追加ケーブル工法の場合、約 2 週間後には、片側通行により走行可能となり、交通ネットワークの寸断状態は 4 月から 2 か月で解消したことになる。

経済比較でも、前者の場合、仮橋設置費用は膨大であり、更に河川協議が必要となる。よって、今回の工法はトータルコストも大幅に削減できた結果となった。

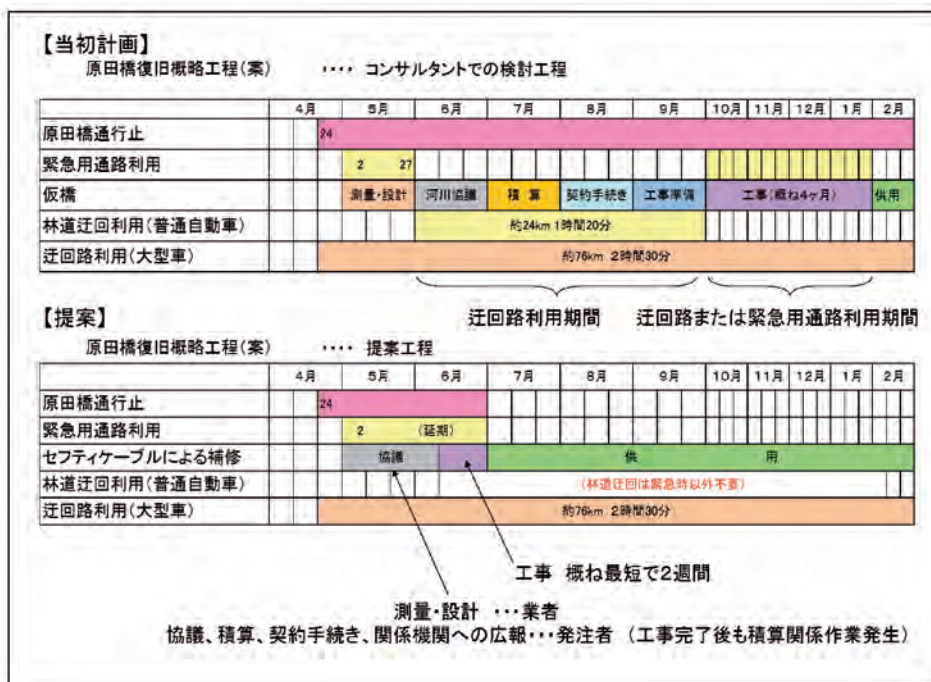


図-15 原田橋の迂回路の利用期間の比較

## 6.6 維持管理計画のポイント

一般に、構造物または部材が供用できなくなるまでの期間を耐用年数（耐用期間）と呼んでいる。耐用年数には、6.2 項に記述したように、①～④の4種類の定義があり、その内、最小のものが、耐用年数となる。

機能的耐用年数と社会的耐用年数は、外部からの制約条件であり、橋梁の機能の向上や重要性（社会的な要請）から判断すると何れも相当長い年数と考えられている。このため、物理的耐用年数を管理して、長寿命化を図ることが維持管理計画の重要なポイントである。

## 6.7 ライフサイクルコストを考える

機能的、物理的、経済的、社会的耐用年数について、原田橋を例にして検討する。図-16 の上段は簡易補修＋新橋（今回の計画）、下段は、仮設道路を造成し、1～2年かけて、ケーブルを補修した場合の模式図を示す。縦軸の“便益”は、通行車が快適に走行できる状態であり、下段の“被害”は通行止めによる被害を示す。

下段の例では、2年後に吊橋のケーブルを取替えたとしても、一般的に適切な補修を行わない場合は今後40年後に新橋に架替えることを仮定し、100年後に、便益レベルは、“高い”になる。上段の場合は、2か月の早期回復により、被害も少なく、2、3年後の架け替えにより、便益レベルは“高い”になる。

新橋は現在の道路橋示方書で設計されることから、適切に維持管理すれば、100年以上は健全な状態に保たれるであろう。架設後57年が経過する本橋の場合、ケーブルの補修のため、取り替えが必要であり、図-16下段のハッチ部の便益レベルは低い状態であり、LCCの観点から架け替えが望ましいと考える。

一方、第1弁天橋では、利用者数が少なかったこと、および迂回路が近くにあり、総合的に影響は少なかったこと、補修しての使用は不可能であったことから、撤去したことは、妥当であったと判断する。

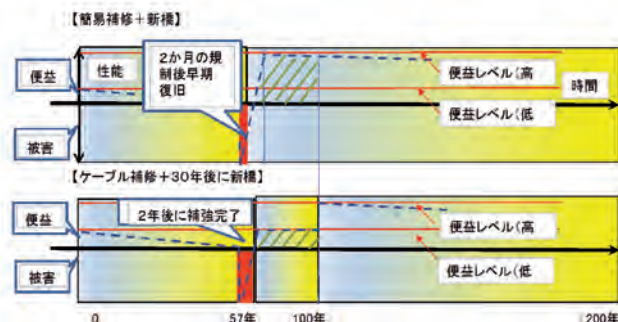


図-16 原田橋の便益・被害レベルの比較

## 7. おわりに

予定耐用年数の推定は付帯要因が極めて多く、簡単に何年とは言い難い。一部を交通規制して、大規模な補修をすることは経済的に困難であり、現時点で、保有する橋梁を延命化するために、こまめな補修・補強により保全することが極めて重要である。適切な維持管理をすれば、100年以上の供用は十分、可能であろう。

しかし、一般に適切な維持、点検を行わない場合、重大な被害につながり、性能限界レベルを超える結果となる。その場合、補修費は膨大となり、社会的影響も大きいため、新橋への架替えの方が、経済的に有利なる事例(原田橋)を示した。

今後、我が国でも、補修費が膨大になることが予想されるため、適切な橋梁の維持管理計画が最も重要な要素であり、予防保全をいかに行なっていくかが重要な課題である。

最後に、吊橋のストックを多く抱える浜松市においては、これまで既存の橋梁の維持管理は大変であるが、事例として取り上げた二橋の工事対応の際、適切な判断により、社会的な損失を最小限に食い止められたことは、同様の課題を抱える他の多くの自治体の参考になると考える。

〔謝辞〕

原田橋、第1弁天橋を発表の許可をいただき、浜松市土木部、天竜土木整備事務所の方々には深く感謝の意を表します。また、原田橋の補強では、技術支援・対策プロジェクトチームの中部地方整備局、浜松河川国道事務所、(独)土木研究所、国土技術政策総合研究所の方々には、適切な助言、協力をいただきました。ここに深く感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 1) Pat Choate, Susan Walter: 荒廃するアメリカ、1982.9
- 2) (社)日本道路協会: 小規模吊橋指針・同解説、昭和59年4月
- 3) 茶谷富士雄、伊野瀬広樹、和田圭祐: (国)473号原田橋の制限付通行について、中部地整 論文発表原稿、2013.07
- 4) 土木学会: 腐食した鋼構造物の耐久性照査マニュアル、1-62
- 5) 玉越隆史、大久保雅憲、市川明広、武田達也: 国土技術政策総合研究所資料(国総研資料第444号)橋梁の架替に関する調査結果(IV)2008.04 p5, p19