

鋼橋の補修・補強工事に関する一考察

—その特質と工事執行上の諸課題を対象として—

五十畑 弘¹・木田 哲量²

¹フェロー会員 工博 JFE エンジニアリング(株) 鋼構造事業部 (〒100-8202 東京都千代田区丸の内 1-1-2)

²正会員 工博 日本大学生産工学部土木工学科 (〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1)

鋼橋建設工事は、他の建設工事と同様に既設橋梁ストックの増加にともない補修・補強工事の比率が増加しつつある。一方、公共調達手続きの改善は、建設工事の入札・契約方式の変更として進められてきているが、新設工事では機能してきた工事執行方式であっても、鋼橋の補修・補強工事の分野にあっては、必ずしも十分に工事の実勢に即していないことによる課題も顕在化してきている。本論文では、以上の認識に基づき、鋼橋の補修・補強工事の現況と今後の傾向について明らかにし、補修・補強工事の視点から入札・契約方式について言及した。次に、鋼橋補修・補強工事の特質の分析を踏まえ、契約・工事執行上の課題について考察を行い設計・施工一括方式の適用可能性について言及した。

キーワード：鋼橋, 補修・補強, 工事執行方式, 契約方式, 設計施工一括方式

1. 研究の背景と目的

橋梁建設工事は、他の建設工事と同様に既設橋梁ストックの伸びにともなって補修・補強工事の需要が増加しつつあり、今後新設工事に対する補修・補強工事の比率はさらに高まる傾向にある。

国内の橋梁建設は、鋼橋、コンクリート橋ともに、過去 50 年間に急速に増加を遂げ、とくに 1970 年代以降、建設が集中した。従って、欧米諸国に比べて、補修・補強を要する橋梁工事の需要も集中することとなり、1970 年代に建設された橋梁が橋齢 50 年を越える 2020 年頃からは補修・補強工事が大半を占めるまでになることが予測されている。

これまで鋼橋建設の主流を占めてきた新設工事の最大の特徴は、工事内容の過半を占める部分に工場製作工程が含まれることである。続く架設工程をあわせても、全体として工事内容を構成する工種は比較的少ない。これに対し、既設鋼橋の補修・補強工事は、工場製作比率が少なく現場工事が主体となることから、工事自体の性格は異なったものとなる。このため、これまで新設工事を前提として機能してきた工事契約、工事執行方式であっても、補修・補強工事においては、工事内容の実勢に応じて十分な機能が果せず、契約、あるいは工事執行に関する課題も顕在化してきている。これは、工場製作工程を含むという一般建設工事とは異なる特質をもつ鋼

橋工事にあっては、特に新設工事と補修・補強工事で工事の性格が大きく異なることから、新設工事をベースとした執行方式では機能しにくい場合が出て来ていることを意味する。

一方、近年、指名競争入札方式の改善から始まった建設工事の入札契約方式は、総合評価方式を含む多様な入札方式へと変化の過程にある。この変化は、建設工事全般において透明性の向上を主たる目的として開始され、その後工事特質に応じた VE 提案などの方式も試行されてきた¹⁾。しかし、鋼橋上部工工事の補修・補強工事分野においては、これまでの入札・契約方式の改善は、必ずしも工事の特質に即して工事執行上の課題を解決する方向でなされているとは言い難い²⁾。

今後、道路、橋梁建設分野において増加する補修・補強工事のニーズに対応してゆくことが、社会的要請である効率的なインフラの維持・更新・整備に應えることであり、鋼橋上部工工事における補修・補強工事の特質を踏まえた視点からも契約や、工事執行方式の改定の研究が必要と考えられる。

本論文では、以上の認識に基づき、まず鋼橋の補修・補強工事の現況と今後の傾向について明らかにする。吊橋などの長大橋の老朽化が出てきている欧米における補修・補強の事例についても、今後の国内動向を予測するために取り上げる。また、近年の入札・契約方式の変化について、補修・補強工事への適

合性の視点から言及する。ついで、補修・補強工事の特質について分析を行い、工事の契約・執行上の課題について考察を行う。結論として、工事執行上の課題に対応するための視点から、設計・施工一括方式の適用可能性について言及する。

2. 鋼橋上部工の補修・補強の傾向

(1) 国内における鋼橋上部工ストックの推移

国内における鋼橋上部工工事は、欧米諸外国と異なっており上下部工が分離され、鋼上部工工事として下部工、ないしはその他の道路工種とは切り離して発注される方式をとってきた。この方式をもって1960年代の首都高速道路、東名、名神高速道路の橋梁群を建設し、20世紀の末に本四の長大橋梁群を建設してきた³⁾。

国内の橋梁建設は、過去50年間に急速に増加を遂げ、とくに1970年代以降、建設が集中した。スパン15m以上の橋梁で、高速道路、一般国道、主要地方道、一般都道府県道、市町村道の橋梁のストックは13万橋である。このうち鋼橋は約40%、PC橋が37%である(図-1)。建設年次別の橋梁分布(図-2)より、1965年より85年までの20年間に建設された橋梁が多く、これらの橋齢は30年を越えておりこのグループに属する橋梁群が、橋梁補修の増加要因となっている。

(2) 欧米における補修・補強工事の傾向

海外の橋梁ストックに関する統計として、筆者らがPIARCの橋梁委員会(C11)の活動で調査を実施したデータがある⁶⁾。これによれば、橋梁建設のピークは概ね1960年代から70年代であるが、日本は70年代であるのに対し、ヨーロッパ諸国は60年代にピークがあり、かつそのピークは日本の場合よりもなだらかな傾向にある(図-3)。

一方、欧米では、吊橋などのケーブル系の橋梁建設が戦前より行われていることから、すでに吊橋、斜張橋の補修・補強の事例が出て来ている。これらは、構造技術的にも高度な能力が求められる補修・補強工事であり、今後の国内でも同様なケースが出てくるものと考えられる。

フランスの1959年建設のタンカービル吊橋は完成後数年してケーブル腐食が指摘されてきた。ケーブル取替え工事は、既設のケーブルの上側に新たなケーブルを設置し、既設橋梁上の交通を遮断することなしに実施された⁷⁾。

イギリスの南部プリマス郊外のテマー吊橋は、ケーブルの両外側に張り出し部を設置し、車道1車

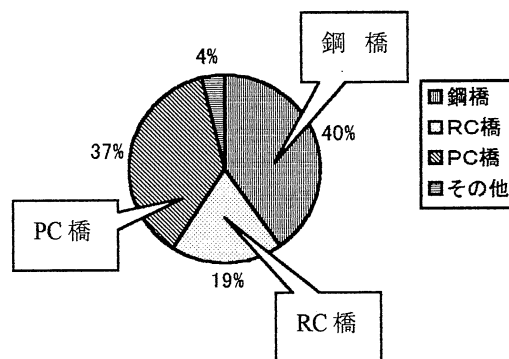


図-1 橋梁ストック（個所数）⁴⁾

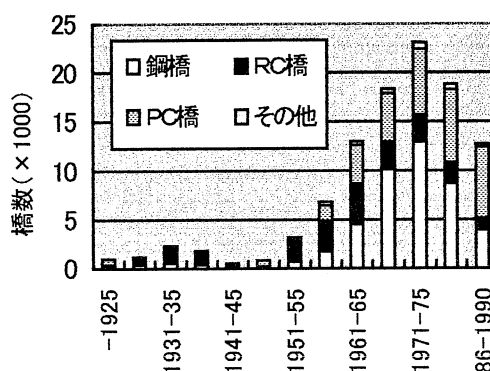


図-2 建設年次別橋梁分布⁵⁾

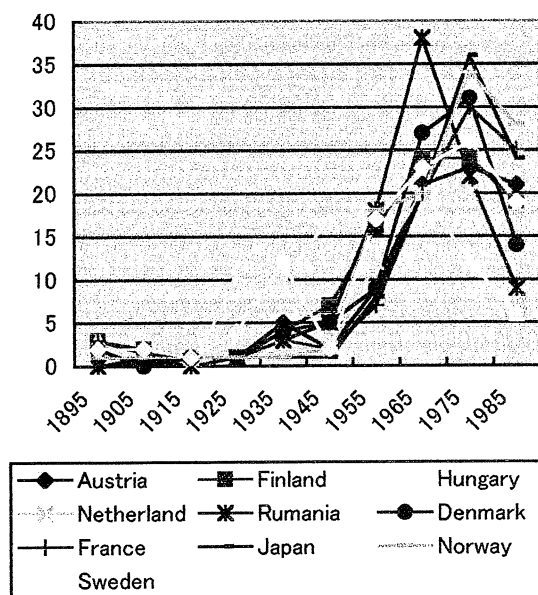


図-3 各国の橋梁ストックの建設年の分布 (%)⁶⁾

線と歩道を追加する工事を実施した。ケーブル補強には、ステーケーブルが追加され⁸⁾(図-4)。本橋は、イギリス土木学会(ICE)の2002年の歴史的建造物の補修・補強工事賞(Historic Bridge and Infra-

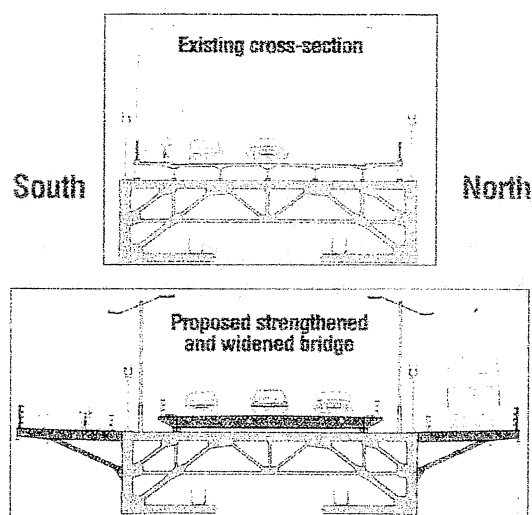


図-4 イギリス、テマー吊橋の拡幅⁸⁾

structure Awards)の受賞橋である⁹⁾。

アメリカでは、1960年代に橋梁を中心とするインフラ維持整備の遅れが指摘されたが、近年では大規模な交通インフラのリハビリプロジェクト（TEA21）が進められてきた。特に、過去10年間で吊橋の主構造であるケーブルのリハビリが集中的に行われており、主なものとしてミッド・ハドソン橋、ウィリアムズバーグ橋、ブロンクス・ホワイトストーン橋、トライボロ橋、ベン・フランクリン橋、ベア・マウンテン橋などがある¹⁰⁾。

ドイツのライン川に1938年に架設されたローデンキルヘン橋は、板桁の吊橋であるが、塔を1本とケーブル1面を追加して復員を倍増する拡幅工事がされた¹¹⁾。

ポルトガルのリスボンの4月25日橋は、上層の道路に加えて下層に鉄道を追加するための補強工事が実施された。ケーブルの補強は、既存ケーブルの上方3mの位置に新たにケーブルが1段追加された¹²⁾。

(3) 補修・補強工事の今後の方向

今後の国内の鋼橋の補修・補強工事は、量的な拡大に加えてより施工条件の複雑化とともに、ケーブル系構造なども対象となることにより、構造技術的に高度化するものと思われる。

量的拡大については、建設工事全般と同様であるが、過去、新設橋梁の建設が欧米諸国に比べて、集中的であったこととともに、今後道路の建設が抑制される傾向にあることから、補修・補強工事の需要も集中することとなる。これにより、近い将来には補修・補強工事が大半を占めるまでに高まることが予測されている。特に、1970年代に建設された団塊を構成する橋梁群の橋齢が50年を越える2020年頃か

らは、この傾向が顕著になるものと予測される。

施工も複雑化の傾向にある。都市部などの生活圏に立地する工事が多くなり、近接地域の環境への影響から施工条件が多岐にわたることが多くなる。既存交通流の処理など既存機能の維持とともに、資材搬入、騒音、振動などの周辺環境への影響をいかに緩和するかなどが大きな課題となる。

補修・補強工事の技術的高度化は、吊橋や斜張橋などのケーブル構造が対象となることによってもたらされる。例えば、今後出てくる可能性のある吊橋の車線追加工事などでは、主ケーブルの補強も必要となり、工事計画では、構造特性への十分な理解と設計技術が施工技術に加えて求められることとなる。

一方では、隅田川の震災復興橋梁に代表されるような歴史的鋼橋の補修・補強にあつては、文化遺産として文化的な側面への配慮も社会的な要求となってきており、補修・補強技術の高度化の要因となることが予測される。これはすでに建築分野では実績が多いが、旧橋の構造的長、意匠性を維持しつつ、土木構造物としての機能向上を図ることが求められる補修・補強工事である。

以上のように、鋼橋の補修・補強工事は今後、量的な拡大とともに、複雑化、技術的高度化の方向にあり、構造設計技術に裏打ちされた施工技術力が求められるようになると思われる。

3. 近年の入札・契約方式の変化

従来の指名競争入札に加えて、一般競争入札方式と公募型競争入札方式が1994（平成6）年から導入された。これは、明治33年に指名競争方式が定められて以来90年振り改革と言われている。

この改革の引き金となったのは、80年代半ば以降、本州四国連絡橋、関西空港、東京湾アクアラインなどの大規模プロジェクトが本格化する過程で、相対的に巨大化した国内建設市場に対し、欧米からその閉鎖性が指摘され始めたことがある。

1992年8月に日米建設協議レビュー会合が開催され、この中で国内公共工事における一般競争入札の導入が要求されることとなり、国内の公共工事建設生産システムの対外比較が認識されるようになってきた。日米間の構造協議は、その後ガット・ウルグアイラウンド、これを引き継いだWTO政府調達協議で取り上げられた。

このような状況のもと、中央建設審議会は、大規模工事への一般競争入札の導入を含む「公共工事に関する入札・契約制度の改革について」の建議を策定し、閣議は1994年1月18日に「公共工事の入札・契約手続の改善に関する行動計画」を了承した。

1998年には、さらに公共事業の入札手続きの改定が行われ、技術提案型総合評価方式を含む新たな入札方式が出てきた。2000年の今日、執行方式について多くの方法が試行されている。

2000年10月には、「公共工事の入札及び契約の適正化の促進に関する法律」が閣議決定され、2001年4月1日から施行された。

以上の入札、契約方式の改正および、新たな法律制定などの一連の変化は、公共調達に適正化を目的としている。従って、社会的な批判に 대응べくその手続きの透明性や公正な競争の促進、施工体性の適正化、不正行為の排除などを第一義とするものである。補修・補強工事の増加などによる工事の特質の時代的变化へ対応するための改訂は、その範囲には含まれていない。

4. 補修・補強工事の特質の分析と考察

(1) 補修・補強工事の内容

伸縮継手の補修工事を例として、鋼橋上部工の補修・補強工事の内容について分析する。

道路橋の伸縮継手における補修工事は、建設後30年程度のものを対象とするケースが多い¹³⁾。伸縮継手は路面からの点検が容易であり、かつ走行性に直接影響を与えることから、橋梁構造の部位の中でも最もその変状が把握されやすい。典型的な伸縮継手の変状の一つに、遊間異常、フェースプレート不陸、フィンガーの欠損などがある(写真-1)。

伸縮装置の取替え工事において、契約図書として取替え用の伸縮装置の図面が添付されていても、この通り製作を開始するのではなく、照査義務に従ってまず現状の把握が必要となる。補修工事の場合の詳細設計図は必ずしも実測の寸法が反映されておらず、設計の考え方を示し、実施寸法は工事開始後に反映させることも多い。このため、補修工事の詳細設計図は、新設工事の場合とは異なる。

実施段階の詳細設計図に反映すべき基本的な事柄は、物理的に据え付けが可能な取り付け寸法である。このためには、桁端部の現状寸法のほか、建て込みのため取り付け部(上フランジ端部)の状況の把握が必要となる。詳細な状況は既設の伸縮継手を撤去して初めて把握可能となる場合もある。

同時に工事実施のための制約条件の把握も必要である。撤去した桁端の床版コンクリート塊、伸縮継手の搬出の可能性、交通流への影響、安全管理上の諸条件、そしてそれぞれの管理者からの使用許可の可能性などの調査が必要となる。



写真-1 伸縮装置の変状事例

表-1 鋼橋上部工の補修・補強工事の特質

項目	補修・補強工事	新設工事
設計情報	多い、かつ固有	仕様条件
付随工事	極めて多い	限定的
関係者数	多い	限定的
施工制約	きわめて多い	多い
施工方法	選択肢が多い	限定的

一方では、工事着工後に初めて入手できる情報によって、変状が生じた原因の把握をすることも工事段階で必要となる。変状の発生は、経年による伸縮継手自体の老朽化のほかに通常他の変状との複合的な原因による可能性がある。伸縮装置の不陸の発生は、杓や杓座モルタルの破壊等による桁側の沈下がり、アバット側との段差を生じる原因となっていることも多い。このような調査も点検で実施することになる。この原因があればこれを取り除くことも協議事項であるが、工事の範囲に追加される場合もある。

(2) 補修・補強工事の特質の分析

補修・補強工事について伸縮継手の例を挙げたが、設計から施工までの各段階で示される多様性が、全ての補修・補強工事の特質を構成している(表-1)。

a) 設計情報

すでに存在する構造物を対象とする補修・補強工事は、設計荷重などの共通的な条件に加えて、対象とする工事固有の情報が設計情報として必要であり、新設工事に比べると情報量が多い。

固有情報として基本的なものとして既設構造の形状、寸法があるが、構造そのものの計測が不可避である。現状の既設構造の詳細な把握が必要であり、補修・補強材の設計も不可能となる。また、補修・補強をどの程度実施するかといった基本的情報としては、構造物の点検、および構造物の評価技術が必要とされる。

さらに、d)で示す工事施工の制約条件の把握も、設計に反映すべき重要な情報である。このため設計

と工事の相互の関係は新設工事に比べて高い。補修・補強工事の設計は個々の工事特有の一品生産となる。

b) 付随工事

既設構造であるために、新設時以後取り付けられたガス、水道、電纜管などの添架物があり、また周囲には、工事に影響を与える架空電線などもある。したがって補修・補強工事は、当該工事以外に、これらの撤去、改造、一時的移転、保護・養生などの多岐にわたる付随工事がある。

c) 工事関係者

工事実施にあたって調整を要する関係者が多いことも補修・補強工事の特質である。補修・補強工事を実施するためには、当該建造物の管理者以外に、桁下道路の管理者、河川の管理者、添架物の管理者、道路交通管理者などの関係者が多い。

d) 工事施工の制約条件

補修・補強工事は、工事施工にあたって空間的、時間的制約が大きい。工事関係者が多いことによって、作業時間帯、場所などの制約が大きい。補修・補強対象の橋梁や、桁下道路の交通規制の可能性から、夜間工事となることが一般的である。

橋梁の補修・補強工事は、通常足場の設置が不可避であり、この足場の構造や、設置場所、期間などの制約がある。また、補修・補強資材、機材の搬入にはクレーン車が使用されるが、この進入可能場所、と使用許可、使用期間、架空電線など上空制限の可能性もある。

e) 施工方法

上述した設計情報、付随工事、工事関係者、工事施工の制約条件などに影響を与える要素が多いことは、とりうる施工方法、工事手順、工法の選択の幅が、新設工事に比べて大きいことを意味する。このため施工者の保有する技術、設備、技術力の違いによって施工法は個性的となる傾向がある。

(3) 考察

明らかにした補修・補強工事の特質によって発生する工事契約、工事執行上の課題について考察する。

a) 積算の困難性

積算の基本は、工事全体の内容を工事前にどれだけ詳細に把握できるかにかかっている。情報量を把握するには、新設工事にはない既設構造の詳細な調査が事前に必要となる。しかし、すべての工事でこれを厳密に実施することは、調査だけでも実際の工事と同様の交通規制、関係機関との調整等が必要となり、全体の時間とコストを高めることとなり現実的ではない。

現行の補修・補強工事では、新設工事と同様に詳細設計をあらかじめ実施した上で、工事契約がされているが、設計段階での既設構造などに関する情報量が少ないことから、標準的な設計と施工方法、それに基づく積算の範囲にとどまっている。このため工事施工時に行われる実施設計は、新設工事の場合と比べて契約時の詳細設計との乖離がはるかに大きくなっている。

b) 施工者固有の技術

採用しうる工法の選択肢はかなりの幅がある。これは、補修・補強工事の工法が施工者の技術能力に応じて個性的であることによる。従って、積算で想定する一般的、普遍的工法、工事手順と実際に採用される工法や工事手順とは、新設工事に比べ大きな違いが生じる可能性がある。施工者固有の技術、工法の採用については、新技術の登録制度、あるいは技術提案を受け入れる VE 方式があるが、補修・補強工事では、点検、設計から工法、工事手順、段取り、安全対策などを含んだ全体が一体となって固有性を構成していることから、機能しにくい面がある。

c) 検収の困難性

通常、工事範囲、仕様書に加えてあらかじめ予見しうる施工条件を特記仕様書で明示し、工事着工後に明らかとなった条件の変更は、この施工条件に照らして設計変更として契約者間で協議されて契約金額の変更が行われる。予見できなかった場合は、「工事発注後に明らかになったやむを得ない事情による協議事項」によることとなる。

しかし、補修・補強工事では、あらかじめ把握できない条件も多く、特記仕様書での条件明示も困難であり、契約手続きとして例外的であるべき「予見できなかったことによる協議」が常習化する可能性がある。これによって、設計変更の協議も困難となり契約を機能させ効率的に工事を進める上での弊害となりうる。

以上のように補修・補強工事では、積算および、設計変更の困難性が補修・補強工事の工事執行を新設同様に実施することを難しくしており、積算と工事の実勢工事費との乖離をもたらすことで、工事執行上の問題を顕在化させていると考えられる。

5. 結論

鋼橋上部工の補修・補強工事の特質を生み出す背景には、既設建造物の点検・診断から設計、さらに施工に至る工事の各段階が相互に密接な関係をもった一貫性がある。

この補修・補強工事における各段階の不可分性は、現行方式による工事執行において設計変更が困難である場合があることでも説明できる。これは、あらゆる場合を想定した現場施工条件をあらかじめ設計書に盛り込むことは、補修・補強工事にあつては、不可能である場合が多いからである。このことは、新設工事と同様の精度をもってあらかじめ詳細設計を用意することが難しいことを意味する。

従って、点検、診断とそれにもとづいて行う設計、施工は同一の契約者が責任をとり得る方式とする必要がある。この考えから、補修・補強工事にあつては、設計、および施工を一括として契約範囲に含める方式が適しているものと考えられる。

この方式によって、点検、診断結果が設計に反映されやすくなり、より良質な設計が期待できる。また、施工条件に従い施工者の技術に応じた施工法がとりやすくなることから、施工の質の向上にもつながる。

これは結果として、全体の工期、工費の縮減に結びつくことで、発注者、納税者さらには、道路利用者に対する利益にもつながるものとする。

大規模な工事であれば、点検、診断については、分離した独立の契約とすることも考えられる。点検・診断工事の結果は、工事入札に際して、応札者に対して提供されることで、不確定条件を減らすことができ、入札者の積算精度の向上、すなわち応札価格の引き下げに寄与することとなる。

設計、施工を一括とすることによって、施工者側の経験の蓄積が進み、新技術、新工法の開発を促すことにも繋がる。これは、技術を保有する企業が適正な評価を受けるという、適正化法の趣旨にも沿うものである。

一方、詳細設計付き発注においては、予定価格の設定をいかにするかという課題がある。現行の公共事業調達では、発注者は工事発注前に標準的な工法をもって標準的な施工者が実施する場合を想定した積算を用意することが必要である。しかし、標準的な工法や、標準的な施工者の概念が、今後吊橋なども対象とする鋼橋の補修・補強工事にあつて、設計、施工法の多様性を認める点検、設計、施工一括方式とは、基本的に相容れない部分をもつ。

これは、今後の研究課題であるが、ひとつの方向として補修・補強工事のスコープ変更をスムーズに実施する執行方式の開発がある。発注者は、会計年度の予算枠の制約から契約金額を固定する必要があるが、これに応じて工事範囲、内容を変動させるような補修・補強工事の実施方式が、今後必要であるとする。

謝辞

本論文をまとめるにあたり（社）日本橋梁建設協会より貴重なデータの提供を戴いたことをここに付記し謝意を表します。

参考文献および注釈

- 1) 五十畑 木田, 公共工事建設生産システムに関する史的考察, 土木学会論文集 No. 674/IV-51, p.84, 2001.
- 2) 「公共事業の入札・契約手続の改善に関する行動計画について」(平成6年1月18日閣議了解) では、政府調達の改訂の目的を「公共事業の入札・契約手続を国際的な視点も加味した透明で客観的かつ競争的なもの」としている。
- 3) 豊田高司, 公共事業の目的と歴史的変遷, 土木学会誌 第82巻2号, p.35,36, 1997.
- 4) 成田信之編著, 鋼橋の未来, 技報堂出版, p.25, 1998.
- 5) 前掲4), p.26.
- 6) Towards an Indicator of the Health Condition of Bridges, PIARC Committee on Road Bridges (C11), p.7, 1996.
- 7) Race for renewal, *Bridge design & engineering*, pp.77,78, Issue No.16, Third Quarter 1999.
- 8) Fish R.J et al, Tamar Bridge strengthening and widening – a case study, *Bridge Management* 4, Thomas Telford, pp.647-655, 2000.
- 9) David Greenfield, Historic Bridge and Infrastructure Awards, Panel for Historical Engineering Works, ICE, p.1, Dec. 2002.
- 10) Rehab review: effective cable renewal, *Bridge design & engineering*, pp.61-64, Issue No.20, Third Quarter 2000.
- 11) New Ropes for old, *Bridge design & engineering*, pp.32-34, Issue No.10, First Quarter 1998.
- 12) Hybrid solutions, *Bridge design & engineering*, pp.53-58, Issue No.7, May 1997.
- 13) (社) 日本橋梁建設協会が平成11年12月に実施した実績調査によれば、会員会社が施工した伸縮継手の補修工事(24件)の中で建設から31～35年経過したものが最も多かった(7件)。

経年	～15	～20	～25	～30	～35	～40
件数	1	5	6	4	7	1