

橋梁環境の保全に関する一考察

CONSIDERATION CONCERNING PRESERVATION OF BRIDGE ENVIRONMENT

城戸隆良*

Takayoshi KIDO

* 金沢大学工学部 (技術部) 技術主任 土木建設工学科 (〒920 金沢市小立野2-40-20)

The bridge lifetime depends on preservation of the physical integrity of both the superstructure and substructure. Therefore, an adequate inspection, maintenance, and repair procedure for the entire structure are indispensable.

The existing bridges have various damage patterns. So, the integrated evaluation process of damage based on the damage inspection result of various patterns is very complex.

In this paper, a basic concept is described about the maintenance of the bridge, some valuable sample cases with maintenance are taken up, and consideration is done.

Moreover, some of the research cases which have been done up to now are introduced.

And, as a recent research, the evaluation of the bridge damage is expressed by the hypertext format and the evaluation method is proposed. The implementations of the presented approach for damage rating of existing bridge are made on a personal computer system.

Key Words : bridge maintenance, rehabilitation, damage evaluation, hypertext

1. はじめに

土木構造物の維持管理の重要性が高まってきているが、橋梁構造物もその中にあって、公共の用には欠かせない施設であり、橋梁の維持管理のあり方についてさらに深く考えて行く必要がある。

筆者は、昭和40年後半から橋梁の損傷や耐荷力の課題について、幾つかの既設橋梁の損傷調査や載荷試験などの調査に従事し、また、分析に携わってきた中から、文献1)において、橋梁診断の基本の考え方を提案してきた。また、その後も橋梁の維持管理や橋梁計画、設計に関わる課題について、橋梁の「用・強・美」に関連した幾つかの研究に関係を持ってきた。それらの成果を基に、本論文は、橋梁が具備すべき「用・強・美」について事例研究、および、手法の模索をあげながら考え方を示し、橋梁の保全、および、保全のための手段である維持管理の課題について考える。

橋梁の維持管理における種々の課題は、供用後の橋梁に対して行う対処、すなわち、事後対処であることが多く、重要な課題が多い。たとえば、多くの橋梁の点検結果を基に進める健全度評価の方法はひとつの重要な課題である。森・大島らの文献2)の研究によれば、数量化理論とコンピュータ・グラフィックスの3Dローテーション技術を応用し、判定の可視化を伴って定量的、客観的に健全度評価を進める試みがなされている。

また、近年の維持管理では、多くの事後対処の事例を基にして、前向きに計画的に予防を図っていくという積極的な対処法が図られるようになってきている。たとえば、近年の地震被害を教訓に橋脚などの補強策が早急に

進められていることは地震国であるわが国にとって耐震性の強化のために重要な事柄となっている。

このような、維持管理での改善を図っていくことについては、供用後の保全にとどまらず、新規の橋梁計画、設計において、供用後での維持管理の配慮がなされること、すなわち、造られる橋梁に対して事前に保全の考え方を与えていくことが重要になってきている。ここで、事前に保全を考えると述べたのは、橋梁を形づくるという段階から、維持管理の将来が約束されていくというシナリオである。よって、供用された後の保全をどのように意識して造られているのかについてその方向を示すことと、また、その配慮を同時に設計に反映させていくことが必要になってくると考える。

このようなことに関して、吉川・細井による文献3)では、種々の解決すべき課題とその解決の方向性や開発研究の可能性について貴重な題材を取り上げてまとめを述べているとともに、維持管理での配慮を設計段階へフィードバックすることの必要性を述べている。

そこで本論文は、橋梁環境の保全については橋梁の生成過程¹⁾から出発していると考えて、維持管理に関して一考察を加えることにする。また、いままでに関係してきた既設橋梁の調査から、維持管理上の幾つかの興味深い事例研究を紹介し、また、研究過程の中から、必要と考えてきた維持管理における意思決定支援などに関する研究について言及し、今後の橋梁の維持管理での一資料を提示するものとする。

2. 用・強・美

物は使われる目的を持って造られるのであるが、その物には「用・強・美」を備えていることが必要である。このことは、種々の土木構造物によって立場が違ふといえ、それぞれに異なる事柄である。どのような用途に供され、それがどのように使われていって、どのくらいの期間のあいだ耐え用いられるのかについて設定が行われ、それは設計条件に反映されるはずである。また、供用後の維持管理にあつては、後どれくらいの期間のあいだ供用ができるのかについての見極めが重要な課題である。また、その見極めがなされることによって効果的なランニングコストのかけ方の方向性を判断できることになる。

よって、図-1で示すように、「用・強・美」の3つは、橋梁を形づくる計画、設計段階から維持管理に至るまで配慮すべき3つの重要な要素である。

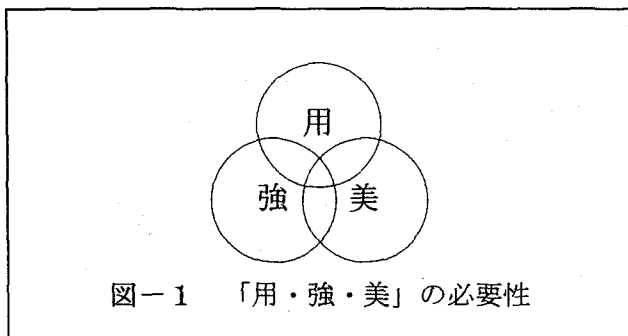


図-1 「用・強・美」の必要性

これらの要素は、維持管理の段階においても引き続き改善を要する場合もでてくるので、適当な時期に橋梁の利用実態の調査を行い、課題となる要素がないかどうかを点検、調査することも重要な過程である。

特に、道路橋、歩道橋のような公共の用に供する構築物では、不特定の利用者が種々の目的で通過していく。利用にあたっては、安全に、便利に、そして、快適に利用できることが望まれる。

ここでは、橋梁環境の保全に関する立場から、幾つかの要因について順次説明を行い取り上げていく。

(1) 「用」について

「用」については、用いる、使う、すなわち、橋梁では、安全性、使用性、機能性、利便性、快適性、景観性、衛生性、防犯性、防災性など種々のとらえ方がある。また、広い意味では、使いやすさ、構造のよさ、デザインのよさ、アメニティ（心地よさ）についての配慮が必要である。

(2) 「強」について

「強」については、通過する荷重を支え、安全で構造的に安定であること、そして、耐用期間の間、風雪や地震、洪水などの自然営力に対しての厳しい環境下にあつても耐えられるように、耐久性を備えていることが必要である。また、計画的な維持管理によって、耐用期間を保持できることが多い。

(3) 「美」について

「美」については、大きくは形態の美、そして、色彩

の美がある。美は不特定の人が見てそれぞれに判断するものであり、視覚的にすぐれた形と色の調和によって成り立ち、地域における環境に合わせることや背景となる景色との調和を図ることが必要である。なお、美の評価は人の主観的な部分によるところも多く評価の多様性があつて、客観的な評価を進めることも難しいのがこの「美」である。しかし、橋梁の美を追求していくことについては、供用後においても修景、改修などにおいて重要な事柄となつてきている。

3. 構造性能

(1) 構造性能の3要素

つぎに構造的な、立場からまとめてみると、橋梁における環境と作用荷重と構造の性能の関係で成り立つが、橋梁の構造性能について維持管理からとらえた要素をまとめてみると、図-2のようなものが示される。

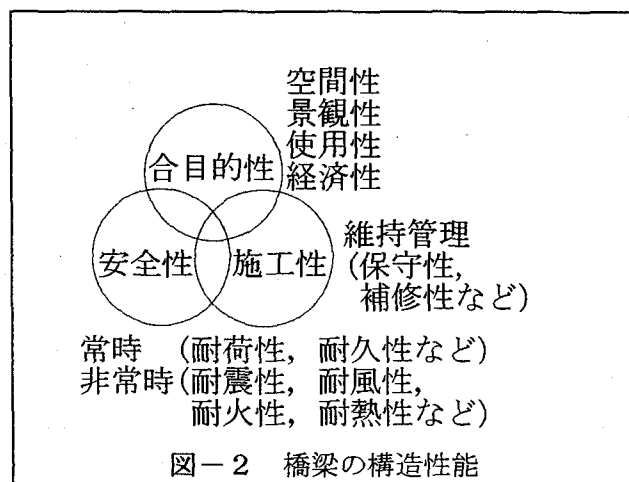


図-2 橋梁の構造性能

空間性は、空間機能や空間構成で、幅員、車線、高欄、路面などのあり方である。景観性は、形、大きさ、色、材質などの視覚的な構成のあり方である。使用性は、振動、変位、変形、ひび割れ、腐食、騒音などの種々の制限や要因のあり方である。経済性は、ランニングコストと性能保持のバランスのあり方である。また大きくは、ライフサイクルコストの考え方がある。

これらは、合目的性に関するものである。

つぎに、安全性に関しては、通常での構造的な安全性を確保する意味から、耐荷性を考える必要がある。また、長期間の使用に耐える意味から耐久性を必要とする。そして、地震、台風、火災、洪水、洗掘、津波などの異常時に対しての耐震性、耐風性、耐火性、耐熱性などの種々の性能のあり方が課題になる。

つぎに、施工性に関しては、供用後の維持管理のしやすさ、すなわち、点検や保守あるいは補修のしやすさ、点検や補修空間の確保が課題になる。また、さらに寿命が来たときまでを考慮するならば、解体のしやすさやそのコストの課題に及ぶことになる。

(2) 利用者の安全および快適さとコストとの関連

このように、橋梁は、合目的性、すなわち、ある利用

目的を持って造られ、安全にそして快適に利用できる環境が必要である。

このことは、維持管理においても言えることであり、使いにくい、不便である、あまり利用されなくなった、などの場合には、橋体が健全であって物理的に寿命があっても機能的、社会的な寿命に至ると判断される場合がある。あるいは、維持管理におけるランニングコストがかかり、効率的な補修効果が得られないなどにより経済的に寿命であると判断される場合もある。また、予期し得ない強い地震などによって、強度の損傷を受けるなどにより天災的な寿命に至る場合もある。

また、安全と使いやすさに関する配慮について、横断歩道橋（立体横断施設）のあり方は現在も大きな課題である。特に、近年のわが国の高齢社会化は他国に比して急速であり、バリアフリーデザイン（障壁除去設計）の考え方が必要になってきている。

しかしながら、文献4)などによればバリアフリーの現状は経済性などや維持管理とランニングコストを考慮すると新規構想から理想と現実のギャップがでてくるようでもある。これらを克服して行くことにより、社会的な必要性から言われるノーマライゼーション⁵⁾（だれもが支障なく安心して地域社会の中で生活できるようにするという共存・共生）を図っていくためには橋梁施設の改善も必要となってきた。特に、モビリティハンディキャップ（移動に対する障害）をかかえた人々の軽減策を配慮することが橋梁施設においても要求されるようになってきている。

また、利用者の安全と快適さを追求していくことについて、新規に架設された橋梁についてコストとデザインとの関係について文献6)のような貴重な実例報告および議論が進められている。これらはイニシャルコストに関する重要な課題である。

（3）管理および解体について

ここでは、利用されない橋梁についての扱いについて考え、橋梁環境の保全の重要性を述べる。たとえば、写真-1のような橋梁も現存している。また、架け替えなどのために解体を行う場合の対処をどのようにするか

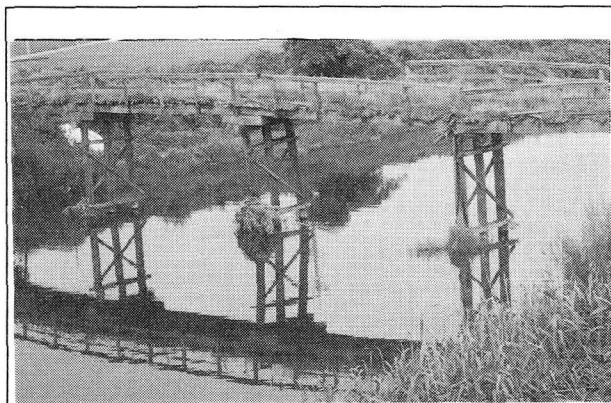


写真-1 利用されていない木橋の例

ど今後への研究課題がある。

このように、利用されなくなった橋梁をどのように管理するかは重要な課題になってくる。

たとえば、幾つかの方法をあげる。

- ①そのまま放置しておく（放置）
- ②安全対策と最小限の管理を行う（継続管理）
- ③解体する（解体）
- ④他の用に供する（転用）
- ⑤移設する（移設）
- ⑥文化的、歴史的、社会的価値の高いもの（保存）
- ⑦種々の研究用として提供する（研究、試験用）

などが考えられる。

写真-1のような木橋では、そのまま放置しておけば、徐々に朽ちていくので安全性に問題がでてくる。

このような利用されなくなった橋梁については、利用しないように対策を講じたり、安全対策のために最小限の管理が必要になる。そして、最終的に橋梁を撤去するには解体のためにコストがかかり、また、解体の方法、解体時での粉塵、振動、騒音などの環境への対策、解体により出てくる廃材の処理過程、そして、材料資源のリサイクルの可否などが課題になってくる。

以上のように、保全を考えていく上での幾つかの要素と課題について基本事項を述べてきたが、さらに、橋梁環境と保全について具体的に考える。

4. 橋梁環境と保全

（1）橋梁環境

ここで橋梁環境について、どのような配慮が必要になるかを考える。

まちづくりの中の一つの要素である橋梁の役割から見ると、橋梁は、日常での社会活動、経済活動に欠かせない施設であり、橋上を往来する交通荷重を安全に支えている社会基盤施設である。日常の交通活動を支えると共に橋梁の添架物（水道、電信線など）を伴う橋梁も多くあり、重要なライフラインである。そして、異常時には避難路としての機能を発揮することも必要であり、災害に強いことが必要である。また、それぞれにシンボル、ランドマークなどとしての愛着の持てる個性を持ち、美しさを保ち、安全で快適な環境を保つことが必要である。そして、人にやさしい歩行者の利用を配慮した空間の確保が望まれ、近年においては、バリアフリー環境の整備として、高齢者、障害者、母子などの利用を意識した環境、空間を考えたデザインが必要になってきている。

つぎに、維持管理の環境に関する視点から考えてみると、幾つかの課題が残されている。たとえば、点検とその点検結果に関しては、

- ①点検員の育成や点検基準の改善
- ②カルテの作成法
- ③損傷度の判定法

④点検結果などのデータベース化とその活用法

各種調査に関しては、

①作用荷重の実態調査法

②環境調査の方法

などであり、その他、検査、試験、分析、診断、補修、補強、改修などについても工夫すべき課題があり、種々の開発研究が望まれている。

(2) 保全

ここでは、保全について若干の用語を示し、その幾つかは英語を () 内に添える。

保全を的確に進めるには、その手段として維持管理 (maintenance) を行う。基本的には、現状を知るために点検 (inspection) が必要であり、そして、点検結果を分析し健全度の判定を進めたり、詳しい調査を行って、診断 (diagnosis) を行い、どのような対処を施すのがよいかを検討していかなければならない。

都市や建築なども含めた全般的な考え方の中には、保存 (conservation)、保全 (preservation)、保護 (protection)、修理 (repair)、復原 (restoration)、修復 (rehabilitation)、更新 (renovation)、刷新 (renewal)、再生 (revivification)、再活性 (revitalization)、再建 (reconstruction)、復興 (revival)、再興 (renaissance) などがある。これらについての解釈は広い。また、実際の対処においては、後の事例研究であげるように、幾つかを複合した取り組みにより実施されることがある。

橋梁は都市の一要素であり、都市計画の中に位置づけられることが多い。よって、時代背景を考えに入れば戦略的には上記の幾つかの考え方のどれかに対応するものと考えられる。

また、取り換え、置き換え (replacement)、補強 (reinforcement) というように具体的に戦術的な修繕形態があげられることになる。

なお、文献7), 3) などによれば、維持管理の区分では、予防維持管理、事後維持管理、観察維持管理、無点検維持管理があげられており、保全について、予防保全、事後保全があげられている。

これらの中で、近年、「美」において、景観を配慮するために、橋梁の表面を装飾材で覆ったり、または、「強」においては、補修、補強により、耐久性や耐荷性を高めるために防護材、保護塗料、補強材料などで被覆することが技術的に可能になり、施工される事例が多くなっている。このことによって、被覆されるために構造内部の点検が容易でなくなる場合も考えられる。非破壊検査の方法などの応用によって、内部を調査はできるようになってきてはいるが、従来の目視点検では外観のチェックしか対応しきれないと思われ、より高度な点検技術の開発、点検技術者の養成が必要になってくると思われる。

維持管理、保全ではこのように技術的に進歩していくために、絶えず新しい知識の蓄積と整理が必要になり、

また、各工法の施工実績とその効果、追跡調査などによって、補修方法の安全性、信頼性、耐久性の追求と改善が図られていくものと思われる。

5. 事例研究

以上では、「用・強・美」、構造性能、点検、維持管理、橋梁環境、保全について主な課題を述べてきた。ここでは、橋梁環境の保全に関する事例について、金沢市内の重要な橋梁の幾つかについて興味ある事例をあげて配慮すべき点について考察を述べることにする。

(1) 補強および使用性の配慮

事例として、ローゼ桁の道路橋の補強と使用性の配慮を行った例⁸⁾についてあげる。写真-2で示す対象橋梁(中島大橋、昭和30年架設、現在架設後約41年)は、支間36m、車道有効幅員9m、歩道は主構両サイドに幅員2mを持つローゼ桁橋であった。昭和47年、床版の損傷の発現とともに健全であるかどうかについて耐力力の評価、および、一般の車両の走行状態について動的応答調査を行った結果、耐力力の増強の必要性、および、上下振動が大きいことが歩行者の振動感覚の面から課題にあげられた。その結果として、昭和53年に景観的な配慮を加えて写真-3のようにローゼ桁に斜材を追加すること、また、耐力力の不足を考慮して、鉄筋コンクリート床版の取り換え(工期短縮のためにグレーティング床版)、補

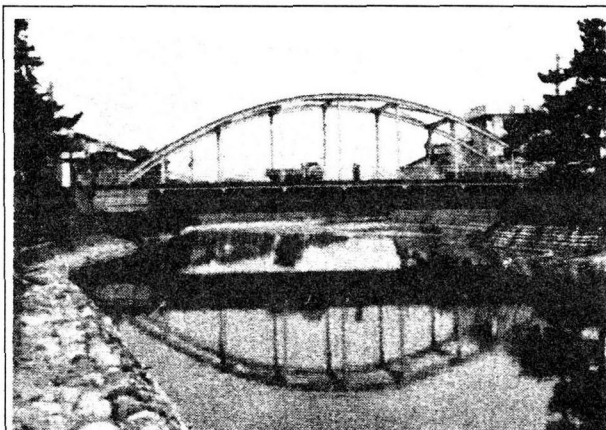


写真-2 補強前 (ローゼ桁)

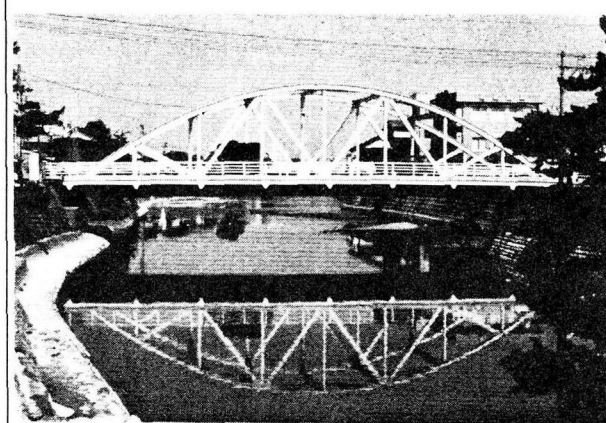


写真-3 補強後 (補強ローゼ桁：
ボーストリングタイプ)

剛桁、縦桁追加などの補強が実施された。

当然、幹線道路であるため通行止めを実施することは、都市活動に多大な影響を与えるために、その対策として片側ずつの工事（床版撤去に伴う騒音、粉塵などの防護対策を含む）を行い、片側の供用を行いながら工事を実施している。なお、一時期は必要のために、全面通行止めとしているが、ラッシュ時には片側を供用させている。

この事例の大きな特徴は、ローゼ桁の静的、動的な力学特性について、斜材を追加することにより、大きく改善を図り、補強ローゼ桁としていることである。

また、補強前、補強後について、一般の車両が通行している状態で動的応答測定を実施して、その補強効果の確認のために補強前後の比較検討を行っている。

その測定位置と測定点を図-3に示し、また、測定結果の波形の一例を図-4に示して特徴を述べる。

図-4における結果は、大型車が単独で走行していったときに生じた波形であり、それぞれ図-3に示す測定

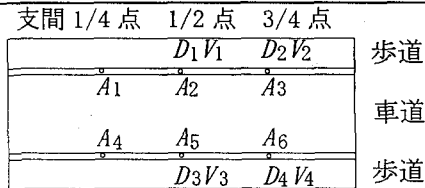


図-3 測定位置と測定点

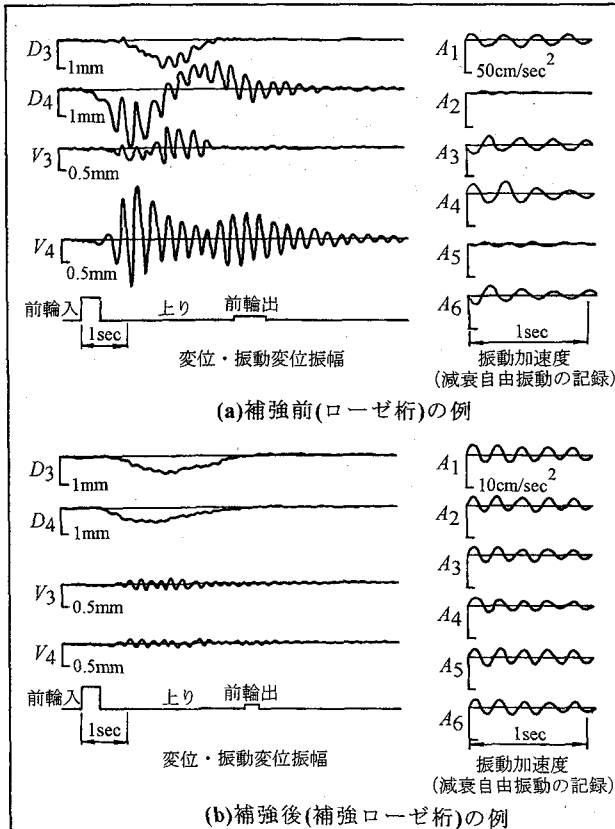


図-4 大型車の単独走行時の補強前、補強後の応答波形の比較⁸⁾

点の結果に対応している。それぞれ、 A は加速度、 V は振動変位振幅、 D は変位であり、 D と V は走行していった車線側の結果について示している。変位と振動変位振幅の補強前後の比較で顕著であるのは、 D_4 、 V_4 の波形が改善されていることである。アーチ系橋梁の特徴である支間1/4点での変位や振動が大きくなる特徴が、斜材を追加することで解消され、結果として振動や変位が小さくなっているなど、この調査⁸⁾により、補強による効果を確認できた。

この事例で結果的につぎのことがいえる。「用・強・美」に関して、①歩行者の振動感覚量の低減（使用性の配慮）を図れた、②耐荷力を高めた、③斜材の配置は力学的に効果的な部分のみでなく橋梁形状全体の景観的な配慮も加味して決定された、④補強前後に一般の通行する車両を対象にした動的応答測定による調査を実施して補強効果の確認を行うことができた。

(2) 補修・補強と色彩修復

興味ある事例としては、最近、補修・補強と色彩修復を行った対象橋梁（犀川大橋、1924年竣工、供用後約72年と長い供用期間である）の例⁹⁾があげられる。対象橋梁は、支間60.96m、車道有効幅員12.45m、歩道は主構両サイドに幅員1.9mを持つ下路式単純曲弦ワーレントラスである。ここでは主に色彩修復について文献9)を基に概要をあげる。塗装の補修歴では、1966年はカーキ色、1975年には白色クリーム色、1984年には黄緑色、そして、1993年の文献9)では、「…下部から上部へ次第に明るくし、空中にとけこむようにしてトラス橋の重さと景観にバランスを図った…」として、配色は青色系で5色に塗りわけ、色相は10B、明度／彩度は順に、7.5/1, 6.5/2, 5.5/4, 4.5/6, 3.5/8で計画され、現在はこの色彩環境で利用されている。なお、マンセル色名（色相・明度／彩度）での表現では、上記の最初の色は10B7.5/1と表現される。

補修歴、調査歴も数回にのぼるが、今回の補修・補強は、トラスの格点部の顕著な腐食に対しては補強プレートで補強、緩んだリベットは高力ボルトに取り替え、再塗装空間を考えた工夫、また、主な垂直材はPC鋼材で補強が検討され、床版断面の修復や表面被覆工法（保護）、橋台ではひび割れ注入工法が検討された。

歩道部は、改修されてバルコニーが設けられ、高欄、路面、照明などが改善されて、写真-4のように歩道幅員（3.0m～4.0mに拡幅）も広く落ち着いた快適な空間となっている。

この事例では、再塗装は約9から10年程度で検討されていると考えられるが、近年ではその都度、色彩や補修をどのようにするかを有識者を含めた各検討委員会を設けて慎重な対応を図っている。今回の色彩修復では、配色を5色に塗り分けるなど斬新な取り組みであり、全国的にも大きく注目された事例である。

なお、この対象橋梁の色彩修復後における景観に対し

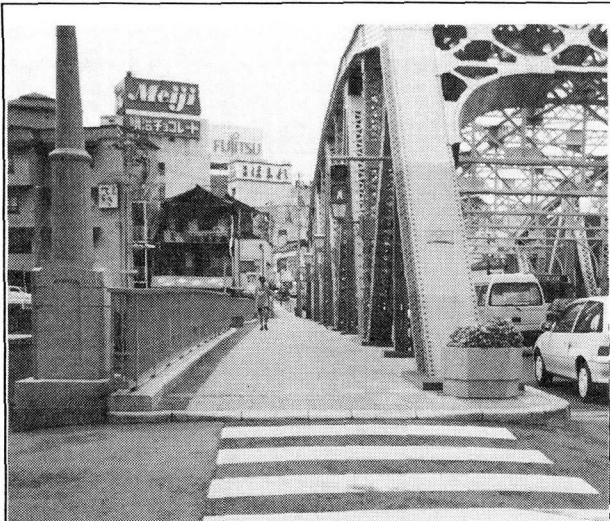


写真-4 5色に漸増漸減（グラデーション）の配色法がとられた主構の色彩修復

て、主な視点場から色彩輝度計を用いたり、写真をとるなどにより色彩分析を行ってみたのが文献10)である。この研究は、色彩の計測と背景を含む橋梁景観における色彩分析をどのように進めたらよいのかを模索し、測色値の比較検討を行ったものである。

（3）耐用性調査および機能的な課題

この事例は、対象橋梁（御影大橋、昭和26年架設、現在供用後約45年）についての事例（写真-5）であり、また、その経過について若干の考察を述べる。

対象橋梁は、側径間は下路式ポニーワーレントラス（支間28.5m）、中央径間は下路式曲弦ワーレントラス（支間46.0m）であり、橋長（105m=29.0+47.0+29.0）、有効幅員（歩道2.0m、車道9.0m、歩道2.0mで主構中心間隔10.2m）である。文献11)の調査（昭和56年）では、外観調査、載荷試験、動的走行試験などを行い、耐荷力の検討、試験結果の比較検討（昭和43年、昭和46年、昭和56年の調査結果の比較）、歩行者の振動感覚に関する分析を行っている。そして、耐用性診断として、耐荷性、耐久性・安全性、変形性、使用性、そして、総合診断について述べ、耐荷力の不足、幅員が狭いなどの機能的な課題

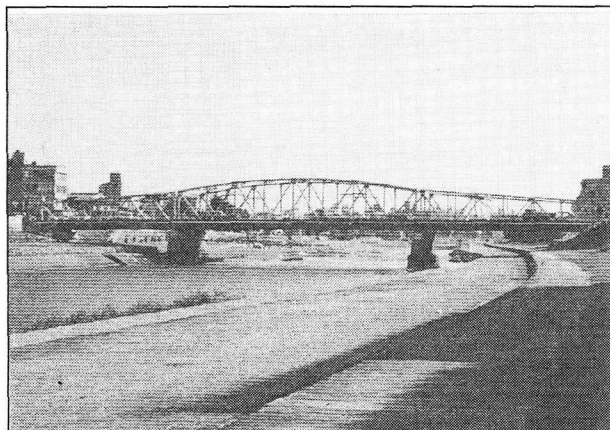


写真-5 耐用性調査と機能的な課題

題をあげている。

そして、これらの調査後においても、伸縮継手部の損傷が生ずるなどコンクリート床版の損傷の進行などの懸念から、昭和59から60年にかけて鉄筋コンクリート床版を鋼床版に置き換えるなどの大がかりな補強対策を実施している。なお、都市交通の重要性、社会的な影響から通行止めはできないとして、河川に架かっている対象橋梁の両サイドの数十m離れたところに隣接して桁橋を仮設（レンタルによる仮設構造物）し、上下車線を振り分けるという対応策を採用している。

しかしながら、対象橋梁につながる道路幅員は12mで4車線であり、渋滞も続いており、橋上では幅員9mとなっていて基本的に幅員が狭いという点においては、現在も大きな課題となっている。

このように、何回かの応急処置や補修などを経て適切な補強対策を施すことによって、構造的な面で耐荷力が確保できる可能性があっても、構造的に拡張が難しい橋梁では、機能的な問題を抱えており、今後の対応について慎重な代替案策定が課題となっている。

（4）修復と高欄などの改修

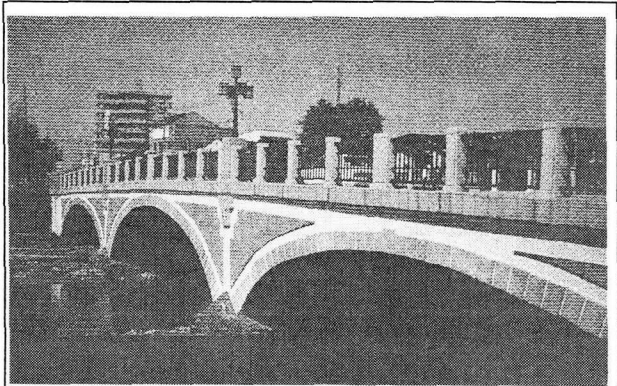


写真-6 修復と高欄改修

この事例は、対象橋梁（浅野川大橋、大正11年、現在供用後約74年）についての補修事例である。上路橋の鉄筋コンクリート3径間連続固定アーチ（橋長55.0m、幅員15.6m：内車道幅員12.5m）である。架設当時の一般図によれば、高欄、照明灯などは大正ロマンをただよわせる落ち着いたデザイン¹²⁾であった。その後、高欄が取り替えられたり、寿命などから照明灯が除かれたりして以前の面影が少なくなった。歩道部も狭く、また、アーチ側面などのコンクリート表面の劣化の懸念から、表面のお化粧に関する補修と歩道の改善ならびに大正ロマンを取り戻すような高欄、照明灯の復原に似た改修が施されたのが大きな特徴であり、写真-6のように現在は優美で落ち着いた姿を見せている。

（5）木製の高欄と桁隠しなどによる配慮

この事例は、対象橋梁（梅の橋、昭和53年架設、現在供用後約18年）についての保全の事例である。

3径間連続鉄桁（橋長66.5m、幅員4.8m）の歩行者と自転車の専用橋であり、アプローチ部では車いすの利用も

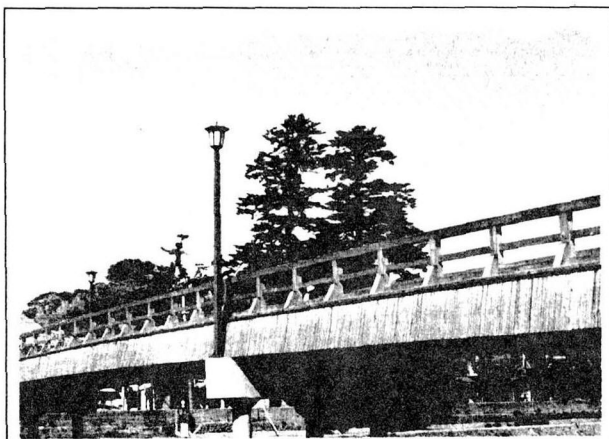


写真-7 木製の高欄と桁隠しなどによる配慮

考慮してスロープ部を設け、また、旧来の歴史的な流れや文化も考慮しており、写真-7のように高欄は木製であり、また、木板を用いた桁隠し、橋脚上部には木目模様を設けるなど、まるで構造が木橋であるかのような落ち着いた雰囲気と景観を形成している。当然、天然木の無垢材であるとすれば、次第に朽ちることになるのであって、対象橋梁のような木材を利用した高欄、桁隠しなどのあり方、維持管理、補修技術が課題である。

(6) 歴史的に貴重な橋梁の架け替え

この事例は、対象橋梁（石川橋）の架け替えについて文献13)を基に若干の考察を述べる。

石川橋は、明治43年に金沢城の百間堀を埋め立てて公道化する際に、この公道をまたぎ兼六園と金沢城石川門を結ぶ橋として明治44年にコンクリートアーチ橋として築造されたものである。写真-8に示す解体前の石川橋（旧石川橋）は、築後約82年であり、土木史的にも価値のある橋梁であった。

しかし、旧石川橋のアーチ下にある道路では交通量が多く、渋滞し、隣接するバス停のためのバスベ이의確保の必要性、歩行者の安全の面から、幅員（11.5m：歩道1.5m、車道3車線9.5m、路肩0.5m）が狭いために機能的な課題を残してきた。また、橋体の側面などのモルタルの劣化、ひび割れ、表面モルタル部分の浮きなどが懸念され、耐久性についても課題であった。このような状況下にあって、道路の幅員を新規の幅員（20.7m：歩道4.2m、車道4車線13.0m、歩道3.5m）に整備する計画が持たれ、平成元年から基本デザインに入り、計画策定に関わる種々の審議を重ねて平成7年4月に新しい石川橋（写真-9）が完成している。デザインにあたっては、有数の観光地であることもあって、整備計画、側面計画、断面計画、平面計画、色彩計画、細部計画などについて慎重な対応が行われている。着工は平成4年9月であり、着工後、城跡であることもあって埋蔵文化財調査を配慮した作業工程がとられている。

旧石川橋については、目視調査、関連図書調査、非破壊検査が実施されるなど、解体時には種々の専門的、力学的な検査、調査が行われ、工学的にも興味ある築造が

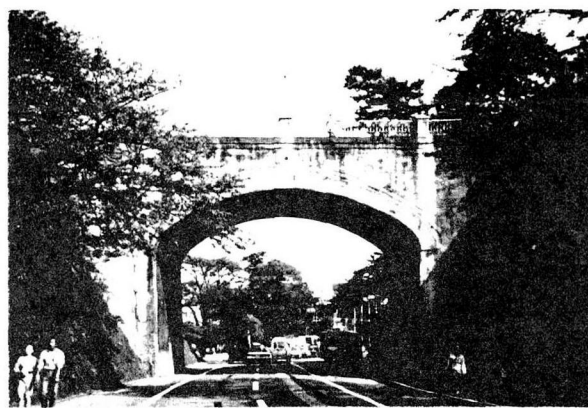


写真-8 解体前（旧石川橋）



写真-9 架け替え後（石川橋）

なされており、貴重な資料が得られている。

なお、解体に伴って、利用者への配慮を図り、連絡橋として仮の歩道橋が隣接して設置され、また、橋下の道路の交通については、その多くを供用状態で維持するように配慮し、安全対策に配慮して仮設構造物や防護をしている。そのために、このデザインやコストの面からは文献6)によれば、石川橋が事例として述べられており、景観配慮、環境配慮、安全対策のためにコストがかかったことがうかがえる。

本例は架け替えの事例ではあるが、橋梁環境の保全という立場からは、当事者のみならず、有識者からの貴重な意見の反映、市民アンケートによるエンドユーザーからの意見の反映などの取り組みがあり、重要な事例になろうと考えられる。

(7) 考察

金沢市内における幾つかの代表的な対象橋梁の事例をあげて各橋梁ごとの興味ある維持管理・保全の過程について述べてきた。この代表的な事例の幾つかは耐用年数を重ねてきた歴史ある橋梁であったことから、古都・金沢の地域性、文化性、歴史性を配慮することの重要性、必要性を知ることができる。また、保全は単に工学的な橋梁という範ちゅうのみでは語れないことがうかがえ、都市施設の中の橋梁施設、あるいは地域の橋梁というようにとらえ方が必要なことが分かる。

考察をまとめると、維持管理や保全を進めることについて、①点検、調査、検査、試験などによる的確なデータの収集、分析、判断、②特定の技術的な解決だけに終始するのではなく、代替案を幾つか策定し、③広く有識者や市民の代表から意見を聞き、集約し、④計画や基本設計に反映し、⑤環境に配慮し、⑥空間に配慮し、⑦利用者の快適性へ配慮し、⑧安全対策に配慮し、⑨施工環境への配慮を行っていると考えられる。

そして、⑩参考文献9), 13)のような関連図書のまとめと整備編纂がなされることも重要なことである。

6. 維持管理・保全にかかわる手法の模索

橋梁環境の維持管理・保全に関する「用・強・美」について筆者は幾つかの研究に参加してきた。関連する文献の例などをあげて手法の模索について述べる。

(1) 「強」について

まず、「強」について、外観調査や耐荷力に関する試験調査としては、すでに示した文献1), 8), 11)の他に、さらに文献14), 15)をあげることができる。これらの場合にも、それぞれに特徴があった。

前者は、鉄筋コンクリートT桁橋であり、施工不良、漏水などにより桁下面、ゲルバー部分のコンクリートの剥離、鉄筋露出など種々の損傷例がみられた。また、載荷試験による結果、および、交通荷重の現状からすれば、耐荷力は満足するものと考えられたが、桁側面や下面などのコンクリートの劣化を放置すれば、結果的に耐荷力を低下させていくことにつながり、耐久性の面から対応が必要と判断される有用な例であった。

後者の場合は、特殊大型車の通過に伴う合成桁橋の補強とその補強前後の載荷試験による安全性確認の例である。1台の特殊大型車(TT-146:車両の重さ約146tf)がゆっくり通過することによって、設計活荷重に近い応力が生ずるという希な調査であった。

このような、橋梁の損傷実態、載荷試験、交通状況の実態調査などの経験から、文献16), 17)のように橋梁の損傷とその評価に関する研究を試みてきた。

その後の関連する研究分野では、パーソナルコンピュータ(パソコン)の普及と共にパソコンを利用したシステムとしての研究が多く発表されるようになった。たとえば、橋梁診断システムに関する西村・藤井らの文献18)が注目される。

また、点検については、健全度判定に必要なデータを得るという基本的な事項であり、点検員の技能や損傷度判定基準の改善策に着目することが重要であるとした三上・山口らの文献19)の研究が注目される。

筆者らにおいては文献20)のように、損傷要因分析の支援手法について検討し、幾つかの分析手法を使って損傷の要因の因果関連図を順次作成し、それを基に損傷原因を求め、対策については階層分析法(AHP: Analytic Hierarchy Process)を用いて補修代替案の中から選定す

るという意思決定の支援方法を提案した。

その後、文献21)のように、有用な表現法としてハイパーテキストを援用することに着目し、損傷評価を試みる例を提案し、今後の可能性について言及した。この研究では、文献22), 23)を参考にハイパーテキストを援用して、パソコン上への移植を試みている。

図-5は、移植過程における一画面であるが、ハイパーテキスト表現によって順次、目的のテキストへジャンプして順次にリンクしたり、説明をポップアップしたり、図の適当な部分にホットスポットが設定できるなどの機能を使っている。そして、多くの操作はマウスのクリック操作によって行えるので、損傷ランクの判定を進めることに応用したり、あるいは、点検や損傷の過程や損傷図の説明や補修対策法に関する自主訓練用などに利用が図れるなど、種々の利用に有用な表現法であると言える。

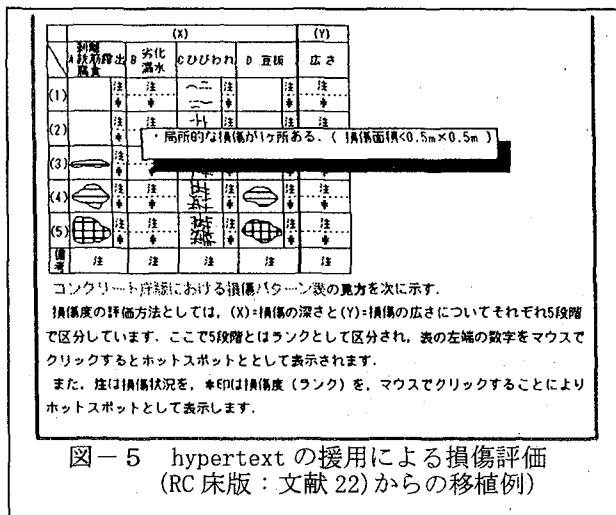


図-5 hypertextの援用による損傷評価
(RC床版: 文献22)からの移植例)

つぎに、橋梁上を通過する交通流や車両の重量の実態を把握する方法論が重要であるとして、鋼桁におけるせん断ひずみ成分を動的測定することに着目し、桁に作用する輪荷重による荷重効果を検出する研究成果を文献24)などで述べてきた。なお、路面上に設置して観測できる交通流自動観測システムの開発の例については梶川・西沢らの文献25)が注目される。

また、耐荷力の評価法が重要であるとして、数値的な結果について評価するのみでなく、図的表現法を用いることの必要性和その方法の有用性について文献26)に提案した。作用荷重のシミュレーションによる感度分析、あるいは耐荷力の再評価などに図的表現を用いて視覚的な判断を加えた利用が図れる。

また、点検データとそのデータの利用法に着目することが必要であるとして、定期点検により得られる多くの橋梁に対する点検結果について、データベース機能を基に点検データ管理システムの構築を試み、また、そのデータを利用して数量化分析などを応用した分析を進める研究例を文献27)で提案してきた。

(2) 「美」について

橋梁の美に関する研究が進んできているが、橋梁景観の評価に着目して、橋梁の形や色に関する評価実験を文献28)で検討してきた。また、近年、橋梁景観の演出についてコンピュータグラフィックスを使って形態や色彩のデザインを検討することが多くなってきているが、表示される色彩を具体的にマンセル色名などの色彩表現法に読み替える方法が必要になってきている。この色彩に関する分析法についてさらに研究が必要であるとして、近田らと色彩表現について文献29)で提案してきた。そして、既に述べた文献10)などでは、橋梁景観に対してどのように実際に色彩分析を進めたらよいのかについて試みている。

(3) 「用」について

そして、近年の橋梁環境の保全として着目しなければならないのは、文献3)で述べられている安全と快適さの追求であり、橋梁管理を行う当事者における保全に関する課題では、補修による「強」の保持や「美」の追求という視点の他に、「用」については、利用者であるエンドユーザーの意見を反映することが望まれている。この「用」については文献30)で考え、幾つかの橋梁を調べるとともに、バリアフリー化についての要因についてまとめ、また、橋梁環境の改善についての意思決定支援を試みている。

7. あとがき

以上、橋梁環境の維持管理・保全に関して種々の有用な事例や筆者が関係してきた幾つかの研究について関連づけて考察を述べてきた。これらを総括し、まとめを加えたとともに今後の展望、課題を述べる。

近年、橋梁は厳しい交通荷重環境の下で供用されている中で、車両の側においては過積載車両に対して法的に厳しい規制が出されたものの、橋梁においては設計荷重が強化された。将来的には、道路の規格が強化されていくとともに、車両の大型化などが徐々に進み、輸送の効率化が図られていくものと思われる。したがって、維持管理においては、既設橋梁の耐荷性についての再評価や現状の交通実態把握が必要になってくると考えられる。また、その他に、実務的に橋梁点検、カルテの整備、損傷の診断、そして、補修計画・補修方法の課題もある。よって、橋梁環境の現状と将来の保全について、さらに改善を図ることを目指して、合理的に評価や意思決定を支援することができる方法論が必要になってくると考えられる。

本論文では、その幾つかの課題について興味のある事例を取り上げ、また、手法の模索においては関連した幾つかの文献をあげて上記の動向に対応した「用・強・美」に関する研究成果を一資料として提示した。

このように「用・強・美」の課題に着目してみると、今後の保全においては、橋梁環境に関するケア(care)、リフレッシュメント(refreshment)、アメニティ

(amenity)、すなわち、橋梁環境に対しての行き届いた配慮と対処、活性化、快適化が必要になってくるものと考えられる。

その他の考察を簡単にまとめる。

- (1) 橋梁環境の保全に関して、基本的な幾つかの必要事項と課題について述べ、橋梁の保全は橋梁を形づくる時点、すなわち、計画、設計から既に始まっていくことを述べた。
- (2) 広い意味の保全という立場から、橋梁設計では、今日、景観設計を行うことが積極的になったように、供用後の維持管理に役立てるためには、橋梁の性能や特徴および維持管理の方向性を設計図書の中に明らかにしていくような積極的、かつ、熱意的な姿勢が試みられることが望まれる。
- (3) 維持管理、補修、寿命、解体、あるいは架け替えを意識した、または、将来を見通した新しい設計理念が生まれてくることが望まれる。
- (4) 橋梁環境の保全には、意思決定に関する課題が多い。それらの解決には、事例研究で述べた例を見ても、管理する当事者のみではなく、広く有識者やエンドユーザーの意見を参考にして意思決定をする場合が多くなっているものと考えられる。

つぎに、今後の展望をあげてまとめとする。

本研究の中で示したようなハイパーテキスト、あるいはマルチメディアを利用した橋梁の点検、診断、あるいは、意思決定を支援する研究が期待される。

最後に、本研究をまとめるにあたり貴重な御助言をいただきました金沢大学工学部梶川康男教授ならびに近田康夫助教授に深く謝意を表します。

参考文献

- 1) 小堀為雄・城戸隆良・津田和俊・近田康夫：橋梁診断の基礎概念と既存橋の診断例について、第29回構造工学シンポジウム 既存構造物の診断・補修・保守等に関する諸問題等、pp.19-26, 1983-2.
- 2) 森 弘・大島俊之・三上修一・天野政一・井上実：コンピュータ・グラフィックスと数量化理論を応用した橋梁の維持点検評価法、土木学会論文集、No.501/I-29, pp.113-121, 1994-10.
- 3) 吉川 紀・細井義弘：橋梁の安全と快適のために、構造工学論文集、Vol.42A, pp.881-889, 1996-3.
- 4) 人にやさしいバリアフリーの現状一、建設通信新聞、p.(4), 1996-8-19.
- 5) 日本道路建設業協会主催、第8回道路技術シンポジウム(1)、人にやさしい道づくりー21世紀の快適空間をめざしてー、道路建設、No.566, pp.44-50, 1995-3.
- 6) 特集 橋のコストパフォーマンス論 ケーススタディで探る「デザインの経済性」、pp.42-74, 日経コンストラクション(特集 環境デザイン96), 7

- 月12日号, 日経BP社, 1996.
- 7) 溝口 忠: 土木構造物のリハビリテーション, 土木技術, Vol. 44, pp. 28-29, 1990.
 - 8) 小堀為雄・本田秀行・城戸隆良: 中島大橋(ローゼ桁)の補強に関する調査, 橋梁と基礎, pp. 16-22, 1979-9.
 - 9) 建設省北陸地方建設局金沢工事事務所: 一般国道157号 古き良き金沢の風情を残す 犀川大橋, 1993-7-26.
 - 10) 近田康夫・辻角 学・城戸隆良・小堀為雄: 橋梁景觀写真の色彩分析に関する一考察, 鋼構造年次論文集, 第3巻, pp. 245-252, 1995-11.
 - 11) 小堀為雄・城戸隆良・出村禧典・本田秀行・石見聖吉: ワーレントラス橋(御影大橋)の耐用性調査の一例, 橋梁と基礎, pp. 46-51, 1983-4.
 - 12) 城戸隆良: 金沢市街地橋梁の現状診断とテーマ性探究, 論集 開発と保全, 第14号, 社団法人 地域振興研究所, p. 29, 1984-5.
 - 13) 石川県土木部都市計画課・石川県金沢工事事務所: 兼六園周辺文化ゾーン 都市計画道路/寺町今町線(シンボルロード整備事業) 生まれ変わる石川橋 主要地方道/金沢湯涌福光線(百間堀通り), 平成7年度.
 - 14) 小堀為雄・城戸隆良・近田康夫・本田秀行: RCゲルバー桁橋の健全性調査の一例, 橋梁と基礎, 19巻12号, pp. 35-40, 1985-12.
 - 15) 城戸隆良・近田康夫・小堀為雄: 特殊大型車の通過に伴う桁橋の補強と載荷試験, 第17回日本道路会議一般論文集, pp. 823-824, 1987-10.
 - 16) 小堀為雄・城戸隆良・近田康夫: 既存橋の健全度判定に関する基礎的研究, 金沢大学工学部紀要, 19巻, 2号, pp. 83-91, 1986-10.
 - 17) 近田康夫・城戸隆良・小堀為雄: パーソナルコンピュータによる橋梁損傷エキスパートシステムの試作に関する一考察, 金沢大学工学部紀要, 23巻, 1号, pp. 13-20, 1990-3.
 - 18) 西村 昭・藤井 学・宮本文徳・梶谷義昭・春名真義: 既設橋梁の耐荷力評価とその検証に関する研究(下), 橋梁と基礎, pp. 34-39, 1987-3.
 - 19) 三上市藏・山口良弘・安藤 強・荒東伸一: 鋼橋における点検方法と損傷度ランク判定基準の改善策について, 鋼構造年次論文報告集, Vol. 2, pp. 531-538, 1994-11.
 - 20) 城戸隆良・近田康夫・小堀為雄・川上直之: 橋梁診断での損傷要因分析の支援手法, 土木情報システム論文集, 土木学会, Vol. 3, pp. 47-54, 1994-11.
 - 21) 城戸隆良・近田康夫・小堀為雄・青山隆二: 橋梁損傷評価へのハイパーテキスト援用に関する一考察, 土木学会中部支部平成7年度研究発表会講演概要集, I-26, pp. 51-52, 1996-3.
 - 22) 建設省北陸地方建設局北陸事務所: 橋梁情報検索システムBIRESの開発, 1981.
 - 23) 建設省土木研究所構造橋梁研究室: 土木研究所資料, 橋梁点検要領(案)/橋梁損傷事例写真集, 1988.
 - 24) 城戸隆良・近田康夫・小堀為雄・若林 修: セン断ひずみ成分の測定に着目した鋼桁橋の荷重効果の抽出法, 構造工学論文集, Vol. 39A-III, pp. 1169-1176, 1993-3.
 - 25) 梶川康男・西沢辰男・杵本正信: 可搬式自動車交通流自動観測システムの開発, 土木学会論文集, 第391号/VI-8, pp. 107-114, 1988-3.
 - 26) 城戸隆良・近田康夫・小堀為雄: 図的表現による橋梁の耐荷性評価の支援手法, 土木情報システム論文集, Vol. 2, pp. 97-104, 1993-10.
 - 27) 近田康夫・橘 謙二・城戸隆良・小堀為雄: 地域特性を考慮した橋梁点検データの分析, 鋼構造年次論文報告集, 第2巻, pp. 547-554, 1994-11.
 - 28) 小堀為雄・城戸隆良・近田康夫: 橋梁景觀の評価実験手法に関する一考察, 金沢大学工学部紀要, 22巻, 1号, pp. 39-48, 1989-3.
 - 29) 近田康夫・宇野正高・城戸隆良・小堀為雄: パーソナルコンピュータ上でのCGにおける色彩表現に関する一考察, 第17回土木情報システムシンポジウム論文集, pp. 113-118, 1992-10.
 - 30) 城戸隆良・近田康夫・小堀為雄: バリアフリー化に伴う橋梁環境の改善要因に関する一考察, 鋼構造年次論文報告集, 第3巻, pp. 136-146, 1995-11.

(1996年9月6日 受付)