

北海道国道橋における補修必要度レベルの検討

Investigation on the maintenance necessity level in national highway bridges in Hokkaido

北見工業大学大学院

○学生会員

高木善之 (Yoshiyuki Takagi)

北見工業大学

正会員

三上修一 (Shuichi Mikami)

北見工業大学

フェロー

大島俊之 (Toshiyuki Oshima)

北見工業大学

正会員

山崎智之 (Tomoyuki Yamazaki)

(財)北海道道路管理技術センター

正会員

竹田俊明 (Toshiaki Takeda)

1. はじめに

我が国では、高度経済成長期に全国的な道路交通網の整備事業が進められ、多くの道路橋が建設されてきた。2030年には我国の道路橋の50%以上が橋令50年以上になるといわれている。これらの橋梁の中には、近年の交通量の急激な増加及び車両の大型化に伴い、当初の設計よりも過酷な供用条件の下で長期間の使用に耐え、著しい損傷を受けているものも多く存在する。また、近年では大型地震などの自然災害が頻発し数多くの土木構造物が被害を受けている。橋梁をはじめとする土木構造物が自然災害による被害を受けることは、被災者の救助や物資の輸送などに影響を及ぼす。このような二次的な被害を最小限に抑えるためには、橋梁の補修・補強は必要不可欠である。しかし、我が国の経済情勢における財政難は深刻化しており、橋梁に対しても一様の維持管理業務が遂行されにくい状態である。そこで、将来の経済状態を考慮すると、限りある予算の中で、最適な維持管理業務を遂行するために橋梁維持管理システム(BMS(Bridge Management System))の開発が必要であると考えられる。

以上の背景から、本研究では、路線に対しての社会的価値や交通量、さらに橋梁の重要度を含めて健全度状態や機能性の評価を検討し、それらを用いて補修の必要度を数値化することを目的としている。

2. 補修必要度レベル Ln の概要2.1 Ln の定義

本論文では社会的に重要な橋梁をいかに優先的に補修の対象とするかを決定するために補修必要度レベル Ln を提案する。 Ln は、路線の重要度係数 α 、走行費用係数 β 、橋梁重要度係数 γ を用いて橋梁の果たす社会的役割や重要性を考慮する。また物理的劣化による老朽化を示す指標と橋梁が社会的に要求される機能性を示す指標を用いて式(1)を定義する。式(1)は、中カッコ内の橋梁物理的健全度の劣化度および機能性の不適合度の評価を基本として、これに先頭の3つの割増係数 α 、 β 、 γ を乗じることによって成り立っている。割増係数の採用にあたっては、路線整備効果の評価における重要因子を考慮するとともに^{1),2),3)}、橋梁の規模を考慮する因子を組み込んだ内容となっている。この式(1)の数値が高い橋梁から補修の優先度が高いと判断される。

$$Ln = (1 + \alpha)(1 + \beta)(1 + \gamma) \left(\frac{St_0 - St}{St_0} + a \frac{Ft_0 - Ft}{Ft_0} \right) \quad (1)$$

 α : 路線の重要度係数 β : 走行費用係数 γ : 橋梁重要度係数 St_0 : 建設初期の橋梁物理的健全度指数 St : 現在の橋梁物理的健全度指数 Ft_0 : 現在の基準で要求される橋梁機能性評価指数 Ft : 供用中の橋梁の機能性評価指数 a : 機能性評価に対する重み係数2.2 路線の重要度係数 α

路線の重要度係数 α は三重県の道路整備10カ年整備プログラムの路線評価価値資料を参考に算出した。この道路整備プログラムでは「生活安全性」、「生活利便性向上」、「地域活性化支援」等に必要の評価項目36項目に点数を定め、加点方式による路線評価を行っている⁴⁾。本論文では、北海道の地域特性を考慮し、36項目に対してAHPを用いて評価点数を決定した。その点数を100で除したものを路線の重要度係数 α として定義した。

2.3 走行経費係数 β

走行費用係数 β は交通センサス⁵⁾、国土交通省・道路IRサイトの費用便益分析マニュアルを参考に交通量から路線価値を算出した。表-1は β の算出方法についてまとめている。費用便益分析マニュアル⁶⁾より各車両別の走行経費 C を算出し、各交通観測地点間の区間延長距離 L で除することで各区間の走行費用 P を求めた。また、各支庁の総走行費用を総調査区間延長で除することで単位区間走行費用 P_v を算出した⁷⁾。各交通観測区間の走行費用を単位区間走行費用で除することで走行費用係数 β と定義した。

表-1 β 値の算出方法

路線区間名	走行経費	延長距離	走行費用	β 値
A区間	C_1	L_1	$C_1/L_1=P_1$	$P_1/P_v=\beta_1$
B区間	C_2	L_2	$C_2/L_2=P_2$	$P_2/P_v=\beta_2$
C区間	C_3	L_3	$C_3/L_3=P_3$	$P_3/P_v=\beta_3$
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
M区間	C_m	L_m	$C_m/L_m=P_m$	$P_m/P_v=\beta_m$
	$\sum C_m$	$\sum L_m$	$\sum C_m / \sum L_m = P_v$	

2.4 橋梁重要度係数 γ

橋梁重要度係数 γ は、橋梁資産係数 γ^* に迂回路係数 δ を加算することによって、橋梁自身の価値を評価した。ここで、 γ^* は再調達価格(建設費)を平均再調達価格で除した値である。再調達価格は現時点で同じ機能の橋梁を建設した場合にかかる各部材の単価を合計したもので、橋梁の規模や部材の種類によって変化する値である。このことによって、再調達価格が高い橋梁は健全度や機能が下がると、補修の際に高いコストが必要となるため、早期に補修すべき橋梁として反映させることができる^{8),9)}。また、 δ はその橋梁が通行不能となったときのユーザーへの負担を考慮するために、損失走行経費を通常走行経費で除することによって算出した値である¹⁰⁾。

2.5 橋梁物理的健全度指数 S_t

橋梁物理的健全度指数 S_t は橋梁の資産価値を考慮した物理的健全度指数(BHI)を用い、補修必要度レベル Ln の算出において S_t 値として BHI を用いたものを定義する。

橋梁物理的健全度指数は、橋梁の各部材の損傷度(損傷の程度及び規模)を表す物理的状況と各部材の資産価値などの経済的状況を相関して総合的に健全度を評価できる指標である。BHIの定義を式(2)に示す⁸⁾。

$$BHI = \frac{\text{現在資産}}{\text{再調達価格}} \times 100 \quad (2)$$

ここで、再調達価格とは建設当初と同じ機能の橋梁を現在再建した場合の経費であり、すなわち全部材が健全な状態の橋梁全体としての資産価値である。現在資産は今現在、すなわち供用開始後、劣化損傷により健全度が低下した状態の橋梁全体の資産価値である。

2.6 橋梁機能性評価指数 F_t

橋梁の寿命は物理的寿命、経済的寿命、機能的寿命の3つに大別される¹¹⁾。ここでは、この機能的寿命に関する橋梁機能性評価について、重み係数を用いた健全度評価を検討する。機能的寿命とは、社会基盤の一つとしての橋梁が、時代の変化に伴い社会的要求機能を果たせなくなることである。

構造物の性能設計を考える場合に要求性能のひとつとして構造物の施工時、供用時に要求される基本性能がある。基本性能は、「安全性」、「使用性」、「環境適合性」に分類されている¹²⁾。そこで本論文では社会的要求機能を「耐久性」、「耐震性」、「使用性」、「維持管理性」、「環境適合性」の5項目に分類することによって橋梁の機能性を評価することとした。図-1はこの機能性を評価する項目に関する分類を階層的にまとめた図である。また、図-1の階層図を基にしてアンケート調査を行い、AHPを用いて重み係数を算出した。アンケート調査は、学識経験者9名に回答を依頼した。重み係数の算出結果を図-1の右端に示す。なお、機能性評価手順としては、まず重み付けされた22項目について、それぞれを1点満点で評価する。次にその点数(I_i)に各項目の重み係数(W_i)をかける。算出された各項目の点数の合計が、100点満点で評価した機能性評価指数となる。式(3)に機能性評価指数 F_t の計算式を示す。

$$F_t = \sum_{i=1}^{22} (I_i \times W_i) \quad (3)$$

I_i : 各項目の点数(1点満点)

W_i : 各項目の重み係数

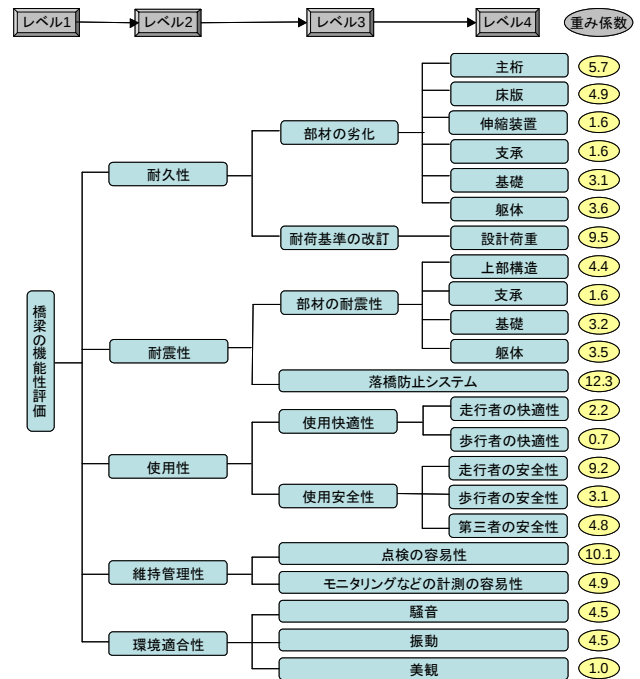


図-1 機能性評価の階層図

表-2 機能性評価評価項目

項目名	評価項目	項目名	評価項目
耐久性	主桁の損傷ランク	使用性	路面の損傷の有無
	床版の損傷ランク		伸縮装置の変形、欠損の有無
	伸縮装置の損傷ランク		照明灯の有無
	支承の損傷ランク		歩道橋または歩道
	基礎の損傷ランク		高欄、防護柵の損傷
	躯体の損傷ランク		橋梁前後の道路との幅員差
	設計荷重		地覆の損傷の有無
	補強の有無		床版下面の剥離
耐震性	上部	維持管理性	点検が容易な高さの橋梁
	損傷ランク		点検路の有無
	適用示方書		橋梁下の障害
	補修・補強		電源の確保
	損傷ランク		携帯電話、PHSの電波
	適用示方書		管理小屋の設置場所の有無
	補修・補強		段差・ポットホールの有無
	損傷ランク		伸縮装置の損傷の有無
	適用示方書	環境適合性	支承部の損傷
	補修・補強		遮音壁の有無
	損傷ランク		異常音
	適用示方書		橋梁の周辺に住宅がある
躯体	損傷ランク	落橋防止装置の有無	落書きや鳥の糞などの汚れ
	適用示方書		塗装劣化、変色劣化

ここで、橋梁機能性評価の評価項目について簡単に説明する。橋梁の機能性を評価するために表-2のような項目についてそれぞれ点検を行い、評価した。各項目の点検は基本的に国道橋に対して現在実施されている定期点検の項目を用いることにする。例えば耐震性には、橋梁の耐震性に影響が高いと思われる上部構造、支承、橋脚躯体などの損傷を評価する項目や、地震が発生したときに橋梁の落橋を防止するためにどの程度安全措置がとられているかを評価する、けたかかり長(S_E)や落橋防止装置の有無などがある。これらの項目に対して、橋梁の美観や周辺環境などの定期点検によって得られないデータは新たに点検を実施して評価を行った。

表-3 橋梁諸元

橋梁名	架設年	橋長	上部形式	適用示方書	設計荷重	架設環境	補修・補強
A橋	S41	239.7	鋼	S39建示	TL-20	市街地	沓座拡張、床版補強、舗装打ち換え、支承取替え、伸縮装置取替え、橋体塗替え
B橋	S09	100.0	鋼	T15内示	12t	市街地	橋体塗替え、支承取替え、主桁断面補強、落橋防止装置の設置
C橋	S54	28.0	鋼	S48建示	TL-20	市街地	なし
D橋	S43	30.6	鋼	S47道示	TL-20	海沿い	橋体塗替え
E橋	S31	383.6	鋼	S14内示	TL-20	田畑	床版打ち換え、落橋防止装置の設置、主桁断面補強、ケーソン補修、橋体塗替え
F橋	S54	393.0	鋼	S48建示	TL-20	市街地	橋体塗替え
G橋	S28	26.0	コンクリート	S14内示	13t	田畑	舗装打ち換え
H橋	S47	20.0	鋼	S39建示	TL-20	山間部	橋体塗替え
I橋	S62	20.0	コンクリート	S55建示	TL-20	市街地	舗装打ち換え
J橋	S62	17.0	鋼	S55建示	TL-20	山間部	橋体塗替え
K橋	S49	15.4	鋼	S39建示	TL-20	山間部	沓座拡張
L橋	S41	12.0	鋼	S39建示	TL-20	市街地	落橋防止装置の設置、橋体塗り替え

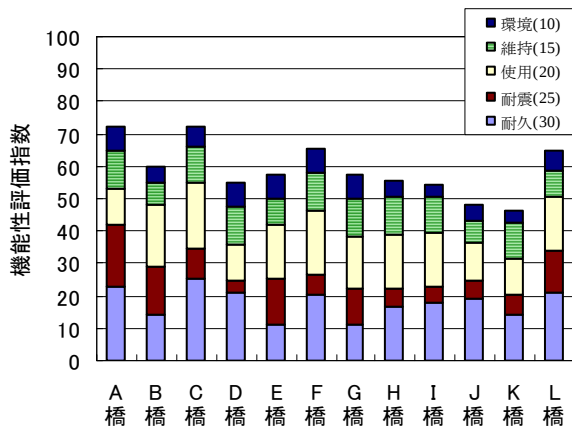


図-2 機能性評価指数算出結果

3. 橋梁機能性評価指数の算出

3.1 選定橋梁

2.6 節で述べた機能性評価指数の算定方法を基に、機能性評価指数についての検討を行う。本研究では、網走管内の国道橋 38 橋において機能性評価の橋梁点検を行い、評価指数を算出した。本論文ではその中から検討対象橋梁として、架設年、橋長、架設環境などを考慮して、12 橋を選定した。対象橋梁の諸元データを表-3 に示す。

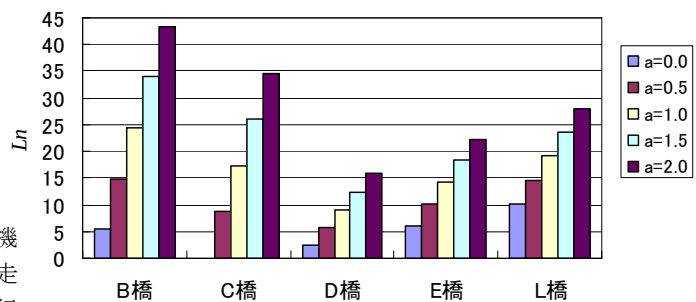
3.2 算出結果

橋梁機能性評価指数の算出結果を図-2 に示す。凡例のカッコ内の数値はその項目の満点を表す。点数の高い橋梁が機能性のある橋梁と判断される。12 橋の機能性評価指数の平均は 59.04 点、最高点は C 橋の 72.46 点、最低点は K 橋の 46.12 点である。項目別に見てみると、耐久性、耐震性のばらつきが大きいことがわかる。これは、耐久性では、物理的な損傷があるにもかかわらず、補修などの措置がとられていない場合に評価が低くなり、耐震性では、橋梁の耐震に影響があると思われる補強や落橋防止装置などが設置されていない場合に評価が低くなる。ここで、D 橋について着目すると、耐震性の評価がとて低くなっている。これは、桁掛長が十分にとられておらず、落橋防止装置も設置されていないためにこのような評価になった。

今回は網走管内に限って点検を行ったため、架設環境、交通量、気象条件などにさほど違いがなく、今後はより最適な評価を行うためには、他の地域での点検・評価を行い、検討を進めてゆく必要がある。

表-4 各係数と L_n の算出結果

橋梁名	α	β	γ	St	Ft	L_n				
						a=0.0	a=0.5	a=1.0	a=1.5	a=2.0
A橋	0.93	3.40	3.54	93.46	72.39	2.52	7.83	13.15	18.46	23.78
B橋	0.93	4.56	3.45	88.71	60.03	5.38	14.89	24.41	33.92	43.44
C橋	0.93	12.97	1.33	100.00	72.46	0.00	8.65	17.29	25.94	34.58
D橋	0.69	0.33	5.56	82.75	54.92	2.54	5.85	9.16	12.48	15.79
E橋	0.69	1.31	3.94	68.45	57.67	6.07	10.14	14.21	18.28	22.35
F橋	0.69	0.86	7.50	86.72	65.55	3.54	8.13	12.71	17.30	21.89
G橋	0.79	1.13	0.96	71.31	57.20	2.14	3.73	5.33	6.92	8.52
H橋	0.79	0.86	1.12	48.23	55.35	3.64	5.21	6.78	8.35	9.92
I橋	0.79	0.86	4.00	87.21	54.07	2.13	5.94	9.76	13.58	17.39
J橋	0.64	0.52	1.07	35.59	47.98	3.32	4.66	6.00	7.33	8.67
K橋	0.64	0.58	0.48	71.16	46.12	1.10	2.13	3.16	4.18	5.21
L橋	0.51	4.59	2.02	60.26	64.77	10.14	14.64	19.13	23.63	28.12

図-3 L_n の算出結果

4. 補修必要度レベル L_n の算出

3 章で算出した機能性評価指数を用いて、式(1)に基づき L_n を算出した。ここで、機能性に対する重み係数 a の値を 0.0～2.0 までの 5 段階で変動させ、式中の物理的健全度指数と橋梁機能性評価指数の重要度を変え、 L_n に対してどのように影響しているのかを検討する。各係数と L_n の算出結果を表-4、図-3 に示す。

4.1 L_n の算出結果

表-4、図-3 より、C 橋と E 橋に着目すると、 $a=0.5$ の時の L_n の値は E 橋が C 橋より約 1.49 高かったが、 a の値が大きくなるにしたがって、その差は逆転し、 $a=2.0$ になると、C 橋の方が 12.23 高くなった。また、B 橋と L 橋では $a=0.5$ の時の L_n の差はさほど無いが、 a が大きくなるにつれて 2 橋の差が開き、その差は約 15.32 となった。このことから、 a の値を変動させることによって、 L_n の評価に影響していることがわかる。したがって、管理者が St と Ft のどちらかをどの程度重視するかによって係数 a を変え、最適な L_n を検討することができる。係数 a は管理者によって決められるべき値であり、補修実績を調査することによって実用的値の範囲を決定できるものと考えられる。

表-5 前回の定期点検時の Ln

橋梁名	α	β	γ	St	Ft	Ln
						$a=1.0$
A橋	0.93	3.40	3.54	92.98	51.04	21.55
B橋	0.93	4.56	3.45	93.04	55.25	24.62
D橋	0.69	0.33	5.56	94.92	66.90	5.61
E橋	0.69	1.31	3.94	53.83	50.28	18.44
F橋	0.69	0.86	7.50	97.01	74.87	7.49
G橋	0.79	1.13	0.96	74.14	53.78	5.37
H橋	0.79	0.86	1.12	89.52	72.18	2.69
I橋	0.79	0.86	4.00	76.94	60.37	10.42
J橋	0.64	0.52	1.07	47.81	63.19	4.58
K橋	0.64	0.58	0.48	71.16	57.36	2.73

4.2 補修実施後の Ln の検討

補修が行われると Ln の値にどのような影響が表れるかを検討するために、前回(1991~1995 年)の損傷点検が実施された時の補修必要度レベルを算出し、その間に行われた補修を対象として検討を行った。対象橋梁は表-3 で挙げた橋梁のうちから 10 橋を選定した。前回の損傷点検時の Ln と今回算出した Ln を比較した。また、それぞれの機能性評価指数の算出結果を表-5、図-4 に示す。なお、ここでは補正係数を $a=1.0$ と仮定した。

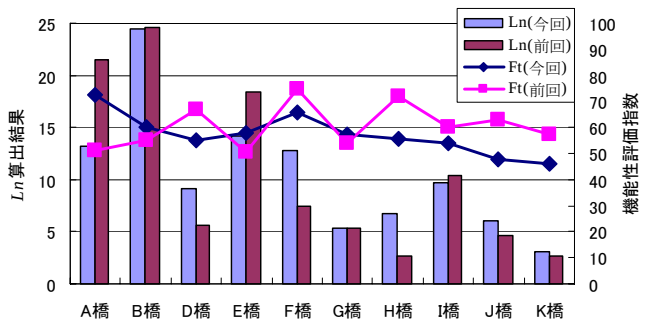
A 橋と E 橋について着目すると、前回の Ln の評価が 2 番目と 3 番目に高かった Ln が今回の評価では低くなっていることがわかる。これは、部材の損傷の補修・補強や落橋防止装置の設置、床版の補強など橋梁の耐震性に関連がある補強も積極的に行われ、 St や Ft 値が回復し、補修の必要度が低くなったことを表している。耐久性、耐震性に関連がある補修が行われた橋梁では、補修必要度が前回に比べ低くなる傾向が得られた。前回、 Ln が比較的強く評価されていた F 橋、H 橋では、橋体の塗り替えしか行われておらず、部材の損傷が進行し、 St や Ft の値が低下したため、 Ln の値が上がり、補修の必要度が高まってきていることを表している。また、B 橋については補修が数多く行われているが、そのほとんどが 1990 年代後半に行われているために、補修後に新たな劣化部材が発見されるなどして、補修の必要度が高くなっていると考えられる。

これらのことから、前回の Ln の評価が低かった橋梁ほど、補修が多く行われているため、 Ln と実際の補修計画が整合していることがわかる。よって、より実務的かつ総合的な補修必要度レベルを算出することができるようになったといえる。

5. まとめ

本研究では、橋梁の現在保持している価値についての定量的な評価手法について述べると共に、橋梁の補修計画の優先度を決定するために補修必要度レベル Ln を提案した。最後に研究の結果を要約すると次のようになる。

- 1) 割増係数 α 、 β 、 γ を用いることで社会的な価値が考慮でき、地域性を組み込んだ橋梁の補修優先順位を算出することができた。
- 2) 補正係数 a を用いることによって、管理者が Ft をどの程度重要視するかを選択することができ、より最適な補修計画案の作成が可能となった。
- 3) 補修実施後の Ln を検討した結果、 Ln と実際の補修計画が整合していることがわかった。

図-4 Ln の算出結果と機能性評価指数

今後の課題として、

- 1) 点検対象の地域を拡大し、地域特性などを考慮した機能性評価指数を算出する。
- 2) 機能性評価に対する重み係数 a の使用方法について、実際に行われている補修事例などを基に検討を行い、より実務的な補修計画案の支援を考える必要がある。

謝辞

本研究は平成 18 年度日本学術振興会科学研究費補助金(課題番号: 17560418 代表者: 大島俊之)の補助を受けて行われました。

参考文献

- 1) 大島俊之、三上修一、山崎智之、丹波郁恵：橋梁健全度評価に用いる評価方法の検討と影響要因の解析、土木学会論文集, No. 675/I-55, pp. 201-217, 2001.4.
- 2) 日本総合研究所、道路投資の評価に関する指針検討委員会編：「道路投資の評価に関する指針(案)」, 1998.
- 3) 中村英夫編・道路投資評価研究会著：「道路投資の社会経済評価」東洋経済新報社, 1997.
- 4) 三重県：道路整備 10 ヶ年整備プログラム, 土木学会誌, vol. 84, pp. 12-15, 1999.8.
- 5) 北海道開発局道路計画課：平成 11 年度 全国道路交通情勢調査(道路交通センサス) 2001.1.
- 6) 国土交通省道路局・道路 IR サイト, 費用便益分析マニュアル(案)
- 7) 大島俊之、三上修一、丹波郁恵、前田哲哉：既存橋梁に対する補修補強計画に関する研究, 土木学会北海道支部論文報告集 第 59 号, pp68-71, 2003.1.
- 8) 大島俊之、三上修一、丹波郁恵、佐々木聡、池田憲二：橋梁各部材の資産的評価と橋梁健全度指数の解析, 土木学会論文集 No. 703/I-59, pp. 53-65, 2002.4.
- 9) 土木学会：社会資本のアセットマネジメント導入に向けて, 土木学会誌特集, vol. 89, pp. 9-47, 2004.
- 10) 杉本博之、首藤諭、後藤晃、渡辺忠朋、田村亨：北海道の橋梁のユーザーコストの定量化の試みとその利用について, 土木学会論文集, No. 682/I-56, pp. 347-357, 2001.
- 11) 小堀為雄：土木構造物の耐用年数(耐用年数の定義), 土木学会誌, Vol. 68, No. 10, 1983.
- 12) 社団法人 日本鋼構造協会：土木鋼構造物の性能設計ガイドライン, No. 49, 2001.