

実橋梁点検による機能性評価と補修優先度決定手法の検討

Investigate on functional evaluation and maintenance priority by using Bridge inspection

北見工業大学大学院工学研究科 ○学生員 加藤英一郎 (Eiichiro Kato)
北見工業大学社会環境工学科 正 員 三上修一 (Shuichi Mikami)
北見工業大学社会環境工学科 正 員 山崎智之 (Tomoyuki Yamazaki)
北見工業大学社会環境工学科 フェロワー 大島俊之 (Toshiyuki Oshima)
(株)ズコーシャ 正 員 高田直幸 (Naoyuki Takada)

1.はじめに

我が国の高度成長期に急激に構築された社会資本の多くは老朽化が進み建設の時代から維持管理の時代へと変わりつつある。しかし維持管理は予算制約された中で補修を必要とするすべての橋を補修することができない状況にある。橋梁の維持管理を効率的に進めることを目的に補修順位を算定する研究が盛んに行われている。著者らも物理的健全度・機能性健全度・社会的サービス価値に着目した補修順位の算定を行っている。本研究では橋梁の補修順位を決める要素として路線の重要度、走行経費、橋梁の重要度、物理的健全度、機能性評価を用いて補修必要度レベル(Ln)を算出してきた¹⁾。その要素の中の機能性評価について実橋の点検結果をもとに検討をおこなう。このことから機能性評価の評価方法について問題点の改善を図る。また、点検結果より各係数が補修必要度レベルにどのように影響を与えているかを比較する。

2.補修必要度レベル

補修必要度レベル(Ln)とは、橋梁の効率的で効果的な補修対象橋梁の選定やその優先度を検討するための指標であり、式(1)に示す。

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

α :路線の重要度係数, β :走行経費係数, γ :橋梁の重要度係数
 St :現在の物理的健全度評価指数(St_0 は架設当初である)
 Ft :現在の橋梁機能性評価指数(Ft_0 は架設当初である)
 α :補正係数(健全度と機能性の重要度の違いで変化)
 St は橋梁の再構築費用にもとづく橋梁健全度指数 (BHI : Bridge Health Index) である。

2.1.路線の重要度係数

各路線の重要度を図るために生活安全性、生活利便性向上、地域活性化支援等に関する評価項目をアクセス性、地域の生活性や産業性について設定し、各路線を評価したものである。最大値は1となる。

2.2.走行経費係数

各路線の調査単位区間内毎の走行経費、走行時間から、現在価値を算出し、単位区間あたりの現在価値を UC とし、UC から走行経費を算出する。各区間とは、北海道内であれば支庁ごとに分けた内の調査単位区間であり、地域の平均 UC とは、各支庁の平均 UC である。

$$\frac{\text{各区間の現在価値}}{\text{各区間延長}} = UC \cdots (2)$$

$$\frac{\text{各区間のUC}}{\text{地域の平均UC}} = \text{各区間の走行経費係数} \cdots (3)$$

2.3.橋梁の重要度係数

橋梁自身の価値を示すため、現在同じ機能を持つ橋梁を建設した場合の再調達価格より橋梁資産係数を求めた。これに、橋梁が突然通行不可能になった場合に別の安全な道を走行した場合に発生するユーザーコストから算出された迂回路係数を足し合わせたものである。迂回路の条件は迂回距離が 50km 以内でかつ通常路の距離の 2 倍以下であるもの、該当する路線が無い場合に比較的高規格な市町村道、農道等も対象とする。さらに該当する路線が無い場合は距離等の制限を設けず国道・道道を迂回路とする。

2.4.橋梁機能性評価指数

表1のように橋梁の機能性設計に用いられている機能性に関する項目を基に選定したレベル4階層で表された階層図の22項目にすべて満点であれば100点となるように重み付している。それぞれの項目は1点満点で評価し、各項目の重みを乗じて算出された合計が橋梁機能性評価指数となる。耐久性とは、橋梁点検による評価を基に評価され、耐震性は耐久性と当時の示方書が現在の基準に合っているか、また落橋防止システムについて評価されている。使用性、維持管理制、環境適合性は走行時の安全性、快適性についての評価項目、点検の容易性やモニタリングなどの容易性、振動や騒音による住宅への影響や美観などを評価している。各評価項目が設定されており、その項目に基づいて評価を行う。各項目の重みは橋梁の設計及び維持管理業務に従事する18名にアンケート調査を行いAHP(Analytic Hierarchy Process:階層分析法)を用いて算出したものである。

表1 橋梁機能性評価指数

レベル1	レベル2	レベル3	レベル4	重み係数
橋梁機能性評価指数	耐久性	部材の劣化	主桁	5.7
			床版	4.9
			伸縮装置	1.6
			支承	1.6
			基礎	3.1
			躯体	3.6
		耐荷基準の改定		9.5
	耐震性	部材の耐震性	上部構造	4.4
			支承	1.6
			基礎	3.2
			躯体	3.5
		落橋防止システム		12.3
	使用性	使用快適性	走行快適性	2.2
			歩行快適性	0.7
		使用安全性	走行安全性	9.2
			歩行安全性	3.1
	維持管理性	第三者安全性		4.8
		点検の容易性		10.1
		モニタリングなどの計測の容易性		4.9
環境適合性		騒音		4.5
		振動		4.5
		美観		1

3.実橋梁での点検結果と機能性評価

対象橋梁はすでに定期点検結果のある上川管内、網走管内、釧路根室管内、十勝管内の国道橋 92 橋について機能性項目について 2006 年～2009 年にわたり点検を行った。物理的健全度評価には橋梁点検要領(案)²⁾を使用してもとめた。また、その評価を用いて機能性評価の耐久性・耐震性についての評価も行った。結果、比較的耐久性・耐震性の劣化が少ない架設後 8 年の新しい橋梁であっても 70 点台とそれほど高くない値であった。対象橋梁の機能性は設置される環境によって異なるため、場合によっては要求機能を過大に設定してしまうため、新設橋梁でも機能的健全度が低く評価されると考えられる。そこで評価項目に架設環境による要求機能の違いを設定し、環境にあった評価を行えるように各評価項目の要素の変更を行う。

4.点検結果による評価項目の検討

これらの機能性評価基準に基づき北海道の国道橋 92 橋の点検を実施した。その結果、特定の橋梁、またはすべての橋梁に対する要求が過大に設定されていると考えられる部分がいくつかみられた。したがってその部分をその橋梁に対する要求機能に合うように変更を行った。

4.1 落橋防止システム

耐震性の評価項目の中に、落橋防止システムについての要素として、『桁掛長が必要桁掛長(Se)を満たしているか』と『落橋防止装置の有無』が表 2 のようにあり、それぞれの重みは同じに設定されていた。Se の値は式(4)によって算出される。しかし、耐震補強として多くの橋に実施されている桁かかり長の重みを増やして、表 2 の各要素に対する点数を変更前の点数から変更後の点数に変更を行った。

$$70+0.5L=Se \quad \cdots(4)$$

Se:必要桁係長(cm)

L:支間長(m)

表 2 耐震性評価項目落橋防止システムの要素

耐震性	落橋防止システム	要素		変更前	変更後
		桁掛長が必要桁掛長を満たしているか	1.5*Se 以上	0.5点	0.8点
			Se 以上	0.25点	0.4点
			Se 未満	0点	0点
		落橋防止装置の有無	有	0.5点	0.2点
			無	0点	0点

4.2 使用性

使用性の評価項目の中の「使用快適性」、「使用安全性」の要素として、『歩道または歩道橋の有無』、『照明灯の有無』という項目がある。これらの要素は、郊外に架設されていて、歩行者交通が殆ど無いと考えられる橋梁に対しても歩道を要求し、橋長の短いものによく見られたが、照明灯と照明灯の間に橋梁が架設されていて、明らかに橋梁上に照明灯が必要ではないと思われる橋梁に対してもそれを要求していた。そこで、歩行者交通が低いと思われる橋梁についてはそれを要求しない。また、商業街路、住宅街路、主要交通街路の間隔に基づき、それぞれの環境下の橋梁については、その間隔内に橋梁がある場合にはそれを必

要としないものとした。変更を行った使用性の評価項目内の、「使用安全性」の「歩行安全性」についての評価要素を例として表 3 に示す。

表 3 使用性・歩行安全性の要素

使用性	使用快適性	歩行安全性	要素	変更前	変更後		
			高欄/防護柵の損傷	有	有		
				無	無		
			歩道橋または歩道	有	市街地	有	
					市街地	無	
			無		歩行者交通の少ない橋梁	必要無	
			照明灯	有	商業街路	橋梁の中心から20m以内	有無
					住宅街路	橋梁の中心から25m以内	有無
				無	主要交通街路	橋梁の中心から50m以内	有無
							有無

4.3 維持管理性

維持管理性の評価項目内の「点検の容易性」の要素として、『点検路の有無』という項目がある。この項目は、点検路を架設するスペースも無い様な橋脚の短い橋梁についても要求していた。よって、目視点検が可能な、橋脚が 15m 以下の低いものには基本的に必要無いものとし、その分の点数を与えるものとした。

4.4 環境適合性

環境適合性の評価項目内の「騒音」の要素として、『防音壁の有無』、『低騒音舗装の有無』という項目がある。これは、国道橋には一般的には使われていなく、高速道路橋などに主に使われていることから、一般的な国道橋にはその仮説の必要性が無く、高速道路橋や高規格道路などで、民家が近くにあるようなものについてそれを要求するものとした。

5.評価項目変更後の機能性評価結果

92 橋すべてにおいて行った結果、全ての橋梁においてその評価が向上した。これは今回点検を行った橋梁において、過大に要求していると思われる部分を改善したためである。そのため架設後 8 年の橋梁が 90 点台と、十分な機能性を持つ橋梁と評価された。このように評価が向上した橋梁に、今回点検した 4 つの地域による差は見られなかったが、架設環境による差、市街地橋梁と郊外橋梁の評価の向上値に差があった。表 4 は図 1 の各橋梁の橋梁諸元の一部を示している。

表 4 橋梁諸元

橋梁名	架設年	上部構造	架設環境	点検年	
				前回	今回
A	1966	合成鋼鉄桁	市街地	2000	2006
B	1983	非合成鋼鉄桁	市街地	1996	2008
C	1989	非合成鋼鉄桁	市街地	1996	2007
D	1987	PCスラブ	郊外	2001	2006
E	1975	PC桁	郊外	1997	2006
F	1984	鋼鉄桁	郊外	1994	2007

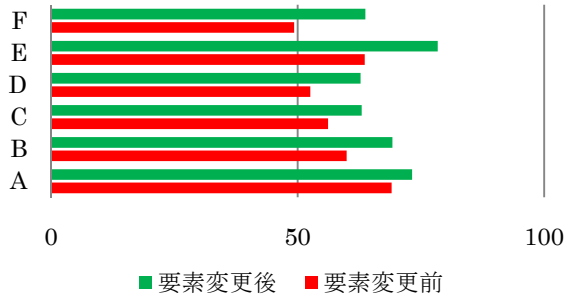


図1 機能性評価の差

図1は横軸が機能性評価値であり、縦軸がA～F橋、各上下の棒が要素内の項目変更前、下の棒が要素内の項目変更後である。機能性評価の値はA～F橋ともにバラバラであるが、機能性評価値の伸びがD、E、F橋の方がA、B、C橋よりも大きい。A、B、C橋はそれぞれ市街地に架設された橋梁で、D、E、F橋は郊外に架設されたものである。これらは一例であるが、全体的に郊外の橋梁の方が市街地の橋梁よりも評価の改善が大きかった。これは今までの基準が郊外の橋梁に対しての要求がより過大に設定されていたためであり、変更を行ったことにより改善された。

6.補修必要度レベルの算出

5章の検討結果より項目改善後の機能性評価指数を使用した補修必要度レベル(Ln)を算出した。今回要素内の項目を変更したことによって全体的に機能性評価が向上している。それにより、これまでの評価に比べて補修必要度レベルが全体的に低下したが、特に機能性健全度が低いことによる影響が改善されたためである。本章では路線の重要度などの係数により違う。橋梁点検年以降に行われた補修記録を考慮して検討を行う。表5は図2の各橋梁の橋梁諸元の一部を示している。

表5 橋梁諸元

橋梁名	路線	架設年	上部構造	橋長	点検年	
					前回	今回
G	38	1959	プレテンPCホロー桁	22	1990	2008
H	38	1963	鋼	120	1991	2008
I	38	1964	非合成鋼板桁	15	1990	2008
J	44	1985	鋼合成桁	45	1990	2008
K	44	1965	鋼合成鋼桁	99	1999	2008
L	240	1979	鋼鋼桁	129	1998	2008

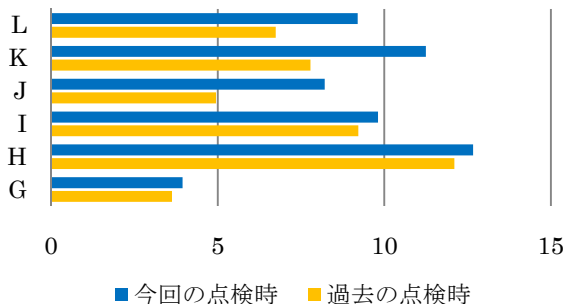


図2 補修必要度レベル

図2は横軸に補修必要度レベル、縦軸に特徴的な変化が見られた橋梁 G～L 橋を、上が今回の点検時の補修必要度レベルで、下が過去の点検時のものである。G～L 橋ともに補修必要度レベルの値が上昇し、補修・補強の必要性が上がっている。これは、経年劣化による耐久性、耐震性の老朽化によるものである。G～I 橋は J～L 橋に比べて補修必要度レベルの上昇割合が小さい。これは、G～I 橋が前回の定期点検から今回の点検までに補修・補強工事が行われた橋梁で、耐久性・耐震性の低下値が J～L 橋に比べて少なかったためである。補修・補強工事が行われたのに耐久性・耐震性が低下しているのは工事から今回点検時までの数年から十数年の間に経年劣化したためである。機能性評価の評価項目をいくつか変更したことにより、機能性評価が向上したが、他の係数による影響、また、耐久性・耐震性の老朽化による機能性評価・物理的健全度の低下が大きく、補修必要度レベルは結果的に上昇している。

7.補修必要度レベルの変化

図2のようにその橋梁の耐久性・耐震性の劣化や補修・補強による変動の他にも、各係数の変化による影響も大きい。それらの影響を実際に行った点検と、過去の定期点検の結果により比較する。今回定期点検時から交通量の変化があり、それによって特徴的な変化がみられた橋梁を図3、図4に示す。表6は図3、図4の各橋梁の橋梁諸元の一部を示している。

表6 橋梁諸元

橋梁名	路線	架設年	上部構造	橋長	点検年	
					前回	今回
M	12	1991	鋼鋼桁	345	1999	2009
N	242	1959	RCT桁	42	1997	2007
O	336	1963	ボステンPC桁	150	2001	2007
P	241	1989	プレテンPCホロースラブ	20	2000	2007
Q	241	1957	PC単純プレテンPCホロー桁	263	2001	2007

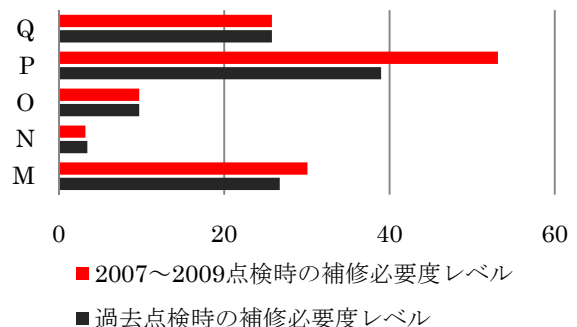


図3 交通量変化が無い補修必要度レベル

図3は横軸に補修必要度レベルを、縦軸にM～P橋を示している。N、Q橋を除く3橋は耐久性・耐震性の老朽化から、機能性評価・物理的健全度が低下している。N橋は耐震性の補強が行われたために、その値が向上して

いる。また、Q 橋は耐久性・耐震性の老朽化がみられなかったため、値の変動が殆ど無い。M、P 橋は補修必要度レベルが上昇している。O 橋は変化が無く、N 橋は減少している。M、P、Q 橋は補修必要度レベルが高い。M、O、Q 橋はほかの橋梁に比べて橋梁がかなり長く、その再調達価格が高いために、橋梁の重要度が高くなっている。また、P 橋は近くに迂回路が無く、かなり遠回りをしないと行けないために、利用者の損失が高くなっている。また、P 橋が架設されている区間の交通量が、同支庁管内の交通量よりもかなり多いために、その区間の重要度が高くなり、それが反映されたためである。O 橋は橋長が長いめにやや橋梁の重要度が高く、また N 橋は橋長も長くなく、交通量も平均よりもやや多い程度など大きな特徴の無いため、他の 4 橋より低い。

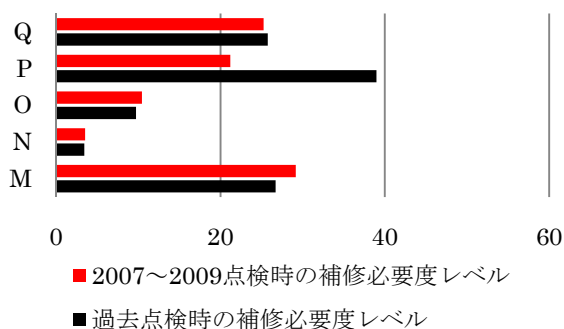


図4 交通量の変化を考慮した補修必要度レベル

図4は、図3の各橋梁に交通量の変化を考慮した場合を示している。P 橋の補修必要度レベルが大きく減少している。これは架設されている区間の交通量が大きく減少したためである。また、P 橋と Q 橋は十勝管内の 241 号線上に架設されているが、その調査単位区間の交通量の変化により、大きく減少しその重要度が下がった区間の P 橋では補修必要度レベルが大きく低下し、交通量がやや減少した区間の Q 橋はあまり変化が無い結果となった。交通量が変化したために各区間の重要度が変化し、それにあわせ補修必要度レベルの値が変化し、補修優先順位が変動することが分かる。

8.まとめ

本研究では補修必要度レベルに必要な機能性評価指数を計算するための点検項目の改善を行い、補修必要度レベル(L_n)算出した。機能性評価指数の評価項目は、架設環境や耐震性で低く評価されていた橋梁について改善されたことを確認した。今後は(L_n)と補修履歴に関する検討事例を増やし、本手法の妥当性を検討する予定である。また、係数の変動による補修必要度レベルの変化があることを確認した。このことは、架設環境の違いやその変化を補修必要度レベルが反映しているためである。今後は、各係数に関する事例を増やすことによって、交通量の変化によるものだけではなく、他の係数の変化による影響、またその決定基準の検討を行うことによって、本手法の妥当性を検討していく。

参考文献

- 1) 大島俊之、三上修一、山崎智之、武田俊明、高木義之：北海道国道橋における補修必要度レベルの検討、土木学会北海道部論文報告集、第 63 号、A-06、2007.2.
- 2) 建設省土木研究所：土木研究資料橋梁点検要領(案)、第 2651 号、1988.7
- 3) 北海道開発局：橋梁、トンネル、立体横断施設、覆道等現況調査書、2006
- 4) 日本道路協会：道路構造令の解説と運用、2004.2
- 5) (社)交通工学研究会：平成 17 年度全国道路・街路交通情勢調査道路交通センサス一般交通量調査、2007.8
- 6) 大島俊之：建設系アセットマネジメント～補修事業計画の立て方と進め方～
- 7) 大島俊之、三上修一、宮森保紀、安江哲、加藤静雄、重清浩司、丹波郁恵、藤原哲郎、吉野伸一、石川博之、竹田俊明：建設系のためのアセットマネジメント-BMS:橋梁マネジメントを中心として-