

I-24 コンクリートゲルバー橋の健全度評価と 残存耐用寿命の解析

(株)中神土木設計事務所 本 間 美樹治
北見工業大学 正員 大 島 俊 之
北見工業大学 正員 三 上 修 一
北見工業大学 正員 森 弘

1. ま え が き

現在、かなりの数の橋梁が損傷、老朽化が進み、本道での北海道関連の橋梁現況調査によれば、表-1の様な実態であり、それらは維持補修、補強または架け替えの必要にせまられている。しかしながら、健全度診断の手法、残存寿命の推定法など確立していないため、維持補修すべきか、架け替えすべきか、またその時期はいつかといった判断が明確でない。そのため、その調査・解析の体系的な確立が大きな課題として学会等で取り上げられている。

本論文では、最近調査点検が実施された北見市に於けるコンクリートゲルバー橋を事例研究に取り上げその健全度評価と残存耐用寿命の解析結果を報告するものである。

事例橋梁の概要

橋 長：196.5 m
最大支間長：24 m
径 間 数：10径間
(ゲルバー桁7径間＋単純桁3径間)
総 幅 員：6 m
(車道幅員5.5m＋地覆0.25m×2)
型 式：鉄筋コンクリートゲルバー桁
(T型～3主桁)
橋 格：2等橋(TL-14t)

下 部 工：橋中央低水敷オープンケーソン4本、高水敷直接基礎4本

昭和31年10月に着工、昭和32年11月竣工し、架設後27年を経過している。

2. 調査評価項目の階層化

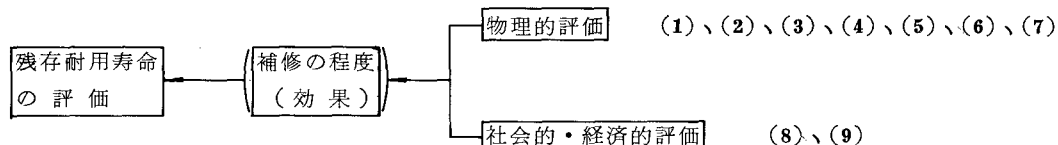
調査・評価を行う上での影響因子としての判定項目を階層化するには、大きな項目として、社会的経済的評価と物理的評価が考えられ、社会的経済的評価とは、建設された橋梁が時代の変遷と共にそのものの期待される機能を果たせなくなったと判定される場合であり、例えば、その道路の用途変更によって交通量が増大した場合とか、前後の道路幅員、線形が変更になった場合など主として当該橋梁をとりまく社会的環境が変化したことによるものである。物理的評価とは橋梁の性能の低下、構造材料の劣化、それに伴う作用に対する抵抗力の低下など構造力学的及び構造工学的な耐荷性から判定されるものであり、構造部材の損傷、損耗、疲労などによる性能低下、すなわち老朽化が原因である。また使用性からは橋梁にあっては、たわみが大きくなったとか、振動が大きくなったり、また騒音や景観上耐えられなくなって、補修や架け替えが必要になる場合もある。

こう言った評価を行った後、性能向上の為に補修や改良を行って、橋梁全体の性能を維持しようとするのであるが、この性能回復に要する費用と更に、この費用を投じたとしても完全に回復しない為の損失費を加え合わせたものと、新しく架け替えるための経費とのバランスにおいて健全度の評価と耐用寿命が最終的に決定される。

表 1 橋梁現況調査—北海道庁

区 分	総 数	橋 齢 別 現 況		
		15 年 未 満	15 年～ 25 年	25 年 以 上
100m以上	443 (221)	271 (153)	142 (56)	30 (12)
30m以上100m未満	2718 (1725)	1756 (1224)	767 (414)	195 (87)
15m以上30m未満	3593 (1830)	2316 (1830)	1025 (726)	252 (130)
15m未満	13886 (11529)	7952 (6880)	4273 (3267)	1661 (1382)
合 計	20640 (16161)	12295 (10087)	6207 (4463)	2138 (1611)

※ () 内の数字は市町村道関係分を示す



- | | | |
|----------------|--------------|-------------------|
| (1) 橋面の状況 | (2) 床版の状況 | (3) 主桁部材の状況 |
| a 路面の汚れ | a 空洞豆板の有無・程度 | a 曲がり |
| b ひび割れ | b はく離 | b ねじれ |
| c 凹凸 | c 漏水 | c 切損 |
| d わだち堀れ、ポリッシング | d 劣化 | d ひび割れ |
| (4) ゲルバー部の状況 | e 遊離石灰 | e そり、たわみ |
| a ひび割れ | f 鉄筋露出 | f 横桁の破損 |
| b 鉄筋の劣化 | g ひび割れ | (5) 支承部の状況 |
| c 漏水・貫通水 | (6) 伸縮装置の状況 | a 土砂・ゴミの堆積 |
| (7) 下部構造の状況 | a 溶接ケ所の破損 | b 部材の腐食 |
| a 沈下 | b 変形 | c 変形 |
| b 傾斜 | c ひび割れ | d 支承下のコンクリートのひび割れ |
| c 移動 | d アンカーの状態 | e ボルトのゆるみ |
| d 基礎の洗掘 | (8) 安全走行性 | f アンカーの抜けの有無 |
| e 河床の変動 | a 乗心地の良否 | (9) 交通容量 |
| f 橋台のふくれ | b 線形の良悪 | a 走行速度 |
| g ひび割れ | | b 日交通量 |
| | | c 大型車混入率 |

表 2 影響因子

3. ファジィ理論による各項目の評価法及び残存耐用寿命の計算法

各項目の評価に当たっては、ひび割れ・振動といった測定によって定量化できるものや、有限要素法などを用い応力度が数値解析される項目があるが、それ以外に技術者の経験による主観的で定性的な評価も健全度を総合的に判断する上では必要である。

ここでは、影響を及ぼす因子の評価をFuzzy理論を応用して、Fuzzyな評価の表現として規定し、その因子の評価法を言語変数として、「非常に小さいvery small」、「小さいsmall」、「中ぐらいmedium」、「大きいlarge」、「非常に大きいvery large」の5段階に分類し、それぞれをFuzzy集合で規定し健全度評価と耐用年数の解析を行う。

次に、Fuzzy理論を用いた計算手順を述べる。

(1) 影響因子の決定

評価項目により適時抽出する。

(2) 評価パラメーターの決定

a 各因子の残存耐用寿命評価における重要度 G_i の決定。

評価に対する各因子の重みの度合を言語変数として5段階に分類し、Fuzzy集合として規定する。

b 各因子の老朽度 C_i の決定。

5段階の言語変数に分類し、同様にFuzzy集合として規定する。

(3) 各 G_i 、 C_i の帰属度関数の決定

個々の G_i 、 C_i がそれぞれのFuzzy集合に属する度合いを設定し、その度合いは個々の要素の関数とみなし帰属度関数 (membership function) として、0~1の間の数として数量化する。

(4) G_i の項目と C_i の項目の Fuzzy 関係 T の計算

T は Fuzzy 集合の共通集合と合併集合の帰属関数として定義される。

$$T = \sum_{i=1}^n [G_i] \cdot [C_i] \quad : [G_i] = i \text{ 番の影響因子の重要度 } G_i \text{ の Fuzzy set}$$

$$[C_i] = i \text{ 番の影響因子の評価 } C_i \text{ の Fuzzy set}$$

共通集合 $[G_i] \cdot [C_i]$ は 2 変数帰属関数として下式で定義される。

$$[G_i] \cdot [C_i] = \mu_{G_i \cap C_i}(x, y) = \mu_{G_i}(x, y) \wedge \mu_{C_i}(x, y) = \min[\mu_{G_i}(x, y), \mu_{C_i}(x, y)]$$

また合併集合 T は

$$T = [G_1] \cdot [C_1] + [G_2] \cdot [C_2] + \dots + [G_i] \cdot [C_i] + \dots + [G_n] \cdot [C_n]$$

$$= \mu_{\cup G_i \cdot C_i}(x, y) = \bigvee_i [\mu_{G_i \cdot C_i}(x, y)] = \max[\min \mu_{G_i}(x, y), \mu_{C_i}(x, y)]$$

(5) 各項目の残存耐用寿命 Y (年) の決定

道路橋指方書でいうところの橋梁耐用年数 50 年に対し、本事例が約 30 年の橋齢に達している事から残存耐用寿命を最大 20 年とし、 $Y = [n, n-5, n-10, n-15] = [20, 15, 10, 5]$ の 4 段階とし、次に評価 C_i に相関する破壊危険度を N_i として、言語変数の帰属度関数を決定し、各項目の残存耐用寿命 Y_i を Fuzzy 化する。

(6) N_i と C_i の Fuzzy 関係 R の計算

$$R = \sum_{i=1}^n [N_i] \cdot [C_i]$$

$$= \max[\min \mu_{N_i}(y, z), \mu_{C_i}(x, y)]$$

(7) 残存耐用寿命の Fuzzy 解 F の計算

F は T と R の合成 $T \cdot R$ の帰属度関数 $\mu_{T \cdot R}(x, y)$ として定義される。

$$F = T \cdot R$$

$$= \mu_{T \cdot R}(x, y) = \bigvee_y [\mu_T(x, y) \wedge \mu_R(y, z)]$$

$$= \max\{\min[\mu_T(x, y), \mu_R(y, z)]\}$$

4. 数値計算例

事例としたコンクリートゲルバー橋の調査結果より、評価項目の重要度 G_i 及び老朽度 C_i を表-2 の様に評価し、計算を行う。

表 3 影響因子の評価

影響因子	重要度	老朽度
① 橋面	medium	large
② 床版	small	medium
③ 主桁	large	medium
④ ゲルバー	large	grave
⑤ 伸縮装置	small	large
⑥ 支承部	large	grave
⑦ 下部構造	large	medium
⑧ 安全走行性 (線形)	large	large
⑨ 交通容量 (幅員, 走行速度)	large	grave

表 4 帰属度関数

small = (0/1), (0.1/0.9), (0.2/0.5)

medium = (0.2/0.1), (0.3/0.2), (0.4/0.8), (0.5/1)
(0.6/0.8), (0.7/0.2), (0.8/0.1)

large = (0.8/0.5), (0.9/0.9), (1/1) grave = (large)

grave = (0.8/0.25), (0.9/0.81), (1/1)

表 6 共通集合「 G_i 」
「 C_i 」の計算の
一例

		C = large			
(a)		0.8	0.9	1	
G = medium	0.2	0.1	0.1	0.1	
	0.3	0.2	0.2	0.2	
	0.4	0.5	0.8	0.8	
	0.5	0.5	0.9	1	
	0.6	0.5	0.8	0.8	
	0.7	0.2	0.2	0.2	
	0.8	0.1	0.1	0.1	

		C = medium							
(b)		0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	
G = small	0	0.1	0.2	0.8	1	0.8	0.2	0.1	
	0.1	0.1	0.2	0.8	0.9	0.8	0.2	0.1	
	0.2	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.2	0.1	

表 5 破壊危険度 N_i の Fuzzy set

$N = \text{very large} = (n/0.04), (n-5/0.16), (n-10/0.64), (n-20/1)$

if C is large
 $N = \text{large} = (n/0.2), (n-5/0.4), (n-10/0.8), (n-15/1)$

if C is medium
 $N = \text{small} = (n/1), (n-5/0.8), (n-10/0.4), (n-15/0.2)$

if C is small

表 7 Gi と Ci の Fuzzy 関係 T

	(c)									
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0	0.1	0.2	0.8	1	0.8	0.2	0.5	0.9	1	
0.1	0.1	0.2	0.8	0.9	0.8	0.2	0.5	0.9	0.9	
0.2	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.2	0.5	0.5	0.5	
0.3							0.2	0.2	0.2	
0.4							0.5	0.8	0.8	
(G) 0.5							0.5	0.9	1	
0.6							0.5	0.8	0.8	
0.7							0.2	0.2	0.2	
0.8	0.1	0.2	0.5	0.5	0.5	0.2	0.25	0.5	0.5	
0.9	0.1	0.2	0.8	0.9	0.8	0.2	0.25	0.81	0.9	
1	0.1	0.2	0.8	1	0.8	0.2	0.25	0.81	1	

表 8 Ci と Ni の Fuzzy 関係 R

	(N)			
	n	n-5	n-10	n-15
0	1	0.8	0.4	0.2
0.1	0.9	0.8	0.4	0.2
0.2	0.5	0.5	0.4	0.2
0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
0.4	0.2	0.4	0.8	0.8
(c) 0.5	0.2	0.4	0.8	1
0.6	0.2	0.4	0.8	0.8
0.7	0.2	0.2	0.2	0.2
0.8	0.1	0.16	0.5	0.5
0.9	0.04	0.16	0.64	0.9
1	0.04	0.16	0.64	1

表 9 残存耐用寿命の Fuzzy 解 F

	(N)			
	n	n-5	n-10	n-15
0	0.2	0.4	0.8	1
0.1	0.2	0.4	0.8	0.9
0.2	0.2	0.4	0.5	0.5
0.3	0.2	0.2	0.2	0.2
0.4	0.2	0.16	0.64	0.8
(g) 0.5	0.2	0.16	0.64	1
0.6	0.2	0.16	0.64	0.8
0.7	0.2	0.16	0.2	0.2
0.8	0.2	0.4	0.5	0.5
0.9	0.2	0.4	0.8	0.9
1	0.2	0.4	0.8	1

以上の計算の結果より

$$F = \{ (20 | 0.2), (15 | 0.4), (10 | 0.8), (5 | 1) \}$$

└ 残存寿命に対する帰属度
└ 残存耐用寿命

上式は当該橋梁が耐用寿命5年に対しては帰属度1で非常に高い確実性があり、耐用寿命10年に対しては0.8の帰属度であるが、15年、20年の耐用寿命には低い帰属度である事を表わしている。よって本橋梁はほぼ10年の残存耐用寿命であると判定される。

5. まとめ

本研究では、コンクリートゲルパー橋を対象として、健全度評価および残存耐用寿命の推定をFuzzy理論の計算手法を応用して検討した。Fuzzy理論のこの種の問題への応用に当っては、影響因子の決定およびその階層化、その評価法（言語変数）および帰属度関数の決定など、個々に詳細に検討すべき事項が多い。また残存耐用寿命をより精度良く判定するためには、過去、及び現在の老朽化した橋梁の健全度及び破壊危険度の明確なデータの集積が必要である。

本研究ではこれらのデータの収集を進めているが、本報告では残存耐用寿命に関連する因子の影響度を数値計算によりパラメトリックに解析した結果を中心としてとりまとめた。

本研究の実施に当っては、北見市役所の関係各位にお世話になりました。また、解析に当っては、北見工業大学開発工学科卒論学生平井篤夫氏の助力を受けましたので、感謝致します。また、開発局道路維持課、および道士木部道路維持課より資料の提供を受けました。これらの方々に対しても感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 北海道開発局：橋梁、トンネル、立体横断施設現況調書，昭和59年4月1日
- 2) 北海道：橋梁現況調書，昭和59年4月1日
- 3) 日本道路協会：道路橋補修便覧，昭和54年2月
- 4) 小村 敏，太田 実：コンクリート構造物の維持・補修・取壊し，技報堂出版，1983. 11
- 5) 西田 俊夫，竹田 英二：ファジィ集合とその応用，森北出版，1978. 11
- 6) 白石 成人，古田 均，池島 賢治：信頼性解析法へのファジィ理論の適用に関する基礎的研究，土木学会論文報告集，第325号，1982年9月
- 7) James T.P.Yao : Damage Assessment of Existing Structures , Journal of the Engineering Mechanics division, ASCE, 1980.8, p785~799