

I-29 老朽構造物の残存寿命評価の研究

例)中神土木設計事務所 正員 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
 北海道開発局 平井篤夫

1. ま え が き

近年、構造物の健全度評価及びその維持管理手法の開発研究が盛んになってきているが、この背景には実際の構造物の中で、建設以来25年以上経過した構造物が相当数にのぼり、これらの構造物の維持補修をどのような手法で実行していくかが、重要な問題となることが多いと思われる。

構造物を管理する立場からは、多数ある老朽化した構造物の中からどのような優先度をつけて個々の構造物の維持補修を実行するかを決定しなければならず、維持補修費の最適運用や維持補修費の最小化のためのデータが必要である。また補修工法の決定においては、不適切な対策工法がかえって応力集中をまねき、老朽化を早める事例もあるので、老朽構造物の解析手法に関する多くの知見が必要である。このような目的のため、本研究ではFuzzy理論を応用した構造物の健全度評価と残存耐用寿命の解析法について検討するとともに、この手法の問題点についても考察する。このような老朽構造物あるいは損傷構造物(Damaged Structures)のリハビリテーションに関する研究は、J. T. P. Yao¹⁾などにより研究されている。また、ファジ理論を用いた構造物の健全度評価については、白石ら²⁾、西村ら³⁾の研究がある。

2. 構造物の維持管理の全体の流れ

構造物の健全度評価及び対策実施の決定に関する全体の流れを図1に示した。

構造物が老朽化したり損傷を受けた場合、まず構造各部の健全度評価が必要である。構造物の健全度評価に影響を及ぼす要素には、構造各部の健全度(又は老朽度)及び総合評価をする際に必要な各評価項目の総合評価に対する重み(重要度、影響度)の決定が必要である。さらにこれら各因子の総合化のための評価法の確

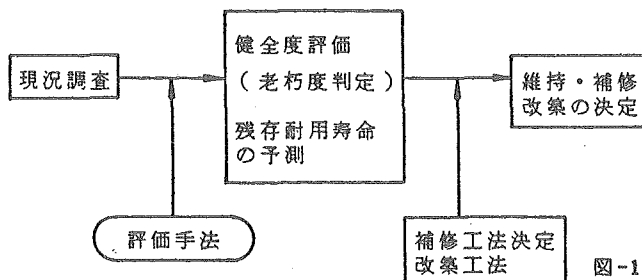


図-1

立が要請されている。また維持補修等対策の決定においては、当該構造物が現存する間に必要な補修経費(Repair Cost)が、改築費(Replacement Cost)及び改築後の維持費の和より大きくなる場合のあることが予想されるので、維持補償費の最適運用と維持補修費用の最小化について検討することが必要となる。

文献⁴⁾には、米国ウィスコンシン州における州管理橋梁の補修及び架け替えの必要性に関する総費用分析のためのコンピュータモデルについての実例が紹介されている。これによれば、1983年~2000年までの期間に架け替えが必要となる橋梁の数を決定し、総費用分析のコンピュータモデルを適用して、構造各部の老朽度、機能的老朽度のデータを入力することにより、補修費の必要額や各年度ごとの補修予算の作成をシステム化している。このような手法によるシュミレーションにより補修費の予測や最適化をはかることができると思われる。

3. 健全度評価手法及びその経年変化に対する考察

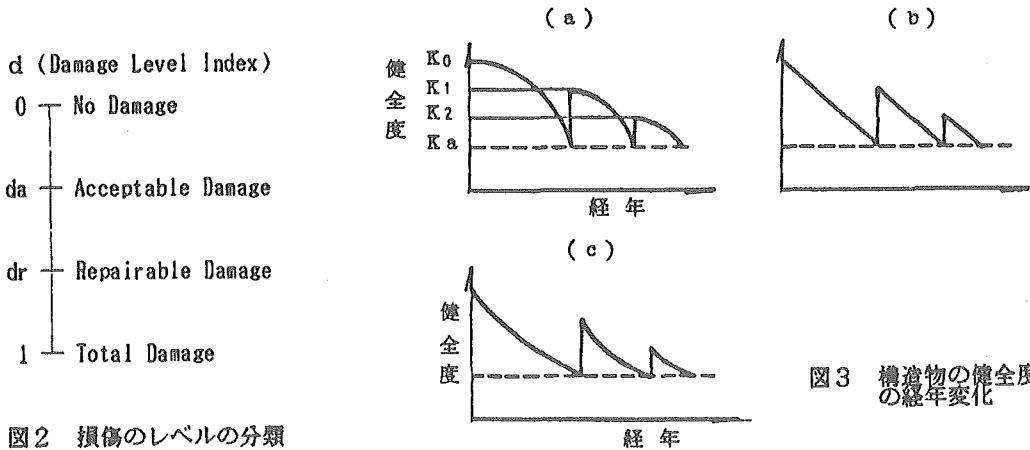


図2 損傷のレベルの分類

構造物の損傷レベル又は老朽化のレベルは、図2のように4段階に分類される。1) dn(No Damage)のレベルは何ら損傷がなく、現在適用している示方書にてとしても規準以上である。許容応力的にもまた限界荷重的にも十分な安全率を有している場合である。da(Acceptable Damage)のレベル及びdr(Repairable Damage)のレベルにおいては、いろいろなケースが考えられる。たとえば新示方書の規定(許容応力)は満足しないが、限界荷重に対する安全率はかなり大きい場合などである。このような場合、どの程度の損傷度であれば許容するのか、あるいは補修するのか、その許容レベルの設定を明確にする必要がある。また、dt(Total Damage)のレベルとdrのレベルの間で前述したように補修すべきか、Collapse(破壊状態)と見なして改築するかの判断が必要であり、前節で述べた手法などを使うことになる。

一般に構造物の健全度Kは、次のように考えられる。

$$K = S_0 - S \quad \text{--- (1)}$$

$$\text{又は } K = S_0 \left(1 - \frac{S}{S_0}\right)$$

$$\text{ただし、 } S = \sum_i G_i d_i \quad \text{--- (2)}$$

$$S_0 = \sum_i G_i$$

d_i は構造各部の損傷度または老朽度であり、健全な場合(たとえば許容応力状態など)の値に対する無次元量として求める。また G_i は各要素 d_i の損傷度総合健全度判定に対する重みをあらわす。 S は構造各部がすべてNo Damage($d=0$)の状態に対する健全度の値を表している。

d (Damage Level Index)の値を構造各部について判定するには高度の技術的判断が必要であり、また構造解析の計算結果もその判定の資料となる。このような判定の手法の1つとして、最近医療技術において利用されているエキスパートシステムの導入が考えられる。エキスパートデータベースを構築できれば、より的確な判定が可能となるであろう。

次に、構造物の健全度の経年変化について考察する。構造物の健全度の経年変化は、おおよそ図3のようなものと予想される。ただし K_0 =建設時の健全度、 K_1 、 K_2 =第1回及び第2回補修後の健全度、 K =許容健全度。経年変化のパターンは(a)、(b)、(c)に分類されるが、この総合評価の健全度は式(1)の構造各要素の経年変化に依存していることから、各要素の経年変化を予測することが必要となる。また、各要素の経年変化それぞれが(a)、(b)、(c)のパターンの組合せとなるので、総合評価の経年変化はその結果として得られる。

またこれらの経年変化パターンは、補修前後で変化することも予想され、さらに複雑なものとなる。

4. ファジィ理論による残存寿命評価

ファジィ理論を応用した残存寿命の評価手順の概略を図-4に示す。

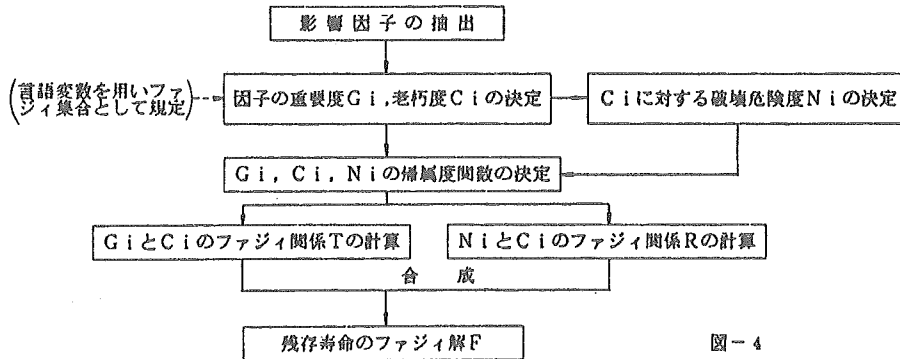


図-4

次に計算例を示すが、事例研究に用いた橋梁の影響因子及び各因子の重要度 G_i 、老朽度 C_i の言語変数による評価は表-1の様に考え、CASE 1は点検調査からの評価であり、CASE 2は老朽度 C_i が全て Small の時、CASE 3は C_i が全て Large の時を想定している。 G_i 、 C_i 、 N_i のそれぞれの帰属度関数は式(3)、(4)で考えるが、更に解り易い様に図-5、6で表わす。但し示方書でいう耐用年数50年に対し計算に用いる事例の橋齢が30年に達していることから、残存寿命は最大20年とする。

表1 影響因子の評価

影響因子	重要度 G_i	老朽度 C_i		
		CASE 1	CASE 2	CASE 3
① 橋 面	Medium	Large	Small	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 文 承 部	Large	Grave	〃	〃
⑦ 下部構造	Large	Medium	〃	〃
⑧ 安全走行性	Large	Large	〃	〃
⑨ 交通容量	Large	Grave	〃	〃

G_i, C_i の帰属度関数

$$\begin{aligned}
 \text{Small} &= (0/1), (0.1/0.9), (0.2/0.5) \\
 \text{Medium} &= (0.2/0.1), (0.3/0.2), (0.4/0.8), (0.5/1) \\
 &\quad (0.6/0.8), (0.7/0.2), (0.8/0.1) \\
 \text{Large} &= (0.8/0.5), (0.9/0.9), (1/1) \quad \text{Grave} = (\text{Large})^2 \\
 \text{Grave} &= (0.8/0.25), (0.9/0.81), (1/1)
 \end{aligned} \quad (3)$$

破壊危険度 N_i の帰属度関数

$$\begin{aligned}
 N = \text{Very Large} &= (n/0.04), (n-5/0.16), (n-10/0.64) \\
 &\quad (n-15/1) \quad \text{If } C \text{ is Large} \\
 N = \text{Large} &= (n/0.2), (n-5/0.4), (n-10/0.8), (n-15/1) \\
 &\quad \text{If } C \text{ is Medium} \\
 N = \text{Small} &= (n/1), (n-5/0.8), (n-10/0.4), (n-15/0.2) \\
 &\quad \text{If } C \text{ is Small}
 \end{aligned} \quad (4)$$

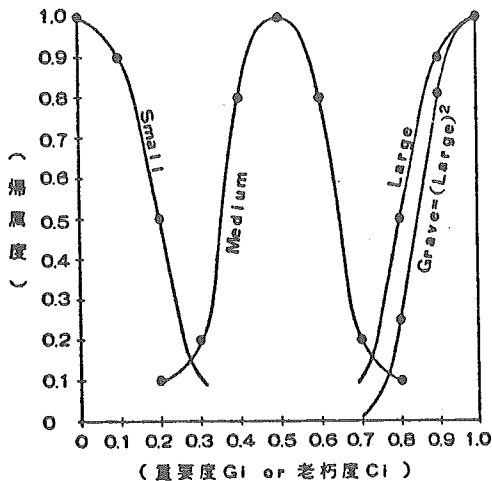


図5 G_i, C_i の帰属度関数

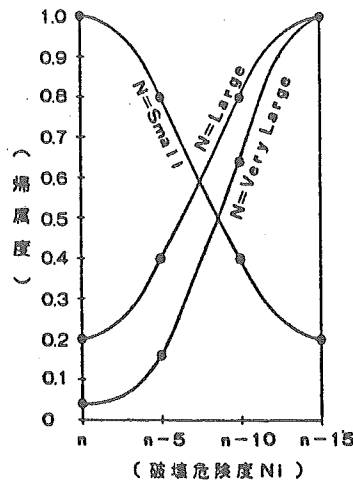


図6 N_i の帰属度関数

CASE 1 についての計算例

表2 共通集合[G_i], [C_i]の計算

G \ C		C = Large		
		0.8	0.9	1
G \ C	0.2	0.1	0.1	0.1
	0.3	0.2	0.2	0.2
	0.4	0.3	0.3	0.3
	0.5	0.4	0.4	0.4
	0.6	0.5	0.5	0.5
	0.7	0.6	0.6	0.6
	0.8	0.7	0.7	0.7
	0.9	0.8	0.8	0.8
	1	0.9	0.9	0.9

表3 [G_i],[C_i]のFuzzy関係T

G \ C	(C)									
	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1	
0	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1
0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
0.2	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
0.3										
0.4										
0.5										
0.6										
0.7										
0.8	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
0.9	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9
1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	0.9

表4 [N_i],[C_i]のFuzzy関係R

G \ n	(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
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

すべての老朽度がSmallであれば
C=Small

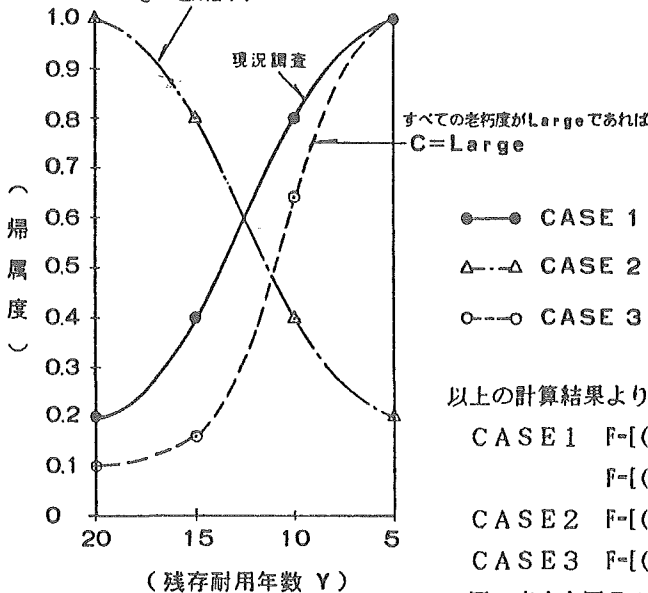


図7 残存耐用年数Yの帰属度

表5 残存耐用寿命のFuzzy解F

G \ n	(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
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

以上の計算結果より

- CASE 1 F=[(n/0.2),(n-5/0.4),(n-10/0.8),(n-15/1)]
F=[(20/0.2),(15/0.4),(10/0.8),(5/1)]
- CASE 2 F=[(20/1),(15/0.8),(10/0.4),(5/0.2)]
- CASE 3 F=[(20/0.1),(15/0.16),(10/0.64),(5/1)]

図で表すと図7の様になり、本事例橋梁はかなり老朽度が進んでいることが解る。また、帰属度関数、因子の評価法、

FuzzySetをどのように設定するかという問題は残るが、人間のあいまいな主観的判断を残存寿命評価に反映させることが可能である。

5. ま と め

以上構造物の健全度評価と残存寿命評価の手法について検討した結果、本研究で用いたFuzzy理論の計算により、残存耐用寿命のおおよその検討をつけることができることがわかった。既述したように、この問題は評価手法の確立など検討すべき課題も多く、本研究は基礎的なものである。またできるだけ決定論的に評価できる様、検討することも重要である。

参 考 文 献

- 1) J. T. P. Yao: Identification and control of Structural Damage, IUTAM Symposium on Structural Control, Waterloo, Ontario, Canada, June, 1979
- 2) 白石他: 信頼性解析法へのFuzzy理論の適用に関する基本的研究, 土木学会論文報告集, 第325号, 1982
- 3) 西村, 藤井, 宮本: 道路橋RC床版の診断と評価に関する基礎的研究, 材料, 第34巻, 第376号, 1985
- 4) W. A. Hyman et al: Computer Model for Life-Cycle Cost Analysis of Statewide Bridge Repair and Replacement Needs, Transportation Research Record 899, 高速道路と自動車, 第27巻, 第10号, 1984