

## 論 文

## [1106] 一対比較にもとづいたコンクリート構造物の耐用期間の設定

正会員○松島 学（東電設計技術開発本部）

正会員 関 博（早稲田大学理工学部）

正会員 金子雄一（東電設計第二土木本部）

正会員 松井邦人（東京電機大学理工学部）

## 1.はじめに

構造物の耐用期間に影響を及ぼす諸因子には、多くの不確実性が含まれており、その値を定量的に求めるることは困難である。Iizuka<sup>1)</sup>は橋梁を対象にして①Natural factor, ②Old, ③Administrative schemeおよび④Social factor を耐用期間の因子として、過去の新潟県の橋梁のデータから信頼性理論を用いることによりコンクリート橋の耐用期間を54年としている。著者ら<sup>2)</sup>も既往の耐用期間の考え方を整理し、表1のようにまとめ直した。

一方、構造物の管理者等の専門家は、定量的ではないにしろ感覚的に構造物の耐用期間に対して何らかの考えを持っているのが普通である。本研究はコンクリートの専門家に対して一対比較<sup>3), 4), 5)</sup>を用いたアンケート調査を行い、コンクリート構造物の耐用期間を求めたものである。耐用期間は、『物理的な耐用期間』、『経済的な耐用期間』、『機能的な耐用期間』があるとされている<sup>6)</sup>。本研究では、社会的変化、経済性などではなく、対象を物理的要因による劣化により決定される耐用期間を考えた。対象とした構造物はコンクリート橋とくい式桟橋を取り上げた。この2つの構造物を選定した理由は、コンクリート橋は一般土木構造物であり比較的答やすいと思われるためであり、くい式桟橋は海洋構造物なので環境条件がコンクリート橋と顕著に異なる

表1 RC構造物（土木構造物）の設計上の供用年数

規格・基準名	供用年数	備考
道路橋示方書同解説 I. 共通編(1978)	風荷重に対し50年	非超過確率0.6を考えた基本風速
港湾関係補助金等交付規則実施要領について	岸壁, 防波堤 50年 橋梁 60年 さん橋 50年	物理的要因により定まる年数
大蔵省令 第15号(1983.4) (減価償却資産の耐用年数に関する大蔵省令)	橋梁 50年 トンネル 60年 まくら木 20年	鉄道業用または軌道業用のもの
BS5400 Steel, Concrete and Composite Bridges(1978)	120年	design life
CEB-FIP Model Code(1978) International System of Unified Standard Codes of Practice for Structures-Vol. 1, App. 1	仮設物 5年 一般 50年 記念構造物 500年	レベル"2"での方法によるdesign life
Rules for the Design Construction and Inspection of Offshore Structures(1977) by DNV	100年	design period (環境荷重設定における設計期間)

ことが想定されるためである。アンケート調査は、耐久性の専門家として、大学や研究所、建設会社で長年コンクリートの設計、研究に直接かかわってきた熟練者5名を選んだ。

## 2. 一対比較による耐用期間の帰属度関数の決定方法

先に述べたように、耐用期間の概念は、感覚的におさえられることが一般的である。従って、耐用年数をあいまいなものとして考える方がよいと思われる。本研究では、あいまいさを含んだ耐用期間の表現方法として、帰属度関数<sup>7)</sup>を用いるものとした。一般に、帰属度関数をアンケート調査で直接的に求めることは困難である。ここで対象としているコンクリート構造物で説明すると、おののの耐用期間の年数に対して全体を見渡して帰属度を答えることは、いかに経験豊かな技術者でも難しい。なぜならば、一般的な技術者は帰属度という概念は全く持っていないため、この意味を理解している技術者は少ない。さらに、多くの耐用期間の年数について、同時にしかも整合性をもって評価することは非常に困難なためである。しかし、ある2つの年数（例えば、耐用期間10年と50年の対の比較）について、一方の年数が他方の年数よりも、どれだけその構造物の耐用期間として適しているかを比較の形で評価してもらうことは比較的容易であり、その意味で一対比較によるアンケート調査は実用的な方法と考えられる。

本研究では、耐用期間の年数として、5つの数値 {10, 30, 50, 100, 200} 年を与えた。このとき、この5つの年数のうち2つの値を取り出して、対象とする構造物に対してどちらの方がどれだけ耐用期間として適した年数であるかを評価してもらう。アンケートでの耐用期間の年数の代表値として5種類としたのは、全10対 (=5\*(5-1)/2) 以上の評価を行うことは専門家の意欲が最後まで続くか疑問であり、アンケート調査結果に信頼度がおけなくなるおそれがあると考えられるためである。また、これらの年数のきざみは、耐用期間としてこれ以上細区分しても意味がないと判断し、指数的に区分できるものと上記のように設定した。

次に、一対比較の解析手法の説明をする。この5つの耐用期間の年数のうち2つ、iとjに対して一対比較を行った結果を  $e_{ij}$  とすると、この  $e_{ij}$  を行列要素とした以下の5行5列の行列Eが得られる。

$$E = \begin{bmatrix} 1.0 & e_{12} & e_{13} & \cdots & e_{15} \\ e_{21} & 1.0 & e_{23} & \cdots & e_{25} \\ \cdots & \cdots & \cdots & \cdots & \cdots \\ e_{51} & e_{52} & e_{53} & \cdots & 1.0 \end{bmatrix} \quad (1)$$

ここで、Eの要素はある2つの耐用期間の年数のみに注目して、一対比較により得られる結果であるために、その関係に矛盾が生じることがある。そこで、一貫性をもたすために以下の固有値解析を行うことにより、妥当な評価  $w_i$  を求める。

$$E \cdot w = \lambda \cdot w \quad (2)$$

ここに、

$$w = \{w_1, w_2, \dots, w_5\}^T \quad (3)$$

$\lambda$  は、Eの実数固有値の最大値である。このとき式(1)を解いて得られる各固有ベクトル  $w_i$  をその耐用期間の年数に対する帰属度と考えることができる。そして、一対比較の精度が高くなるほど、最大の固有値  $\lambda$  は5に近くなる。一般に、この解析精度の指標として、Consistency Index C.I. = (固有値 - 5) / (5-1) が用いられる。一般に、C.I. は0.1~0.15以下であれば整合性があるとされている<sup>5)</sup>。

### 3. アンケート調査の内容

対象構造物をコンクリート橋とくい式桟橋として、耐用期間の年数についてそれぞれ一対比較のアンケート調査を行った。本研究では、耐用期間は耐久性のみにより決定されるものとして仮定した。耐久性については、安全性と使用性の2つが考えられる。しかし、使用性については対象とする構造物の個々の詳細にわたる使用性を考えないと設定できず、一般性に欠けるため、安全性のみを対象としてアンケートには答えてもらうこととした。表2に安全性に関する項目とその意味を定義する。各対象構造物の耐久性の評価項目は①コンクリートの劣化、②ひびわれ、③断面欠損および④荷重を考えた。対象とする構造物の特徴はおのおの図1.a,bのように設定した。ただし、両構造物ともに現状の技術レベルで設計されたもので、特殊な施工を行わないものを対象とする。アンケートは解答者がシステムテックに答えられるように構造物の一対比較の組合せを表にして示し、一対比較を行った結果を直接表に記入してもらうようにした。このアンケートの表を図2に示す。また、アンケートの順序はランダムに配置して評価することとした。

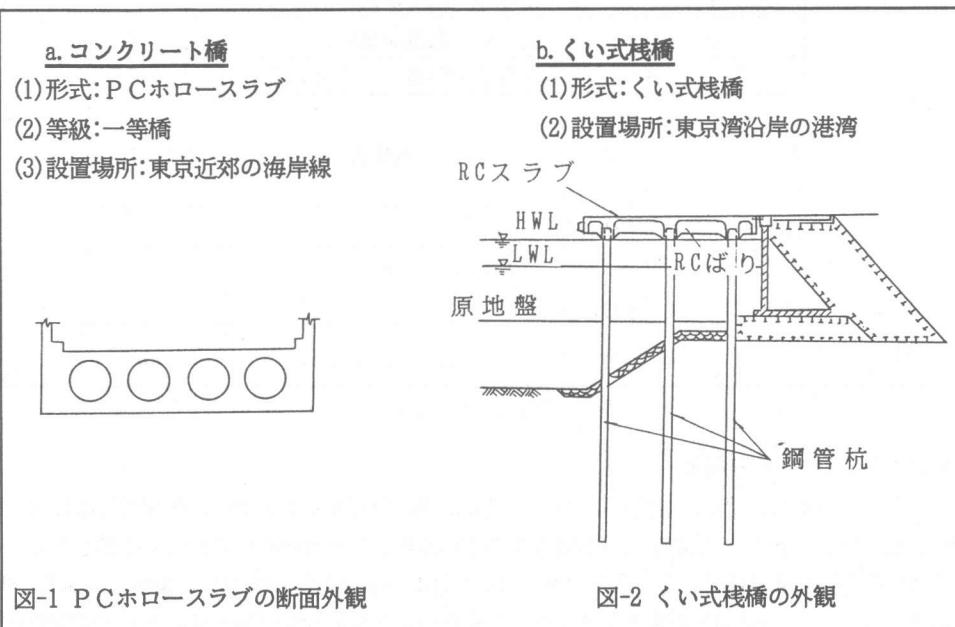


図1 PCホロースラブの断面外観

図2 くい式桟橋の外観

図1 対象とする構造物

表2 耐久性についての評価項目

	耐久性の項目	項目の意味
安 全 性	コンクリートの劣化	炭酸化等による化学作用による変質、コンクリート成分の溶出
	ひびわれ	曲げ、せん断、ねじりによるひびわれ、軸方向のひびわれ（鉄筋の腐食、付着・定着の劣化）等
	断面欠損	コンクリートの剥離・剥落、鉄筋の腐食（局部・全面腐食）等
	荷重	耐用期間内に作用する実荷重（ただし、地震、波浪、風などの再現期間を設定して与えられる荷重を除く。）

### アンケート用紙

次項に示す耐用期間でこの構造物が建設された場合に、その耐用期間はどちらの年数の方がどの程度妥当性があるか、その一致度を下表に示す1～9までの整数値で評価してください。AまたはBのどちらかの欄を選んで下表の値を埋めてください。ただし、評点が1の場合はどちらに記述してもかまいません。

表

評点	定義
1	ほぼ同じ程度である。
3	若干一致度が高い。
5	一致度が高い。
7	かなり一致度が高い。
9	絶対に一致度が高い。
2, 4, 6, 8	上記の中間値として用いる。

	A	B	Aの方が	Bの方が
1.	50年	100年	_____	_____
2.	10年	100年	_____	_____
		.....		
9.	50年	200年	_____	_____
10.	10年	50年	_____	_____

図2 アンケート用紙

#### 4. アンケート調査の解析結果

コンクリート橋およびくい式桟橋について5名の回答者が答えたおのおのの帰属度を図3.a, bに示す。図にみられるように5名の回答者は若干のばらつきはあるものの、それほどの差もなく、この手法の妥当性を裏づけている。また、各人のC.I.は0.15以下となっており、整合性があると判断した。さらに、これら5名の答えたアンケート調査から平均的な帰属度を求めた。本研究では個々のアンケート結果の幾何平均を取り、それを固有値解析することで帰属度を求めた。同図には、その値を破線で示してある。これから、どちらかと言うと、くい式桟橋の方がコンクリート橋よりも耐用期間が短いことがわかる。

次に、求められた各帰属度関数から各対象構造物の耐用期間を求める方法を定義する。耐用期間Tは、各帰属度の重みw<sub>i</sub>を考慮して重心を求めて、式(4)のように定義した。

$$T = \frac{\sum t_i \cdot w_i}{\sum w_i} \quad (4)$$

$\sum_{i=1}^5 \sum_{i=1}^5$

ここで、t<sub>i</sub>はアンケート調査の耐用期間、w<sub>i</sub>はt<sub>i</sub>での帰属度である。さらに、この値のあいまい度を式(5)のように定義する。

$$\delta_T = S/T \quad (5)$$

ここで、

$$S^2 = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 \{(t_i - T)^2 \cdot w_i\} \quad (6)$$

この値  $\delta_T$  の意味は、耐用期間  $T$  のあいまい度を表す指標であり、大きくなるほど耐用期間  $T$  について確信を持たないことを意味する。

式(4)および式(5)を用いて、コンクリート橋および桟橋の耐用期間とそのあいまい度を図4.a, bに示す。また、同図には各人の幾何平均からもとめた値も示す。この図から、耐用期間は、コンクリート橋で  $T=61$  年、桟橋で  $T=49$  年となり、桟橋の方が若干耐用期間が短いことがわかる。これは、環境条件が異なることが大きく影響していると推測される。そのあいまい度は、コンクリート橋の方が小さな値となり、コンクリート橋のような一般土木構造物に比べ、桟橋のような特殊構造物では、判断が難しいことがある。

## 5.まとめ

本研究はコンクリートの専門家に対する一対比較を用いたアンケート調査を行い、対象とした構造物、コンクリート橋およびくい式桟橋の耐用期間を求めたものである。その結果は次のようにまとめられる。

(1) 従来、経験的に決定されていた構造物の耐用期間の決定方法を一対比較法を用いることにより定量的に取り扱うことができる。

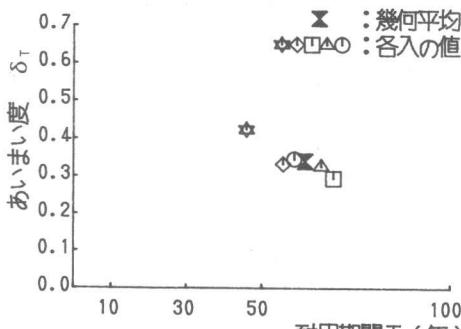


図4.a コンクリート橋の耐用期間

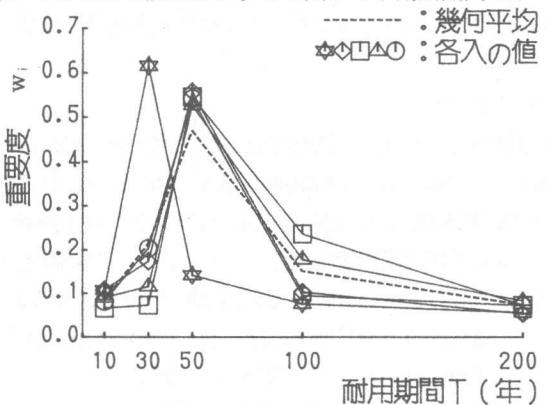


図3.a コンクリート橋の耐用期間の帰属度関数

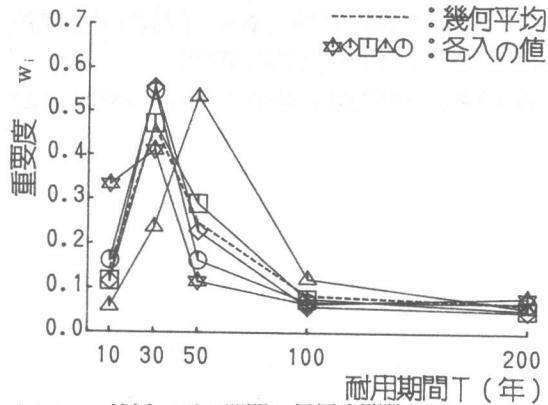


図3.b 桟橋の耐用期間の帰属度関数

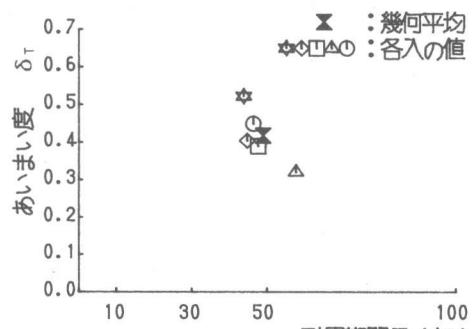


図4.b 桟橋の耐用期間

- (2)耐用期間はコンクリート橋でT=61年、桟橋でT=49年となり、桟橋の方が若干耐用期間が短いことがわかる。これは、環境条件が異なることが大きく影響していると推測される。
- (3)そのあいまい度は、コンクリート橋の方が小さな値となり、コンクリート橋のような一般土木構造物に比べ、桟橋のような特殊構造物では、判断が難しいことがわかる。

**謝辞:**アンケート結果の活用にあたり、アンケートに御協力頂いた専門家の方々に感謝の意を表す次第であります。本研究を遂行するにあたり、奥村敏恵 東京大学名誉教授から常に適切な助言をいただきました。また、元東京電機大学卒論生の洲鎌靖之氏（現川田建設株式会社）には、計算に協力をいただきました。ここに深く感謝致します。

**(参考文献)**

- 1) Hiroshi Iizuka:A Statistical Study on Life Time of Bridges, Proc. of JSCE No.392/I-9 (Structural Eng./Earthquake Eng. Vol. 5. No. 1), pp. 73~82, April, 1988.
- 2) 関博, 松井邦人, 松島学, 金子雄一:コンクリート部材の劣化と破壊確率について, 第7回コンクリート工学年次講演会論文集, コンクリート工学協会, 1985
- 3) T. L. Saaty:The Analytic Hierarchy Process, McGraw-Hill, 1980.
- 4) T. L. Saaty: A Scaling Method for Priorities in Hierarchical Structure, J. of Mathematical Psychology, 15, pp. 234~281, 1980.
- 5) 刀根薰: ゲーム感覚の意志決定法, 日科技連, 1986, 1.
- 6) コンクリート標準示方書（昭和61年制定）改訂資料, コンクリート・ライブラリー 第61号, pp 101~pp111, 土木学会, 昭和61年10月
- 7) 構造システムの最適化-理論と応用-, 土木学会, pp219~225, 昭和63年9月20日