

コンクリート構造物の耐久設計に関する基礎的研究 (1)

Durability Design of Concrete Structures (1)

加藤 佳孝*・吉沢 勝**・魚本 健人*
Yoshitaka KATO, Masaru YOSHIZAWA and Taketo UOMOTO

1. はじめに

コンクリート構造物は、従来より維持管理の容易な構造物として社会資本の蓄積に多大な貢献を果たしてきたが、近年、その耐久性に疑問を投げかける事例が顕著化するなかで、その維持管理方法、および耐久性を特に考慮した体系的な設計手法の確立を目指し、土木学会コンクリート委員会において、「コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)」が作成された。しかしながら、この耐久性設計指針は新設コンクリート構造物の耐久性向上を目的としたものである。そのため既設構造物の補修・補強のための耐久性診断、または残存寿命予測とは全く別のものとされている。

そこで本研究では、土木学会の耐久性設計手法を用いて既設構造物の補修までの期間が予測可能であるかを確認した。さらに、ニューラルネットワークによる感度解析を行うことによって、各項目の中で耐久性に対して影響の大きいものを把握し、新たな耐久性ポイントの設定の方法に関して考察を行った。

2. 耐久設計指針(試案)の概略

新たにコンクリート構造物を建設する場合、構造物の耐久性確保のための一基準として、以下に示す耐久設計法が土木学会によって提案されている。耐久設計法の基本的な概念は式(1)に示されるように、耐久指数 T_P が環境指数 S_P 以上であることを確かめることにより行うものである。

$$T_P \geq S_P \quad (1)$$

ここで、環境指数 S_P は、構造物がおかれる環境条件・要

求されるメンテナンスフリー期間を考慮して式(2)により算定される。メンテナンスフリー期間とは、目視観察等により耐久であると判断でき、全く補修しなくてもよい状態のことである。

$$S_P = S_0 + \sum (\Delta S_P) \quad (2)$$

S_0 : 標準的な環境条件における環境指数値を示し、メンテナンスフリー期間10年を0、50年を100として設定している。

また、耐久指数 T_P は、コンクリート構造物の耐久性に関する要因を考慮して式(3)により算定される値である。

$$T_P = 50 + \sum T_P(I, J) \quad (3)$$

$T_P(I, J)$: 構造物の耐久性に関する要因の影響を定量的に評価した耐久性ポイントであり、表1に示すものである

3. 耐久設計法の既設構造物への適用

今回の検討には、メンテナンスフリー期間が既知である自動車専用道路のデータを用いて、表1に示す耐久設計法の項目について参考文献1)により、耐久指数の算定を行った。ここで、建設当時のデータが不完全な場合は耐久性ポイントを0として計算を行った。これにより算定した耐久指数とメンテナンスフリー期間との関係を図1に示す。図1中の両者には、何らかの関係があることは明白ではあるが、これに関して現在定式化されたものがないため、本研究において、両者の間には図1中に示した直線関係があるとして考察を行った。この直線は、耐久指数 T_P と環境指数 S_P が等しく、構造物が標準的な環境条件にあるという仮定の基に算定したものである。これにより、現時点での耐久設計では構造物に対する耐久指数を過大評価してお

* 東京大学生産技術研究所 第5部

** (財)首都高速道路技術センター

表1 耐久性ポイント入力項目

1	コンクリート材料	
	1	セメント
	2	骨材の吸水率
	3	骨材の粒度
2	コンクリート及び補強材	
	1	ワーカビリティ
	2	堅硬性
	3	単位水量
	4	塩化物含有量
	5	コンクリート製造工場の管理状態
3	設計ひび割れ	
	1	温度ひび割れ指数
4	部材の形状・鉄筋詳細・設計図	
	1	部材の形状・寸法 (2, 1)で考慮
	2	かぶり
	3	鉄筋の段数・あき
	4	用心鉄筋
	5	打継目
5	コンクリート工	
	1	主任技術者
	2	受け入れ
	3	運搬・打ち込み・締め固め
	4	表面仕上げ・養生
6	鉄筋工・型枠工・支保工	
	1	鉄筋加工
	2	鉄筋の組立
	3	型枠工
7	PC工の補足事項	
	1	技術者の経験・資格
	2	グラウトの材質
	3	後埋めコンクリートの品質
8	特別な型枠・防護工	
	1	表面防護工

表2 学習入力項目および学習範囲

	入力項目	設定範囲	採取データ範囲
1	ワーカビリティ	-55~35	-16~5
2	堅硬性	-15~20	5~18
3	単位水量	-25~10	-14~5
4	かぶり	-30~30	-8~30
5	鉄筋の段数・あき	-35~15	-17~15
6	用心鉄筋	0~10	0~10
7	打継目	-25~0	-14~0
8	設計図	-20~0	-10~0
9	運搬・打ち込み・締め固め	-45~20	0~18
10	表面仕上げ・養生	-40~5	-3~0

間の関係を詳細に検討するために、耐久性ポイントを入力項目・メンテナンスフリー期間を出力項目としてニューラルネットワークを用いて学習を行い、学習の結果によって得られる重みを用いて感度解析を行った。今回用いたデータの範囲内において、何れの場合においても変動のない入力項目は、ニューラルネットワークを学習させるにあたり、全く意味をなさないため、これらの入力項目に関しては除去し表2に示す10項目についての検討を行った。耐久設計法(試案)で設定された範囲および今回採集したデータの範囲も同様に表2に記す。今回の検討で用いたニューラルネットワークは階層型ニューラルネットワークと呼ばれるもので、出力値は中間層を介して適当な重み付けで入力値と結合しているモデルである。

4.2 解析結果

ニューラルネットワークの収束状況を図2に示す。この図は、横軸に教示値・縦軸に推定値をプロットしたものであり、この図からニューラルネットワークによる学習状況は非常によいことがわかる。そこで、この学習によって得られた重みを用いて、学習に用いたそれぞれのデータの平均値を基準値として、各入力項目ごとに学習範囲内(今回採集したデータの範囲内)で変化させたときの感度解析の結果を図3から図12に示す。全ての項目に関して、耐久性

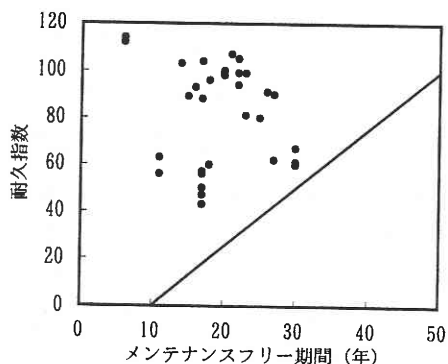


図1 耐久指数とメンテナンスフリー期間の関係

り、各項目における耐久性ポイントとメンテナンスフリー期間の関係を詳細に検討する必要がある。

4. 感度解析

4.1 解析方法

各項目における耐久性ポイントとメンテナンスフリー期

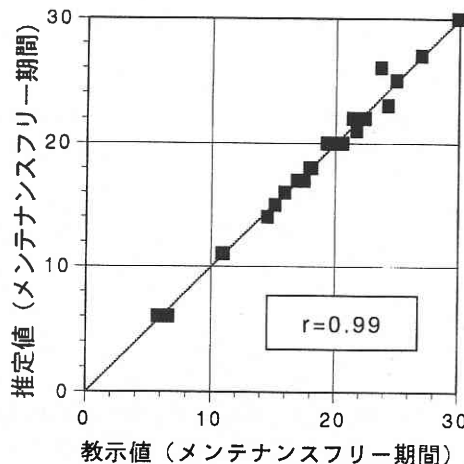


図2 学習データの収束状況

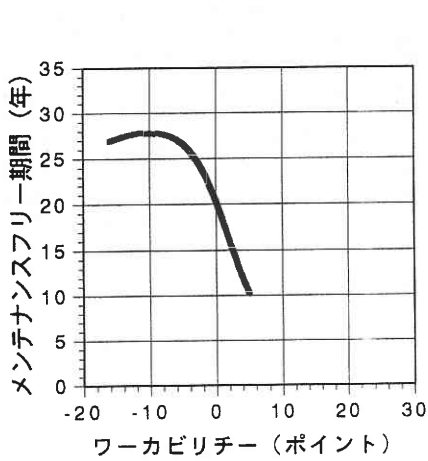


図3 感度解析結果
単位水量 (kg/m³)

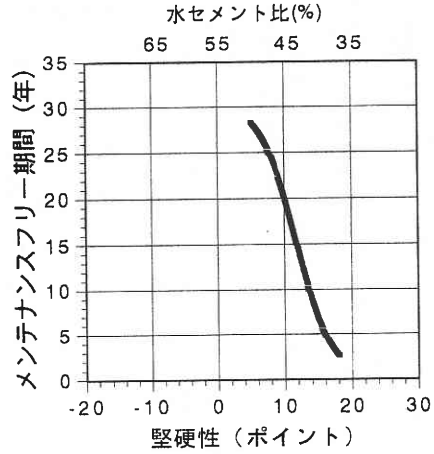


図4 感度解析結果
かぶり (cm)

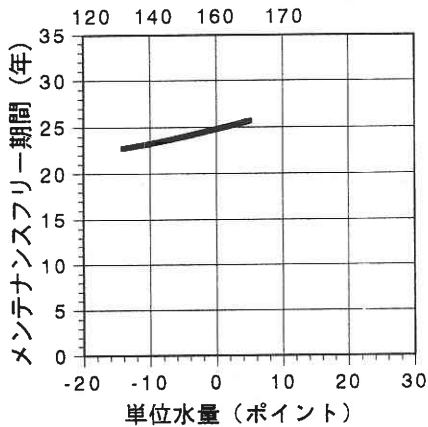


図5 感度解析結果

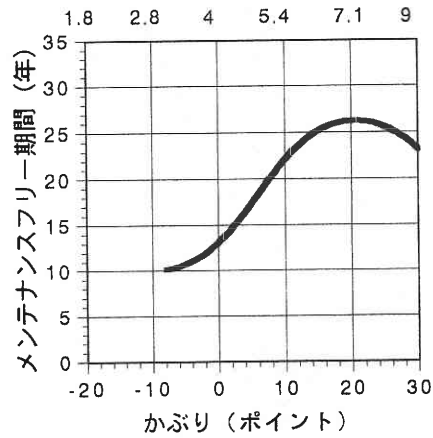


図6 感度解析結果

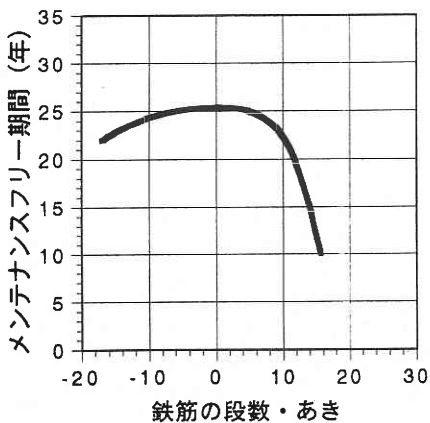


図7 感度解析結果

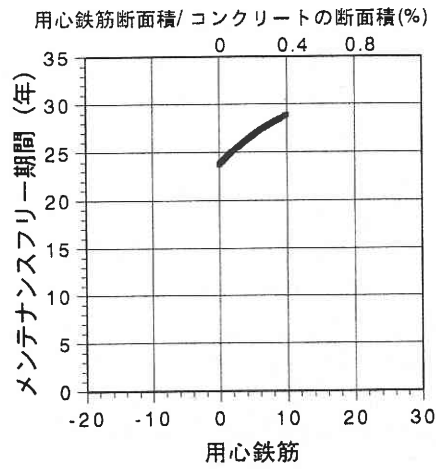


図8 感度解析結果

ポイントが大きい値を示す場合、構造物がそれだけ高耐久性を備えていることを考えると、各項目とメンテナンスフリー期間との関係のグラフは、当然右上がりの関係を示さ

なければならない。にもかかわらず、ワーカビリティ（図3参照）・堅硬性（図4参照）・鉄筋の段数とあき（図7参照）・設計図（図10参照）に関しては、全く逆の傾向を

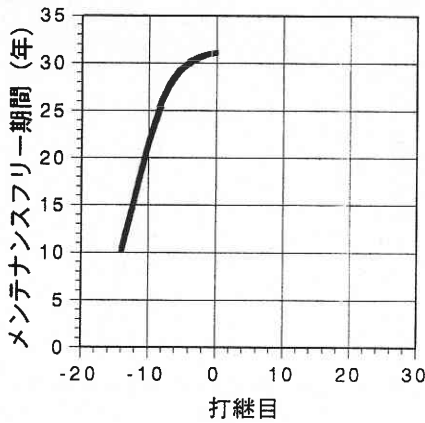


図10 感度解析結果

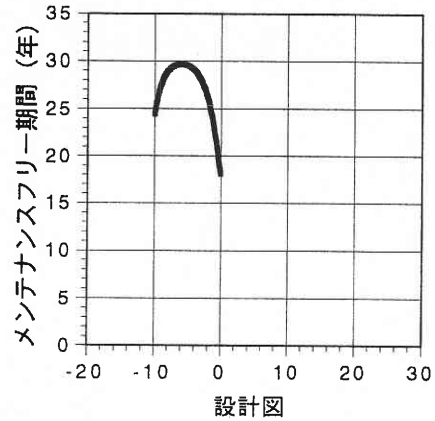


図9 感度解析結果

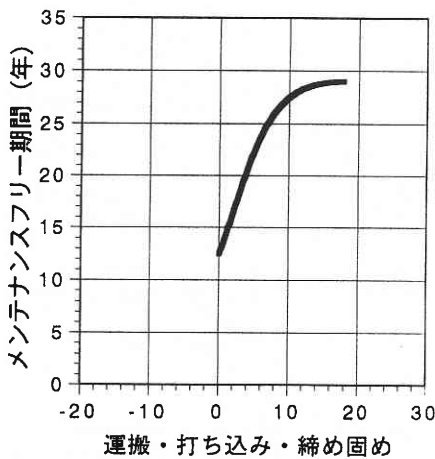


図11 感度解析結果

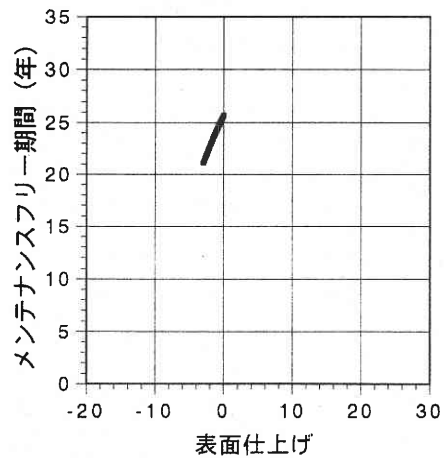


図12 感度解析結果

示していることがわかる。また、単位水量(図5参照)に関しては、他の項目に比べ耐久性ポイントが変動してもメンテナンスフリー期間がほとんど変化しないことがわかる。このような結果になった要因としては、以下に示すようなことが考えられる。

- 1) 今回考慮した入力項目だけでは、出力項目(メンテナンスフリー期間)を推定するには十分でなかったために、入力項目と出力項目の関係付け(重み付け)が実現に沿ったものにならなかったこと
- 2) 既設構造物に対する入力項目(耐久性ポイント)の算定方法が的確でない
- 3) 今回採集したデータ数は入力項目とメンテナンスフリー期間の関係を的確に示すには十分でなかったこと

5. ま と め

ニューラルネットワークを用いることによって、各入力項目がメンテナンスフリー期間にあたる影響の度合いを定量的に評価することが可能であることを示した。感度解

析の結果、何種類かの入力項目は実現現象にそぐわない結果が得られた。これに関しては、出力項目に対して影響の大きいと思われる要因、例えば耐久設計法では考慮されていない荷重(交通量)などの要因を入力項目に加え、さらに耐久性ポイントの算定方法を検討するなど入力項目に関してさらなる検討を加えることにより改善することが可能であると考える。今後、ニューラルネットワークの特徴を活かし、数多くのデータを採集し追加学習を行うことにより、より信頼性の高い評価を行うことが必要である。

謝辞 本研究を行うにあたり、芝浦工業大学修士2年生の増田克洋君には、多大なご協力を頂きました。ここに感謝の意を表す。
(1995年12月12日受理)

参 考 文 献

- 1) 土木学会コンクリート・ライブラリー第65号：コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)。