

# ニューラルネットワークを用いた耐久設計におよぼす 疲労荷重の影響に関する基礎検討

A Study on Durability Design under the Influence of Fatigue Load using Neural-network

吉 沢 勝\*・魚 本 健 人\*\*

Masaru YOSHIZAWA and Taketo UOMOTO

## 1. は じ め に

近年、コンクリート構造物の維持管理が重要度を増し、構造物の設計には耐久性を考慮した耐久設計を行うことが検討されている。耐久設計法<sup>1)</sup>は、新設コンクリート構造物を耐久性のあるものとするを目的としており、構造物の耐久性を材料・設計・施工の要因から評価しようとするものである。従って、本設計手法においては要因の選択が重要となる。道路橋のような構造物においては自動車荷重の繰り返しによる疲労の影響を考慮することが必要とされるが、耐久設計においては疲労による影響の程度を定量的に評価することが困難であるため採り上げられてはいない。そこで耐久設計の新たな要因として大型車交通量に着目し、最適化手法の一つであるニューラルネットワークを用いて、自動車荷重の繰り返しによる疲労が耐久性の評価に与える影響の程度について検討することにした。

## 2. 耐 久 設 計 法

耐久設計法は、新たに建造されるコンクリート構造物の耐久性に対する設計を行うときの一般的な標準であり、既設構造物の補修・補強のための耐久性診断あるいは残存寿命予測とは別のものである。コンクリート構造物の耐久性に対する検討は、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われる。

$$T_p \geq S_p \quad (1)$$

### 2.1 環境指数 ( $S_p$ )

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とは、目視観察等により耐久的で

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。

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

ここに、 $S_0$ は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

$$S_0 = 2.5 M_f - 25 \quad (3)$$

$M_f$ : メンテナンスフリー期間 (年)

と表すこととした。また、 $\Delta S_p$  は塩分や凍結融解作用の影響が厳しい環境条件における環境指数の増分値である。

### 2.2 耐久指数 ( $T_p$ )

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次式により算定される。

$$T_p = 50 + \sum T_p(I, J) \quad (4)$$

ここに、 $T_p(I, J)$  は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により算定される。

## 3. 検 討 概 要

検討には既に補修工事のなされた、メンテナンスフリー期間が既知のコンクリート道路橋をもとに、その橋梁新設時の工事データを用いて表1に示す耐久設計法の項目について参考文献1)により耐久性ポイントの算定を行うとともに、大型車交通量を項目として加えた。また、ここで用いたメンテナンスフリー期間とは構造物の竣工から補修工事がなされるまでの期間とした。

ニューラルネットワークとしては、階層型ネットワー

\* (財)首都高速道路技術センター

\*\* 東京大学生産技術研究所 第5部

表 1 耐久性ポイント Tp(I, J)

I	J	項目	ポイント
1		コンクリート材料	
	1	セメント	10～ 0
	2	骨材の吸水率	8～-10
	3	骨材の粒度	0～- 5
	4	混和材料	20～-15
2		コンクリートおよび補強材	
	1	ワーカビリティ	35～-30
	2	堅硬性	20～-15
	3	単位水量	10～-25
	4	塩化物含有量	5～-30
	5	コンクリート製造工場の管理状態	10～-10
	6	防錆した補強材	Tp(4, 2)を修正
3		設計ひびわれ	
	1	温度ひびわれ指数	10～-20
	2	曲げひびわれ指数	10～-20
4		部材の形状・鉄筋詳細・設計図	
	1	部材の形状・寸法	Tp(2, 1)で考慮
	2	かぶり	30～-30
	3	鉄筋の段数およびあき	15～-35
	4	用心鉄筋	10～ 0
	5	打継目	0～-25
	6	設計図	0～-30
5		コンクリート工	
	1	主任技術者	20～- 5
	2	受入れ	5～- 5
	3	運搬・打込み・締固め	20～-45
	4	表面仕上げ・養生	5～-40
	5	打継目の施工	Tp(4, 5)を修正
6		鉄筋工・型枠・支保工	
	1	鉄筋加工	5～ 0
	2	鉄筋の組立て	5～-20
	3	型枠	20～-15
	4	支保工	5～- 5
7		PC工の補足事項	
	1	技術者の経験・資格	0～- 5
	2	グラウトの材質	5～ 0
	3	後埋めコンクリートの品質	0～- 5
	4	グラウトの施工方法	0～- 5
8		防護工	
	1	表面防護工	20～ 0

ク<sup>2)</sup>と呼ばれる出力値が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図1のようなモデルを用いた。このニューラルネットワークを用いて入力項目から推定されるメンテナンスフリー期間と実際のメンテナンスフリー期間との差が微少となるように学習を行い、得られた重みから荷重の繰り返しによる疲労すなわち大型車交通量が耐久性

## 入力層 中間層 出力層

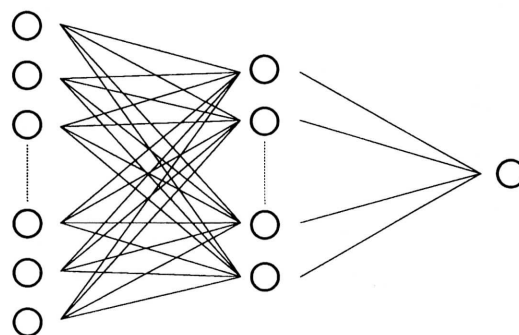


図1 階層型ニューラルネットワークモデル

の評価によらず影響の程度を求めた。

## 4. 検 討 結 果

耐久設計法の算定による耐久指数と環境指数との関係を図2に示す。ここで、環境指数は実メンテナンスフリー期間による環境指数を表している。耐久設計法は、所望するメンテナンスフリー期間から求められる環境指数  $S_p$  に対して、構造物の耐久性を示す耐久指数  $T_p$  が大きいかな否かによって照査を行うものであるから、実メンテナンスフリー期間から求められる環境指数  $S_p$  と耐久指数  $T_p$  とは  $T_p = S_p$  と考えられる。しかし図2に示されるように、耐久指数は環境指数に比べて大きな値となっており、耐久指数と環境指数との間に大きな差が生じていることがわかる。すなわち、耐久設計法の照査によると、これらの構造物は実際のメンテナンスフリー期間に対してより耐久的な構造物であり、もっと長期のメンテナンスフリー期間が期待できる構造物であったといえる。そこで耐久指数と環境指数

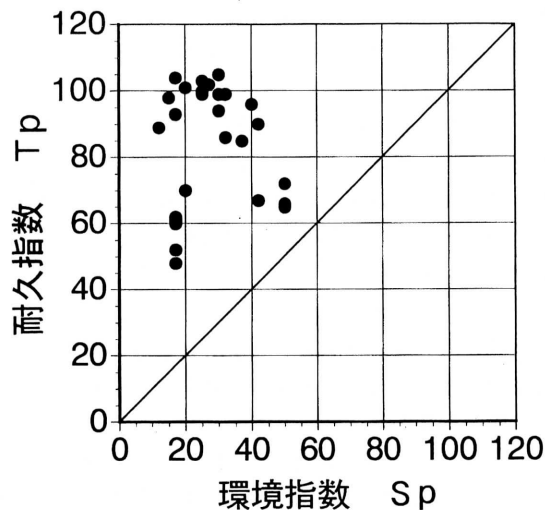


図2 環境指数と耐久指数

## 研 究 速 報

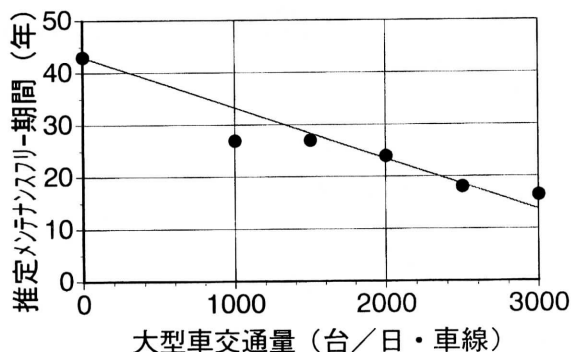


図3 交通量による推定期間の変化

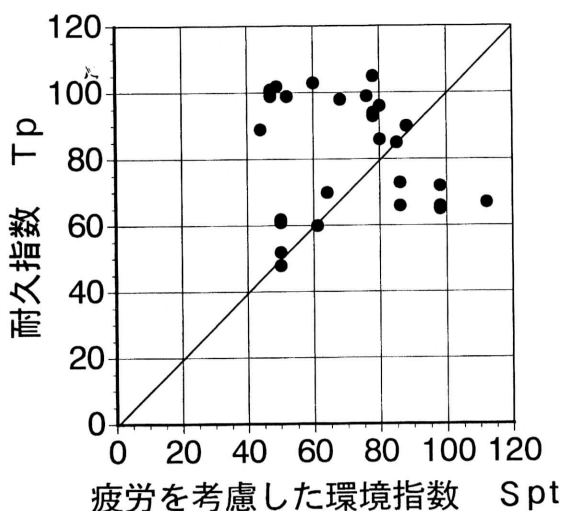


図4 疲労を考慮した環境指数と耐久指数

との間に生じる差の原因を、荷重の繰り返しによる疲労の影響によるものと考え、ここでは交通量を新たな要因として加えることを考えた。交通量のデータは、疲労への影響が大きいと考えられる大型車の一車線一日あたりの平均交通量を使用するものとした。このデータを用いて、実際のメンテナンスフリー期間を教示値とし、その差が微少となるようニューラルネットワークによる学習を行った。学習により得られた重みを用いて大型車交通量を変化させた場合のメンテナンスフリー期間推定結果の変化を図3に示す。基準値としたデータは、ニューラルネットワークの学習に用いた入力データの平均値とした。図3中において、大型車交通量0のときの推定メンテナンスフリー期間とは、耐久設計法による耐久性ポイントの算定から求められる耐久指数と環境指数が等しいとしたときのメンテナンスフリー期間である。また交通量は、入力データの範囲が1,000台から3,000台の範囲であったため同様の範囲で変化させている。図3に示されるように、大型車交通量の増加とともに

に推定メンテナンスフリー期間が直線的に減少する傾向がみられる。すなわち、この近似直線の傾きが大型車交通量がメンテナンスフリー期間におよぼす影響の程度を示すものであり、今回のデータの範囲において大型車交通量1,000台に対してメンテナンスフリー期間が10年減少することが判明した。このことから、式(3)においてメンテナンスフリー期間10年の増減による環境指数値  $S_0$  の増減が25であることにより、疲労による環境指数の増分値  $\Delta Spt$  を次式によって求めた。

$$\Delta Spt = (Tr^*25) / 1000 \quad (5)$$

Tr: 大型車交通量 (台/日・車線)

この  $\Delta Spt$  を、環境指数の新たな増分値として式(2)に加えた疲労を考慮した環境指数  $Spt$  を

$$Spt = S_0 + [\sum(\Delta Sp) + \Delta Spt] \quad (6)$$

とした。疲労を考慮した環境指数  $Spt$  と耐久指数  $Tp$  の関係を図4に示す。図2と図4とを比較すると、大型車交通量の要因を加えたことによって、耐久指数と環境指数の関係が改善され、所望のメンテナンスフリー期間に対して必要な環境指数を算定できるようになったといえる。ただし、耐久指数と環境指数の関係にはまだバラツキが残されており、データ量を充実させるとともに、他の要因についても今後検討していく必要がある。

## 5. ま と め

耐久設計法の新たな要因として大型車交通量に着目し、ニューラルネットワークを用いて大型車交通量が耐久設計におけるコンクリート構造物のメンテナンスフリー期間の評価に与える影響について検討を行った。その結果、大型車交通量がメンテナンスフリー期間に与える影響の大きさが明らかとなり、所望のメンテナンスフリー期間に必要とされる環境指数を算定することができた。しかし、今回の検討結果ではまだその関係にバラツキが残されており、今後データ数を増やすとともに新たな要因についても検討を加えて、疲労荷重の影響の定量化についての検討を行う必要があるものと考えた。

(1995年6月12日受理)

## 参 考 文 献

- 1) 土木学会：コンクリート構造物の耐久設計指針(試案)，コンクリート・ライブラリー 第65号，1989.8.
- 2) 矢川元基：ニューラルネットワーク，計算力学とCAEシリーズ12，培風館，1992.5.