

I - A 269

補強工法による効果値の違いを反映させた道路橋の耐震補強計画モデル

鈴縫工業（株） 正会員 石橋 英昭
 茨城大学工学部 正会員 呉 智深
 茨城大学工学部 正会員 原田 隆郎

1. はじめに

橋梁は、本来持っている交通機能に加え、ライフラインの占用空間としても社会・経済活動の重要な役割を担う重要な土木構造物である。しかし、1995年に起きた兵庫県南部沖地震により、数多くの補強・補修を必要とする危険な構造物の存在が浮き彫りにされた。そのため地震災害後も最低限の機能を維持できるような効果的な耐震補強計画策定の必要性が高まっている。そこで著者らの研究¹⁾では、個々の既存道路橋に対する重要度分析結果に基づいた耐震補強計画を検討するために遺伝的アルゴリズム（以下GA）による解析モデルの構築を行った。本研究では、この構築されたGA解析モデルを援用し、補強の要否のみを考えるのではなく、橋梁の損傷レベルに応じた段階的な補強工法の設定による耐震補強計画の策定を試みた。

2. 耐震補強計画における既存道路橋の重要度分析

本研究では、既存道路橋の重要度分析を行うために、著者らの研究¹⁾で得られた評価項目を採用、さらに地域特性を考慮するという観点からいくつかの評価項目を追加することでより計画的な分析が行えるようにした。その際、重要度を図-1に示す4つの要素で構成されていると定義し、「既存道路橋の影響度」「地域における地震発生切迫度と地質条件」に関しては、各データを点数化することによって評価値の定量化を、「構造全体レベルに関する保有耐震性向上の必要性」「主要な構造部材の劣化状況」に関しては、近田らの研究²⁾を参考に、点検結果の数量化³⁾類による分析結果を用いた評価値の定量化を行った。

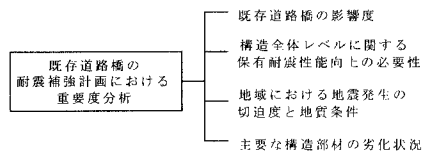


図-1 重要度分析における評価カテゴリー

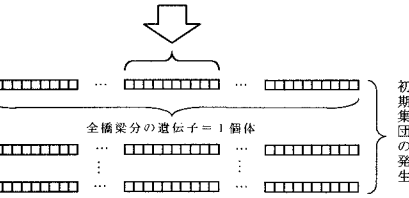
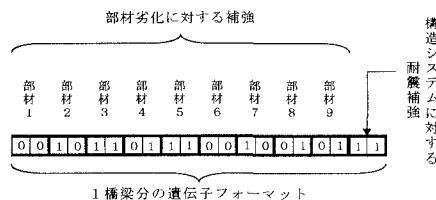


図-2 評価モデルの遺伝子フォーマット

3. GAによる既存道路橋の耐震補強計画のための評価モデル

(1) 評価モデルの遺伝子フォーマット

著者等の研究¹⁾における評価モデルは、補強の要否のみで評価値を判断し、工法による段階的補強効果の定量化は行っていなかった。そこで本研究では、図-2に示すように4つの遺伝子「00⇒補強しない」「01⇒劣化・損傷レベルを1段階高める」「10⇒劣化・損傷レベルを2段階高める」「11⇒劣化・損傷レベルを3段階高める」とし、その遺伝子列をすべての橋梁分だけコード化することとした。

(2) 評価値の算出

本研究では、耐震補強計画の策定問題を組合せ最適化問題として定義し、既存道路橋の重要度分析の結果を踏まえ、評価関数として次のように定義した。

ここで、 I_i ：橋梁 i の影響度、 S_i ：橋梁 i の地域における地震発生切迫度および地質条件、 n ：計画対象橋梁数、 m_i ：部材数、 T_{i2} ：橋梁 i の補強後の保有耐震性能、 T_{i1} ：橋梁 i の補強前の保有耐震性能、 D_{ij2} ：橋梁

i 部材 j の補強後の構造劣化状況、 D_{ij1} ：橋梁 i 部材 j の補強前の構造劣化状況、 C ：補強予算、 c_{ij}^D ：橋梁 i 部材 j における補強費用、 c_i^T ：橋梁 i における耐震性向上に要する補強費用である。

$$(\text{目的関数}) f = \left\{ \sum_{i=1}^n (I_i \times S_i) \times \left\{ c_i^T (T_{i2} - T_{i1}) + \sum_{j=1}^m c_{ij}^D (D_{ij2} - D_{ij1}) \right\} \right\} \rightarrow \text{maximise}$$

$$(\text{制約条件}) \begin{cases} G_1 = C - \sum_{i=1}^n (\sum_{j=1}^m c_{ij}^D + c_i^T) \geq 0 \\ G_2 = D_{ij} - D_{i1} \geq 0 \\ G_3 = T_i - T_{i1} \geq 0 \end{cases}$$

$$(\text{ペナルティ関数}) \Phi = \begin{cases} f \\ f - \alpha G_1 - \beta G_2 - \gamma G_3 \end{cases}$$

キーワード：遺伝的アルゴリズム、耐震補強計画、最適化問題、重要度分析、補強効果

連絡先：〒316-0033 日立市中成沢町4-12-1 TEL 0294-38-5172 FAX 0294-35-8146

4. 評価モデルの数値シミュレーション

表-1 シミュレーションデータ

数値シミュレーションを行うにあたって、茨城県の特定期間から選んだ10橋のデータを用いた（表-1参照）。

橋梁	橋長(m)	幅員(m)	径間数	I	S	T	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
1	126.1	8.2	12	21	1	1	1	1	1	2	2	2	2	4	4
2	23.8	11.7	1	19	1	4	1	4	4	4	1	3	4	1	4
3	21.1	10	1	17	1	3	3	4	3	4	3	3	3	1	3
4	482.5	21.8	1	21	1	4	3	2	1	3	3	3	4	4	2
5	60	11.4	5	19	1	3	3	4	3	1	1	1	4	4	4
6	22.7	9.2	2	18	1	3	3	4	3	3	3	3	3	4	1
7	15.1	10.1	1	16	1	3	2	4	3	1	3	4	4	1	1
8	249.9	10.9	7	16	1	1	3	4	2	4	4	3	3	4	4
9	51.3	19.1	1	14	1	3	2	4	3	4	4	1	1	4	4
10	280.2	15.3	8	15	1	3	2	4	3	4	4	3	3	1	4

(1) GAシステムによる最適解の確認

GAによって導き出された最適解の妥当性を検証するためにランダムサーチとの比較を行った。GAで得られた最適解467218.9に対しランダムサーチで得られた最適解は313196.1でありGAで得られた解の優位性を確認することができた。

(2) シミュレーション結果の考察

著者らの研究¹⁾で採用していた工法（補強の要否のみ考慮）と本研究で採用した補強工法（3工法を設定）での補強予算ごとの全橋梁の総評価値の比較を行った。図-3から工法を設定したときには、どの補強予算の場合においても工法を設定しない場合よりも高い評価値となっていることがわかる。また、補強予算額が多いほど各工法の評価値の差が小さく、逆に補強予算額が少ないほど評価値の差が大きくなる傾向がみられる。つまり、厳しい予算制約を課すほど補強工法を詳細に設定する効果が大きく現れてくることがいえる。

また図-4から各橋梁ごとにみた工法の違いによる評価値の比較をしてみると、既存道路橋の影響度が高く規模の大きな橋梁は、どちらの工法においても評価値が突出している。この結果どちらの工法においても重要度を考慮した耐震補強計画がなされていると考えられる。さらに橋梁5については「既存道路橋の影響度」が比較的大きく、橋梁自体の規模も大きいことから、補強工法を段階的に設定した効果が現れていることがわかる。

またこれらの結果は、図-5にあるようにさらに対象エリアを広げた場合(78橋)においても同様のことがいえることが確認できた。

5. おわりに

本研究では、著者らによって構築された耐震補強計画策定モデルを援用し、補強の要否のみを考えるのではなく、橋梁の損傷レベルに応じた段階的な補強工法の設定による耐震補強計画の策定を試みた。その結果、1) 部材劣化及び耐震保有性能に対し、段階的補強工法を設定して補強判定を行った結果、補強の要否のみを考慮するモデルよりも段階的な補強効果の影響で高い評価値が得られること、2) 補強工法を段階的に設定することの効果は、補強予算が十分にある場合より厳しい予算制約を課した場合に大きく影響することが確認できた。今後、本モデル利用して時間的な計画策定問題を検討する予定である。

【参考文献】

- 1) 呉智深、原田隆郎、横山功一：遺伝的アルゴリズムによる大規模既存道路橋の耐震補強計画支援モデルの構築、土木学会構造工学論文集, Vol. 44A, pp. 1037-1046, 1998. 3
- 2) 近田康夫、橋謙二、城戸隆良、小堀為雄：GAによる既存橋梁の補修計画支援の試み、土木学会論文集 No. 513/I-31, pp. 151-159, 1995. 4

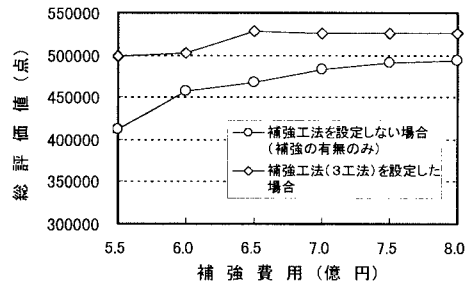


図-3 予算ごとの総評価値の推移図（10橋）

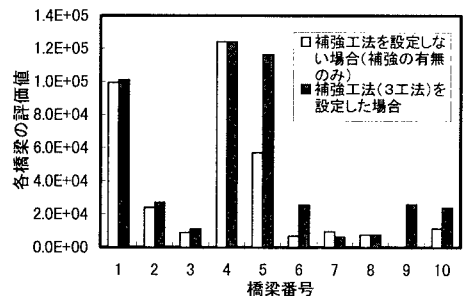


図-4 工法設定の違いによる評価値の差（10橋）

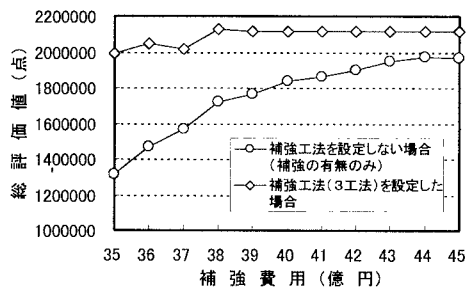


図-5 予算ごとの総評価値の推移図（78橋）