

S O Mを用いた道路橋 R C 橋脚の照査支援

REVIEW SYSTEM FOR DETAIL DESIGN OF RC-PIER USING SOM

中谷武弘*・廣瀬彰則**・近田康夫***・伊藤則夫****・山本紘久*****

Takehiro NAKATANI, Akinori HIROSE, Yasuo CHIKATA, Norio ITO and Hirohisa YAMAMOTO

*工修 中央復建コンサルタンツ(株) (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10)

**博(工) 中央復建コンサルタンツ(株) (〒533-0033 大阪市東淀川区東中島 4-11-10)

***工博 金沢大学大学院自然科学研究所 (〒920-8667 金沢市小立野 2-40-20)

****博(工) (有)シー・エー・イー (〒680-8064 鳥取市国府町分上 2-210)

*****工修 北川ヒューテック (〒921-8584 金沢市神田 1-13-1)

The planning or designing the road bridge has become more complicated with the wide variety of infrastructures in environment of today around a public works. Under this circumstance, we, bridge engineers, have produced effective and rational RC piers of road bridge which satisfy the several requirement of design. Therefore, we are in a difficult circumstance to evaluate optimum size of the substructures. In this study, we, taking into account the situation above, present an approach to make a reviewing system for the detail design of them, by using SOM.

Key Words : SOM , RC-Pier, Review system, Detail Design

1. はじめに

近年の社会・経済状況や国民の評価観の変化への対応と社会生活・経済活動の安全が重視される中で、橋梁構造物には、構造面・設計面ともに非常に複雑なプロセスが要求されている。一方で、コンピュータの発達・情報ネットワーク技術の普及によりソフトウェア化の進展をもたらした結果、設計に対する視点・能力・経験の差に伴う「設計解」の不安定性を引き起こしている。

このような背景のもと本研究では、道路橋設計分野において設計品質や最適化が問題となっている R C 橋脚設計成果の照査手法に関する合理化を目的として、ニューラルネットワークの一種である自己組織化特徴マップ (S O M) を適用した照査支援システムの構築を試み、その可能性について検討した。

2. 意思決定段階における支援システムの必要性

道路橋 R C 橋脚の設計手法は、兵庫県南部地震後の道路橋示方書 耐震設計編の全面改訂¹⁾により、照査プロセスならびに構造の細部項目の決定過程で用いる設計変数が大幅に増加した。これにより、設計作業には非常に複雑なプロセスが要求され、与えられた設計条件・設計空間内における最適部材断面の探索段階では多くの試行錯誤と判断能力が求められることになった。この場合、その入力値の設定段階では設計者の経験と勘に依存する

部分が多く、得られた設計解の最適性に関する照査手法が課題となっている。このような設計プロセスにおいて、設計成果の品質を高めるためには設計初期値の設定が重要な要素となっている。

一方で、橋の設計の要諦は、「用・強・美」といわれるように、従来の安全性、経済性のほか、建設地点固有の橋の価値観、機能など多くの性能を確保しつつ、要求事項に対する設計解の妥当性を明らかにして創出していくことが要求されてきている。このような社会的要求の高揚に伴い橋梁技術も飛躍的に進展している状況下で、性能のバランスも見据えた最適化のあり方が課題となっており、最適化に関する多くの研究が行われている²⁾³⁾。

このような背景のもと本研究では、既往の設計結果を分析することで新たな最適設計データの探索と設計結果の照査手法の合理化を目的として、S O M を適用した照査のシステム化を試みた。

3. R C 橋脚耐震設計への S O M の適用

3.1 S O M (self-Organizing Map)

S O M (自己組織化マップ) は、1988年にコホーネンによって提唱された教師なし学習アルゴリズムである⁴⁾。このモデルではニューロンが1次元ないし2次元の繋がりを持って配置され、競合により勝ち残ったニューロンが学習する競合学習、そしてその近傍にあるニューロ

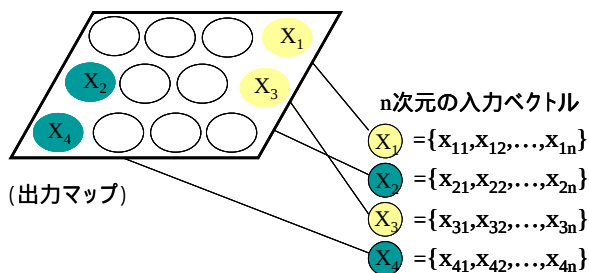


図 - 1 SOM の概念図

ンも同時に学習を行う近傍学習の 2 つの特徴がある。入力データがどの分類に属するかは与える必要がなく、入力データのもとの空間における相互関係（順序性，類似性等）をニューロンの 1 次元あるいは 2 次元の繋がりを持つマップに写像することができる。つまり，図 - 1 に示されるように n 次元からなる複雑な特徴を 2 次元平面図へ射影することにより，複数のデータを視覚的にクラスタリングすることができる。

多数のニューロンの中から一つの学習ベクトルに最も類似したニューロンが勝ち残る。そして，勝ち残ったニューロンすなわち勝者ニューロンに対して結合重みを入力データに近づけるように更新する（競合学習）。さらにその近傍領域にあるニューロンに対しても同様の更新を行う（近傍学習）。その結果として次に提示されるデータが前のデータと似ていれば，前のデータ近傍のニューロンが勝者ニューロンとして選ばれやすくなり，異なったデータであれば前のデータ近傍のニューロンは勝者ニューロンとして選ばれにくくなる。この操作を繰り返すことにより，学習終了後には類似した特徴を持つデータが 2 次元マップにクラスタリングされる。

3.2 設計結果照査手法への SOM の適用

道路橋 RC 橋脚の設計実務では，技術者の経験から初期断面を想定し，限られた変数のみを変化させて，その中で最適解を評価しているのが実情である。このため，得られた設計結果が厳密な最適解かどうかの判定は，一般には実行されていない。

最適解を厳密に求めるには，多数の変数を変化させ非常に多くの組合せケースを設計することになり，実業務においては非現実的な作業となる。また，このような状態で得られた設計結果が要求性能に対してどのような完成度を有しているかを検証するためには，設計と同様の多大な労力を要することになる。

この問題に対して，設計解の周辺の解空間を SOM により視覚化し，得られている設計解周辺の解空間の構造特性や性能を確認できることが工学的判断を助けることになると考えた。設計解周辺の解空間は，基本的にはランダム・サーチによって導出し，得られた設計解に対する工学的判断が付加される余地を，SOM を用いることである程度埋められると考えられる。

表 - 1 試設計 RC 橋脚の構造諸元

橋脚形式		張出式橋脚
基礎形式		直接基礎
使用材料	コンクリート強度	$\sigma_{ck}=24\text{N/mm}^2$
	鋼材	SD345
構造寸法	柱高	10m
	柱寸法	5m × 3m
	底板寸法	8m × 8m × 2.5m
柱配筋	柱橋軸方向	D29ctc125mm-1.5段
	柱橋軸直角方向	D22ctc125mm-1段
	帯鉄筋	D22

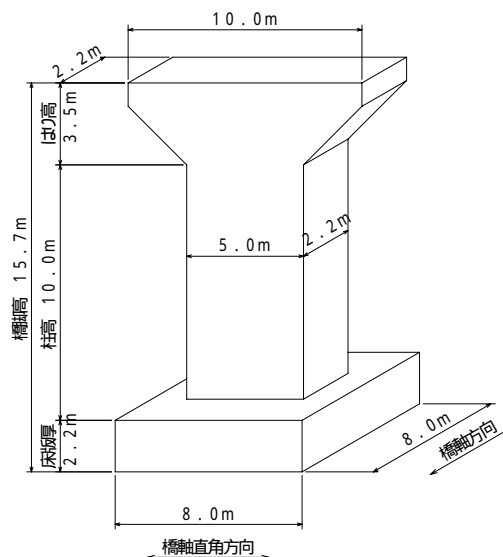


図 - 2 橋脚形状

4. SOM を適用した具体例による分析

4.1 対象モデル

道路橋示方書に基づき実務と同等の精度で試設計を実施し，所定の性能を全て満たす試設計解を導いた。試設計で用いた RC 橋脚の構造諸元を表 - 1 に示す。また，橋脚形状を図 - 2 に示す。ここで，道路橋示方書 耐震設計編におけるレベル 2 地震動に対する耐震性能照査は，対象モデルのように反力分散型ゴム支承を用いる構造など非線形性が複数箇所に生じる橋に対して，動的照査法を用いることが基本とされるが，近傍設計解の自動生成ツールの制約上，簡便的に静的照査法を適用して試設計を実施した。上部構造は，支間長 25.0m の多径間連続 PC 中空床版橋を想定している。

4.2 近傍設計解の作成

試設計結果である設計解周辺で設計変数を変化させて，近傍設計解を作成した。近傍設計解は，試設計解に対して，表 - 2 に示す条件を組み合わせで自動生成したが，生成された近傍設計解は，道路橋示方書における全ての照査項目を必ずしも満足しているとは限らないため，試設計解や近傍設計解と許容境界との関係も評価できることになる。

ここで、近傍設計解を作成する際には、表 - 2 の設計変数以外の下記の設計条件を固定している。

上部構造の死荷重、活荷重

橋全体の固有周期（標準設計水平震度）

支承形状と地震時における上部構造の分担重量

柱高(10m)と柱の橋軸直角方向幅(5m)

表 - 2 に示す変数を組み合わせると、設計解は486個になるが、全ての照査項目を満足する許容解は112個となった。図 - 3 に31×31のマップに全設計解を投影したものを示す。ここで、図中の太線で囲む範囲が許容解であり、左下方の着色したセルが予め準備した試設計解である。

4.3 マップの分析

表 - 2 に示した設計変数の中で最も顕著な影響を示したものは柱の橋軸方向の寸法である。その順序性を図 - 4 に示す。セルの着色が濃い順から、3.5m、3.0m、2.5mである。図 - 3 の許容解・非許容解を示すマップと照合すると、左上方の広い範囲で許容解空間となった箇所が、柱の橋軸方向の寸法を1ランク大きくした設計解であることがわかる。また、左下方の許容解の空間は、試設計解に対して鉄筋径など変数が僅かに異なる設計解であり、この範囲の結果を分析することにより、局所解における最適解の探索も可能であることがわかる。

柱の橋軸方向寸法は、橋軸直角方向に配置する鉄筋量に影響を及ぼすことから、はりや柱の橋軸直角方向の応力状態に直接反映される。図 - 5 は、橋軸方向の柱主鉄筋の引張応力度と許容応力度の比を示したもので、セルの着色が濃いほど鉄筋の許容応力度に対する安全率が低い

表 - 2 設計変数

構造寸法	柱橋軸方向	2.5m, 3.0m, 3.5m
	底板橋軸方向	7.0m, 8.0m, 9.0m
	底板橋軸直角方向	7.0m, 8.0m, 9.0m
柱配筋	柱橋軸方向	D25, D29, D32
	柱橋軸直角方向	D19, D22, D25
	帯鉄筋	D19, D22

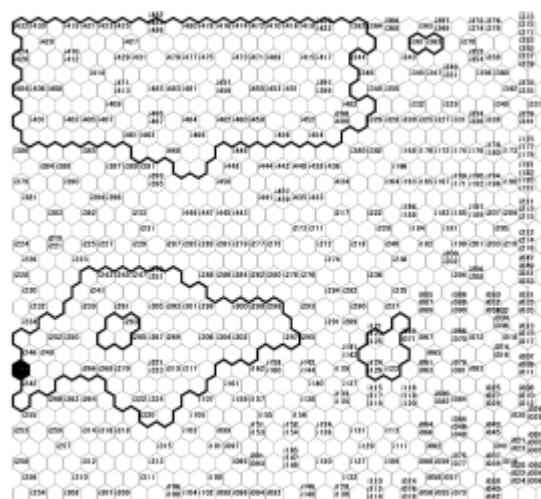


図 - 3 マップの作成

いことを示しているが、図 - 4 と比較すると逆の配列になっており、橋軸方向の柱寸法が許容解・非許容解の大きな要因となっていることがマップ上から判断できる。

次に、耐震設計に関わる照査項目から性能を分析する。

兵庫県南部地震以後、じん性の重要性が認識され、塑性化を考慮した設計法の適用範囲が拡大した。じん性の大小は許容塑性率として表現され、許容塑性率が大きくなるのに伴い、塑性後の変形性能（地震エネルギーの吸収性能）が増大し、等価設計水平震度が小さくなる。この結果、橋脚断面の小規模化に繋がる。図 - 6 に許容塑性率のマップを示すが、非許容解の集団である箇所のその値が小さいことがわかる。

続いて、塑性域において地震力を繰り返し受けた場合の発揮し得る水平耐力である地震時保有水平耐力について分析する。図 - 7 は作用し得る等価な水平力と地震時保有水平耐力の比を示しており、セルの着色が濃いほど安全性が低いことを示している。この結果は、図 - 6 に示した許容塑性率とも関連し、非許容解の集団は安全性が低いことがわかる。しかしながら、地震時保有水平耐力の増加は、基礎工規模の増大に繋がるため、安全性が高い解空間が必ずしも最適な解空間とはいえない。

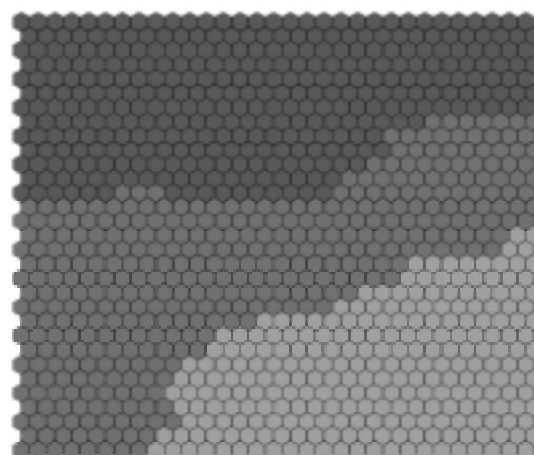


図 - 4 柱橋軸方向寸法によるマップ
(2.5m, 3.0m, 3.5m)

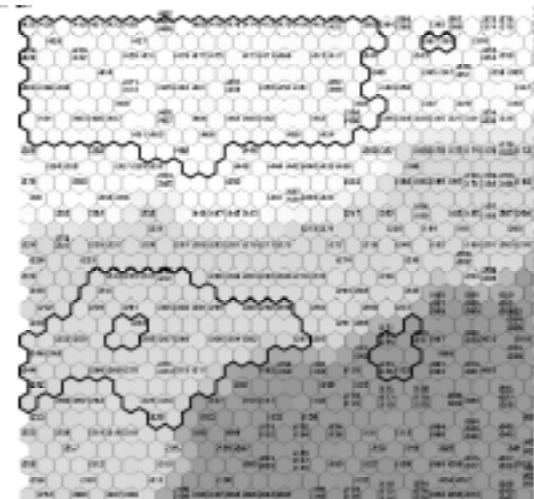


図 - 5 橋軸方向柱鉄筋応力の安全率

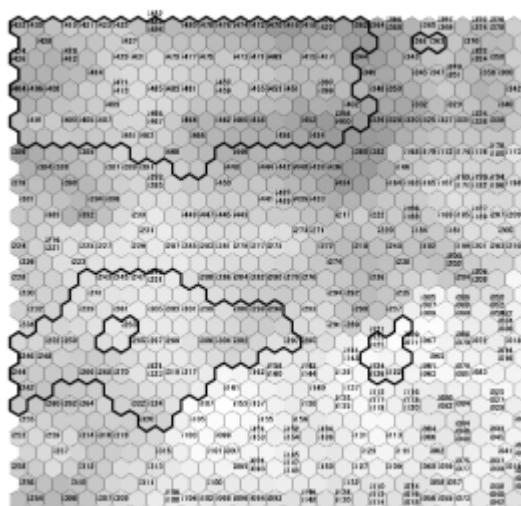


図 - 6 許容塑性率 (レベル2,橋軸方向)

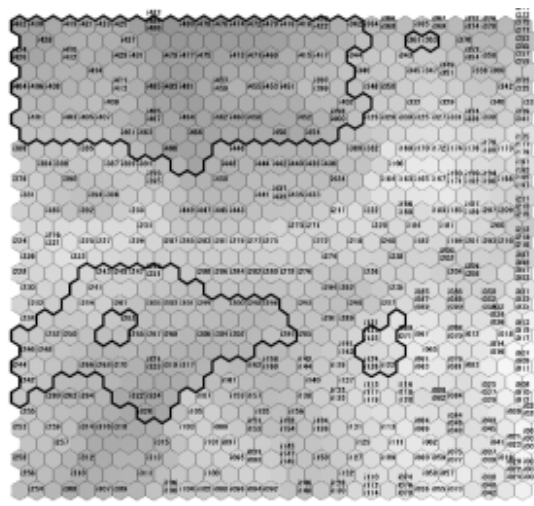


図 - 8 橋脚コスト

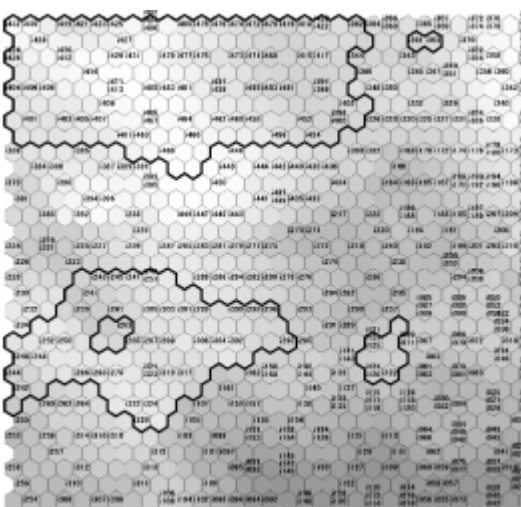


図 - 7 地震時保有水平耐力
(レベル2, 橋軸方向)

4.4 コストを指標とした最適解の探索

許容解, 非許容解に関わらず学習データとなっている全設計解に対して, コンクリート, 鉄筋, 型枠, 掘削土, 足場工, 支保工等の概略数量を算出し, 概算コストを算出した. 図 - 8 にコストに関するマップを示す. セルの着色が濃いほどコストが高いことを示すが, 右下の許容解空間が表 - 2 に示した試設計解よりも約 5 % 経済的な組合せであった. この設計解は, 橋軸方向の柱幅を試設計解よりも 50cm 小さくして, 柱の鉄筋径を D32 に 1 ランク増大, さらに底版寸法を橋軸方向 7m, 直角方向 9m にアンバランスに変化させたケースである. これにより, 試設計解よりもコスト面では優位な案があることがこの照査システムで探索することができた.

SOM を用いてマップを描くことにより, 技術者は, そのときの設計制約に応じて費用面を重視した設計を用いるか, 安全性を重視した設計を用いるかをわかりやすく判断することができる. また, マップを作成する際, ラベリングを変化させることにより多岐にわたる安全性などの性能を視覚的に判断することができ, シ

ステムの有用性を確認できた.

5. まとめ

RC 橋脚の設計を行う際の, 試行錯誤による許容解探索の煩雑さを解消するために, 初期許容解周辺の SOM による分析により, 優秀な設計案を発見できるかどうかを調べた. 今回の探索では, 初期許容解周辺で設計変数を変化させたデータを用いてマップを作成したため, 初期の設計許容解からかけ離れた設計変数値を持ったデータは, 発見できなかったものの, 安全性, コスト面からも, 解空間の初期許容解近傍内における最適解を得ていることが確認できた.

SOM を活用することにより, 設計データの簡便な照査を可能とするとともに, 構造的, コストを同時に分析できる有用性を確認した. しかしながら, 設計変数の範囲を限定したことにより必ずしも最適解が得られたとはいえない状況である. このため, 実用化にあたっては, 構造の規模などに応じて, 設計変数の項目や変数の範囲の設定に対する配慮が必要と考える.

なお, 本研究のデータ作成に際しては, 金沢大学渡邊一俊氏の協力を得た. ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 1) (社)日本道路協会: 道路橋示方書・同解説, 2002.3.
- 2) 廣瀬彰則, 近田康夫, 道路橋 RC 橋脚設計への SOM の援用に関する研究, 構造工学論文集, Vol. 47A, pp.219-225, 2001.3.
- 3) 廣瀬彰則, 近田康夫, 道路橋 RC 橋脚の設計変数と構造最適化のための影響度解析, 構造工学論文集, Vol. 48A, pp.257-266, 2002.3.
- 4) T・コホネン: 白井支朗: 基礎と実践ニューラルネットワーク, コロナ社, pp.130-148, 1995.
- 5) ニューラルネットアシスタント操作説明書, 有限会社シー・イー・イー, pp.1-78, 2002.