

耐震補強設計のための AI 設計支援システムの実現に向けた一考察

JIP テクノサイエンス(株) 正会員 ○石川 達也 戸田 圭彦 田中 克弘
 JIP テクノサイエンス(株) 星野 隼人 王 峰 前田 晋

1. はじめに

国土強靱化計画により既設橋脚の耐震補強が全国的に推し進められているが、発注量に対して、設計従事者の慢性的なマンパワー不足となっている。そのため、設計実施の更なる効率化が求められている。補強設計に関する多くの単純作業はすでに耐震設計支援プログラムによって半自動化されているが、断面決定にはある程度の経験知が必要であり、時間的なボトルネックとなっている。

本稿では補強後断面決定の効率化を目的としたAI設計支援システムの構想とその実現可能性に関する基礎的検討について報告する。

2. 回帰モデルによる設計支援システムの構想

検証の対象は RC 橋脚の RC 巻立て工法による耐震補強設計とした。本工法の設計は、初期値を仮決めした上で鉄筋量の変更と耐震性能照査を繰り返し実施し最終断面を決定する。隣接橋脚の剛性や着目橋脚の横拘束効果等により非

線形な問題となるが、熟練した技術者は初期断面から最終断面に至るまでのアプローチを経験知により短縮でき、トライアル計算量を減少させられる。

設計の最終的な判断は技術者自身が下す必要があること、および安全性は既存の耐震照査フローが担保してくれることから、迅速な実用化のためには、不完全だが経験知を反映した初期断面の推定で十分であると考えた。本研究では設計支援に回帰モデルを用いることとし、技術者は回帰モデルの出力した推定断面から概ね 1 回程度の修正によって、最終断面を決定できるものを目指す。

図-1 に示す単柱型の橋脚を対象に、コンクリート増厚幅を 250mm に固定した上で、補強配筋量を過去の同形式橋脚の設計結果を学習して構築した回帰モデルにより予測するものとした。推定断面から概ね 1 回程度の修正とは、この場合は鉄筋表の 1 段の変更である。このことから、鉄筋量に換算し、概ね±20%を本システムの実用性に基づく許容誤差率とした。

3. データセットの準備

本研究では実橋梁の諸元を参考として作成した 20 橋の高

表-1 特徴量の一覧

番号	特徴量名	説明	単位
1	gr.type	地盤種別	-
2	nspan	径間数	-
3	length	橋長	m
4	standard	適用基準	-
5	structure	構造	-
6	weight	重量	kN
7	weight x	分担重量 橋軸方向	kN
8	weight y	分担重量 橋軸直角方向	kN
9	width x	橋軸方向断面厚	mm
10	width y	橋軸直角方向断面厚	mm
11	height	橋脚高さ	mm
12	kx	ばね定数橋軸方向	kN/m
13	ky	ばね定数橋軸直角方向	kN/m
14	period x	固有周期 橋軸方向	sec
15	period y	固有周期 橋軸直角方向	sec
16	As0 xx	補強前鉄筋量 主鉄筋 橋軸方向	mm ² /m
17	As0 xy	補強前鉄筋量 主鉄筋 橋軸直角方向	mm ² /m
18	As0 zx	補強前鉄筋量 帯鉄筋 橋軸方向	mm ² /m
19	As0 zy	補強前鉄筋量 帯鉄筋 橋軸直角方向	mm ² /m
20	mrp x	余裕度(比率)曲げ 橋軸方向	%
21	mrp y	余裕度(比率)曲げ 橋軸直角方向	%
22	mrs x	余裕度(比率)せん断 橋軸方向	%
23	mrs y	余裕度(比率)せん断 橋軸直角方向	%
目的変数	1	dAs xx	補強量 主鉄筋 橋軸方向
	2	dAs xy	補強量 主鉄筋 橋軸直角方向
	3	dAs zx	補強量 帯鉄筋 橋軸方向
	4	dAs zy	補強量 帯鉄筋 橋軸直角方向

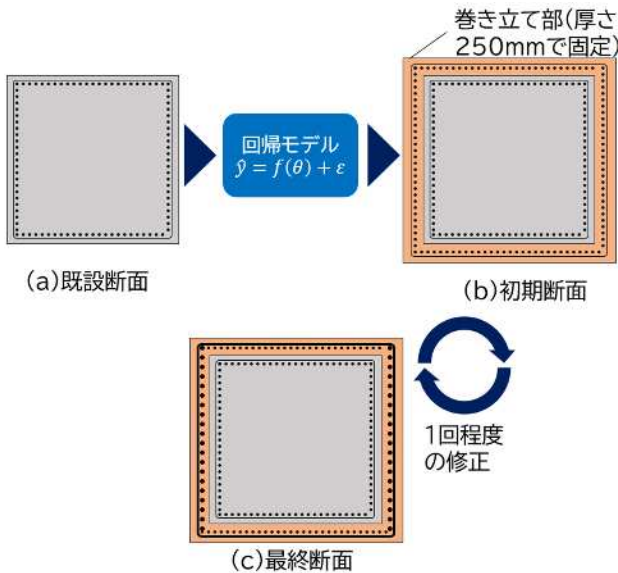


図-1 回帰モデルによる補強設計支援

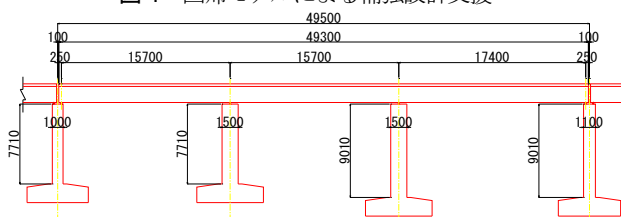


図-2 対象高架橋の一例

キーワード 機械学習, 自動設計, 耐震補強設計

連絡先 〒102-0074 東京都千代田区九段南一丁目3番1号 JIP テクノサイエンス(株) 建設ソリューション事業部

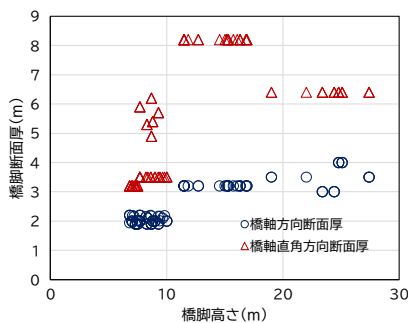


図-3 橋脚の断面形状および高さの分布

架橋データから補強前後の橋脚断面データを作成した。橋脚はRC橋脚、上部工はPC桁相当の重量とし、幅員は8m~17mの範囲とした。図-2に対象高架橋一例のイメージを示す。これら的高架橋を耐震設計支援プログラム¹⁾を用いて熟練技術者が耐震補強設計を実施し、そこから100橋脚の補強設計前後のデータを取り出した。また、予測する目的変数は4種の鉄筋補強量とした。全ての特微量を表-1に示す。この特微量は十分吟味されているわけではなく、入手可能な設計変数を概ね網羅的に使用したものである。全データの橋脚の高さおよび断面厚の分布を図-3に示す。

4. 学習および交差検証

回帰モデルはガウス過程回帰、および多層パーセプトロンの二つを用いて比較することによりモデルの妥当性を検証した。データ数の少なさから1個抜き交差検証(LOOCV)による評価とした。図-4に予測された鉄筋量の平均誤差率を示す。橋軸方向主鉄筋の平均誤差率は20%程度以下となり、鉄筋表の1段程度の誤差率の要求を概ね満たした。

以上の検討より、少数データによる回帰モデルの予測値にはやはり無視できない誤差が含まれるが、提案した許容誤差は概ね満足することが確認された。補強設計の効率化を目的とすれば、十分に実用的な初期断面の提案が可能であると考えられる。また、図-5に示すように教師データ数の数に応じて誤差は漸減しており、設計事例収集によってさらに推定精度の向上が期待できる。

5. SFS法による特微量選択とその考察

多層パーセプトロンのモデルに対して逐次前方選択(SFS法)による自動特微量選択を実施した。橋軸方向の主鉄筋補強量の予測性能が最も高まったのは特微量10個の場合であり、選択された特微量を表-2に示す。これらの選択された

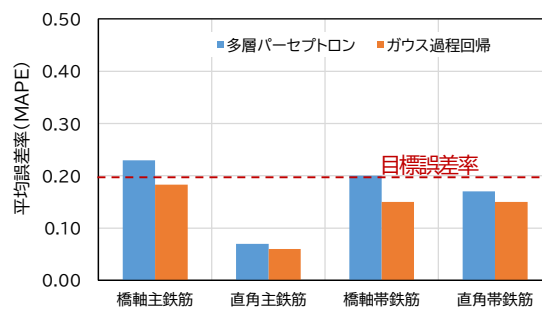


図-4 LOOCVより得られた平均誤差率

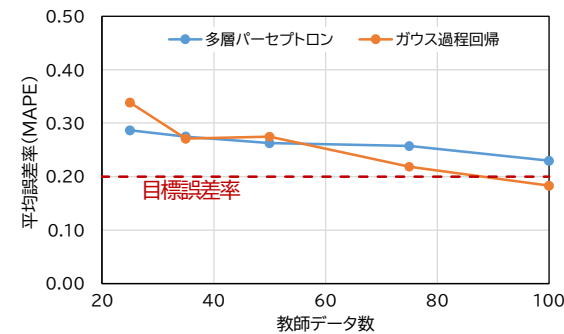


図-5 平均誤差率-教師データ数関係(橋軸方向主鉄筋)

表-2 SFS法で選択された特微量(多層パーセプトロン)

優先順位	番号	特微量名
1	7	weight_x
2	9	width_x
3	10	width_y
4	11	height
5	12	kx
6	14	period_x
7	15	period_y
8	22	mrs_x
9	17	As0_xy
10	18	As0_zx

表-3 平均誤差率の変化(多層パーセプトロン)

	平均誤差率(MAPE)
全特微量	0.229
SFS法	0.209

特微量には設計者判断が可視化されていると考えられる。例えば、熟練した設計者は初心者に比べて少ない手数で最終断面を決定できるが、ここで抽出された優先度の高い特微量の観察から最終断面を経験的に予想できている可能性がある。また、選択された特微量は設計者から見ても概ね妥当であった。なお、表-3に示すように、選択された特微量のみを使用した再学習により、平均誤差率は改善した。

一方、設計技術者から見て重要な地盤種別などのパラメータが、SFS法によると不要と判断された。これは教師データに偏りがあり、重要性が見落とされていると考えられる。他方で設計支援システムの適用範囲が可視化されているとの見方も可能であり、教師データが不足する範囲では予測精度に不安がある点を設計者に伝える仕組みに活用できる。

6. まとめ

RC橋脚のRC巻立て工法による耐震補強設計を対象として回帰モデルによる設計支援の実現可能性について検討した。その結果、今回のデータに対しては、実用的な初期断面の提案が可能であると確認できた。ただし、本研究における教師データは限定的なものであり、汎化性能の向上と適用範囲の拡大には、如何により多様な教師データを収集できるかが課題となる。引き続き、さらなる設計省力化に関する検討を続けていく。

参考文献

- 1) JIPテクノサイエンス：JT-KOHKA <https://www.jip-ts.co.jp/product_service/jt_kohka/>