

AI を活用した動的 FEM 解析に対する自動照査システムの精度検証

大成建設株式会社 正会員 ○林 浩平
大成建設株式会社 正会員 堀田 渉
大成建設株式会社 正会員 宍倉 佳浩

1. はじめに

近年、耐震設計業務において FEM による動的解析など高度な解析を行うことが増えている。動的解析は、結果のアウトプットも膨大な量となる。一方で解析の正確性が求められるので、品質確保のための各種チェック業務量も膨大となる。その問題を解決するために、解析で起こる代表的なエラーに注目し、AI を活用することでチェックの自動化を図れるのではないかと考えた。そこで、二次元地震応答解析における応答波形の異常検知に関する自動照査システムを開発し、生産性の向上につなげる取り組みを行った。本投稿では、CNN(Convolutional Neural Network)を用いて作成した AI モデルに対して、複数の仮想解析モデルによる地震応答解析結果を用いた精度検証結果と、本システムを実プロジェクトに適用した事例を示す。

2. 自動照査システム概要

システム一連の流れを図-1 に示す。本システムは、二次元地震応答解析結果を入力データとして、自動生成される全節点の応答波形画像に対して、AI による照査を行う。

AI による照査項目を表-1 に示す。異常な応答波形として、高周波ノイズ(E1)・過減衰(E2)・パルス(E3)・引き継ぎエラーによる初期異常振動(E4)、変位ドリフト(E5)の 5 項目を対象としている。AI の学習は、正常データと表-1 に示す異常を意図的に発生させた異常データを組み合わせることで行う。

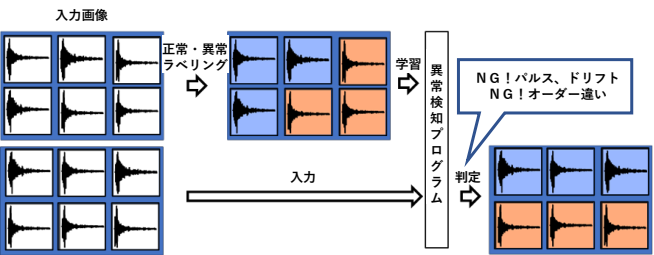


図-1 異常検知システムの流れ

表-1 AI 照査項目

ケース名	照査項目	入力画像の種類	想定される入力ミス
E1	高周波ノイズ	伝達関数	減衰過小（減衰定数が0%）
E2	異常な過減衰	伝達関数	減衰過大（減衰定数オーダーミス）
E3	パルス	加速度時刻歴	時間刻み過大
E4	0.0s付近の異常振動	加速度時刻歴	引継ぎ前後（自重解析→動的解析）の物性を変更したが、反復計算を未実施。
E5	変位ドリフト	変位時刻歴	自由地盤幅過小入力

3. 精度検証

3.1 対象モデル及び解析条件

精度検証に用いた仮想解析モデルを図-2 に、AI の学習・検証それぞれに用いた解析ケースを表-2 に示す。2 連のボックスカルバートは、はり要素で、地盤は線形または非線形特性を有した平面ひずみ要素でモデル化した。解析ケースは、地盤物性を 8 ケース、地震動を 20 ケース組み合わせ、E1：112 ケース、E2：112 ケース、E3：94 ケース、E4：94 ケース、E5：96 ケース実施した。なお、各照査項目で AI の学習に用いた応答波形画像枚数は 10 万枚程度である。

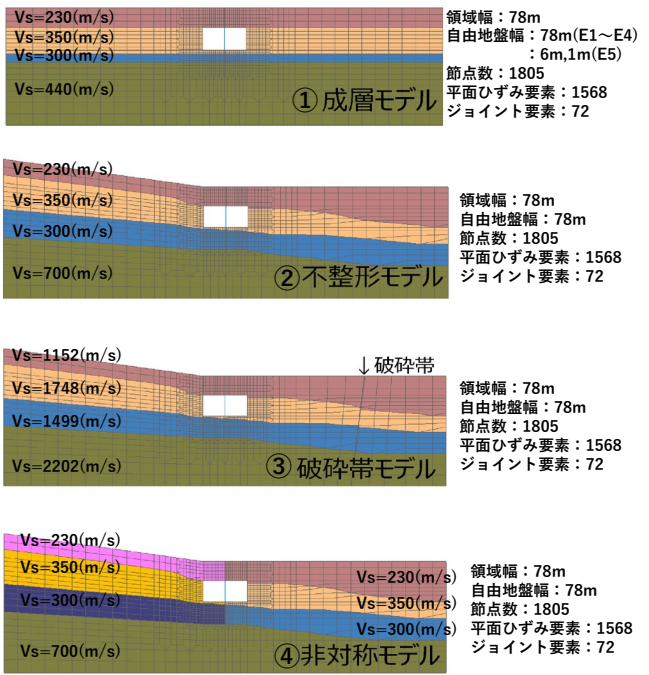


図-2 仮想解析モデル

キーワード 地震応答解析, FEM, AI, 自動照査

連絡先 〒163-0606 東京都新宿区西新宿 1-25-1 大成建設株式会社 TEL 03-5381-5420

表-2 学習・検証に用いた解析ケース

モデル 番号	対象 モデル	地盤物性	解析ケース（赤：学習、青：検証）				
			E1	E2	E3	E4	E5
M1	図-2-①	ケース 1（非線形）					
M2		ケース 2（非線形）					
M3		ケース 3（線形）					
M4		ケース 4（非線形）					
M5		ケース 5（線形）					
M6		ケース 6（非線形）					
M7	図-2-②	ケース 7（非線形）					
M8	図-2-③						
M9	図-2-④		ケース 8（非線形）				
学習ケース数			68	56	62	38	60
検証ケース数			44	56	32	56	36
合計			112	112	94	94	96

3.2 精度検証結果

本システムの精度は、表-3 に示す正確度を用いて評価を行う。以下に算定式を示す。

$$(a + d)/(a + b + c + d) \quad \cdots(1)$$

ここに、

- a：異常節点数の内、AI が異常と判定した節点数
- b：異常節点数の内、AI が正常と判定した節点数
- c：正常節点数の内、AI が異常と判定した節点数
- d：正常節点数の内、AI が正常と判定した節点数

照査項目毎の評価結果を表-4-1～表-4-5 に示す。各項目において、正確度は E1：97%，E2：100%，E3：98%，E4：95%，E5：99%と高精度の結果を示した。表-2 に示したように、AI の学習に異なる解析モデルの解析結果を用いることで、様々な特徴を有する画像データを学習できたことが判定精度の向上に繋がったと考える。

表-3 正確度算出方法

ラベル\AI判定	異常	正常
異常	a	b
正常	c	d

・正確度：(a+d) / (a+b+c+d)

表-4-2 E2 評価結果

ラベル\AI判定	異常	正常
異常	50336	0
正常	0	50336
正確度	100%	

表-4-4 E4 評価結果

ラベル\AI判定	異常	正常
異常	40842	4422
正常	104	55304
正確度	95%	

4. 事例紹介

本システムを実プロジェクトに適用した事例を示す。対象モデルの構造は3連のボックスカルバートであり、構造物をファイバー要素、地盤を線形及び非線形特性を有した平面ひずみ要素でモデル化している。また、地盤-構造物間の境界面に滑りや剥離を考慮したジョイント要素を設けている。AI による照査結果を以下に示す。

・E1, E2, E4, E5 は全節点（4129 点）に対して正常判定を示した。

・E3 については、地盤-構造物間のジョイント要素構成節点の内、地盤側節点の2節点にて異常を検知した。当該節点の時刻歴加速度波形を確認したところ（図-3）、パルスと考えられる過大な加速度が発生していた。詳細を確認すると、解析データの入力ミスによるものではなく、パルスは、ジョイント要素が剥離した時刻の次ステップで発生しており、ジョイント要素の特性である剥離が生じた際に起きる剛性低下に起因する加速度の急激な変化によるものであった。

本システムは、膨大な解析結果に対して、AI が自動で照査を行うため、生産性の向上に寄与すると考えられるが、上述のように、異常節点の発生要因として、入力ミスによるものか否かを、システム上では判断できないといった課題もあり、最終的には技術者による工学的な判断が必要となる。

表-5 各項目照査結果

	高周波ノイズ E1	過減衰 E2	パルス E3	初期異常振動 E4	変位ドリフト E5
異常数	0	0	2	0	0
全節点数	4129	4129	4129	4129	4129

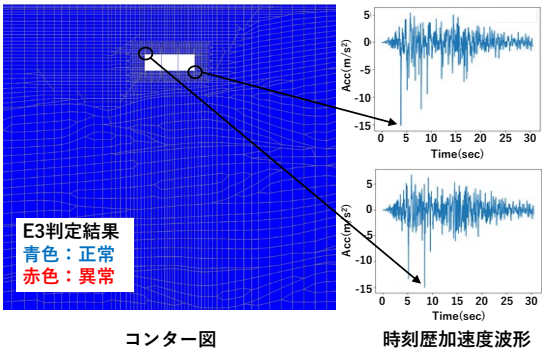


図-3 E3 判定結果

5. まとめ

二次元地震応答解析の応答波形画像に対して、AI を用いた自動照査システムを開発した。仮想解析モデルによる精度検証を行った結果、全照査項目において正確度 95%以上を達成した。

また、実プロジェクトに適用した結果、膨大な応答波形データのチェックが不要になり、生産性の向上に繋がることを確認した。一方、異常節点に対する対応として、最終的に技術者による工学的な判断が求められることが分かった。今後は、検知率を上げることに拘らず、実プロジェクトへの適用を積極的に行い、本システムの有用性を図る予定である。