T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題	人工知能を活用した免・制振構造設計用 WebアプリケーションNS-AIDDの開発
著者	寺澤友貴, 宮﨑崇
出典	鉄構技術, Vol. 35, No. 413, pp. 16-17
発行日	2022, 10

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

人工知能を活用した免・制振構造設計用WebアプリケーションNS-AIDDの開発

寺澤 友貴（東京工業大学 助教）
宮﨑 崇（日鉄エンジニアリング株式会社）

1. はじめに

東京工業大学と日鉄エンジニアリングの共同研究グループは、免・制振部材の膨大な配置ケースの地震応答を人工知能により数分以内に算出し、設計者が基本計画時の設計条件（耐震性能・コスト）を満たすおおよその部材配置を検討するためのWebアプリケーションNS-AIDD（エヌエス-エイド、AI-based Damper Design System）を開発した。本項では、NS-AIDDの開発の動機・ツール概要・適用範囲を解説する。

2. コンピュテーショナルデザイン時代に求められる耐震設計ツールの一方向性

高度なデジタル技術を駆使したコンピュテーショナルデザインの隆盛に伴い、構造設計においては、免震部材・制振ブレースを含む最適化手法をコンピュテーショナルデザインに取り込む研究[1), 2)]が進み、実設計への適用[3), 4)]も行われている。

これらの手法では、定式化された最適化問題に従って厳密に最適解を抽出するものの、最終的には設計者の総合判断に基づき、コンピューターが求めた最適解とは異なる解が選択されることがある。このようなことが起こるのは設計者の総合判断を事前に与条件として正確に数値化し最適化問題に組み込むことが未だ困難なためである。一方で、従来の人力による設計であれば、設計者の総合判断を取り入れながら設計を進めることは可能であるが、限られた時間内で試行錯誤しながら数値解析を行うことになり、より良い設計解（制振ブレースの配置・容量配分）を見落とす可能性が残されている。

このような状況において、デジタル技術を駆使しつつも、設計者が個々の設計解を総合的に判断しながら設計を進めるためには、図1に示すように、ある範囲内の免・制振部材の設計変数群を総当り解析し、結果を各評価軸で分かりやすく整理したユーザーインターフェース（以下、UI）上で表示し、設計者が解全体を俯瞰して部材配置を計画できる設計ツールが有用[例えば5), 6)]であると考えられる。

NS-AIDDは、この考え方に基づき、等価せん断型モデルで表現される重層建物（図2）の制振ブレース設計を支援（Aid）するツールとして開発した。ただし、膨大なケース数を時刻歴応答解析で総当たりすることは現状の計算機性能でも莫大な時間を要するため、今回は予め学習させた数値解析結果のビッグデータ（2億パターン）から人工知能を利用して解析結果を予測することで、計算時間の問題を突破した。

なお、NS-AIDDの根幹を成す以上のアイデアが筆者らの提案であり、具体化にあたっては、

①学習・教師データの生成
②地震応答を瞬時に評価する人工知能
③結果を可視化するUI
④以上を統合したWebアプリケーション

を共同開発した。

実際の使い方としては、NS-AIDDは実施設計前の基本計画時に設計解のあたりをつけるために用い、特に対象建物が軒高さ60m以上の場合では、その後個別に時刻歴応答解析を実施することが想定される。また、NS-AIDDは、構造系の実務者に限らず、免・制振構造の初心者が、基本計画時に部材選定の相場観を判断する教材として利用することも期待する。

3. NS-AIDDのユーザーインターフェース

NS-AIDDでは、初めに建物の重量・剛性を入力すると、人工知能が制振ブレースの諸元をパラメータとした設計変数群（図2）の解析結果群を生成する。次にその結果データベースをUIにて可視化し、設計者総合判断により設計解を選択する。

図3に示すように、UIの構成要素は、(1) 多次元グラフ（設計解と対応する地震応答値を線で繋いだグラフ）、(2) 代表的な設計解の解析結果の数表、(3) 解析結果の高さ方向分布で構成される。設計者は多次元グラフ上のバーを動かすことで任意の制約条件に基づいて設計解をソートし、具体的な結果を (2) の数表や (3) の高さ

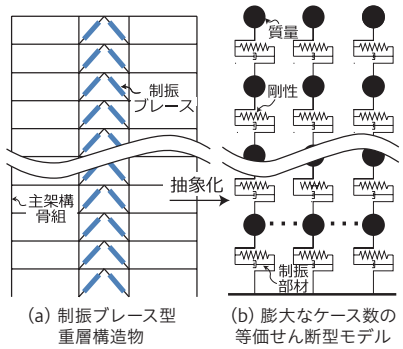

図2　設計変数群の総当たり解析

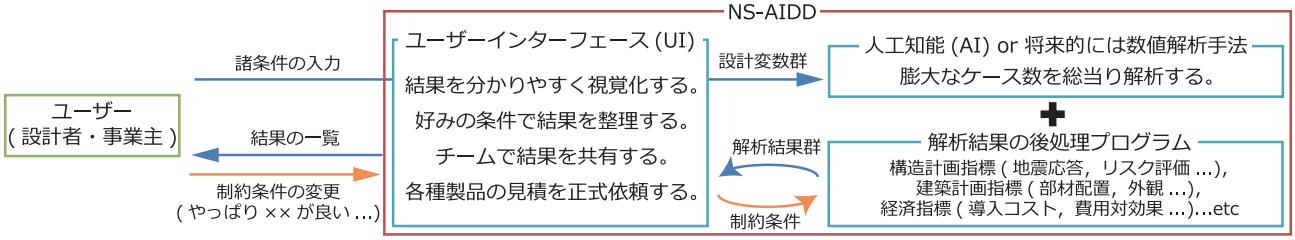

図1　これからの耐震設計ツールの概念図

方向分布で確認できる。

このようにNS-AIDDは、以下の点において従来の試行錯誤の設計に比べ、より合理的な設計手法あると考えられる。

(a) 人工知能を利用することにより、人力で検討しきれない規模の設計解の地震応答を瞬時に予測できる。

(b) UIを利用することにより、広大な解空間全体を俯瞰しながらより良い設計解を総合的に判断できる。

(c) 膨大な設計解とその評価値を提供することにより、免・制振部材だけでは設計条件を達成できず、主架構計画までもう一度遡る必要があるかどうかを短時間に見極められる。

4. NS-AIDDの前提条件と適用範囲

NS-AIDDの人工知能は約2億パターンの数値解析結果を学習して構築されており、現状の適用範囲は以下の通りである。

(1) 対象は等価せん断型モデルで表現される整形な4～54層の重層建物

(2) 主架構は弾性を維持

(3) 入力地震動は地盤増幅係数を考慮した理想的な告示適合波

(4) 主架構の周期が図4の範囲内

(5) 制振部材は履歴系またはオイル系を想定し、履歴系で主架構－ダンパー剛性比が4.0以下。

(6) 精度誤差は約－10%～+30%

図5は日本免震構造協会が公開している制振設計の例題建物に様々な部材配置を試みた場合の評価精度の比較を示す。4層モデルは制振構造用に意図的に剛性が低く設計されているため、主架構周期が図4を逸脱しており、評価精度が悪くなっている。また、人工知能の適用範囲は予め学習させたビッグデータに依存するため、等価せん断型モデルへの置換が難しい建物の設計では、従来どおり汎用的な耐震最適化手法[1]の活用を推奨する。

5. おわりに

NS-AIDDはこれからの耐震設計ツールの一方向性を示唆するために生み出されたばかりであり、現在は赤子のような状態にある。結果論ではあるものの、NS-AIDDは構造設計の領域において、人工知能を実用レベルで活用した初めての事例であり、様々な議論の対象になると考えられるが、皆さんのご意見を反映しつつ暖かく育てられると幸甚である。今後は履歴系とオイル系の混用に向けて拡張を予定している。なお、本稿では制振構造に絞って紹介したが、NS-AIDDは免震構造にも対応している。

謝辞

NS-AIDDの開発にあたり助言いただいたAI研究会の皆様（Arup・後藤一真氏、富岡良太氏、日鉄エンジニアリング・市川康博士、東京工業大学・竹内徹教授）に感謝申し上げます。また、人工知能は東京工業大学のスーパーコンピューターTSUBAME 3.0を借用して開発しました。

参　考　文　献

1) 寺澤友貴，竹内徹：一般化応答スペクトル解析法に基づく制振ブレース構造の最適設計手法，日本建築学会構造系論文集，Vol. 83，No. 753，2018.11

2) Terazawa Y.et al.: Computational morphogenesis based on generalized response spectrum analysis considering both dead load and seismic response of metal gridshell with buckling-restrained braces, Proceeding of IASS, 2022.9

3) Terazawa Y. et al.: Optimal Mixed Placement and Capacity Distribution of Buckling-Restrained Braces and Conventional Braces on a Large Metal Spatial Structure Without Rigid Diaphragm Assumption，Front. Built Environ.，Vol. 08，2022. 7

4) Ishibashi Y. and Terazawa Y. et al.: A novel damped braced tube system for tall buildings in high seismic zones, Struct Design Tall Spec Build 2022, 31 (8), e1926.

5) 寺澤友貴，佐野航，竹内徹：一般化応答スペクトル解析法に基づく免震構造の設計手法，日本建築学会構造系論文集，Vol. 85，No. 755，2020.9

6) 宮崎崇：空間構造物の設計支援統合環境の開発，日鉄エンジニアリング技報，Vol.13, 2022.1

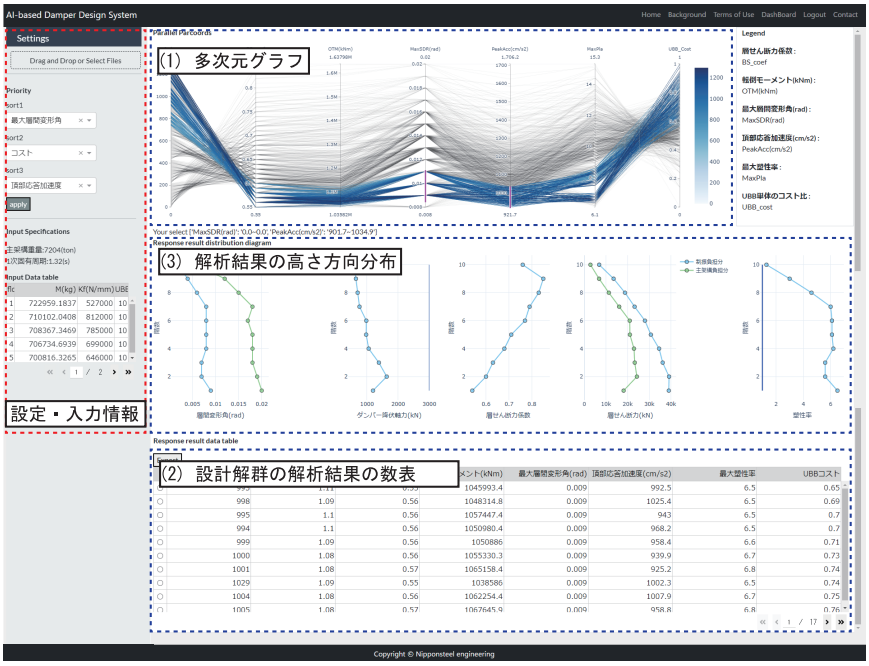

図3　ユーザーインターフェース

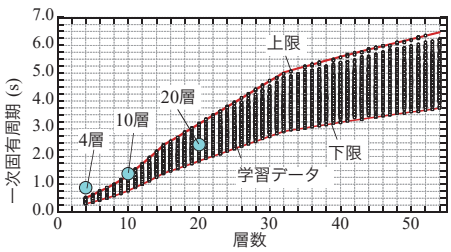

図4　人工知能の周期範囲

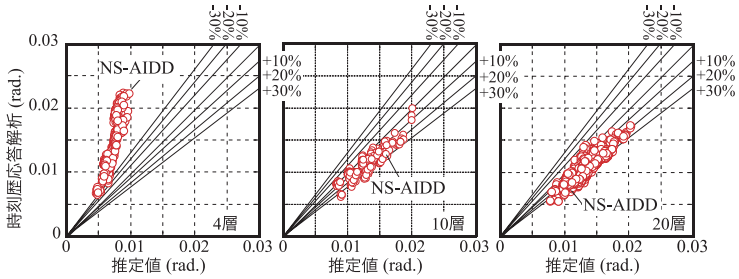

図5　ピーク層間変形角の評価精度