

AIによる地中構造物の地震時の断面力予測に関する基礎的研究

(株)大林組 正会員 ○秀島 喬博
 (株)大林組 正会員 佐藤 清
 (株)大林組 正会員 山本 修一

1. はじめに

本研究は、AIを土木構造物の耐震設計に活用することを目的としている。本稿では、試行例として地中構造物を対象として、300ケースの動的解析結果を学習データとした地震時の最大断面力予測を行い、AIの予測精度や入力パラメータの影響度について検討した結果について報告する。

2. 動的解析モデル概要

(1) 前提条件

- 対象構造物は、一連のボックスカルバートとする。
- 内空幅と高さは同じとする。(正方形断面)
- 部材厚は一定とする。(頂版、底版、側壁)
- コンクリート強度は24N/mm²とする。
- 地層構成は水平成層とし、地盤は4種類に分類する。
- 地盤は線形材料とする。(非線形特性を考慮する地盤については、低下剛性相当の物性値を設定する)
- 常時荷重による発生断面力は考慮しない。
- 地震動は水平方向のみ考慮する。

(2) 構造物条件

構造物条件は、部材厚2ケース (0.3 m, 0.8 m) , 内空幅と高さ2ケース (2m, 4m) , 土被り3ケース (0.5 m, 5.5m, 10.5 m) の組み合わせ (12種類) とした。

(3) 地盤条件

表-1に地盤物性値、図-1に地層構成を示す。固有周期が短い地盤A(0.1s)から長い地盤E(1.5s)まで、固有周期が均等に分布するように5種類の地層を設定した。

表-1 地盤物性値

区分	単位体積重量	せん断波速度	動ポアソン比	せん断剛性
	kN/m ³	(m/s)	-	kN/m ²
1.軟弱地盤相当	19	50	0.45	4.8×10 ³
2.未固結土層相当	22	150	0.45	5.0×10 ⁴
3.軟岩、固結土層相当	25	600	0.40	9.2×10 ⁵
4.硬岩(基盤)相当	28	1000	0.35	2.9×10 ⁶



図-1 地層構成

(4) 入力地震動

加速度、速度、変位の最大最小値のほか、応答スペクトルに多様性ができるように、道路橋示方書から3波、JR規準波形集から1波、KiK-net (防災科学技術研究所¹⁾) から1波、

合計5波を入力地震動に選定した。KiK-netの1波については、益城 (KMMH16) EW方向を1次元重複反射解析により工学基盤面に引戻した地震動を使用した。

表-2 入力地震動

地震動名および出典	加速度 (gal)		速度 (Kine)		変位 (cm)	
	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN
道路橋示方書 I 種地盤レベル1地震動	102.2	-101.7	14.4	-23.8	36.1	-19.4
道路橋示方書 I-I-3 レベル2地震動(タイプ I)	582.7	-692.9	77.9	-81.3	107.7	-179.5
道路橋示方書 II-I-1 レベル2地震動(タイプ II)	588.1	-812.0	73.7	-63.6	76.9	-58.6
JR規準波形集 (スペクトル I.Go地盤)	257.2	-254.9	45.5	-45.8	14.0	-34.9
KiK-net 益城(KMMH16)引戻し波	714.2	-561.2	118.0	-93.3	155.2	-119.4

(5) 解析ケース

構造条件 (12種類) , 地盤条件 (5種類) , 入力地震動 (5種類) の全ての組み合わせで300ケースとした。

(6) その他の解析条件

- 解析領域 (幅200m, 深さ100m)
- 解析コードSoilPlus2017 (直接積分法による逐次解析)
- レーリー減衰 (剛性比例型減衰, 25Hzで減衰3%)
- 境界条件 (底面: 粘性境界, 側方: 等変位境界)

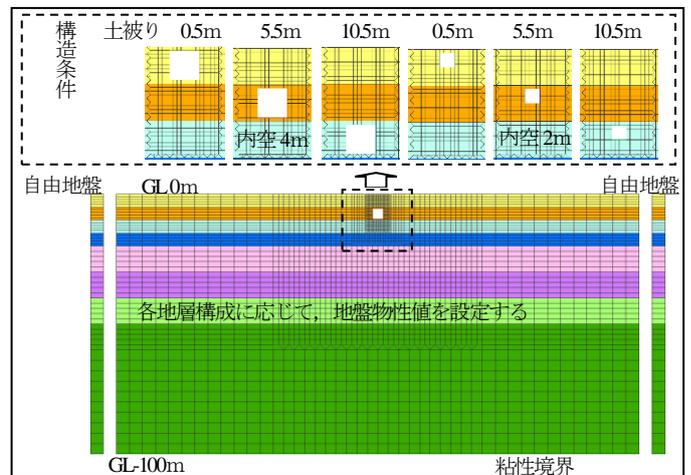


図-2 解析モデル概要図

3. AIによる部材断面力の予測

300ケースの学習データをもとにAIにより側壁の曲げモーメント(以下M)、軸力(以下N)、せん断力(以下S)の予測を試みた。ただし、試行のため予測は絶対値最大に限定した。学習器はMATLAB(MathWorks²⁾)の「ガウス過程回帰(二乗指数GPR)」を使用し、5分割交差検証にて学習した。平方根平均二乗誤差(RMSE)に着目し、入力パラメータ項目の最適化と予測精度について検証した結果を以下に示す。

(1) 入力パラメータの最適化

まず、動的解析で設定した条件のうち発生断面力への影響が大きいと考えられる表-3の19種を初期の入力パラメータ

キーワード AI, 地震応答解析, 地中構造物, 耐震設計, ボックスカルバート
 連絡先 〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 (株)大林組 TEL03-5769-1307・FAX 03-5769-1972

タとした。このとき、入力値および出力値(M, N, S)は比例変換により概ね0~5に正規化した。次にRMSEの変化に着目して、影響を及ぼすパラメータ項目を絞りこむことでパラメータを最適化した。様々なパラメータの組合せを検討し、最終的に表-3の黄色ハッチで示す10種のパラメータによって、19種のパラメータを用いた場合と同等の予測精度が得られることがわかった。表-4に示すように両者のRMSEはほぼ同等である。

表-3 初期パラメータと最適化パラメータ

番号	入力パラメータ	番号	入力パラメータ
a	土被り	k	構造物周辺地盤の単位体積重量
b	中心位置深度	l	構造物周辺地盤の動ポアソン比
c	基盤層から中心位置	m	構造物周辺地盤のせん断剛性
d	内空	n	最大加速度
e	部材厚	o	最大速度
f	断面2次モーメント	p	最大変位
g	固有値(基盤層以上)	q	地盤の固有値での加速度応答スペクトル
h	地表面から基盤層までの距離	r	地盤の固有値での速度応答スペクトル
i	地表面から軟岩層までの距離	s	地盤の固有値での変位応答スペクトル
j	地表面から未固結土層までの距離		※黄色ハッチが最適化に残ったパラメータ

表-4 初期パラメータと最適化パラメータのRMSE

	RMSE		
	M	N	S
初期パラメータ (a~s全て)	0.238	0.190	0.152
最適化パラメータ (a,d,e,k,n~s)	0.221	0.187	0.136

(2) 入力パラメータの影響度

最適化された10種のパラメータが予測結果に与える影響度を表-5に示す。あるパラメータを削除したとき、RMSEが大きくなった場合は、そのパラメータの影響度が大きいと判断することができる。n~sは互いに相関があるパラメータのため、一部を削除してもRMSEの変化は小さいが、n~sの全てを削除するとRMSEが大きくなる。そのため、n~sをまとめて「地震動」のパラメータ群と見なすことができる。その他、aは「構造物深度」、dは「構造物の大きさ」、eは「部材厚」、kは「周辺地盤」のパラメータであり、「地震動」を含めて独立した5つの要因が最適化パラメータとして残ったことがわかる。言い換えると、これら5つの要因が断面力を決定する上での重要な要素となる。ここで、kは単位体積重量であるが、地盤に関する物性値のうち断面力に影響するのは「m.せん断剛性(表-3)」と考えられる。今回の解析ケースでは、単位体積重量とせん断剛性に相関がある物性値設定であったことのほか、mのパラメータ内の差異が約10~500倍と大きいことによって予測精度が低くなり、mではなくkが最適化に残ったと考えられる。この対策として、せん断剛性の対数

表-5 最適化したパラメータの影響度(RMSE)

	RMSE		
	M	N	S
最適化パラメータ (a,d,e,k,n~s)	0.221	0.187	0.136
aなし 土被り	0.636	0.446	0.403
dなし 内空	0.789	0.576	0.427
eなし 部材厚	0.596	0.203	0.285
kなし 周辺地盤の単位体積重量	0.450	0.230	0.252
nなし 最大加速度	0.210	0.193	0.147
oなし 最大速度	0.224	0.189	0.142
pなし 最大変位	0.231	0.188	0.152
qなし 加速度応答スペクトル	0.244	0.206	0.188
rなし 速度応答スペクトル	0.214	0.196	0.139
sなし 変位応答スペクトル	0.213	0.200	0.138
n,qなし 加速度関係	0.245	0.210	0.195
o,rなし 速度関係	0.229	0.198	0.159
p,sなし 変位関係	0.250	0.217	0.181
n~pなし 全最大応答	0.286	0.245	0.200
q~sなし 全応答スペクトル	0.356	0.303	0.268
n~sなし 地震動関係全て	0.669	0.577	0.520

変換やせん断波速度をパラメータとして用いることでパラメータ内の差異を小さくする方法が考えられる。

(3) 予測精度

AIによる断面力予測値と正解値(解析値)の関係を図-3に示す。断面力の大きい範囲は、誤差±20%で予測されている。一方、断面力の小さい範囲の予測精度は悪く、これは今回は正解値と予測値の誤差が最小となる学習条件であったことによる。幅広い断面力の範囲で同等の予測精度を得るためには、正解値に対する予測値の比率の誤差を最小とする学習条件にするなど、学習アルゴリズムの改善が必要と考える。

4. おわりに

前提条件を設定した300ケースの少ない学習データの結果ではあるが、10種のパラメータにて概略設計へ活用可能な精度で地中構造物の最大断面力を予測できることが確認された。さらに、学習器の改善やデータ拡充で精度を改善できれば、詳細設計などへの適用も考えられる。一方、今回は限定された範囲での検証であったため、今後は不整形地盤の影響を表す入力パラメータの追加など、データを増やして適用範囲を拡大することが必要である。将来的に実務で使用するために、種々の条件に対応する入力パラメータリストを確立し、実務設計の中で学習データを蓄積する仕組みを構築することを目指している。

謝辞 本検討を行うにあたり防災科学技術研究所の記録を利用させて頂きました。記して御礼申し上げます。

参考文献

- 1)防災科学技術研究所HP : <http://www.bosai.go.jp/>
- 2) MathWorks HP : <https://jp.mathworks.com/>

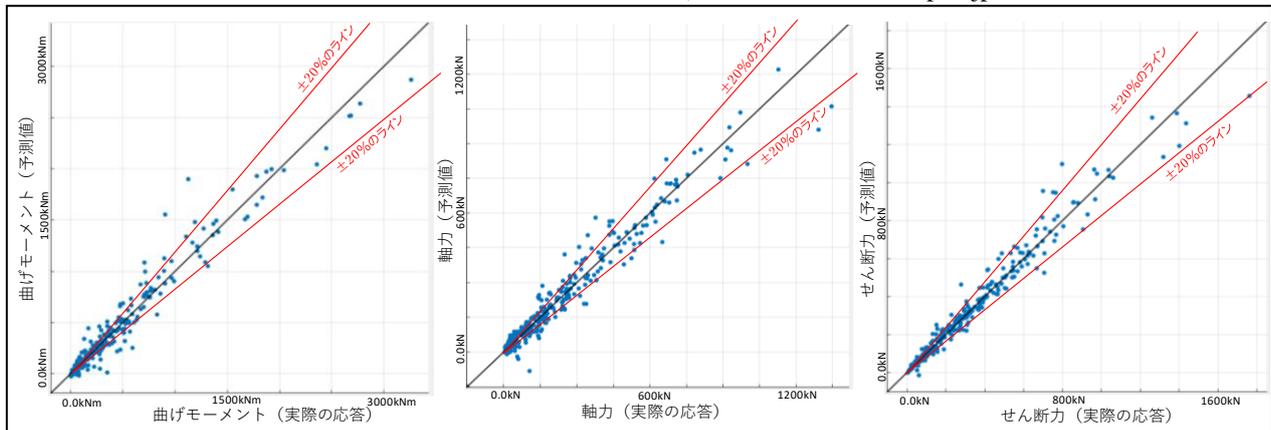


図-3 予測値と応答値(最適化パラメータ)