

## 大開駅妻壁の地震被害の相違に基づいた3次元非線形解析の妥当性検討

法政大学（現：東京電力ホールディングス株式会社）	正会員	○大塚 経志郎
法政大学	正会員	酒井 久和
株式会社日建設計シビル	正会員	西山 誠治
株式会社日建設計シビル	正会員	田辺 篤史
株式会社日建設計シビル	正会員	本田 道識

## 1. はじめに

近年では、地下構造物が輻輳している場合や断面が複雑に変化する場合などにおいて、3次元解析の実施が増加傾向にある。大開駅は、1995年の兵庫県南部地震において、中柱のせん断破壊や上床版の陥没に伴い、地上の道路が沈下するなど甚大な被害が生じた。被害性状に着目すると、同じ構造にも関わらず被害程度に差異が見られた地点が存在した。これは2次元解析では十分に説明できないため、3次元解析が有用であると考えられる。

しかしながら、3次元解析の妥当性を検証した事例は少なく、特に大地震による強非線形化を伴う構造物を対象として妥当性を検証した事例は極めて限定的である。西山ら<sup>1)2)</sup>は大開駅を対象として、3次元線形FEM解析を実施し、同じ構造部でも中柱や下床版に作用する断面力に差異があること、また、その要因は大開駅に離散的に配置された妻壁の影響によるもので、2次元解析では考慮できない現象であることを示した。ただし、この検討では地盤の非線形性の影響は考慮されていない。そこで本検討では、さらに地盤の非線形性を考慮した大開駅の3次元非線形解析結果と妻壁の被害性状との比較を行い、3次元解析の妥当性に関する考察を行う。

## 2. 解析モデル及び解析条件

解析モデルを図-1に示す。西山ら<sup>2)</sup>が作成したモデルに地盤の非線形特性を導入し、载荷条件の変更などを行ったものを用いる。同モデルは、中央に並ぶ中柱位置を対称面としたハーフモデルで、地盤はソリッド要素、駅舎等の構造物はシェル要素である。なお、地盤および躯体構造は矢的らの研究<sup>3)</sup>を参考にモデル化する。比較のために妻壁を含む1スパン分を切出した2次元相当モデルも合わせて示す。地盤および埋め土の非線形特性は、それぞれ安田・山口式、矢的らの繰り返しせん断変形特性<sup>3)</sup>を参考に修正R-Oモデルを用いて非線形構成則を設定する。入力地震波は、ポートアイランドG.L.-83mの観測波より推定されたNS方向の基盤入力地震動<sup>4)</sup>を用いる（図-2参照）。解析は、地盤を非線形材、構造物を剛性低下も考慮した線形材とする計3ケースである（表-1参照）。

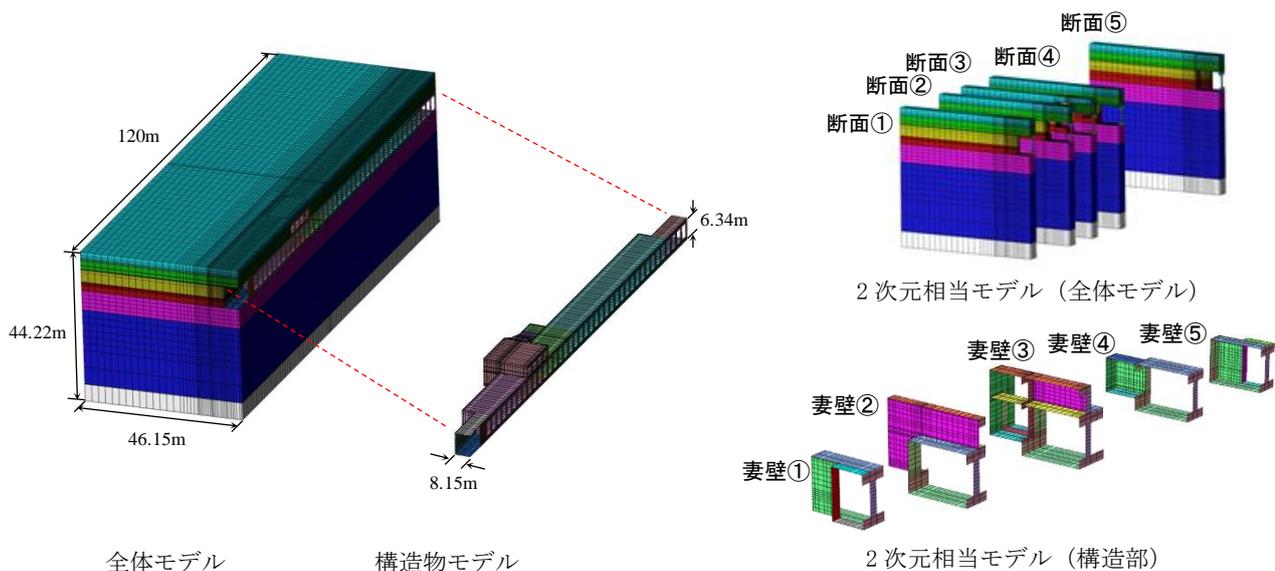


図-1 解析モデル

キーワード 地下構造物, 3次元解析, 地震応答解析, 開削トンネル, 妻壁

連絡先 〒100-8560 東京都千代田区内幸町1丁目1番3号 TEL 03-6373-1111

3. 妻壁の設計せん断耐力の算定

妻壁の配筋図が入手できないことから、本検討では、大開駅側壁の配筋図<sup>3)</sup>を参考に各妻壁の設計せん断耐力を算定する。設計せん断耐力は、鉄道構造物等設計標準<sup>5)</sup>を参考に(1)式を用いて算定する。なお、(1)式の設計せん断耐力は「場合によっては補修を必要とする程度の損傷」を基準としたものとなっている。

$$V_{wud1} = 0.5(p_x \cdot f_{xyd} + p_y f_{yyd}) A_{cw} / \gamma_b \tag{1}$$

ここで、 $p_x, p_y$  : x, y 方向鉄筋の軸方向鉄筋比,  $A_{cw}$  : 全水平断面積,  $f_{xyd}, f_{yyd}$  : 降伏強度,  $\gamma_b$  は部材係数である。

4. 解析結果および考察

CASE1 の 2 次元解析及び 3 次元解析結果における妻壁のせん断応力分布を図-3 に示す。図-3 より、CASE1 では 3 次元モデルに作用するせん断応力が 2 次元モデルよりも全体的に大きいことが分かる。これは、CASE2, CASE3 においても同様の結果であった。これは、妻壁近傍部の側壁に作用する土圧を負担していることが、妻壁を含むモデルであっても 2 次元解析では再現できないためであると考えられる。

次に、妻壁の水平面内に作用する最大せん断力  $V$  に対する設計せん断耐力の比 ( $=V_{wud1}/V$ , 以後、安全率と呼ぶ) を図-4 に、妻壁①, ②, ④, ⑤の被害状況を図-5 に示す。図-4 より、3 次元解析では全ての妻壁における安全率が 1 を下回っている。妻壁の被害状況と比較すると、損傷が大きい妻壁②, ④では安全率が低く、損傷が比較的小さい妻壁①, ⑤では、妻壁②, ④よりも安全率が大きく、被害傾向に概ね合致している。一方、2 次元解析では全ての妻壁で安全率が 1 より大きく、実被害と整合しない。図-5 を見ると、妻壁①は妻壁⑤よりも損傷が比較的大きいが、2 次元解析結果では CASE①の場合、妻壁⑤の安全率の方が小さく、CASE2, 3 では両者の安全率は概ね等しくなっており、実際の被害傾向とは一致しない。以上より、妻壁の損傷程度の相違は 2 次元解析では十分に説明できないが、3 次元解析では妻壁の被害傾向に概ね一致する結果が得られ、非線形 3 次元解析は妥当であることが分かった。

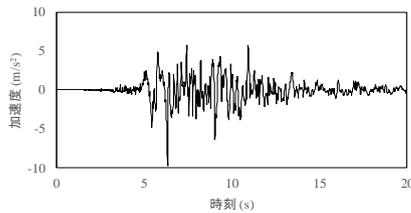


図-2 入力地震動

表-1 入力地震動

	地盤	構造
CASE1	非線形	線形
CASE2	非線形	一様剛性低下 (E=0.5E <sub>0</sub> )
CASE3	非線形	一様剛性低下 (E=0.33E <sub>0</sub> )

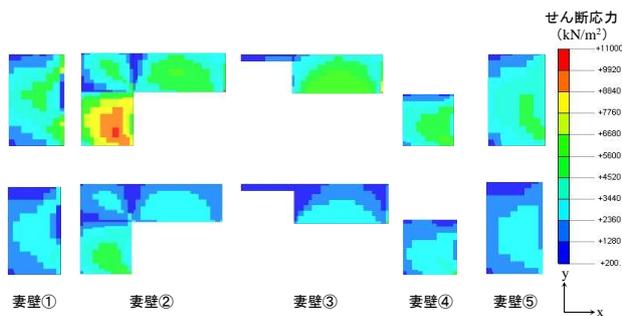


図-3 各妻壁に作用するせん断応力コンター

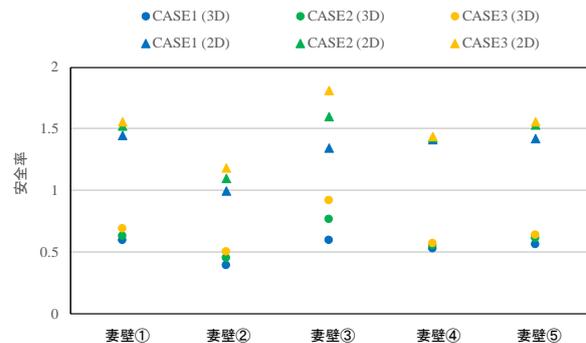


図-4 せん断力と設計せん断耐力の比 (安全率)

(CASE1, 上: 3D, 下: 2D)



図-5 各妻壁の被害状況<sup>3)</sup>

参考文献：1) 西山, 田辺：地下構造物の地震被害の相違に着目した 3 次元解析の有効性に関する一考察, Vol.72(I-511), 2017. 2) 西山, 田辺：妻壁を有する地下駅構造物の地震時挙動に関する 3 次元解析, Vol.73(I-338), 2018. 3) 矢的, 梅原ら：兵庫県南部地震による神戸高速鉄道・大開駅の被害とその要因分析, 土木学会論文集, No.537, pp.303-320, 1996. 4) 酒井, 澤田：ポートアイランドにおける時間領域での基盤入力地震動の推定, 土木学会論文集, No.612, pp.373-378. 1999. 5) 鉄道総合技術研究所：鉄道構造物等設計標準・同解説, pp.193-195, 丸善, 2004.