

I-B 161

兵庫県南部地震における地下鉄駅舎の衝撃的破壊についての数値解析による検討

大阪市立大学大学院 学生会員 中島 大使
 大阪市立大学工学部 正会員 鬼頭 宏明
 大阪市立大学工学部 フェロー 園田恵一郎

1. はじめに

1995年1月17日発生の兵庫県南部地震にて被災した神戸高速鉄道大開駅舎のRC構造物[1]は衝撃的な鉛直地震動による崩壊を示唆する例のひとつである。しかしながらその種の地震動に該当する波形は公表されている地震計記録に存在せず、その因果関係については不明である。そこで本研究では上記構造物にて著しい被害すなわち軸方向破壊を受けた地下2階プラットフォーム部中柱の動的応答特性を、有限要素法[2]を用いて数値解析的に検討し、着目する中柱を破壊に至らしめうる鉛直動の性質について論じた。

2. 数値解析結果

解析対象は着目中柱を含む駅舎地下2階RCボックスラーメン構造物であり、周辺地盤を含めたモデルを構築し、その周期を解析変数とした時間依存型鉛直波をモデル底面全体に一樣に与え、入力波の周期特性と中柱中央部での鉛直応力との関係を調べた。なお解析はNewmark-β法(β=1/4)を用い、質量マトリックスに比例する減衰定数を与えた。

2.1. 正弦半波パルス型鉛直応力を受ける

コンクリート構造物と上層地盤の3次元解析

コンクリート構造の駅舎部と上層地盤（土被り）を対象とし、対称条件を考慮した1/4解析モデルを図1に示す。なお、両者の境界面は完全接合とし、中央線を含む側面にてその面外変位を拘束した。その底面に与えた外力は、 $\sigma_z = V_0 \sin(2\pi/t)$ ：ただし $V_0 = 1(\text{cm/sec} = \text{kine})$ なる正弦半波パルス型鉛直応力であり、その持続時間(T_0)(sec)を0.018から0.2へと変化させて解析を行った。なお、解析に用いた材料定数は、駅舎が $E = 2.5 \times 10^5 \text{kgf/cm}^2$; $\nu = 1/6$; $\rho = 2.5 \times 10^{-6} \text{kgf/cm}^3$ 、土被りが $E = 400 \text{kgf/cm}^2$; $\nu = 0.488$; $\rho = 1.7 \times 10^{-6} \text{kgf/cm}^3$ である。図2に入力波の各設定周期において得られた中柱中央部の柱軸方向引張および圧縮応力の最大応答値を示す。図より、与えた周期 $T_0 = 0.05 \sim 0.1 \text{sec}$ に対して顕著な最大応力の上昇が認められる。

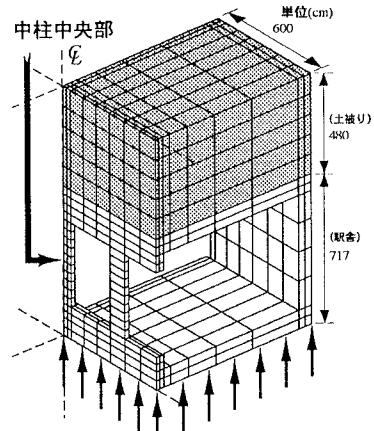


図1 大開駅駅舎部モデル図と要素分割

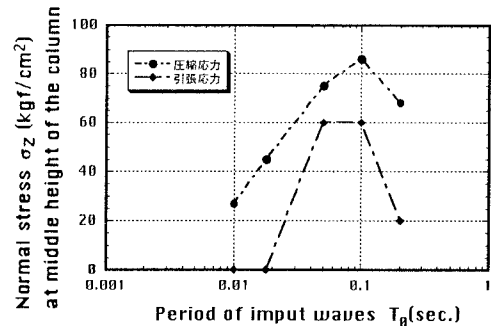


図2 周期-最大応力応答

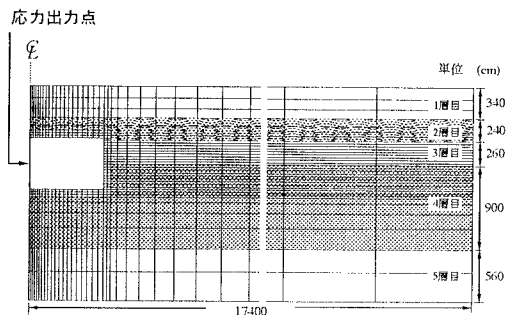


図3 大開駅平面ひずみモデルと要素分割

2.2. 余弦関数型鉛直変位動を受ける

コンクリート構造物と多層地盤の平面ひずみ解析

前例同様の駅舎部とその上下ならびに側方の5層から成る地盤を対象とし、対称条件を考慮した1/2解析モデルを図3に示す。モデルは対称条件を考慮に入れ2分割モデルを作成し、横境界面の水平方向変位を拘束、上下面は自由とした。ここで中柱厚さは実構造物での配置間隔をもとに設定した。なお、用いた材料定数は、駅舎は前例に同じで、一方地盤は表1に示すPS検層による値である。

表1 平面ひずみモデルでの地層特性

No.	E(kgf/cm ²)	ν	$\rho(10^6 \text{kgf/cm}^3)$
1	952.3	0.488	1.63
2	1011.8	0.488	1.73
3	2643.8	0.487	1.84
4	1981.2	0.494	1.84
5	9671.8	0.481	2.04

2.2.1. 入力波形の周期と中柱での応力応答

第5層の底面に与えた鉛直動は $\delta_z = V_0 T_0 / 2\pi \{1 - \cos(2\pi t / T_0)\}$ ：ただし $V_0 = 1(\text{cm/sec} = \text{kine})$ なる余弦関数型鉛直変位動（速度は正弦関数）であり、前例同様にその周期 T_0 を変化させて解析を行った。図4に入力波の各設定周期において得られた中柱中央部の柱軸方向引張および圧縮応力の最大応答値を図2同様に示す。図より、周期 $T_0 = 0.08 \text{sec}$ にて著しい応力の上昇が認められる。この挙動すなわち $T_0 = 0.1 \text{sec}$ 付近にて最大応答値が突出する傾向は前例同様であった。

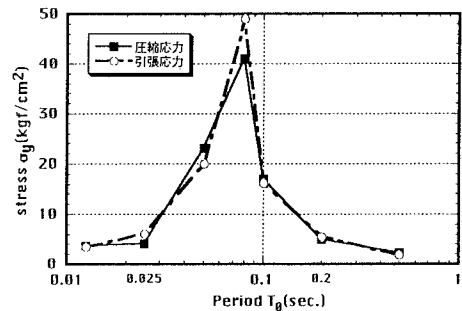


図4 余弦関数型鉛直変位波による
周期-最大応力応答図

2.2.2. 固有値解析による固有周期とモード

2.2.1と同じモデルに対し、逆べき乗法による固有値解析を別途実行した。得られた第1次固有モードとその駅舎部拡大図を各々図5と6に示す。

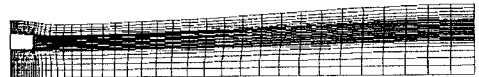


図5 第1次モード $T_0 = 0.110(\text{sec})$

3. まとめ

周期を解析変数とした規則波に対する上記の解析例2例より、着目部位である中柱に大きな鉛直応力応答を与える入力波の周期 T_0 は、 $0.08 \sim 0.09(\text{sec})$ すなわち 0.1sec 程度であった。これは報じられた該当地震波形の卓越周期である 1sec を1オーダー下回るものに対して着目柱の応答は鋭敏であった。また、その前後の周期を有する入力に対しては、その応答は上記に比して急激に鈍化する傾向を示した。

また、上記中柱に著しい応力応答を与える周期、例えば $T_0 = 0.08(\text{sec})$ での最大値は正負 $40 \sim 50 \text{kgf/cm}^2$ に達した。ここで入力した規則波が時間に関するその変位勾配すなわち変位速度の正負最大値がいずれも $1(\text{cm/sec} = \text{kine})$ となるように設定した強制変位動であったことを踏まえ、報じられた該当地震波形での最大速度 20cm/sec が地震計に記録されたその卓越周期 1sec 以下すなわち上記の $T_0 = 0.1 \text{sec}$ にも存在したとすれば、該当地震は甚大な被害をもたらす得る応力応答を構造物に与えたとの解釈ができた。

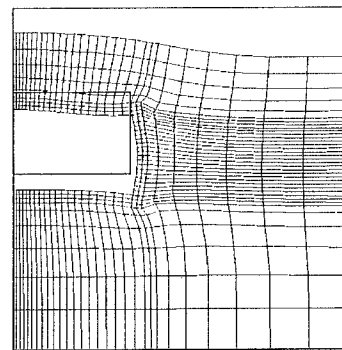


図6 第1次モード拡大図 $T_0 = 0.110(\text{sec})$

参考文献 [1]廣戸他：阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集、土木学会、pp.247-254、1996。
[2]日本マーク(株)：汎用非線形構造解析プログラムMARC K-6マニュアルA-E編、1995。