

# 大規模地震におけるボックスカルバート構造物の応答特性

学生氏名 山田 哲史

指導教員 吉川 弘道

## 1. はじめに

我が国において、人々の日常生活を支える様々なライフラインが地中に建設されている。その中でも地下鉄駅舎は人々の交通手段として必要不可欠なものであり、人命に関わる被害を決して起こしてはならない。しかし、兵庫県南部地震において受けた被害は、予想以上に甚大なものであった。そこで本研究は、大規模な地震時における地下鉄駅舎の応答を把握する為に、兵庫県南部地震で被害を受けた神戸高速鉄道・大開駅を対象とし、中柱における地震時の被害状況と解析結果を比較した。

## 2. 解析条件

対象構造物である大開駅断面図を図 1 に示し、対象断面位置における構造物・地盤一体型解析モデル(以下、本解析モデル)を図 2 に示す。ここで、対象地盤の底面と側方地盤を粘性境界とし、解析法として有限要素法を用いて線形応答解析を行い、各応答値を算出した。また、対象構造物と地盤の物性値を表 1 に示す。入力地震動は兵庫県南部地震(水平・鉛直成分)の地表面で観測された地震加速度波形より差分法を用いて基盤面の地震加速度波形を算出した。これを基盤面から入力することで、地震動が地中構造物に入力される実際の状況に近いものを再現した。地表面・基盤面地震加速度波形を図 3 に示す。大開駅において中柱が大きな被害を受けた事が確認されている為、本研究では中柱に着目し、構造物のみモデル(以下、構造物単体モデル)と本解析モデルの解析を行った。これより、本解析モデルにおいて中柱の時刻歴せん断力を算出し、せん断耐力と比較検討した。また、地震動は増幅しながら伝播する特徴を有している事から、周辺地盤の影響について検討する。

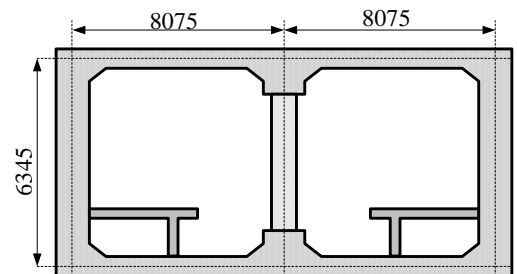


図 1 解析断面図(単位: mm)

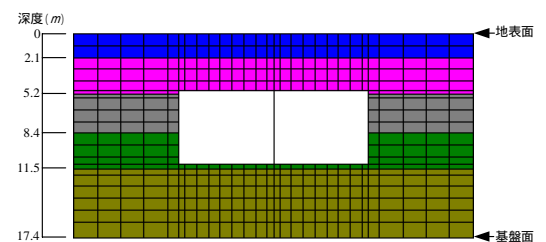


図 2 構造物・地盤一体型解析モデル

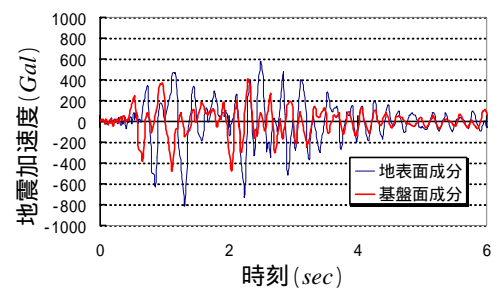
表 1 構造物と地盤の物性値

(a) 構造材料物性値<sup>1)</sup>

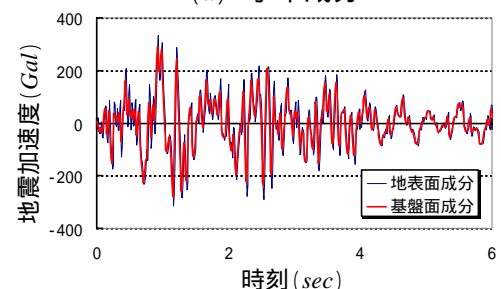
	部材厚 (m)	断面積 (m <sup>2</sup> )	せん断断面積 (m <sup>2</sup> )	断面二次モーメント (m <sup>4</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	減衰定数
上床版	0.80	0.80	0.67	4.27*10 <sup>-2</sup>	24	3.048*10 <sup>7</sup>	0.2	0.05
下床版	0.85	0.85	0.71	5.12*10 <sup>-2</sup>				
側壁	0.70	0.70	0.58	2.86*10 <sup>-2</sup>	24	3.048*10 <sup>7</sup>	0.2	0.05
	0.85	0.85	0.71	5.12*10 <sup>-2</sup>				
中柱	0.80	0.80	0.67	4.27*10 <sup>-2</sup>	24	3.048*10 <sup>7</sup>	0.2	0.05
	0.40	0.40	0.33	4.80*10 <sup>-3</sup>				

(b) 地盤構成物性値<sup>2)</sup>

地盤深さ	地盤種類	せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (kN/m <sup>2</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	ポアソン比	減衰定数
0~2.1m	沖積粘性土	100	1.94*10 <sup>4</sup>	19	0.427	0.05
2.1~5.2m	沖積砂質土	130	3.28*10 <sup>4</sup>	19	0.489	
5.2~8.4m	洪積粘性土	160	4.96*10 <sup>4</sup>	19	0.493	
8.4~11.5m	洪積砂質土	160	4.96*10 <sup>4</sup>	19	0.496	
11.5~17.4m	洪積粘性土	240	1.12*10 <sup>5</sup>	19	0.490	
基盤面	洪積砂礫	330	2.22*10 <sup>5</sup>	20	0.487	



(a) 水平成分



(b) 鉛直成分

図 3 入力地震動波形

### 3. 解析結果および考察

図3に示す地表面地震加速度(水平・鉛直成分)から差分法により求めた構造物下床版位置の地震加速度を構造物単体モデルに、基盤面地震加速度を本解析モデルに入力した時に中柱の上端と下端における最大水平相対変位図を図4に示す。これより、構造物単体モデルの中柱上端の変位量は $2.88\text{mm}$ 、下端は $2.65 \times 10^{-2}\text{mm}$ となり、本解析モデルでは $24.8\text{mm}$ 、下端は $8.3\text{mm}$ となる。また、相対変位は構造物単体モデルが $5.11\text{mm}$ となり、本解析モデルは $16.5\text{mm}$ となる。従って、本解析モデルの方が構造物単体モデルより変位する結果となった。これは、周辺地盤による土圧や水圧などの影響が構造物に作用した事や地震により地盤がせん断変形したものと考えられる。

次に、構造物単体モデルと本解析モデルの中柱における時刻歴せん断力(図5)を算出した。また、コンクリート標準示方書に記載のせん断耐力式<sup>3)</sup>を用いて中柱のせん断耐力  $V$  を求めた。その結果、 $V=158.7\text{kN}$ の値が得られた。図5より、構造物単体モデルのせん断力は、せん断耐力に到達することなく、時刻歴において小さい応答を示している。これより、せん断破壊しないものと考えられる。それに対して本解析モデルは、8.00秒過ぎからせん断力が著しく増加し、8.34秒で最大せん断力  $175\text{kN}$  の値が得られた。これより、せん断耐力を超えた事で中柱はせん断破壊したものと考えられる。ここで、せん断力が著しい増加をしたのは、構造物の固有周期と地震動の固有周期が一致して共振した事や地震により地震がせん断変形した事で周辺地盤による土圧や水圧などが構造物に大きく作用した為と考えられる。

対象構造物の中柱被害写真を図6に示す。図6より、せん断耐力が低下し、上床版の荷重と上載土荷重により鉄筋が一方方向に曲がり、脆性的破壊を起こしたものと推測される。これより、中柱の被害写真(図6)と解析結果(図5)を比較した結果、本解析モデルは中柱がせん断破壊するものと推測される。

### 4. まとめ

中柱に着目し、兵庫県南部地震を入力地震動として線形応答解析を行った結果、以下の知見が得られた。

- ・ボックスカルバート構造物の上端と下端における相対変位は、周辺地盤による土圧や水圧などの影響や地盤のせん断変形が影響していると推測される。
- ・ボックスカルバート構造物は、せん断力がせん断耐力を超えた結果、せん断破壊すると推測される。
- ・ボックスカルバート構造物は、構造物と地震動の固有周期が一致して共振した為せん断破壊したと考えられる。

#### 【参考文献】

- 1) 矢的照夫, 梅原俊夫, 青木一二三, 中村晋, 江寄順一, 末富岩雄: 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/I-35, pp.303~320, 1996.4
- 2) 廣戸敏夫, 梅原俊夫, 青木一二三, 中村晋, 江寄順一, 末富岩雄: 神戸高速鉄道・大開駅とその要因分析, 阪神・淡路大震災に関する学術講演会論文集, pp.247~254, 1996.1
- 3) 土木学会: コンクリート標準示方書[2002年制定]構造性能照査編, 2002.3
- 4) 佐藤工業株式会社: 神戸高速鉄道東西線 大開駅災害復旧の記録, 1997.1

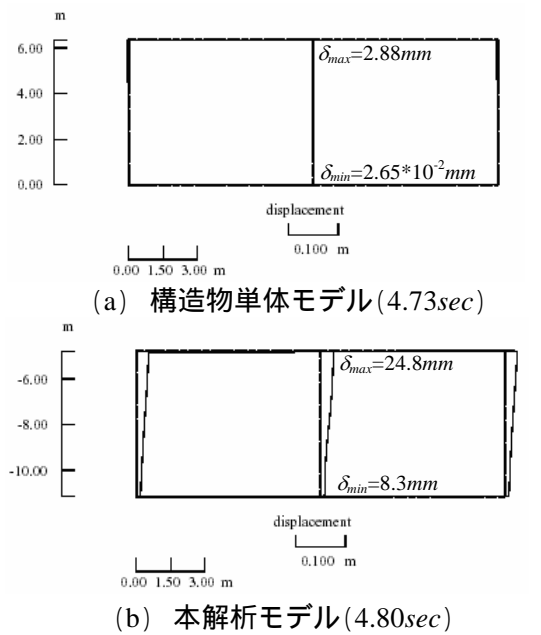


図4 時刻歴最大水平相対変位図

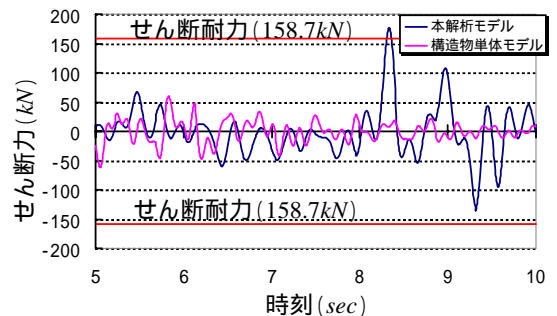


図5 時刻歴せん断力図

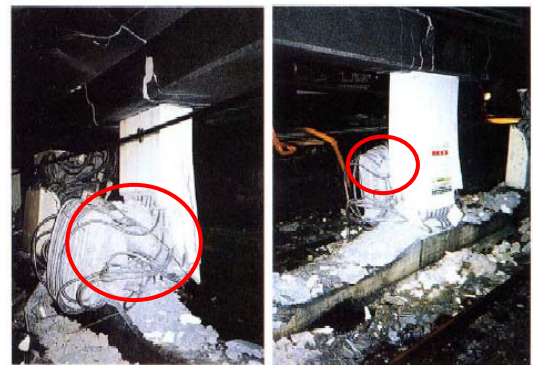


図6 中柱のせん断破壊<sup>4)</sup>