

# 動的プッシュオーバー解析による ボックスカルバートの保有性能

構造材料工学研究室 山崎弘晶 吉川弘道 笠原啓

Key Words: 動的プッシュオーバー解析, ボックスカルバート, 層間変形角

## 目次

1. はじめに	2
2. 解析概要	2
3. 解析結果	
3.1 層間変形角	4
3.2 断面力分布	5
3.3 曲げモーメント	6
3.4 せん断力	7
3.5 ボックスカルバートの保有性能	8
4. まとめ	10

## 1. はじめに

地中構造物は周辺を地盤で囲まれ拘束されているため、地震時に周辺地盤と連動した挙動を示す。またその挙動は、地震による慣性力ではなく周辺地盤の相対変位(地盤ひずみ)に支配される。このことから、地中構造物の耐震性は高いと考えられていた。しかし、兵庫県南部地震では多くの地中構造物に甚大な被害が生じた。特に地下鉄駅舎において中柱の脆性的破壊が多く見られた。そこで本研究では、神戸高速鉄道・大開駅を対象とし、動的プッシュオーバー解析を行いボックスカルバート構造物の保有性能を検証した。

## 2. 解析概要

解析対象構造物は、神戸高速鉄道・大開駅で幅 17m×高さ 7.17m のボックスカルバート構造である。断面の中央部には、幅 0.4m×奥行き 1.0m の矩形断面を有する高さ 3.82m の鉄筋コンクリート造の中柱が、トンネル軸方向に 3.5m 間隔で配置されている。大開駅の断面図を図 1 に示す。

解析はトンネル横断方向を対象として、地盤と構造物の線形性を考慮した動的プッシュオーバー解析を行った。ここで、動的プッシュオーバー解析とは、地震による荷重を段階的に作用させることによって、構造物の保有耐力、変形性能、損傷モードを求めることができ、保有性能を評価するための解析法である。

図 2 に地盤・構造物一体型モデルを示す。構造物ははり要素にてモデル化し、隅角部に関しては剛域を考慮した。なお解析を行うにあたって、中柱の断面積と断面 2 次モーメントを用いる際に側壁と違い中柱は空間を考慮しなければならない。そこで中柱の断面積と断面 2 次モーメントを長手方向単位長さ当りで除すことで、空間を考慮するものとした。構造物の物性値を表 1 に示す。

地盤は平行多層で平面ひずみ要素にてモデル化した。また底面と側面に粘性境界を考慮した。地盤の物性値を表 2 に示す。また大開駅周辺における地盤は、地盤深度 17.2m 以降において N 値が増大していることからこの位置を基盤面とした。

本解析における入力地震動は、構造物に徐々に荷重を加えるため時間と加速度が比例関係である長周期波形(図 3)を用いた。

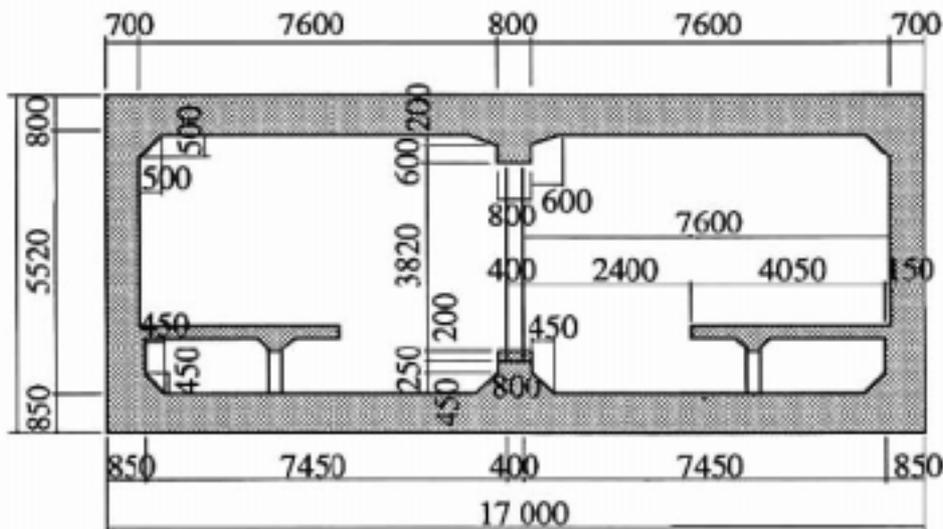


図 1 大開駅の断面図<sup>1)</sup>

表1 構造物の物性値<sup>1)</sup>

構造部材	部材厚 (m)	断面積 (m <sup>2</sup> )	断面2次モーメント (m <sup>4</sup> )	単位体積重量 (kN/m <sup>3</sup> )	せん断剛性係数 (kN/m <sup>2</sup> )	ポアソン比	減衰定数
上床版	0.800	0.800	0.0427	23.50	3.00 × 10 <sup>7</sup>	0.20	0.05
	1.200	1.200	0.1440				
	0.867	0.867	0.0543				
下床版	0.850	0.850	0.0512				
	1.275	1.275	0.1727				
側壁	0.700	0.700	0.0286				
	1.050	1.050	0.0965				
中柱	0.114	0.114	0.0015		3.10 × 10 <sup>7</sup>		
	0.800	0.800	0.0427				

表2 地盤の物性値<sup>1)</sup>

地盤深さ (m)	土質	せん断波速度 (m/s)	せん断剛性係数 (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 ~ 2.04	シルト	140	3.80 × 10 <sup>4</sup>	19.0	0.333	0.05
2.04 ~ 5.1	砂質土	140	3.80 × 10 <sup>4</sup>		0.488	0.05
5.1 ~ 8.273	砂質土	170	5.60 × 10 <sup>4</sup>		0.493	0.05
8.273 ~ 11.445	粘性土	190	7.00 × 10 <sup>4</sup>		0.494	0.05
11.445 ~ 17.195	粘性土	240	1.12 × 10 <sup>5</sup>		0.490	0.05

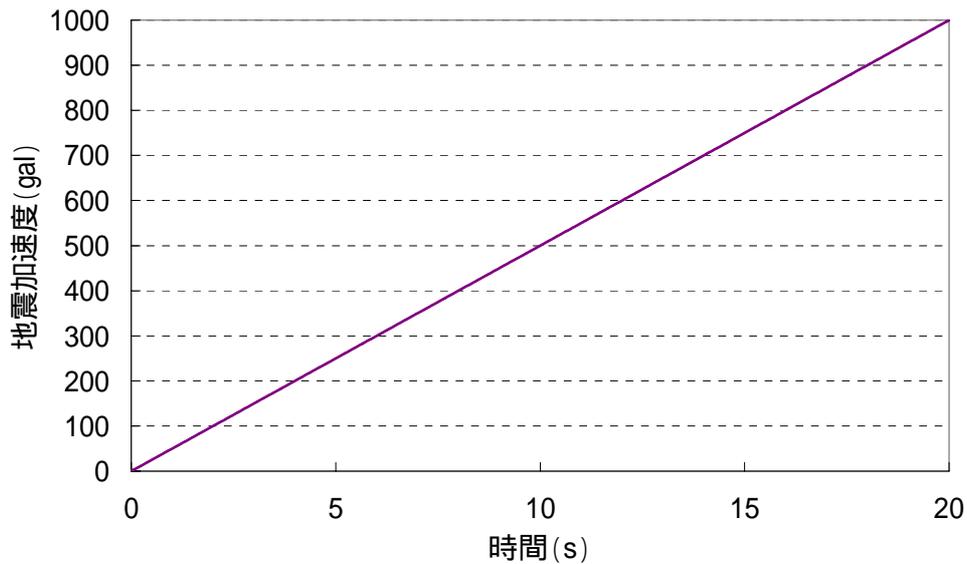


図3 長周期波形

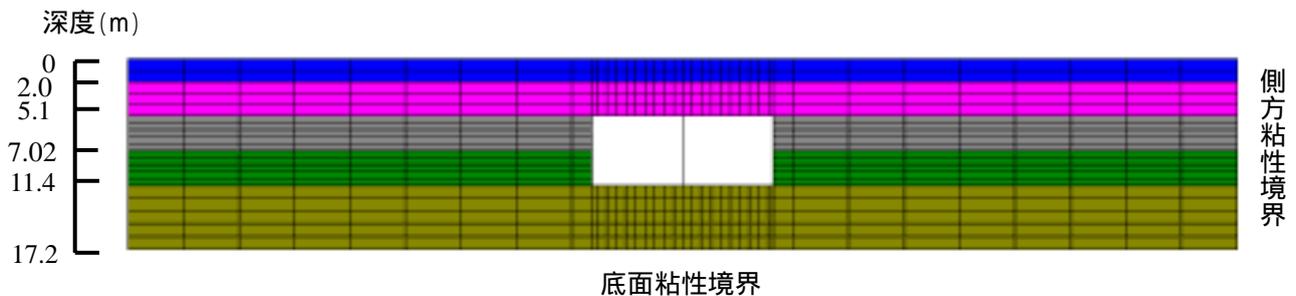
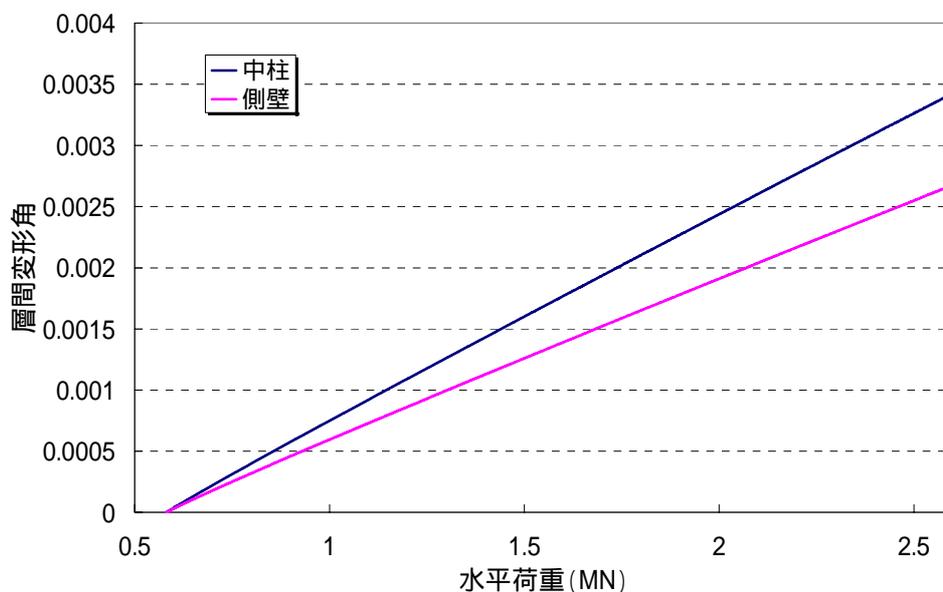


図2 地盤・構造物一体型モデル

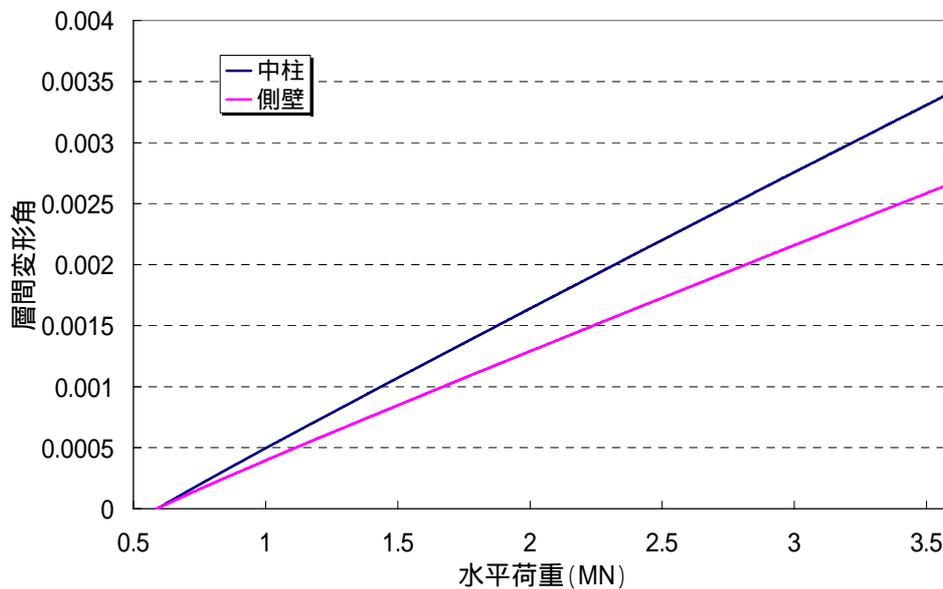
### 3. 解析結果

#### 3.1 層間変形角

図4に中柱と側壁における層間変形角と水平荷重の関係を示す。水平荷重が増加するに伴い層間変形角も増加した。設計では、地震時に許容する最大層間変形角が0.01と設定されている。<sup>2)</sup>これはコンクリートの剥落が生じる時の値である。これより水平荷重最大値においては上下端部ともコンクリートの剥落が生じないと考えられる。



(a) 上端部

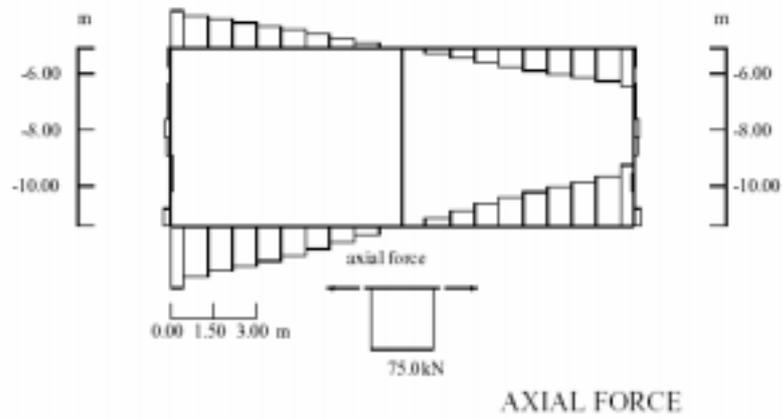


(b) 下端部

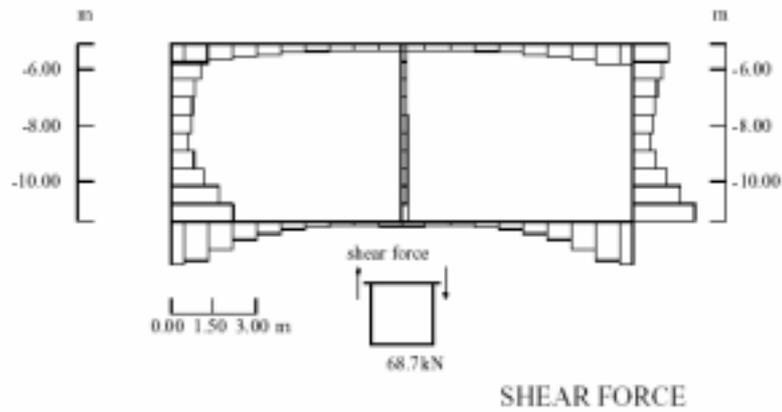
図4 層間変形角と水平荷重の関係

### 3.2 断面力分布

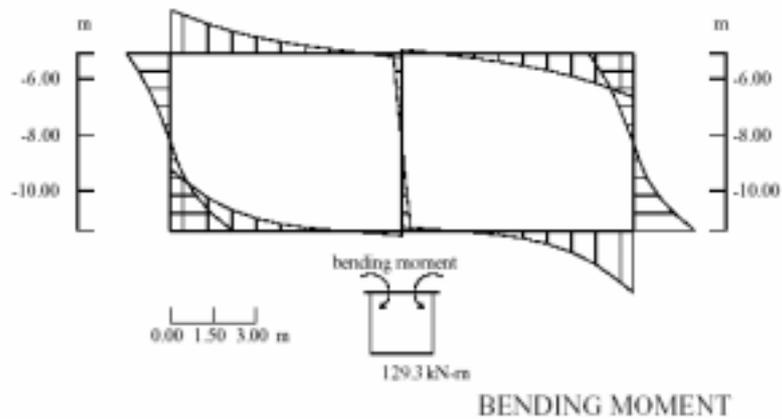
図5に軸力,せん断力,曲げモーメントの断面力分布を示す.



(a)軸力



(b)せん断力

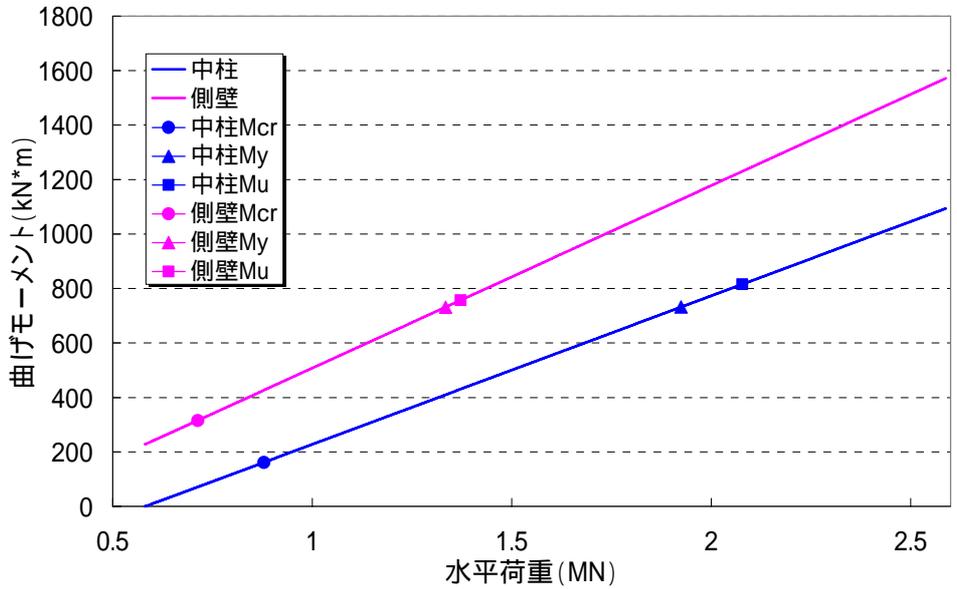


(c)曲げモーメント

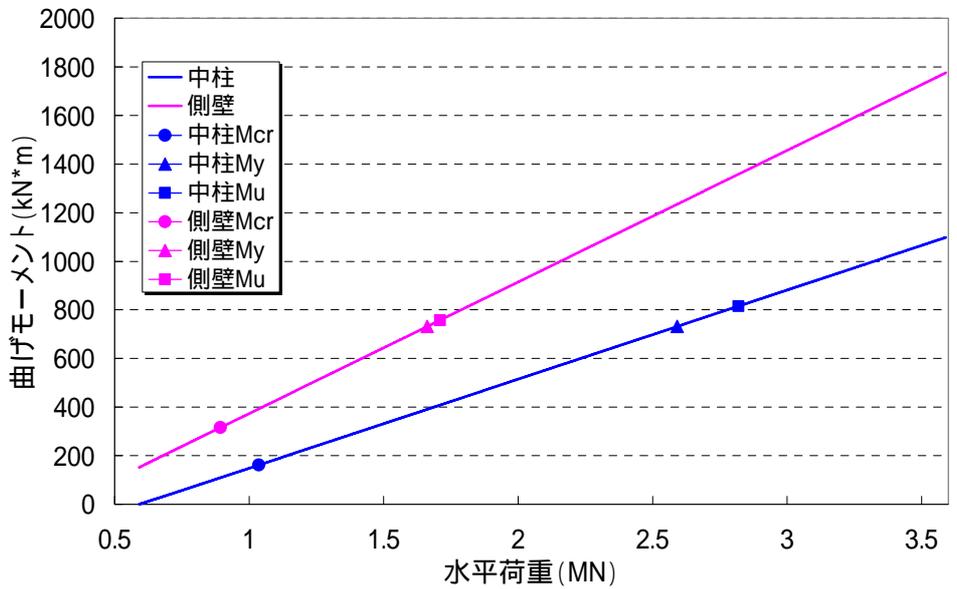
図5 断面力分布

### 3.3 曲げモーメント

図 6 に中柱と側壁における曲げモーメントと水平荷重の関係を示す。また各部材の曲げひび割れモーメント、曲げ降伏モーメント、曲げ終局モーメントを図中に併記する。図中に示す ~ は構造物の破壊順序である。上端部を見ると、側壁で曲げひび割れ発生( )後に、中柱において曲げひび割れ( )が生じた。その後、側壁は水平荷重が約 1.5MN で鉄筋の曲げ降伏( )、曲げ終局破壊( )に至った。また中柱は水平荷重が 2.0MN 前後で鉄筋の曲げ降伏( )、曲げ終局破壊( )に至っている。



(a) 上端部

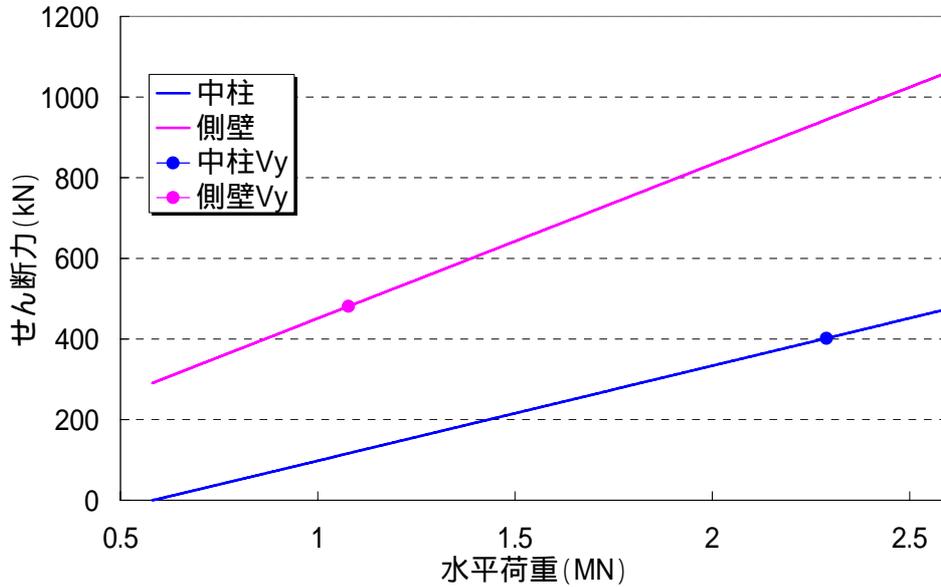


(b) 下端部

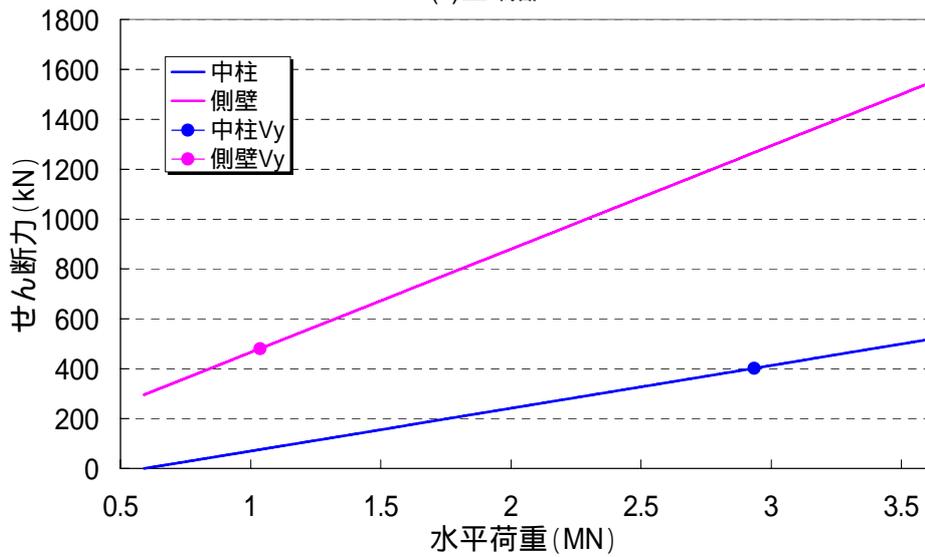
図 6 曲げモーメントと水平荷重の関係

### 3.4 せん断力

図 7 に中柱と側壁におけるせん断力と水平荷重の関係を示す。せん断耐力は、コンクリート標準示方書[構造性能照査]<sup>3)</sup>に記載のせん断耐力式を用いて算出した。上端部において、それぞれの破壊時の水平荷重は、側壁が約 1.0MN に対して中柱は約 2.3MN となり、破壊時の水平荷重の値に差が現れた。



(a)上端部



(b)下端部

図 7 せん断力と水平荷重の関係

### 3.5 ボックスカルバートの保有性能

図 8 に各水平荷重における破壊状況を示す。図 9 に  $M/M_y$ , 図 10 に  $V/V_y$  の関係を示す。水平荷重の増加に伴い、

約 1.1MN で側壁の上下端部にせん断破壊が生じた。その後、約 2.0MN で中柱に鉄筋の曲げ降伏が生じ、上端部は曲げ破壊、下端部はせん断破壊に至った。これより中柱上端部は曲げ破壊、下端部は曲げ降伏先行型せん断破壊、側壁はせん断破壊先行型の力学特性を有するものと考えられる。また部材の破壊順序より側壁が負担していた上載荷重が側壁のせん断破壊に伴い、中柱に作用した結果、中柱はせん断破壊が生じたと考えられる。

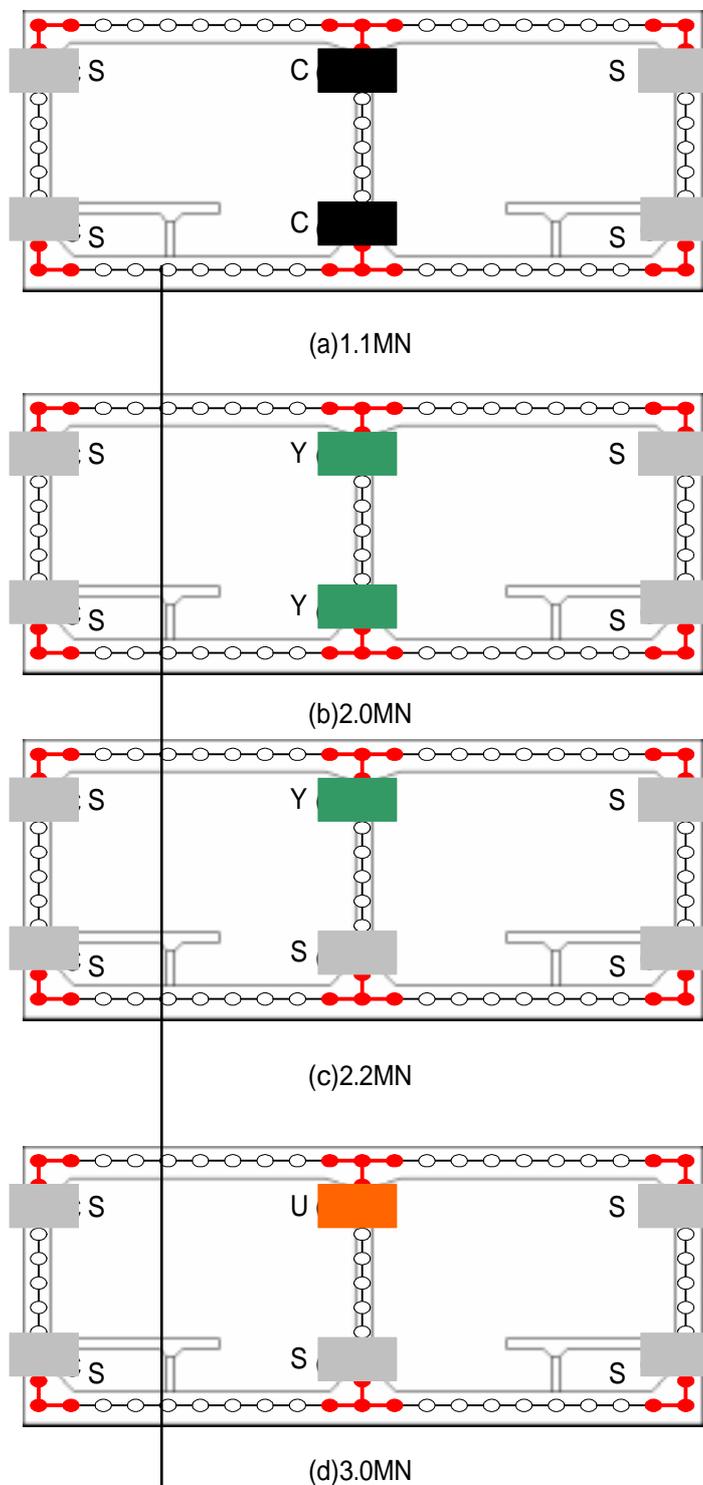
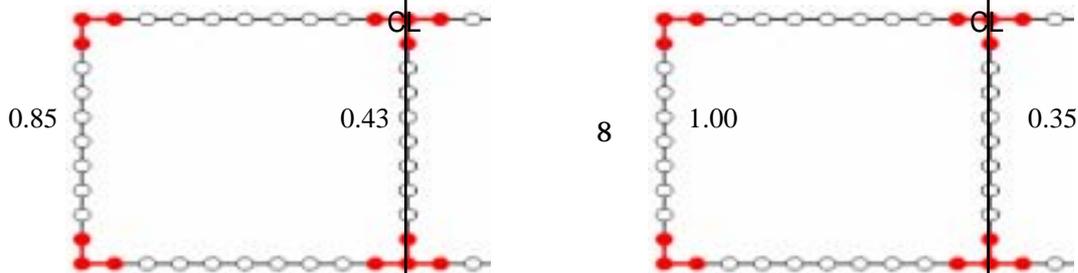


図 8 各水平荷重に置ける破壊状況



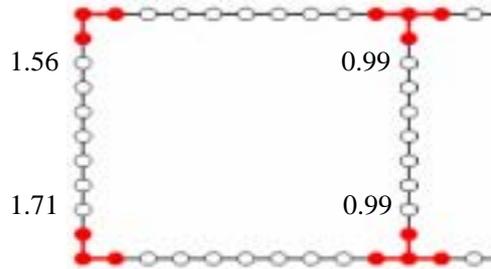
0.85

0.43

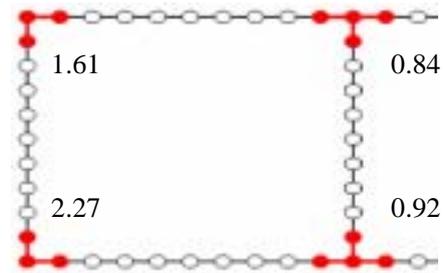
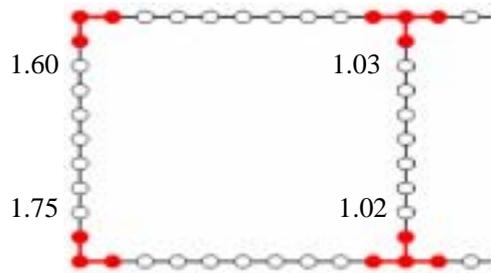
1.28

0.38

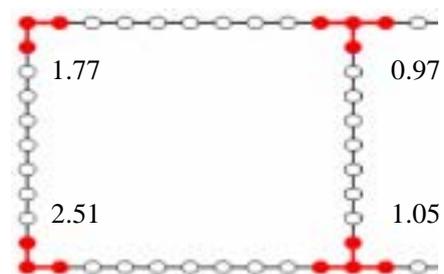
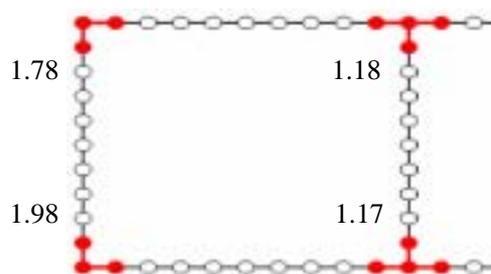
(a) 1.1MN



(b) 2.0MN



(c) 2.2MN



(d) 3.0MN

図9 終局耐力に対する比(左:  $M/M_y$ , 右:  $V/V_y$ )

#### 4. まとめ

神戸高速鉄道・大開駅を対象に動的プッシュオーバー解析を行い、ボックスカルバート構造物の保有性能を照査し

たところ、以下の知見が得られた。

- ・ 中柱上端部は曲げ破壊、下端部は曲げ降伏先行型せん断破壊、側壁はせん断破壊先行型の力学特性を有する構造である。
- ・ 中柱の破壊は側壁のせん断破壊に起因するものと考えられる。

【参考文献】

- 1) 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
- 2) 土木学会：原子力発電所屋外重要構造物の耐震性能照査指針・同マニュアル，pp120～122，2002.5
- 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