

構造形式の異なる地中ボックスカルバート構造物の地震時挙動

学生氏名 君島 康之
指導教員 吉川 弘道

1 はじめに

1995年に発生した兵庫県南部地震では、耐震性が高いと考えられていた地中構造物において世界でも稀に見る甚大な被害が生じた。特にボックスカルバート構造物の地下鉄駅舎において鉄筋コンクリート柱にせん断破壊が多く発生した。また、コンクリートが僅かに剥離するだけの軽微な被害も見られた。これらの被害は構造形式の違いによって大きく異なるものだと考えられる。そこで本研究では実際に被害が生じた神戸高速鉄道大開駅を対象に脆性的破壊が生じた中柱に着目して線形動的応答解析を行い、構造形式の違いによる地震時の挙動を比較検証した。

解析対象とした構造物は神戸高速鉄道・大開駅で、幅 17.0m×高さ 7.17m の鉄筋コンクリート造の 1 層 2 径ボックスカルバート(以下、断面 A)と幅 26.0m×高さ 10.12m の 2 層 4 径間箱型断面(以下、断面 B)である。軌道階およびコンコース階の断面中央部に奥行き方向に 3.5m 間隔で幅 0.4m×奥行き 1.0m の断面を有する中柱が配置されている。

2 解析モデル

解析はトンネル横断方向を対象として 7S- による線形動的解析を行った。図1に断面 A および断面 B の地盤・構造物一体型モデルを示す。構造物のはり要素にてモデル化した。ただし、隅角部は剛域を考慮し、剛性ははり要素とした(図2)。表1、表2に断面 A および断面 B における構造物の物性値を示す。なお、解析を行うに当たって 7S- は奥行き 1m でのみ解析可能である。既往の研究では解析を行う際に、本来不連続である中柱は側壁のように連続体として解析していた。そこで、中柱と中柱の空間を考慮した上で解析を行う必要があると考えた。中柱は 3.5m 間隔で配置されている。中柱の不連続性を考慮するため、3.5m 間に含まれる中柱と空間を奥行き 1m に換算した(図3)。換算方法は、中柱の奥行きを 3.5m で除することで、中柱一本あたりの軸力を考慮するものである。また換算結果を含む構造物の物性値を表1表2に示す。

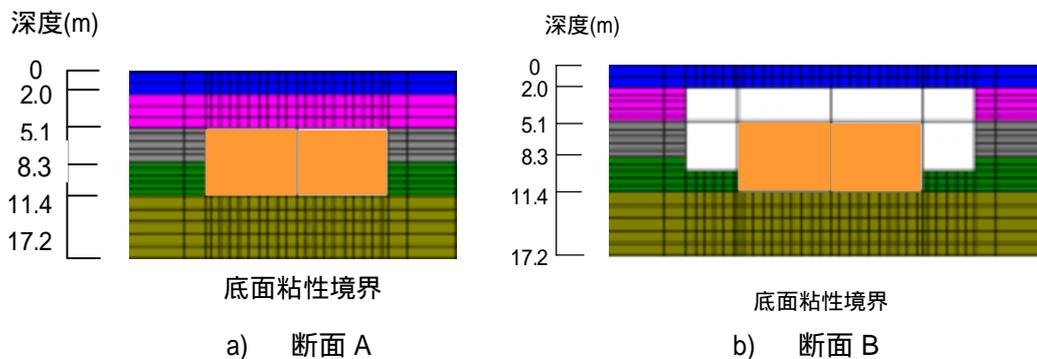


図1 構造・地盤一体型モデル

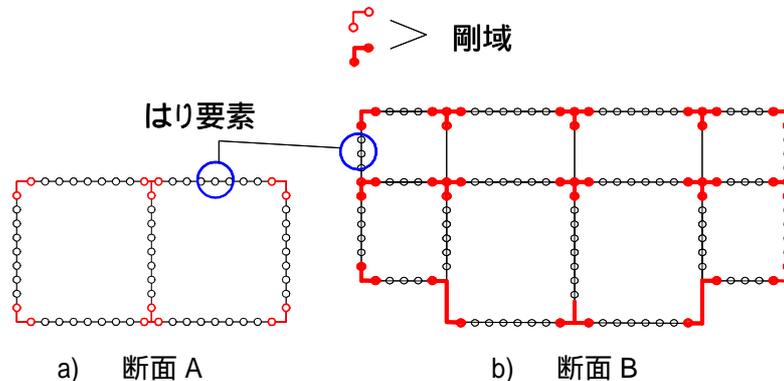


図2 はり要素

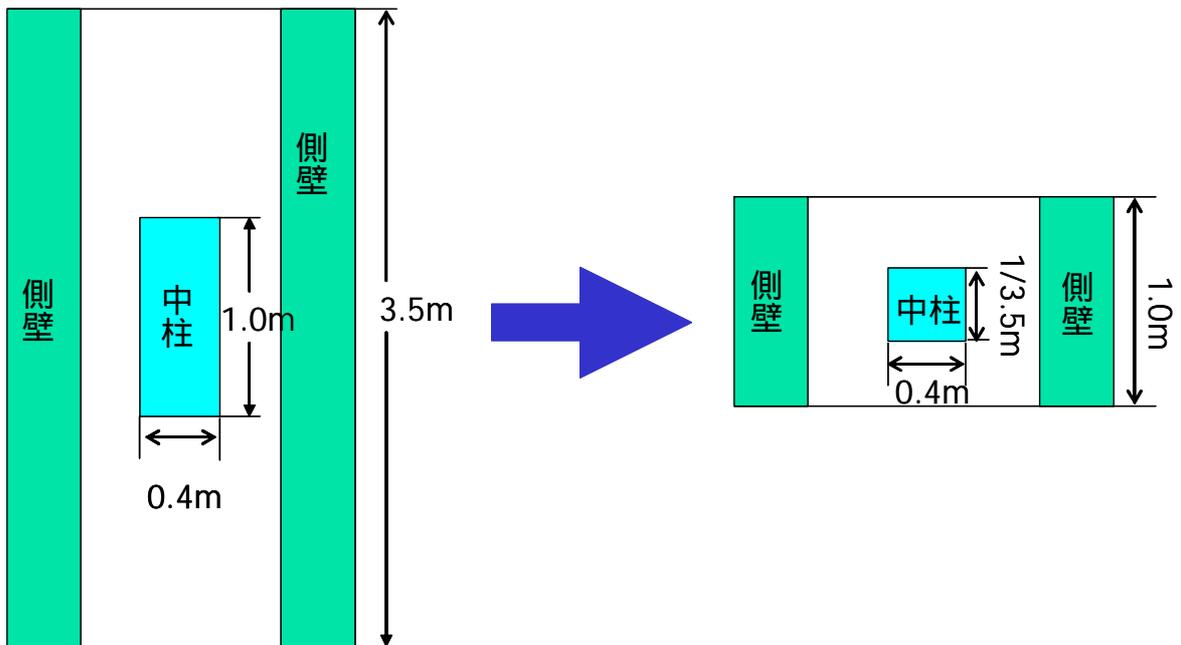


図3 中柱の解析物性値換算

表1 構造物(断面A)の物性値

構造部材	部材厚	断面積	せん断断面積	断面二次モーメント	単位体積重量 (kN/m ³)	弾性係数 E (kN/m ²)	ポアソン比	減衰定数
	(m)	A (m ²)	A/1.2 (m ²)	I (m ⁴)				
上床版	0.800	0.800	0.667	0.0352	23.5	3.0 × 10 ⁷	0.2	0.05
下床版	0.850	0.850	0.708	0.0512				
側壁	0.700	0.700	0.583	0.0512				
外側壁	0.850	0.850	0.708	0.0104				
中柱	0.400	0.114	0.095	0.0152		3.10 × 10 ⁷		

表2 構造物の(断面B)の物性値

構造部材	部材厚	断面積	せん断断面積	断面二次モーメント	単位体積重量 (kN/m ³)	弾性係数 E (kN/m ²)	ポアソン比	減衰定数
	(m)	A (m ²)	A/1.2 (m ²)	I (m ⁴)				
上床版	0.750	0.750	0.625	0.0352	23.5	3.0 × 10 ⁷	0.2	0.05
中床版	0.350	0.350	0.292	0.0036				
	0.550	0.550	0.458	0.0139				
下床版	0.850	0.850	0.708	0.0512				
側壁	0.850	0.850	0.708	0.0512				
外側壁	0.500	0.500	0.417	0.0104				
中柱(地下1階)	0.400	0.114	0.095	0.0152				
中柱(地下2階)	0.400	0.114	0.095	0.0152				

3 地盤・構造物一体モデル

地盤は平行多層で平面ひずみ要素にてモデル化した。また底面と側方地盤を粘性境界とした。地盤の物性値は表3に示す。ここで、大開駅付近の地盤は地盤深さ 17.2m より深い地盤では N 値が 50 以上で支持層としての条件を満たしていることからこの位置を基盤面とした。

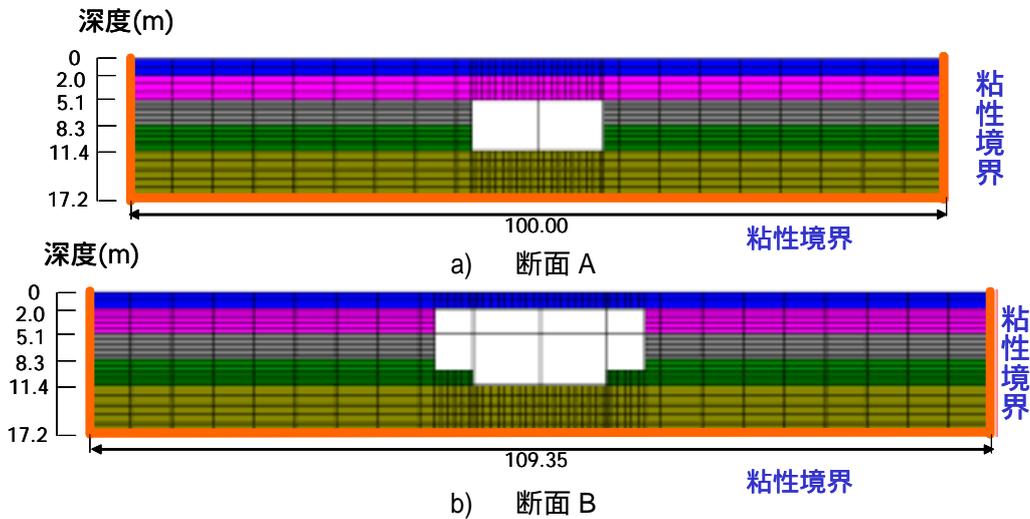


図4 地盤・構造物一体型モデル

表3 地盤の物性値

地盤高さ	土質	せん断波速度 V_s (m/s)	せん断弾性係数 G_0 (kN/m ²)	単位体積重量 (kN/m ³)	ポアソン比	減衰定数
0~2.0m	シルト	140	3.80×10^4	19.0	0.333	0.05
2.0~5.1m	砂質土	140	3.80×10^4	19.0	0.488	
5.1~8.3m	砂質土	170	5.60×10^4	19.0	0.493	
8.3~11.4m	粘性土	190	7.00×10^4	19.0	0.494	
11.4~17.2m	粘性土	240	1.12×10^5	19.0	0.490	
基盤面	礫	330	2.22×10^5	20.0	0.487	

4 入力地震動

入力地震動は、神戸海洋気象台で観測された地震加速度波形(NS 成分)を重複反射理論に基づいて工学的基盤面における地震加速度波形(図5)を算出し入力した。

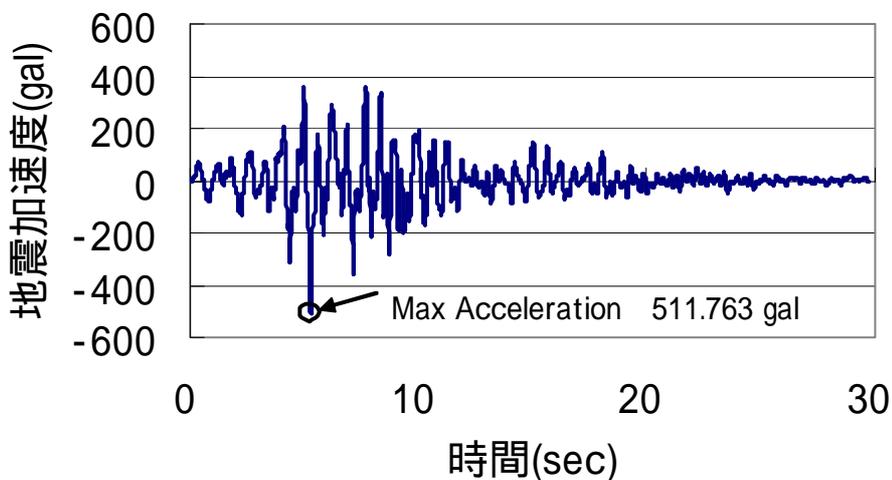


図5 入力地震動

5 解析結果

5.1 解析時間

断面 A の 7S- による解析における経過時間は 3 分、断面 B の経過時間は 3 分 15 秒であった。両者における接点数は 271、要素数は 191 異なるが、経過時間はそれ程変わらなかった。

5.2 中柱の相対変位

図 6 に断面 A と断面 B における中柱の相対変位深度分布図を示す。これより断面 A の中柱に比べ、断面 B の中柱では相対変位が最大約 20.6% 減少した。

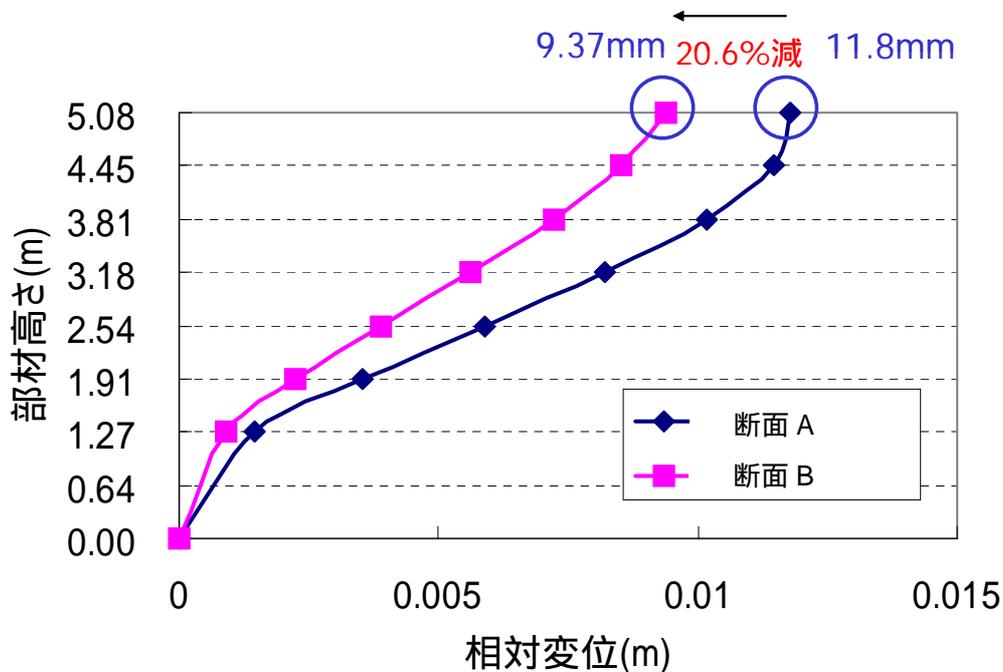


図 6 相対変位

5.3 中柱の軸力

図 7 に中柱の軸力の時刻歴応答を示す。断面 B の中柱に作用する軸力は断面 A に比べ約 46% 減少した。これは、断面 B の土被りが断面 A に比べ少なかったためであると考えられる。

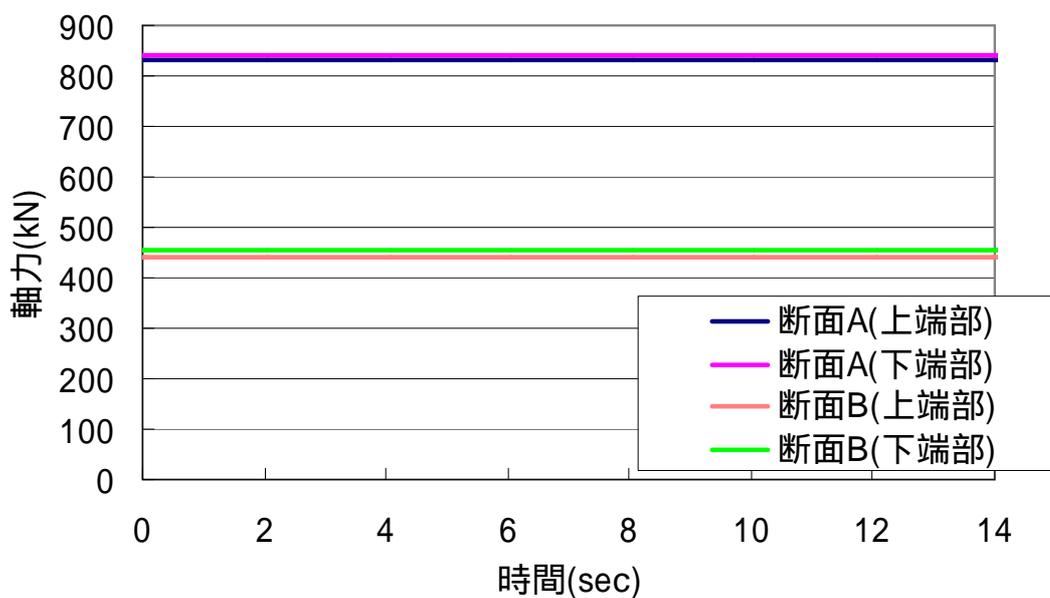
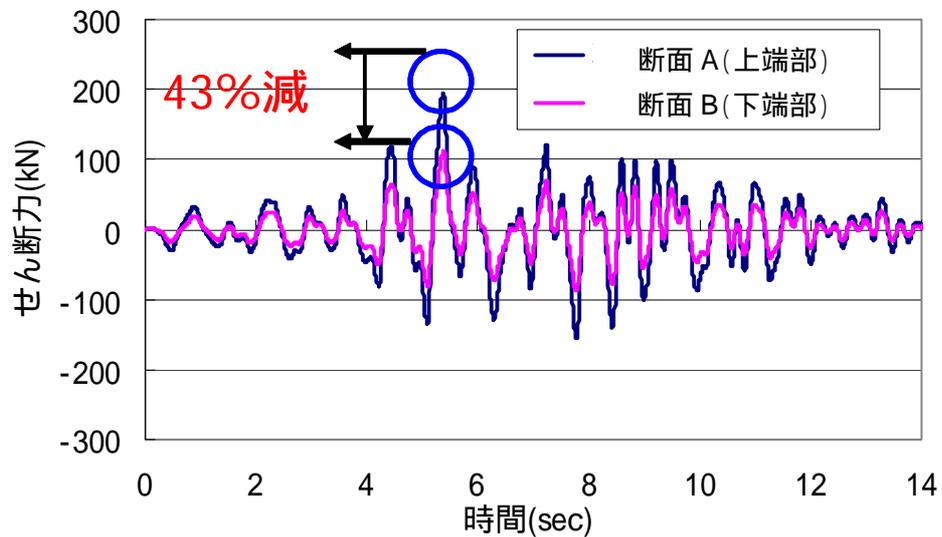


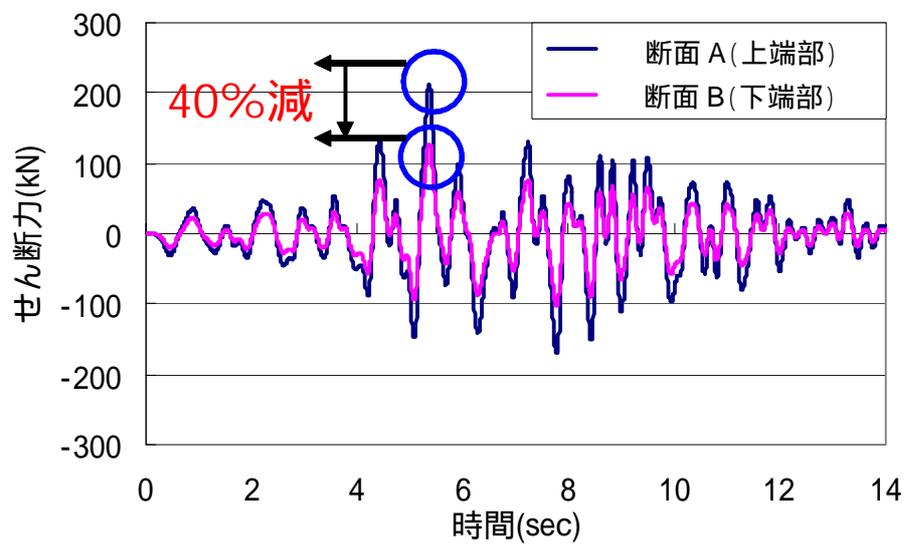
図 7 軸力

5.4 中柱の曲げモーメントとせん断力

図8に断面 A, 断面 B の中柱のせん断力の時刻歴応答を示す. せん断力は地震動が卓越した時刻において最大値を示した. また断面 B の中柱は断面 A の中柱に比べ上端部では約 40% 減少し, 下端部では約 40% 減少した.



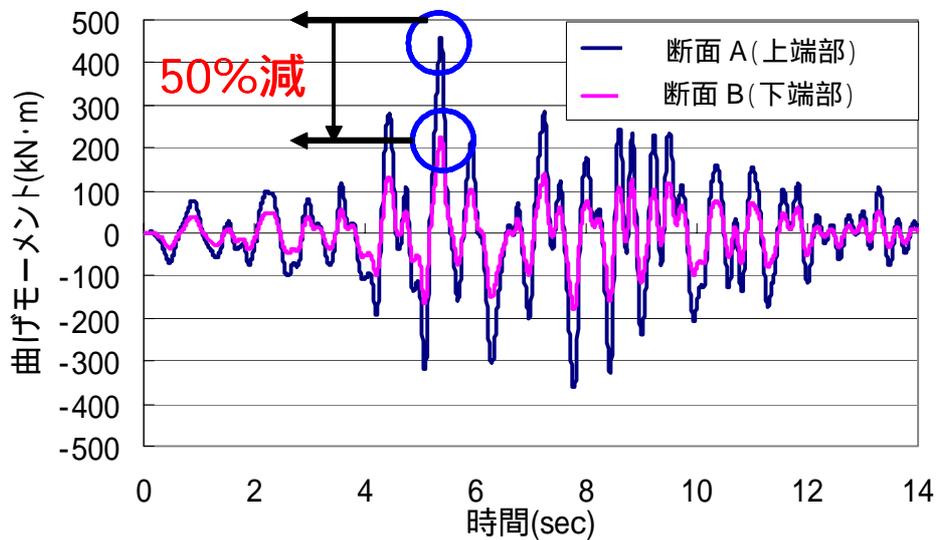
a) 上端部のせん断力



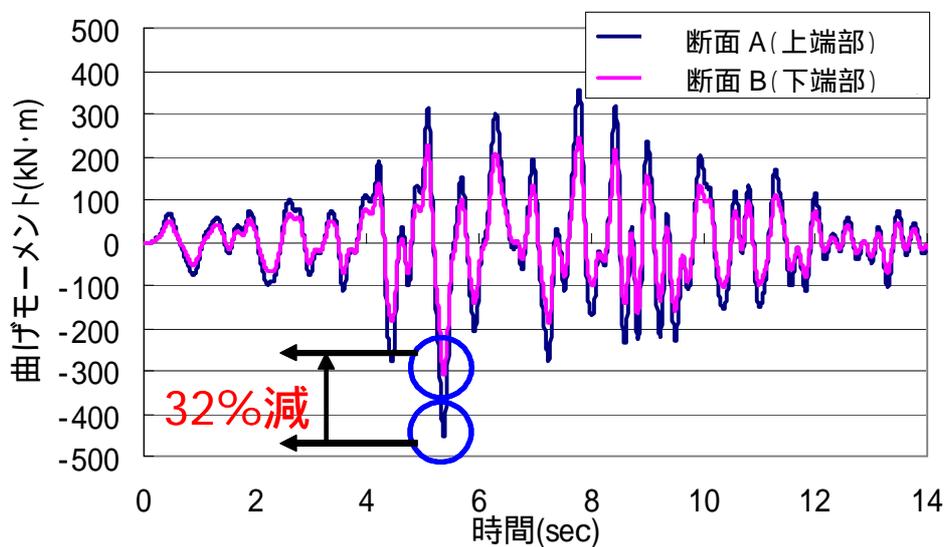
b) 下端部のせん断力

図8 中柱のせん断力

図9に断面 A, 断面 B の中柱の曲げモーメントの時刻歴応答を示す。曲げモーメントは地震動が卓越した時刻において最大値を示した。また断面 B の中柱は断面 A の中柱に比べ上端部では約 50% 減少し, 下端部では約 30% 減少した。



a) 上端部の曲げモーメント

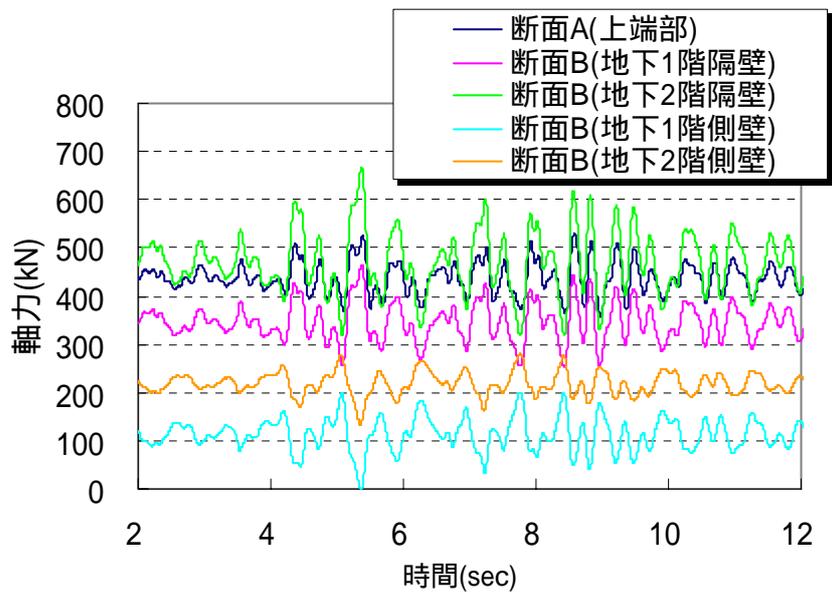


b) 下端部の曲げモーメント

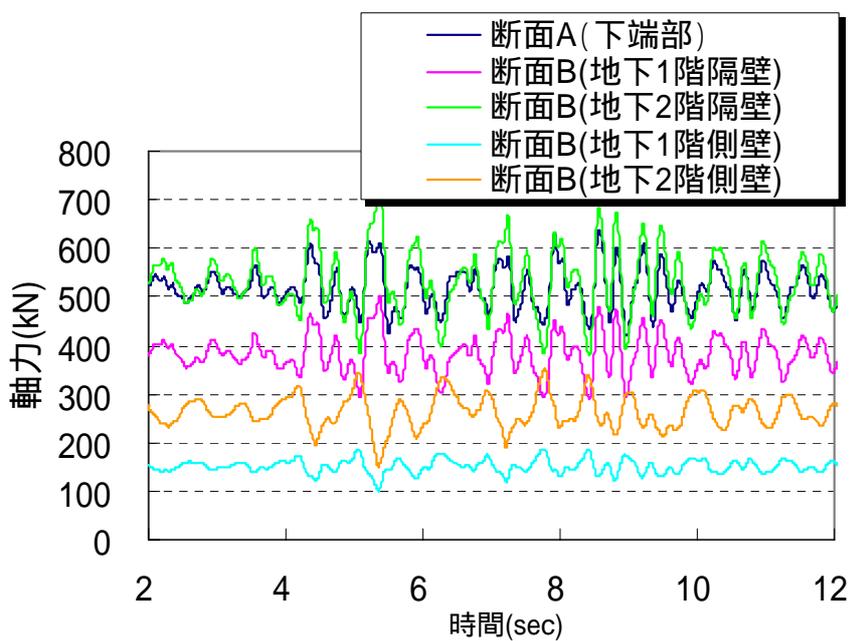
図9 中柱の曲げモーメント

5.5 側壁の軸力

図10に断面A, 断面Bの側壁の軸力の時刻歴応答を示す. 上下端部ともに断面Aに比べ断面Bの地下2階隔壁が最も大きな挙動を示した. 断面Bのその他の各部分は断面Aに比べ小さな挙動を示した.



a) 上端部の軸力

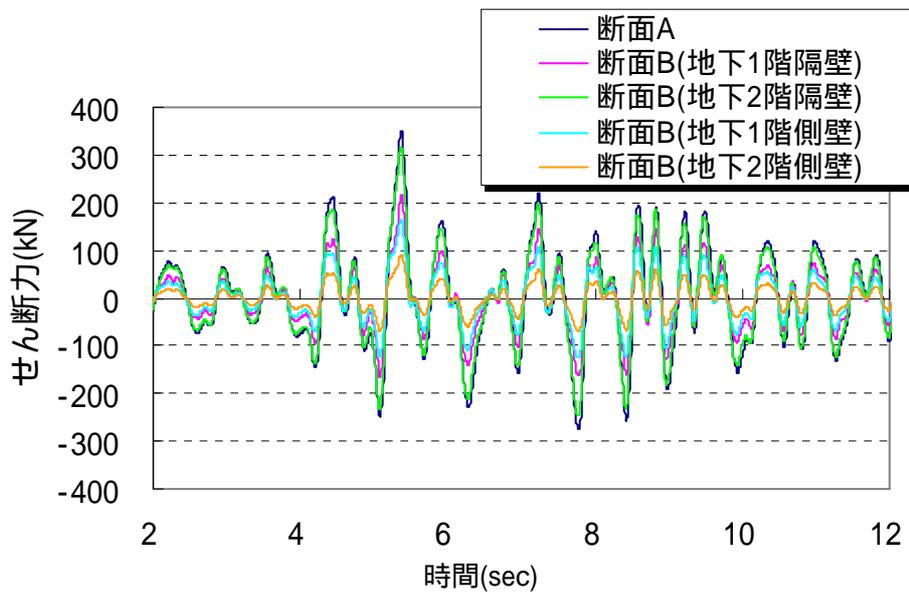


b) 下端部の軸力

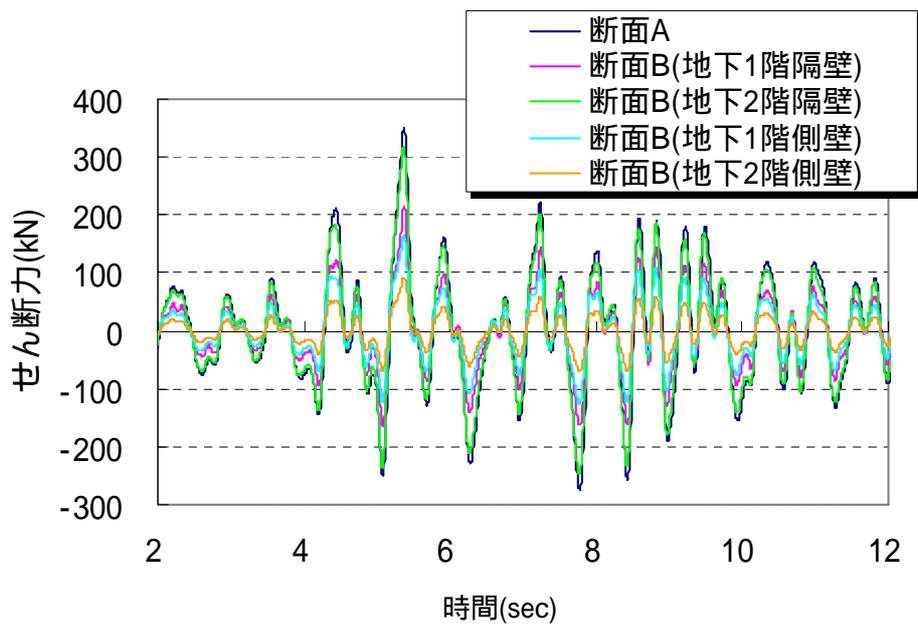
図10 側壁の軸力

5.6 側壁のせん断力と曲げモーメント

図11に断面A, 断面Bの側壁のせん断力の時刻歴応答を示す. 上下端部ともに断面Aが最も大きな挙動を示した. . . 断面Bのその他の各部は断面Aに比べ小さな挙動を示した.



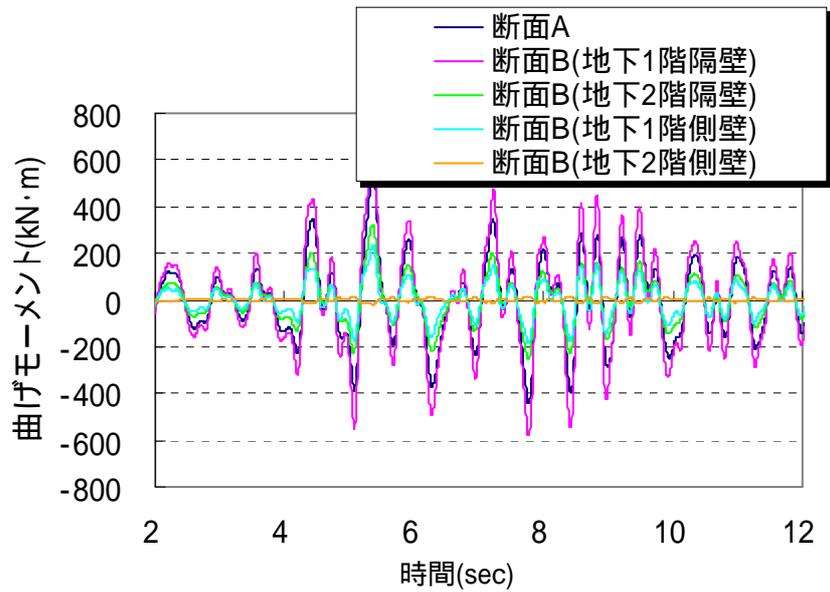
a) 上端部のせん断力



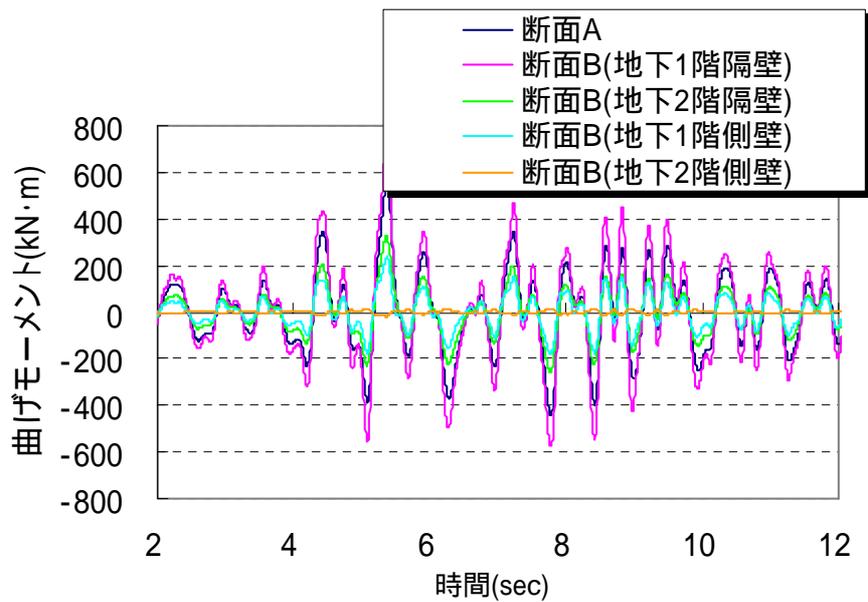
b) 下端部のせん断力

図11 側壁のせん断力

図12に断面A, 断面Bの側壁の曲げモーメントの時刻歴応答を示す. 上下端部ともに断面Aに比べ断面Bの地下1階隔壁が最も大きな挙動を示した. 断面Bのその他の各部分は断面Aに比べ小さな挙動を示した.



a) 上端部の曲げモーメント

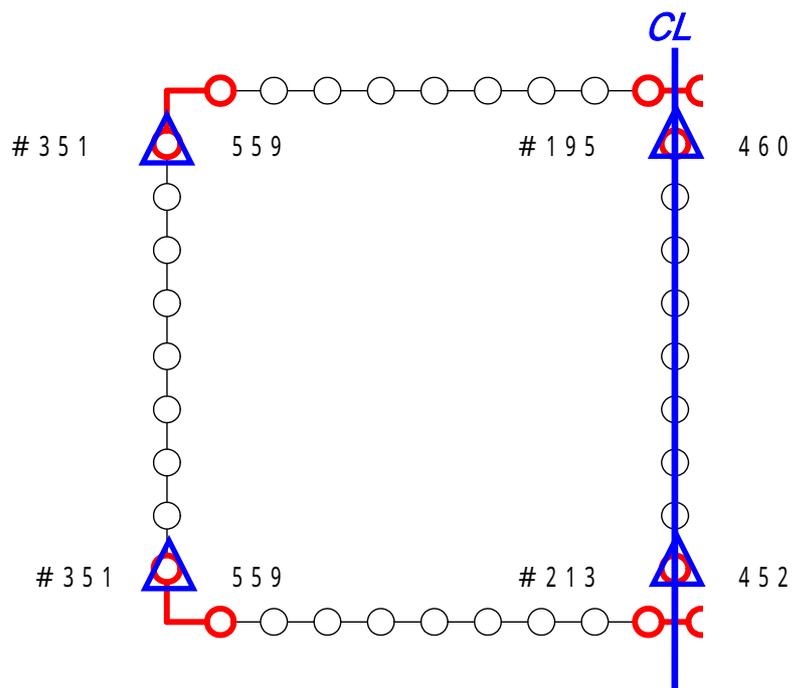


b) 下端部の曲げモーメント

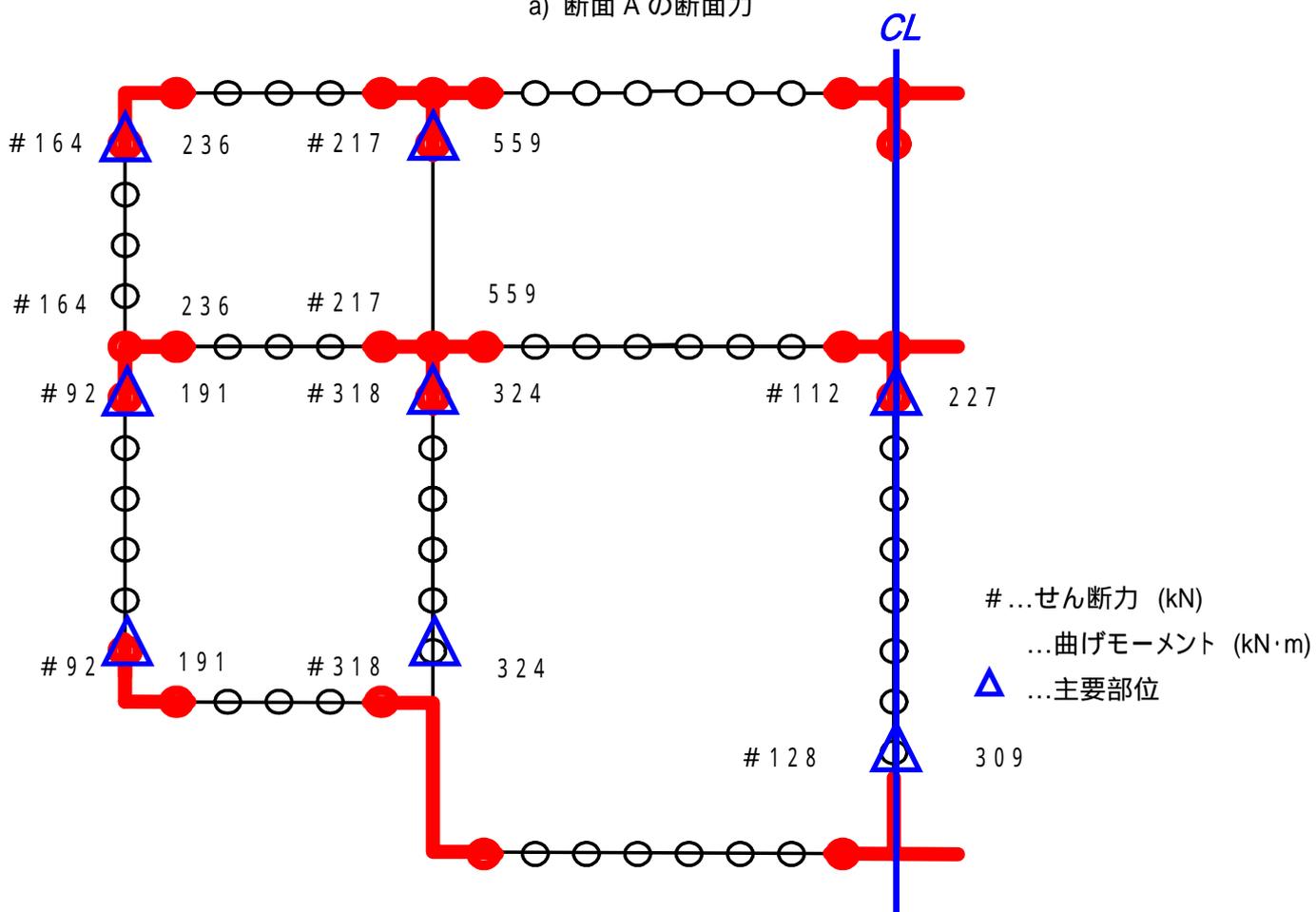
図12 側壁の曲げモーメント

5.7 断面力図

構造物の断面力を図13に示す.



a) 断面 A の断面力



b) 断面 B の断面力

図13 主要部位(断面)の最大断面力

5.8 断面力比

図14に構造物の断面力比を示す。

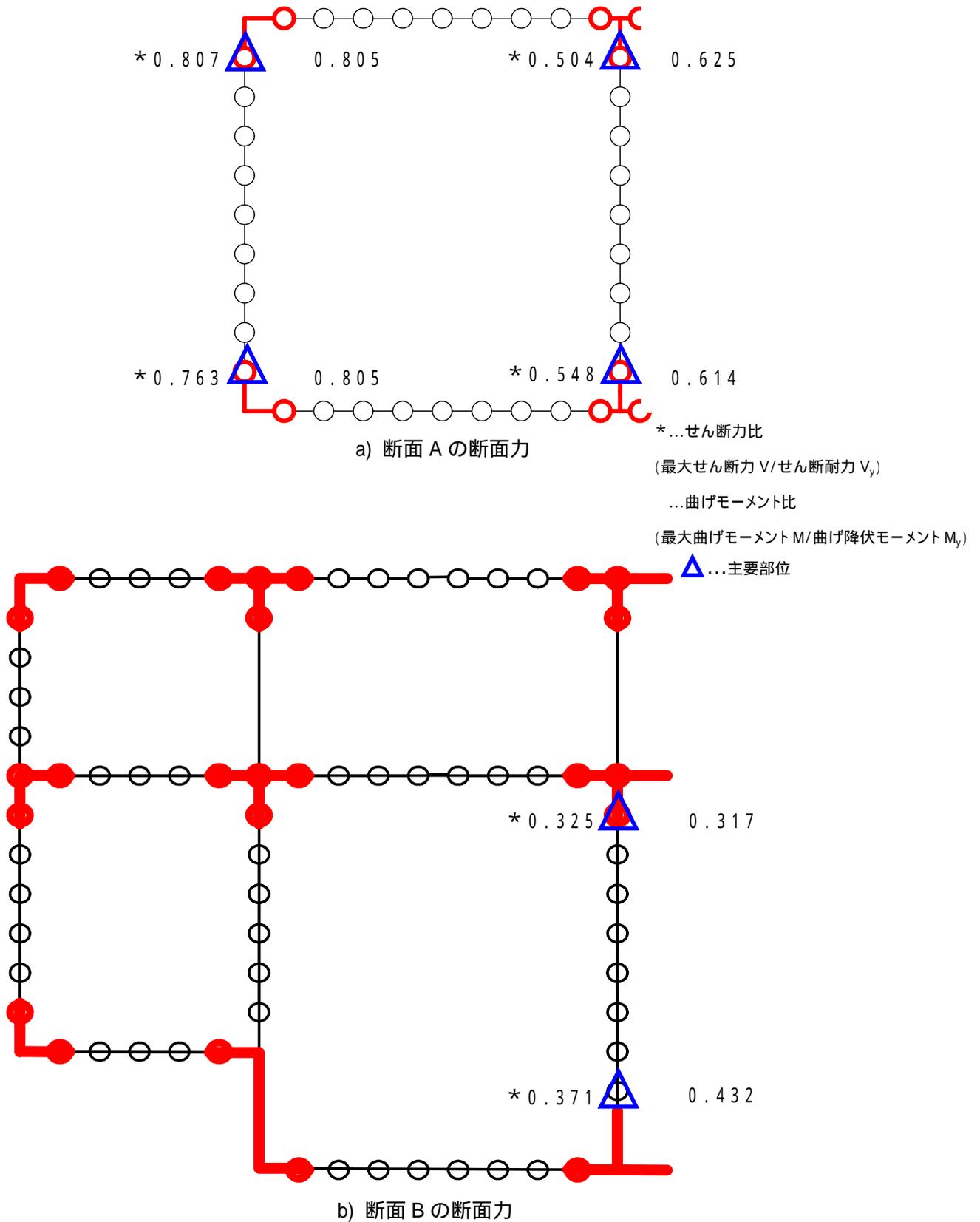


図14 主要部位(断面)の断面力比

5.8 検証結果

断面 B における中柱, 隔壁, 側壁は断面 A の中柱, 側壁に比べ, 相対変位と断面力が小さな応答を示した。特に断面 A の側壁に対して断面 B の側壁と隔壁では明らかに小さな応答を示した。これより断面 B では多数の小断面が存在したことで水平方向の変形を拘束し, 中柱に作用する地震動の影響を抑制したものと考えられる。

6 まとめ

14

ボックスカルバート構造物を対象に構造形式の違いによる地震時挙動を比較検証したところ, 以下の知見が得られた。

- ・ 断面 B に存在する多数の小断面が水平方向の変形を拘束し, 中柱に作用する地震動の影響を抑制した。

【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

構造形式の異なる地中ボックスカルバート構造物の地震時挙動

構造材料工学研究室 君島 康之

Key Words:ボックスカルバート構造物

目次

1	はじめに	1
2	解析モデル	1~2
3	地盤・構造物一体モデル	3
4	入力地震動	3
5	解析結果	
5.1	解析時間	4
5.2	中柱の相対変位	5
5.3	中柱の軸力	6
5.4	中柱のせん断力と曲げモーメント	7
5.5	側壁の軸力	8
5.6	側壁のせん断力と曲げモーメント	9
5.7	構造物の断面力	10
5.8	断面力比	11
5.9	検証結果	12
6	まとめ	12