

地中ボックスカルバート構造物における中柱の耐震性能に関する考察

学生氏名 山崎 弘晶
指導教員 吉川 弘道

1. はじめに

従来、地中構造物は耐震性が高いと考えられていたが、兵庫県南部地震ではその地中構造物に甚大な被害が生じた。特に地中ボックスカルバート構造の地下鉄駅舎において中柱に破壊が多く見られた。そこで本研究では、神戸高速鉄道・大開駅を対象に動的プッシュオーバー解析を行い地中ボックスカルバート構造物の保有性能を検証した。また中柱の崩壊が構造物全体の脆性的破壊に繋がるものと考え、中柱の脆性的破壊防止対策として中柱のピッチ間隔や断面に着目し、中柱の耐震性能向上を検討した。

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 の鉄筋コンクリート造の 1 層 2 径ボックスカルバートで、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 の中柱が、トンネル軸方向に 3.5m 間隔で配置されている。解析はトンネル横断方向を対象として、地盤の線形性と構造物の非線形性を考慮した動的プッシュオーバー解析と、動的応答解析を行った。なお動的応答解析では中柱の構造をそれぞれ変化させた(表 1)。図 1 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。地盤は平行多層で平面ひずみ要素にてモデル化し、底面と側面に粘性境界を考慮した。また地盤深度 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工学的基盤面とした。

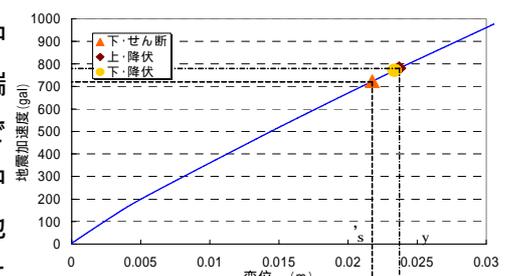
入力地震動は、まず動的プッシュオーバー解析では、構造物に徐々に荷重を加えるため時間と加速度が比例関係である長周期波形を用いた。また動的応答解析では、神戸海洋気象台で観測された地震加速度波形(NS 成分)を、重複反射理論に基づき基盤面地震加速度波形を算出し用いた。

3. 動的プッシュオーバー解析

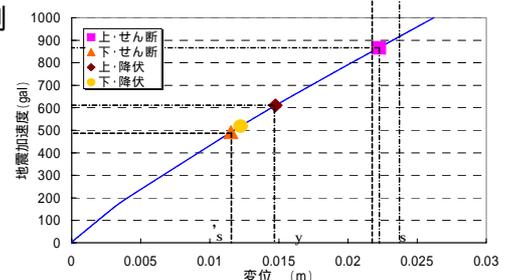
図 2 に変位と地震加速度の関係を示す。まず $\delta'_s=0.0115$ で側壁の下端部にせん断破壊が生じた。次に $\delta_y=0.0147$ で側壁の上端部に曲げ降伏が生じた。さらに $\delta'_s=0.0217$ で中柱の下端部にせん断破壊が生じ、その後、 $\delta_s=0.0222$ で側壁の上端部にせん断破壊が生じた。最後に $\delta_y=0.0237$ で中柱の上端部に曲げ降伏が生じた。これより中柱は上端部で曲げ降伏、下端部でせん断破壊、側壁は上端部で曲げ降伏先行型せん断破壊、下端部でせん断破壊の力学特性を有する構造と考えられる。ここで、側壁の方が中柱より早期に損傷が進展していることが分かる。常時に構造物には周辺地盤の土圧が作用する。側方土圧は側壁の上下端部に作用するが、中柱には作用しない。このことから側壁の破壊に周辺地盤の土圧が大きく影響を与えていると考えられる。また、中柱のせん断破壊が生じた原因として、側壁が負担していた上載荷重が中柱に作用した可能性があると考えられる。

表 1 各ピッチ間隔の物性値¹⁾

構造部材	部材厚 (m)	断面積 (m ²)	断面2次モーメント (m ⁴)	単位体積重量 (kN/m ³)	せん断剛性係数 (kN/m ²)	ポアソン比	減衰定数		
外壁(3.5m)	0.400	0.114	0.00182	23.50	3.10×10^7	0.20	0.05		
ピッチ	隔壁	0.400	0.400					0.00533	
	1.5m	0.400	0.267					0.00356	
	2.5m	0.400	0.166					0.00213	
	4.5m	0.400	0.089					0.00119	
	5.5m	0.400	0.073					0.00097	
中柱	軸方向	1.2m	0.400					0.137	0.00183
	1.5m	0.400	0.171					0.00229	
	0.8m	0.800	0.171					0.00214	
断面方向	0.8m	0.800	0.229					0.0122	
剛域	0.800	0.800	0.04270						



(a) 中柱



(b) 側壁

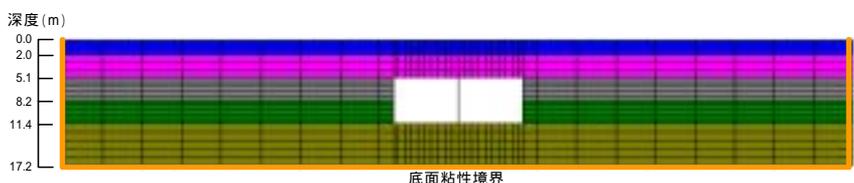


図 1 地盤・構造物一体型モデル

図 2 変位と地震加速度の関係

Key Words : 中柱, せん断破壊, プッシュオーバー解析, 軸方向拡幅, 断面方向拡幅, ピッチ間隔

4. 中柱の耐震対策

4.1 断面変形

図3にせん断耐力比と剛性の関係を、図4に曲率塑性率と剛性の関係を示す。せん断耐力比、曲率塑性率とも、断面方向タイプでは剛性の増加に伴いそれぞれ増加し、軸方向タイプでは大きな変化ではないが減少した。これより、軸方向に拡幅することでせん断破壊を抑制する傾向があると考えられ、また曲げによる損傷も抑制する傾向があると考えられる。

4.2 ピッチ間隔

図5にせん断耐力比とピッチ間隔の関係を、図6に曲率塑性率とピッチ間隔の関係を示す。中柱ピッチ間隔を狭めるとともにせん断耐力比、曲率塑性率とも減少し、ピッチ間隔を広げると大きな変化ではないがせん断耐力比、曲率塑性率は増加した。これよりピッチ間隔を狭めることによりせん断破壊を抑制する傾向があると考えられ、また曲げによる損傷も抑制する傾向があると考えられる。

4.3 検証結果

以上より、断面を横方向に拡幅することによって、せん断力、曲げによる損傷ともに抑制することが期待できなかった。そこで、耐震性能向上が期待できる軸方向拡幅タイプとピッチ間隔を狭めるタイプの比較を行った。図7に中柱の相対変位分布図を示す。二つのタイプを比べると軸方向タイプのほうが相対変位の減少が大きくなった。元構造物と比較すると軸方向1.5mに拡幅したとき最大で約13.8%減少した。

図8にせん断耐力比と断面積比の関係を示し、軸方向拡幅タイプとピッチ間隔を狭めたタイプを比較した。ここで断面積比とは、3.5m間に含まれる断面積(A_k)を元構造物の断面積(A_0)で除した値である。どちらも断面積比が増加することによってせん断耐力比が減少している。元構造物と比較すると隔壁時に最大で約14.4%減少し、軸方向1.5mに拡幅したとき最大で約12.6%減少した。しかし、軸方向拡幅タイプはピッチ間隔を狭めるタイプと比べ、せん断耐力比の減少率が大きい。これより、中柱のピッチ間隔を狭めるより、軸方向に断面を拡幅し中柱1本当りの断面を大きくすることにより、効果的に中柱のせん断破壊を抑制できると考えられる。

5. まとめ

動的プッシュオーバー解析によって、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。

- ・ 中柱は上端部で曲げ降伏、下端部でせん断破壊、側壁は上端部で曲げ降伏先行型せん断破壊、下端部でせん断破壊の力学特性を有する構造である。

また、中柱のせん断破壊防止を目的とし、中柱の構造を変化させ、耐震性能の向上効果を検討したところ以下の知見が得られた。

- ・ 中柱をトンネル軸方向に拡幅することにより、せん断破壊を抑制することができ、耐震性能の向上が期待できる。

【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

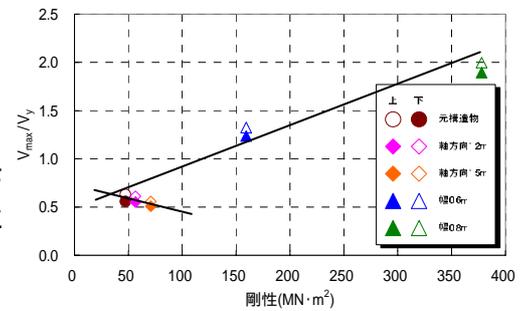


図3 せん断耐力比と剛性の関係

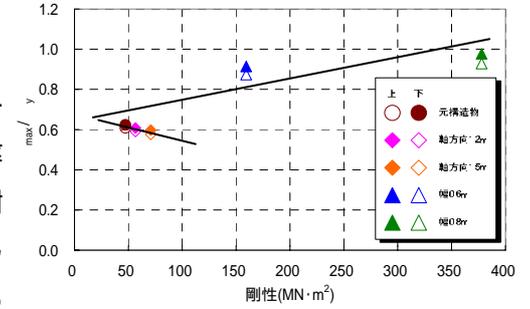


図4 曲率塑性率と剛性の関係

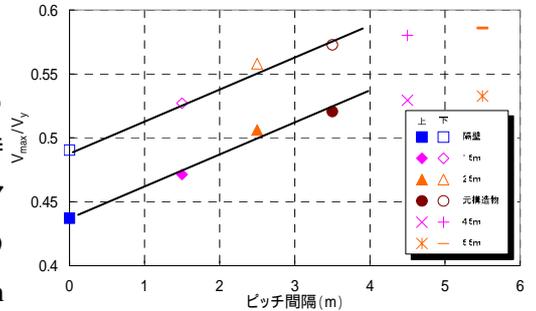


図5 せん断耐力比とピッチ間隔の関係

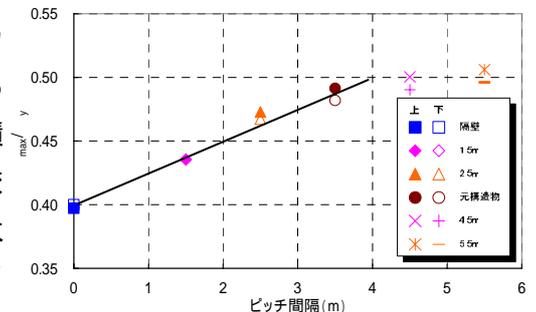


図6 曲率塑性率とピッチ間隔の関係

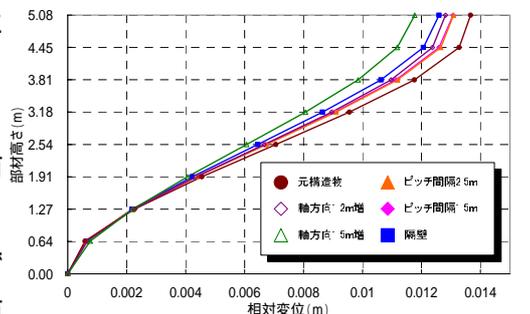


図7 中柱の相対変位分布図

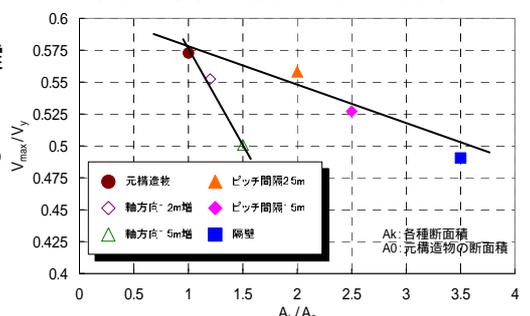


図8 せん断耐力比と断面積比の関係