

強震時におけるボックスカルバートの断面力履歴挙動

武蔵工業大学 学 笠原 啓 学 澤田 和宏
同上 正 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.しかし,1995年に発生した兵庫県南部地震では,地中構造物が崩壊するという世界でもまれに見る被害が生じた.そこで本研究は,実際に甚大な被害を受けた神戸高速鉄道・大開駅の中柱に着目して常時状態を考慮した非線形地震応答解析を行い,強震時におけるボックスカルバートの断面力履歴挙動を示し,実際の被害と比較検証した.

2. 解析概要

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2連ボックスカルバートであり(図1),約 5mの土被りを有している.また,奥行き方向に3.5m間隔で幅 0.4m × 奥行き 1m の断面を有する中柱が配置されている.

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部材の非線形性を考慮した有限要素法による地震応答解析を行った.構造物と地盤の一体型解析モデルと M- 曲線を図2に示す.構造物は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によりモデル化した.また,構造部材に関する非線形性は対称トリニア型の M- 曲線(武田モデル)を用いることとした.対象地盤は平面ひずみ要素にてモデル化し,底面と側方地盤を粘性境界とした.構造物および地盤の物性値をそれぞれ表1と表2に示す.路面活荷重は常時の軸方向応力として 10kN/m^2 (規格値³⁾)を用いた.入力地震動は,1995年兵庫県南部地震において神戸海洋気象台で観測された地表面での地震加速度波形(NS成分)を重複反射理論に基づいて基盤面の地震加速度波形を算出し入力した(図3).また,大開駅付近の地盤は深度 17.2mより深い地盤ではN値が増大していることからこの位置を基盤面とした.

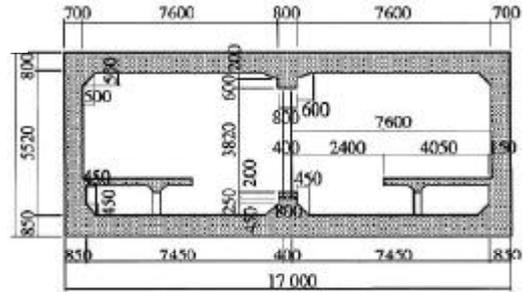


図1 大開駅断面図¹⁾(単位 mm)

表1 構造物の物性値¹⁾

構造部材	断面積 (m ²)	せん断断面積 (m ²)	断面二次モーメント (m ⁴)	単位体積重量 (kN/m ³)	弾性係数 (kN/m ²)	ポアソン比	減衰定数				
上床版	0.800	0.67	4.27×10^2	23.5	3.05×10^7	0.2	0.05				
	0.838	0.70	4.90×10^2								
	0.885	0.74	5.78×10^2								
下床版	0.850	0.71	5.12×10^2								
	0.893	0.74	5.93×10^2								
	0.700	0.58	2.86×10^2								
側壁	0.719	0.60	3.10×10^2	23.5	3.05×10^7	0.2	0.05				
	0.868	0.72	5.48×10^2								
	0.114	0.10	1.52×10^1								
中柱	0.280	0.19	1.22×10^2					23.5	3.05×10^7	0.2	0.05
	0.280	0.19	1.22×10^2								

表2 地盤の物性値²⁾

地盤深さ	土質	せん断波速度 (m/s)	せん断弾性係数 (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	3.80×10^3	19.0	0.333	0.05
2.0~5.1m	砂質土	140	3.80×10^3	19.0	0.488	
5.1~8.3m	砂質土	170	5.60×10^3	19.0	0.493	
8.3~11.4m	粘性土	190	7.00×10^3	19.0	0.494	
11.4~17.2m	粘性土	240	1.12×10^4	19.0	0.490	
基盤面	礫	330	2.22×10^4	20.0	0.487	

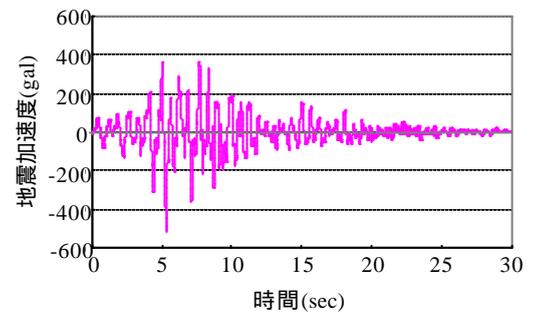


図3 基盤面地震加速度波形

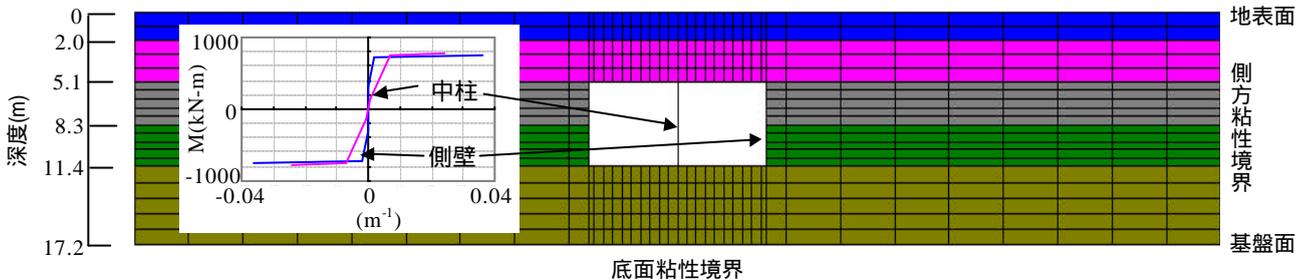


図2 構造物・地盤一体型モデルと構造部材の M- 曲線

Key words: ボックスカルバート,非線形地震応答解析,曲げモーメント,断面履歴挙動

連絡先: 〒158-8557 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 TEL 03-3703-3111 (内線 3243) FAX 03-5707-1165

武蔵工業大学工学部都市基盤工学科 構造材料工学研究室

4. 解析結果

図4に中柱上下端部の時刻歴曲率を示す。構造物が地震動を受けてから中柱上端部は5.09秒,下端部は5.15秒で曲げ降伏した。しかし,下端部では5.09秒で y とほぼ同等の値を示していることから,同時刻で曲げ降伏した可能性があると考えられる。これより,中柱は地震動が卓越した時刻とほぼ同時刻で曲げ降伏したものと推定できる。次に,表3に曲率による中柱の破壊形式の判定を示す。これより,中柱上下端部では曲げひび割れ発生後,曲げ降伏が生じたと判定できる。

図5に中柱上下端部の時刻歴せん断力図を示す。せん断耐力はコンクリー 標準示方書に記載のせん断耐力式⁴⁾を用いた。ここで,軸力の影響を考慮したが,地震動において中柱は軸力の変動量がごく小さくほぼ一定に推移していることから,せん断力耐力はほぼ一定となった。中柱下端部では地震動が卓越した時刻より前(5.08秒)にせん断耐力を上回った。その後,中柱上端部でせん断耐力を上回った(8.41秒)。しかし,中柱上端部では地震動が卓越した時刻とほぼ同時刻(5.31秒)に,作用せん断力がせん断耐力と同等の値を示した。これより,せん断耐力を超える可能性があると考えられる。次に,表4にせん断力による中柱の破壊形式の判定を示す。これより,中柱上下端部でせん断破壊が生じたと判定できる。

以上より,中柱上端部では曲げ降伏がせん断破壊より先に生じていることから曲げ降伏先行型のせん断破壊であると推定できる。一方,中柱下端部ではせん断破壊が曲げ降伏より前に生じていることから,破壊形式はせん断破壊先行型であると推定できる。しかし,中柱下端部では曲げ降伏がせん断破壊とほぼ同時刻であるため曲げ降伏先行型のせん断破壊とも考えられる。実際の被害では,中柱上下端部でコンクリー トの剥離や曲げひび割れ,鉄筋降伏,せん断破壊も確認できた。これより,ほぼ解析結果と一致する結果となった。

5. まとめ

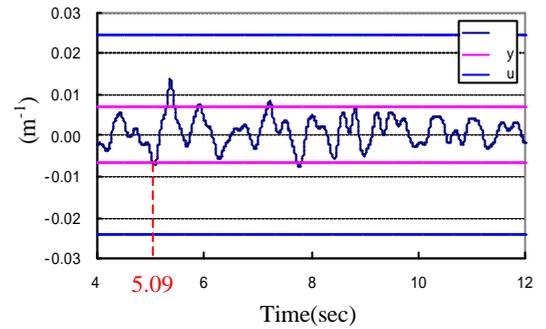
2連ボックスカルバー を対象に常時状態を考慮した非線形地震応答解析を行い,強震時における構造物の断面力履歴挙動を示し実際の被害と比較検証したところ,以下の知見が得られた。

地震動が卓越した時刻において,中柱に各種損傷が生じている。

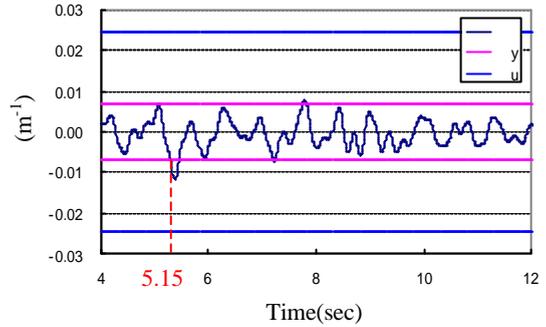
中柱の破壊形式は曲げ降伏先行型のせん断破壊あるいはせん断破壊先行型であると推定できる。

参考文献】

- 1)左藤工業株式会社 神戸高速鉄道東西線大開駅災害復旧の記録,1997.1
- 2)笹川基史,嶋村貞夫,川西寛,福田尚晃:地中構造物の耐震性能に関する一考察,第10回日本地震工学シンポジウム,E4-16,2009~2014,1998
- 3)土木学会:コンクリー 標準示方書[耐震性能照査編],2002
- 4)土木学会:コンクリー 標準示方書[構造性能照査編],2002



a) 中柱上端部

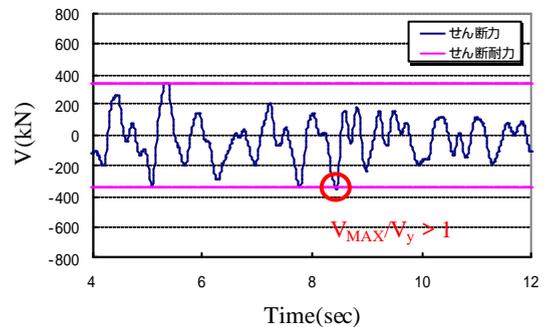


b) 中柱下端部

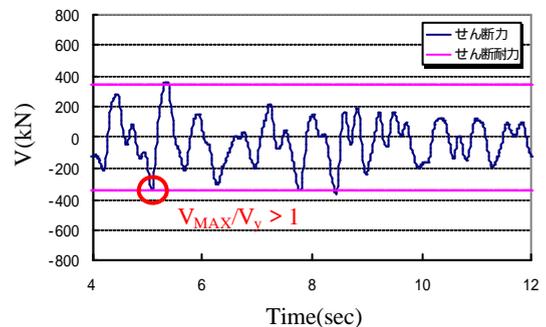
図4 時刻歴曲率

表3 曲率による破壊形式

中柱	MAX	MAX / y	MAX / u	破壊形式
上端部	0.0135	1.96	0.554	曲げ降伏
下端部	0.0120	1.73	0.491	曲げ降伏



a) 中柱上端部



b) 中柱下端部

図5 時刻歴せん断力

表3 せん断力による破壊形式

中柱	V_{MAX}	V_{MAX}/V_y	破壊形式
上端部	356	1.04	せん断破壊
下端部	365	1.07	せん断破壊