

軟弱地盤中におけるボックスカルバート構造物の地震時挙動

学生氏名 笠原 啓
指導教員 吉川 弘道

1. はじめに

地下から伝播する地震動は地表面に向かうに従い増幅されていくため、地中では地表に比べて地震動が小さい。また、地中構造物は周辺地盤に拘束されているため、地震が起きても地盤と追従した挙動を示す。従って、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地中構造物に甚大な被害が生じた。そこで本研究は、脆性的な破壊を生じた中柱に着目して常時状態を考慮した非線形動的応答解析を行い、ボックスカルバートの埋設深度に伴う耐震性能を検証した。

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 1 層 2 径ボックスカルバートである(図1)。また、断面中央部に奥行き方向に 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 7S- による動的応答解析を実施した。解析モデルは大開駅の埋設位置である深度 5.1m(以下、元モデル)を基に図2に示すように埋設上下位置を変化させた(以下、モデル A~D)。構造物ははり要素にてモデル化し、隅角部は剛域を考慮して剛性ははり要素によりモデル化した。構造部材に関する非線形性は対称トリリニア型の M- 曲線(武田モデル)を用いた。骨格曲線を図3に示す。地盤は単層で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。構造物と地盤の物性値をそれぞれ表1と表2に示す。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の地震加速度波形を算出して入力した。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。

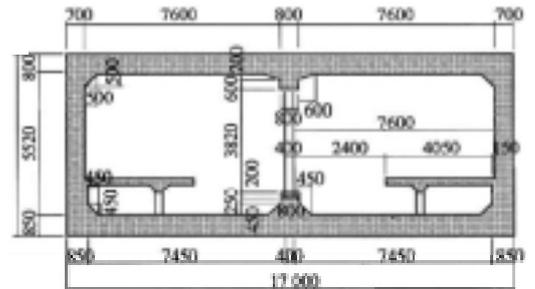


図1 大開駅断面図¹⁾(単位 mm)

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 ³	23.5	3.05×10 ⁷	0.2	0.05
	0.838	0.70	4.90×10 ³				
	0.885	0.74	5.78×10 ³				
下床版	0.880	0.71	5.12×10 ³				
	0.893	0.74	5.93×10 ³				
	0.700	0.58	2.86×10 ³				
側壁	0.719	0.60	3.10×10 ³				
	0.868	0.72	5.45×10 ³				
	0.114	0.10	1.52×10 ³				
中柱	0.220	0.19	1.22×10 ³				

表2 地盤の物性値¹⁾

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
0~17.2m	砂質土	170	5.60×10 ⁷	19.0	0.493	0.05

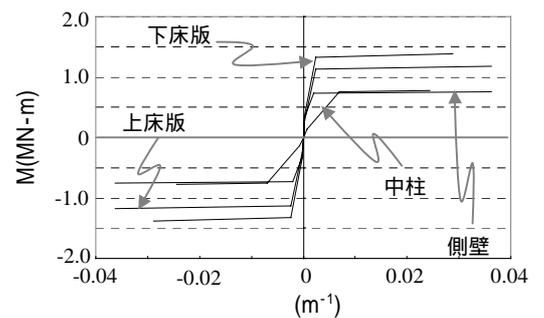


図4 骨格曲線

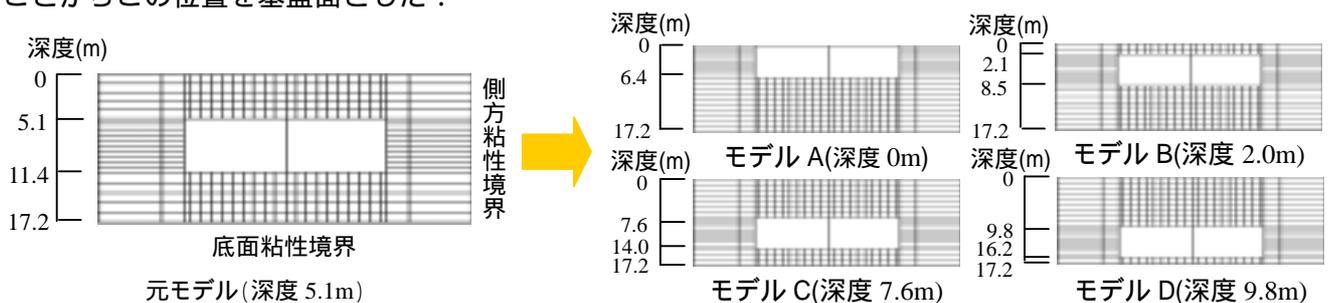


図2 構造物・地盤一体型モデル

Key words : 埋設位置, 非線形動的応答解析, 塑性率, せん断耐力比

4. 解析結果

図4に上下床版間の水平方向相対変位が最大値となった際の中柱および側壁の相対変位の深度分布を示す。ボックスカルバートの埋設位置が深くなるにつれて相対変位が大きくなる。これは、上載土の重量が増大したためであると考えられる。また、中柱の相対変位は側壁より大きく側壁と中柱では異なる変形を示した。これは、側壁の変形に伴い上下床版が上下方向および水平方向に変形が生じた影響によるものであると考えられる。

図5に中柱および側壁が最大曲率を示した際の曲率の深度分布を示す。中柱は全モデルにおいて降伏曲率内であった。側壁上端部はモデルCおよびモデルDで降伏曲率を上回った。また、側壁下端部はモデルDにおいて降伏曲率とほぼ同等の値を示した。

図6に中柱および側壁が最大せん断力を示した際のせん断力の深度分布を示す。せん断耐力はコンクリート標準示方書に記載のせん断耐力式²⁾を用いた。中柱は上端部から下端部にかけてほぼ一定にせん断力が作用している。中柱は全モデルにおいてせん断耐力内であった。側壁は全モデルにおいて中間部でせん断力が過小な値を示した。また、側壁は深度5.1m以上における上端部と全深度における下端部において過大なせん断力が生じてせん断耐力を上回った。

以上より、中柱および側壁の損傷形式を表3に示す。中柱は埋設位置が深くなることに伴い塑性率とせん断耐力比が増大となるが、損傷はひび割れが発生する程度であった。側壁は深度5.1m以上において上下端部で過大なせん断力が生じてせん断耐力を上回った。

5. まとめ

1層2径ボックスカルバートで常時状態を考慮した非線形動的応答解析を行い、ボックスカルバートの埋設深度に伴う耐震性能を検証したところ以下の知見が得られた。

- ・埋設位置が深くなることに伴い構造物に作用する土圧の影響が大きくなる。
- ・全ての深度において中柱の損傷は軽微なものであり、側壁はせん断破壊が生じる危険性がある。
- ・ボックスカルバートの埋設位置が深度が増すほど構造物に作用する負荷は増大する。

【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：コンクリート標準示方書[構造性能照査編]，2002

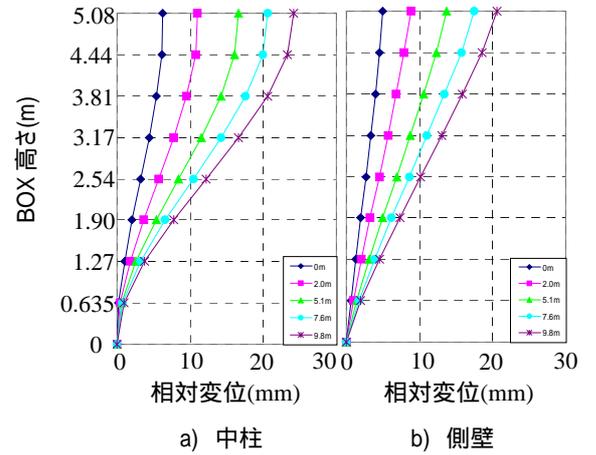


図4 相対変位の深度分布

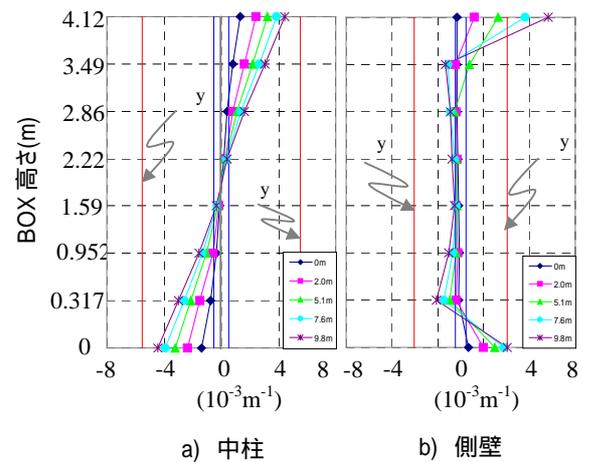


図5 最大曲率の深度分布

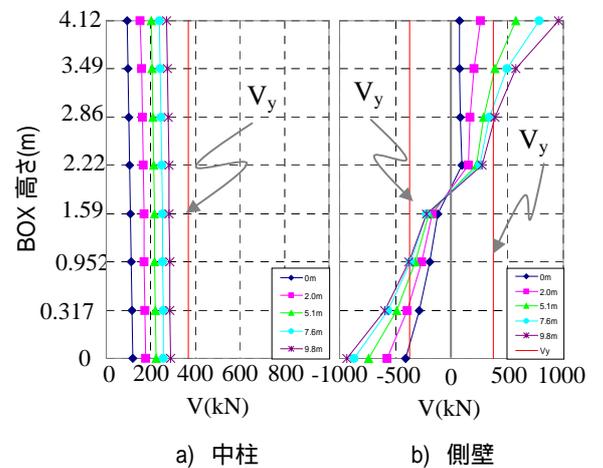


図6 最大せん断力の深度分布

表3 各部材の破壊形式

中柱	土被り厚さ					
	0m	2.0m	5.1m	7.6m	9.8m	
相対変位(m)	0.00630	0.0110	0.0166	0.0207	0.0242	
塑性率	上	0.236	0.434	0.582	0.700	0.800
	下	0.246	0.428	0.588	0.709	0.806
せん断耐力比	上	0.251	0.413	0.546	0.647	0.735
	下	0.320	0.478	0.600	0.695	0.778
損傷形式	上 下 曲げひび割れ					

側壁	土被り厚さ					
	0m	2.0m	5.1m	7.6m	9.8m	
相対変位(m)	0.00500	0.00880	0.0137	0.0174	0.0206	
塑性率	上	0.086	0.284	0.804	1.39	1.87
	下	0.171	0.486	0.736	0.926	0.989
せん断耐力比	上	0.199	0.683	1.52	2.09	2.53
	下	1.09	1.54	1.97	2.31	2.48
損傷形式	上	損傷なし	曲げひび割れ	せん断破壊		
	下	せん断破壊				