応答変位法を用いた大型カルバートの耐震設計手法に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所

1. はじめに

道路土工構造物については,平成26年度に技術基準 が制定され要求性能が示されたが,要求性能に対応し た具体的な照査手法は明確に示されていない.

本論文では,道路土工構造物のうち現行指針適用範 囲外の大型カルバートの耐震性能照査に用いる解析モ デルについて,既往の実験結果及び地震の影響を受け た実カルバートの再現解析により検討を行うとともに, この解析モデルを用いて各種条件で試設計を実施し, 耐震設計法導入の影響について評価した結果を示す.

2.実験結果との比較解析

耐震設計手法は,静的な耐震設計法の一つである応 答変位法を用いることとした.解析モデルは,カルバ ートの躯体を線形の梁要素,周辺地盤を文献 1)に基づ くばね要素(地盤ばねとジョイント要素を考慮)とし た(図-1).



上述の解析モデルを用いて,表-1 に示す既往の2事 例の遠心模型実験結果との比較解析を行った.なお, 精度のよい解析モデルとする上で,躯体周辺部のせん 断摩擦力の上限値の設定が重要になることから,2事例

とも、3ケース変化させて検討を行った(表-2).

表−1 模型実験の事例						
事例 盛土材		オ	内空断面幅(m)	連数	土被り厚(m)	検討ケース数
1	1 細粒土		14m	1連	0.5m	3ケース
2	2 細粒土		14m	1連	10m	3ケース
表-2 検討ケース						
検討ケース		周面せん断力の上限値 (頂版・側壁)		周面せん断力の上限値 (底版)		備考
1		c+σ tanφ		c+σ tanφ		※1:H24道示Ⅳ(摩擦角:土と
2		σ tan(2/3φ)【※1】		σ tan(2/3φ)【※1】		コンクリート) ※2:H24道示(ケーソン基礎の
	3	$0.5(c+\sigma \tan \phi)$ [$\times 2$]		$\sigma \tan(2/3\omega)$ [$\times1$]		最大周面摩擦力度)

解析結果の例として、図-2に事例2(ケース3)のカ ルバートの各部材の実験と解析結果の最大曲げモーメ ントを比較した図を示す.周面せん断力の上限値を低 減しないケース1に対して、低減したケース2、3とも 正会員 〇岡崎 貴斎, 伊藤 浩和, 七澤 利明

に,実験で得られた躯体の最大曲げモーメントとよく 合う結果となった.



3. 地震の影響を受けた実力ルバートとの比較解析

2. で検討した解析モデルを用いて,地震の影響を受けた実カルバートを対象として解析を実施し実被害状況との比較を行うことで,提案した解析モデルの妥当性を検証した.なお,躯体は,実カルバートの材質を考慮し非線形(M~φ)の梁要素とした.

被災事例として,兵庫県南部地震(1995年)におけ る大開駅,被災無し事例として,熊本地震(2016年) における九州道の横断カルバートを対象とする.対象 カルバート位置における一次元の地盤モデルを構築し, 等価線形解析により地盤変位を求めた.一次元等価線 形解析における入力地震動は,対象カルバート近傍で の観測記録に基づき,大開駅は神戸大学観測波形²⁰,九 州道は KMMH16 益城³⁾を使用した.また,躯体周辺部の せん断摩擦力の上限値は,以下のとおり設定した.

[頂版・側壁] $\tau_{\rm f} = 0.5 \, (C + \sigma \tan \phi)$

[底版] $\tau_{f} = \sigma \tan \phi$ $\tan \phi$ は 擁 壁 工 指 針 よ り 設 定

一次元等価線形解析の結果,カルバート頂版と底版 位置における地盤の最大変位は,大開駅は約 2cm,九 州道は約 3cm となった.

(1) 被災事例(大開駅)

大開駅の被災は、中柱の損傷が特徴的で、最も損傷 が激しい区間は、ほとんどの中柱が崩壊し、上床版が 崩落した²⁾. 試算結果では、中柱を中心にせん断照査が

キーワード 大型カルバート,耐震設計,応答変位法,解析モデル,周面せん断摩擦力
連絡先 〒305-0804 茨城県つくば市旭一番地 国総研 構造・基礎研究室 TEL 029-864-7189





(2) 被災無し事例(九州自動車道横断カルバート)

震度 7 を計測した位置に設置されているカルバート を対象としたが,継手の開き以外は躯体に目立った損 傷は確認されていない⁴⁾. 試算結果では,全ての照査項 目を満足し,実被害を再現した結果となった.

4. 表層及び盛土層の剛性条件の違いによる比較

表層及び盛土層のせん断波速度の低減係数 Cv及び盛 土層のせん断波速度 Vs の違いによる影響を把握するた め、2. 及び3. で検討した解析モデルを用いた試設計を 行った. 具体的には、図-5 に示す地盤モデルを設定し、 この地盤モデルに対して、Cv 及び Vs の値を変化させ (表-3)、H29 道路橋示方書に示されるレベル2 (タイ プII)の動的解析用標準加速度波形を表層地盤上面か ら基盤層まで引き戻しを行った上で盛土層を含む表層 地盤に入力し、モード解析により地盤の変位を算出し て、応答変位法による入力値を設定した(図-6). Cv の値は文献5)に基づき設定した. 図-7 にカルバートの 応答値(最大曲げモーメント、最大せん断力)の比較 を示す. II 種地盤に設置されるカルバートの応答値は Cv=0.4 のケースが大きくなる傾向となったが、Vs は 200m/s、250m/s とも同程度となった.

⇒TG=4H/Vs=4×20/200 =0.4(s)	単位体積 重量γ (kN/m3)	せん断波 速度Vs (m/s)	内部 摩擦角	粘着力
カルバート <盛土>	19	200 or 250	φ =30°	c=0kN/m2
20m <表層>	19	200	φ =30°	c=0kN/m2
<基盤面>	19	300		
図-5 5	地盤モデル	∕〔Ⅱ種地類	「「との例」	

表-3 試設計の検討ケース(Ⅱ種地盤の例)

内空幅	内空高	表層地盤及び盛土層のせん 断弾性波速度の低減係数	盛土層のせん 断弾性波速度	地盤条件
6.5m	5. Om	C _v =0. 2	Vs=200m/s	Ⅱ種地盤
			Vs=250m/s	相当
		C _v =0. 4	Vs=200m/s	
		·	Vs=250m/s	
		C _v =0, 8	Vs=200m/s	
			Ve=250m/e	



5. 従来設計手法との比較

内空幅,内空高,土被り厚等を変化させ,常時荷重 に基づく従来の設計法により構造諸元を決定したカル バートに対して,地盤条件を変化させ(表-4),2.~4. で検討した解析モデルを用いた試設計を行った.試設 計の結果,従来型のカルバートに加え従来型の適用範 囲を超えるカルバートにおいても各照査項目で全て満 足となる結果となった.

内空幅	内空高	土被り 厚	部材厚	地盤条件	備考
6.5m	5. Om	0.5m	薄い	I 種地盤~Ⅲ種地盤	従来型カルバート
			厚い	Ⅱ種地盤	
		1.5m	薄い	Ⅱ種地盤	
			厚い	Ⅱ種地盤	
6.5m	6. Om	0.5m	薄い	I 種地盤~Ⅲ種地盤	従来型カルバートの
			厚い	Ⅱ種地盤	適用範囲を超えるカ
		1.5m	薄い	Ⅱ種地盤	ルバート
			厚い	Ⅱ種地盤	
8. Om	6. Om	0.5m	薄い	I 種地盤~Ⅲ種地盤]
			厚い	Ⅱ種地盤	
14. Om	6. Om	0.5m	薄い	I 種地盤~Ⅲ種地盤	

表-4 従来設計手法との比較の検討ケース

6. まとめ

実験結果及び地震の影響を受けた実カルバートとの 比較解析を行い,実現象と整合する解析モデルを明確 化した.また,提案した解析モデルを用いて,内空断 面等の条件を変化させ,試設計を行い,従来型カルバ ートに加え従来型の適用範囲を超えるカルバートにお いても構造諸元に変更が生じないことを確認した.

参考文献

- 谷本ら:地盤ばねを用いた地中構造物の非線形応答変位法に関する理論的考察,第76回土木学会年次学術講演会(投稿中)
- 2) 矢的ら:兵庫県南部地震による神戸高速鉄道・大開駅の被害とその要因分析,土木学会論文集 No.537/1-35, pp. 303-320, 1996
- 3) 国 立 研 究 開 発 法 人 防 災 科 学 技 術 研 究 所 https://www.kyoshin.bosai.go.jp/
- 4)株式会社エイト日本技術開発災害リスク研究センター https://www.ejec.ej-hds.co.jp/all/research/20160712kumamoto/
- 5) 谷本ら:近年の地震動を捉えた鉛直アレー記録に見られる表層地 盤の非線形性,第56回地盤工学研究発表会(投稿中)

π fill tub