

大型のボックスカルバートの耐震性能照査手法に関する研究

国土交通省 国土技術政策総合研究所 正会員 ○栗原 勇太
正会員 七澤 利明
谷 俊秀

1. はじめに

道路土工構造物技術基準について、要求性能と照査方法の具体化の観点から、現在、改定の検討が進められている。その一環として国総研では、現行指針等で明確に示されていない大型ボックスカルバートの耐震性能照査手法について検討を行っている。

本稿では、現行指針適用範囲外の大型ボックス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、既往の実験及び被災事例の再現解析を通じて提案するとともに、その解析モデルを用いて各種条件で耐震性能の照査を実施し、妥当性について評価した結果を示す。なお、本検討は土木研究所と連携して実施したものである。

2. 実験結果との比較解析

地震時の応答値の計算には、静的な解析方法の一つである応答変位法を用いた。カルバート躯体及び周辺地盤のモデル化については、図-1に示すように、躯体を線形の梁要素とし、周辺地盤との間のすべり、剥離現象が適切に再現できるよう、躯体と地盤ばね要素の間にジョイント要素を付加したモデルを採用した。

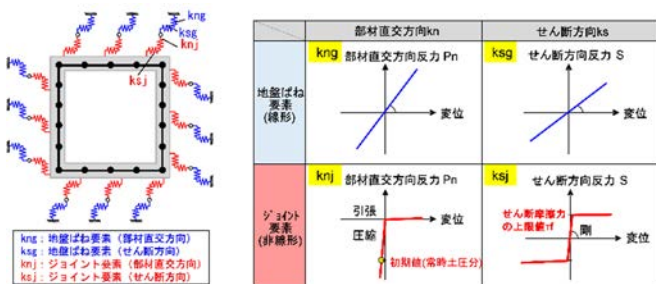


図-1 躯体及び地盤モデル化の概要

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、精度の良い解析モデルとする上で躯体の周面せん断力の上限値の設定が重要になることから、2条件とも周面せん断力を3ケースに変化させて、躯体に発生する断面力・変位等を整理し、実験値との比較を行った(表-2)。

キーワード カルバート, 耐震設計, 応答変位法, 解析モデル, 周面せん断力

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

条件2の検討ケース3について、カルバート各部材の実験及び解析における最大曲げモーメントを比較した結果を図-2に示す。

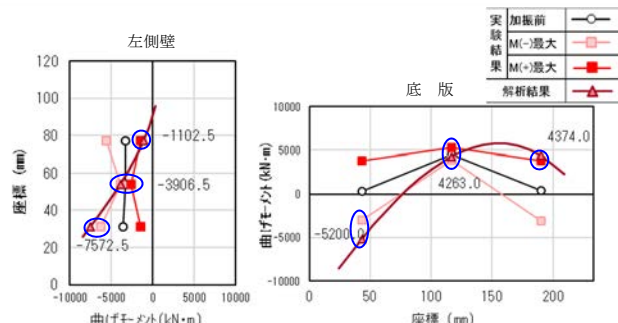
この検討ケース3は、カルバートと同じくコンクリートと地盤間の抵抗であるケーソン基礎の周面摩擦力の上限値に準じて設定したケースであり、実験で得られた躯体の最大曲げモーメントと概ね合う結果となった(図-2中の青丸箇所)。また、土被りが小さい条件1でも同様の結果であった。

表-1 遠心模型実験の条件

条件	盛土材	内空断面幅(m)	連数	土被り厚(m)	検討ケース数
1	細粒土	14m	1連	0.5m	3ケース
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值(頂版・側壁)	周面せん断力の上限值(底板)	備考
1	$c + \sigma \tan \phi$	$c + \sigma \tan \phi$	※1: H21カルバート工指針 ※2: H24連系(ケーソン基礎の最大周面摩擦力)
2	$\sigma \tan(2/3\phi)$ 【※1】	$\sigma \tan(2/3\phi)$ 【※1】	
3	$0.5(c + \sigma \tan \phi)$ 【※2】	$\sigma \tan(2/3\phi)$ 【※1】	



※ 正が内側引張方向の曲げ、負が外側引張方向の曲げを示す。
○ 実験結果と解析結果が概ね合っているところ

図-2 曲げモーメント図(条件2: 検討ケース3)

3. 地震の影響を受けた実構造物との比較解析

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構造物を対象として解析を実施し、実被害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。ここで、躯体周辺部のせん断摩擦力の上限値は表-2 検討ケース3のとおり設定した。

(1) 被害が生じた事例(兵庫県南部地震(1995年):大開駅¹⁾)

大開駅の被災は図-3に示すとおり、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せん断破壊または圧壊により、上床版が崩壊した。試算結果（図-4）では中柱を中心にせん断照査がOUTとなり、概ね実被害を再現した結果となった。

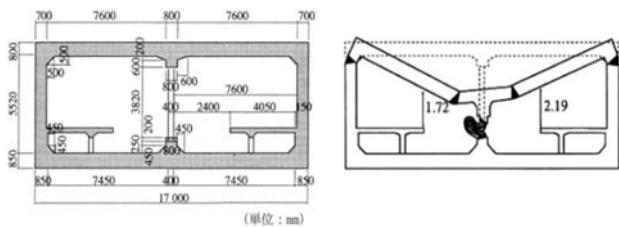


図-3 大開駅断面図（被災前後）

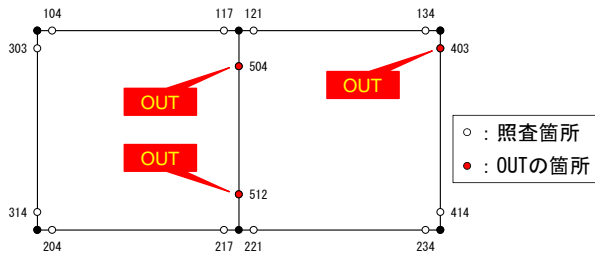


図-4 大開駅解析結果（せん断耐力照査）

(2)被害がなかった事例（熊本地震（2016年）：九州道の横断カルバート²⁾

九州道の横断カルバートは継手の開き以外、躯体に目立った損傷は確認されていない。試算結果では、全ての照査項目を満足し、実被害無しを再現した結果となった。

4. 提案した耐震性能評価手法の導入による影響評価

カルバートの設計手法として従来から行われている、常時荷重によって断面設計を行った様々な条件の大型カルバートに対して、2.及び3.で検討した解析モデルを用いて耐震性の評価を行った。検討ケースは、国管理の大型カルバート定期点検（1 巡目点検（H26～H30））データより、直轄における現場打ちボックスカルバートの内空断面に関する実績（図-5）を整理した結果を基に、表-3 に示す検討ケースを設定し、レベル2地震動タイプI及びタイプIIの両方の地震動で実施した。

曲げ照査についてはどのケースも発生曲率が降伏曲率に至らず、また、既往の研究成果³⁾に基づき設定した層間変形角の許容値も満足する結果となった。

一方、せん断照査については、コンクリート負担分のみの場合では、せん断力がせん断耐力を超える結果となったケースもあるものの、組立て鉄筋と同程度の鉄筋量をせん断補強鉄筋として配置した場合は、全てのケースにおいてせん断力がせん断耐力を超えない

結果となり、断面諸元に変更が生じないことが確認できた。

5. まとめ

本研究により大型ボックスカルバートの耐震性照査について、遠心模型実験結果および実事例に対する再現解析を実施し、解析モデルを提案した。この提案により、これまで示されていなかった大型カルバート耐震性照査の標準的な手法を明確に示すことが出来た。

今後は今回得られた結果を踏まえて、大型カルバートの耐震性能照査手法の道路土工構造物基準類への反映方法について検討していく予定である。

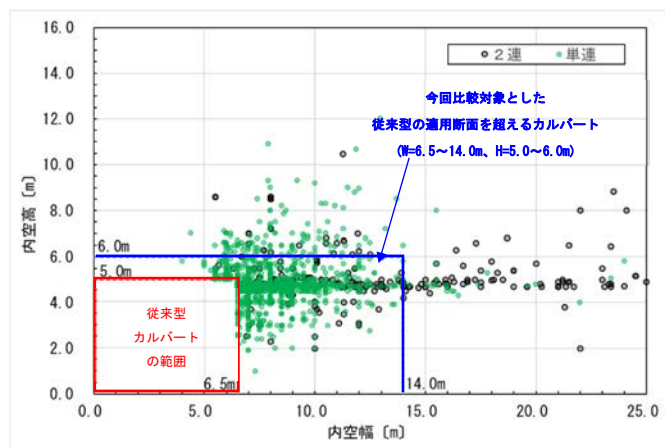


図-5 現場打ちボックスカルバートの実績（国管理施設）

表-3 検討ケース

内空幅	内空高	土被り厚	部材厚	地盤条件	備考
6.5m	5.0m	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	6.0m	0.5m	薄い	I種地盤～III種地盤	従来型カルバートの適用範囲を超えるカルバート
			厚い	II種地盤	
		1.5m	薄い	II種地盤	
			厚い	II種地盤	
8.0m	6.0m	0.5m	薄い	I種地盤～III種地盤	
			厚い	II種地盤	
14.0m	6.0m	0.5m	薄い	I種地盤～III種地盤	

参考文献

- 1) 矢のら：土木学会論文集 No. 537 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, 1996
- 2) 眞野ら：第54回地盤工学研究発表会講演集 熊本地震におけるボックスカルバート箇所の被害分析, 2019
- 3) 八ツ元ら：土木学会論文集 A1（構造・地震工学）Vol. 71 1 連道路ボックスカルバートの地震時限界状態の評価に関する研究, 2015