

遠心実験結果の逆解析と推定されるカルバート縦断方向荷重

株式会社 エイト日本技術開発 正会員 ○眞野 基大, 佐伯 宗大, 呂 佩哲
 株式会社 高速道路総合技術研究所 正会員 日下 寛彦, 中澤 正典
 中日本高速道路 株式会社 正会員 中村 洋丈
 国立研究開発法人 土木研究所 正会員 山崎 旬也, 野田 翼

1. はじめに

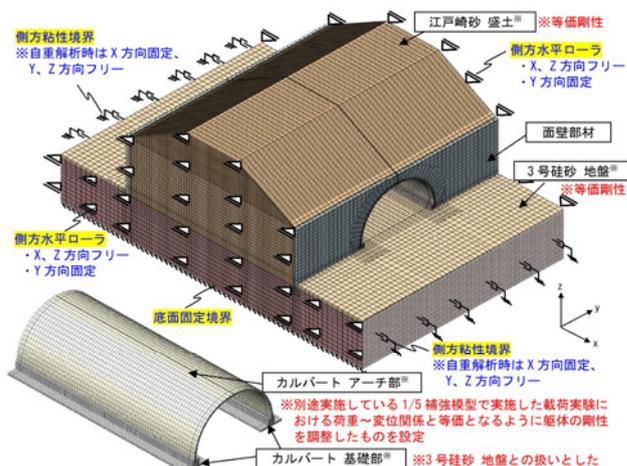
これまでの検討において、東日本大震災等での3ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの被害は、カルバートに作用する縦断方向荷重が原因であることがわかっている。本稿では、三次元FEMを用いて既往の遠心実験(1/50模型)²⁾の逆解析を実施するとともに、遠心実験における補強材(炭素繊維シート)から実作用力を推定し、実験および解析の観点から、地震時にカルバートに作用する縦断方向荷重の大きさを推定した。

2. 三次元FEMによる逆解析

既往の遠心実験^{2),3)}に基づき、三次元FEMによりモデルを構築し、実験の逆解析を実施した。図1に解析モデル図および解析条件を示す。基礎地盤および盛土の剛性は、別途実施した二次元FEMによる等価線形解析結果よりその収束剛性を与えた。躯体部には目地は設けず剛性一律の連続体でモデル化し、躯体剛性を全断面有効剛性よりも小さく評価することで縦断方向への変形のし易さを表現した。具体的には、実被害が生じた3ヒンジ式アーチカルバートの1/50模型に対し既往の検討⁴⁾で提案されているような炭素繊維シートによる縦断方向の連結補強を実施し、この模型に縦断方向荷重を静的に漸増載荷させ、その荷重～変位関係と三次元FEMによる躯体モデルの荷重～変位関係が同等になるように三次元FEMモデルの躯体剛性を設定した。

また、入力地震動は、遠心実験の結果として、道路橋示方書のレベル2地震動と同等の応答が確認されたStep7の地震動(最大加速度が600gal程度の1Hzの正弦波を20周期分含む地震動)を用いた。

図2に遠心実験結果と逆解析結果におけるカルバート天端位置における加速度応答スペクトルの比較を示す。図より、逆解析モデルは概ね実験の躯体挙動を再現できているモデルであることが確認できる。図3にカルバート躯体外周面に作用する縦断方向荷重の集計



	ヤング率 E (MN/m ²)	等価 せん断 剛性 G (MN/m ²)	【参考値】 せん断波 速度 Vs (m/s)	単位 体積重量 γ (kN/m ³)	ポアソン比 ν	等価 減衰定数 h	備 考
カルバート躯体	412	152.6	238	26.5	0.35	0.50	
基礎部	237.9	79.3	225	26.5	0.35	0.02	
盛土 (江戸崎砂)	1771	63.7	27.9	17.0	0.50	0.12	二次元FEM解析結果を指して
	1772	73.8	24.6	11.9	0.50	0.15	ジョーキングして
	1773	74.1	24.7	11.9	0.50	0.15	設定
	1774	60.6	20.2	10.8	0.50	0.20	
基礎地盤(3号砂)	237.9	79.3	225	15.4	0.50	0.03	
面壁部材	2700	1000	919	11.6	0.35	0.02	

※躯体の減衰定数hは実験との応答値が合うように調整し設定。
 ※カルバート躯体(基礎部)の剛性は躯体の挙動を拘束し過ぎないように、基礎地盤と同様のものを設定。

図1 三次元FEM解析モデル

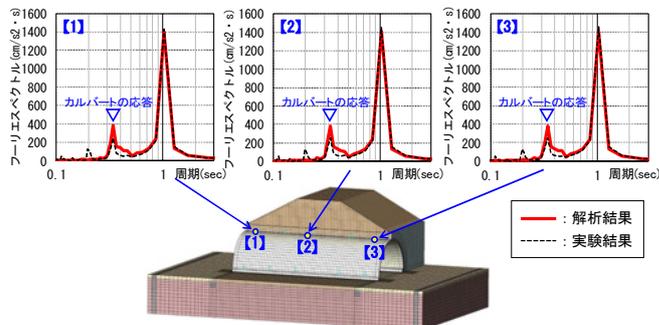


図2 カルバート躯体頂部における応答値の比較

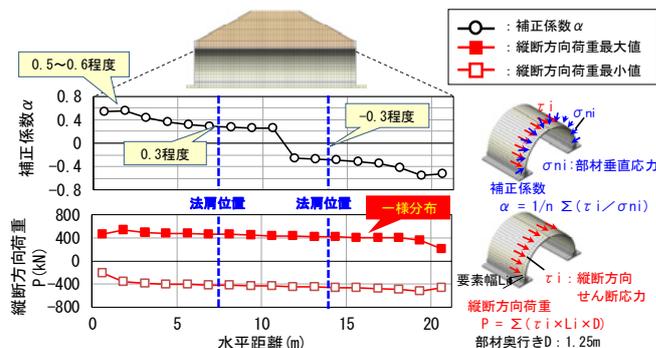


図3 縦断方向荷重の算定結果

キーワード プレキャストアーチカルバート, カルバート縦断方向荷重, 三次元FEM解析, 遠心実験
 連絡先 (〒164-8601 東京都中野区本町 5-33-11 株式会社 エイト日本技術開発 東京支社 防災保全部
 TEL 03-5341-5161 FAX 03-5385-8530)

結果を示す（一つのプロットが奥行 1.25m の部材の 1 断面分の合計値を示す）．図に示すように，補正係数 α （部材に作用する縦断方向せん断応力を部材直上土被り圧で除したものと定義）は，カルバート坑口部で 0.5～0.6 程度で，中央部に近づく程小さくなり法肩部で 0.3 程度となっている．一方，縦断方向荷重はカルバート全体で一様な大きさで分布している．これまでの検討結果⁵⁾に基づくと，部材に作用する垂直応力 σ_{ni} の平均値は，土被り圧（カルバート頂部）から近似値を求められることがわかっており，これを踏まえると，カルバートの縦断方向荷重は，法肩部の土被り（最大土被り圧）に 0.3 を乗じることで概ね近似できることとなる．

3. 遠心実験結果と再現解析結果の比較

遠心実験では，縦断方向荷重に対する対策として，カルバート内面に炭素繊維シートを部材の目地部を跨ぐ形で貼り付けており，その目地部にはひずみ計を設置している．図 4 に目地部で生じたシートのひずみより算出した各目地部での推定作用荷重の分布図を示す．これより，縦断方向荷重は，解析結果とは異なりカルバートの縦断方向で一様分布ではなく，坑口部から徐々に増加する傾向が確認され，ピーク値は解析値を上回る結果となった．これはおそらく，カルバートを縦断方向に連結したことにより，図 5 に示すような荷重の累積現象が生じたものと推測される．図 4 には，逆解析結果よりも小さい値ではあるが，最大土被りに補正係数 $\alpha=0.1$ を乗じて算出した縦断方向荷重を部材ごとに累積させた場合の作用力も併記している．この累積作用力と実験でシートから推定した作用力は概ね一致しており，炭素繊維シートの発生ひずみから推定される作用力は，補正係数 $\alpha=0.1$ 程度である可能性が考えられる．

遠心実験結果および逆解析結果を踏まえると，レベル 2 地震時においてカルバートの縦断方向に作用する荷重は，カルバートの最大土被りに補正係数 α (0.1～0.3) を乗じることで算出できることがわかった．

4. まとめ

本稿のまとめを以下に記す．

[1]遠心実験結果およびその逆解析結果を踏まえると，カルバートに作用する縦断方向荷重はレベル 2 地震動相当(道路橋示方書レベル)の荷重として，最大土被り圧に補正係数 $\alpha=0.3$ 程度を乗じた値で近似できることがわかった．

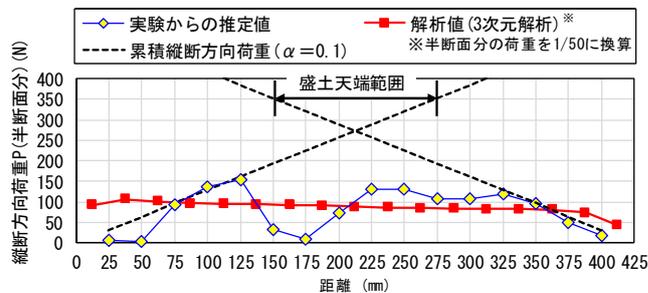


図 4 縦断方向荷重の比較

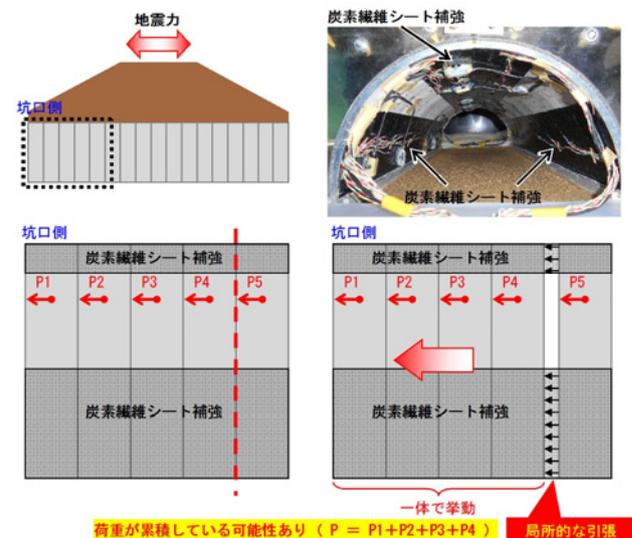


図 5 遠心実験における縦断方向荷重の累積イメージ

[2]カルバートを縦断方向に連結すると坑口から徐々に荷重が累積する現象が生じることが確認された．

なお，本研究は，平成 27 年度から実施されている国立研究開発法人土木研究所，株式会社高速道路総合技術研究所，国立大学法人京都大学工学研究科による『プレキャスト部材を用いた既設カルバートの耐震性能評価と補強方法に関する共同研究』の成果の一部である．

参考文献

- 1)中村ら：既設プレキャストアーチカルバートの縦断方向対策の設計法検討，土木学会第 73 回年次学術講演概要集，III-575,2018
- 2)佐伯ら：既設プレキャストアーチカルバートの縦断方向挙動対策に用いる炭素繊維シートの補強効果，土木学会第 74 回年次学術講演概要集，III-295,2019
- 3)動的遠心模型実験による 3 ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの補強方法の提案，III-294,2019
- 4)眞野ら：既設プレキャストアーチカルバートの縦断方向挙動に対する対策工の検討，土木学会第 73 回年次学術講演概要集，III-574,2018
- 5)佐伯ら：既設プレキャストアーチカルバートの損傷を引き起こす縦断方向荷重の検討，土木学会第 73 回年次学術講演概要集，III-573,2018