

## 強震応答実験装置を用いた2ヒンジプレキャストアーチカルバートの 振動実験と再現解析による損傷形態の検討

京都大学工学研究科 学生会員 ○松下 麗菜

京都大学工学研究科 正会員 澤村 康生, 岸田 潔, 木村 亮

### 1. はじめに

2 ヒンジプレキャストアーチカルバートは、本体断面にヒンジ構造を有する柔な構造であり、従来型のカルバートとは異なる設計思想に基づく構造物である。そのため、地震時にヒンジ部の損傷がカルバート全体の崩壊につながる危険性が指摘されており、強震時におけるカルバートの限界状態について検討する必要がある。これまで筆者らからは、実構造の1/5スケールのRC製2ヒンジプレキャストアーチカルバートに対して振動台実験を実施し、地盤のせん断ひずみが6%を超えるような条件においても、ヒンジ部が逸脱する可能性は低いことを確認した。本研究では、文献1)の強震応答実験の再現解析を実施することにより、数値解析の適用性について検討を行った。

### 2. 数値解析の概要

強震応答実験装置を用いた振動台実験<sup>1)</sup>を対象に2次元弾塑性有限要素解析を行った。解析メッシュと境界条件を図1に示す。実験土槽は、側壁下部をヒンジ構造とし、両側壁の上部をPC鋼棒で連結することで、地盤の単純せん断変形を許容する構造である<sup>2)</sup>。数値解析では、側壁に剛なBeam要素、壁面下端に回転剛性ゼロのSpring要素を用いて土槽をモデル化した。地盤の力学特性はCyclic mobility model<sup>2)</sup>を用いてモデル化した。表1に地盤のパラメータを示す。カルバートは、断面中央にBeam要素を配し、ヒンジ部を回転剛性ゼロのSpring要素とすることでモデル化した。Beam要素には部材強度の軸力依存性を考慮したAFD model<sup>3)</sup>を用いている。また、地盤とカルバートの境界における影響を考慮するため、境界部分にJoint要素を配置した。表2にJoint要素のパラメータを示す。再現解析では、実験で計測された振動台の加速度を底部より入力した。計算時間間隔は0.0001秒とし、時間積分はNewmark-β法(β=1/4, γ=1/2)を用いた。

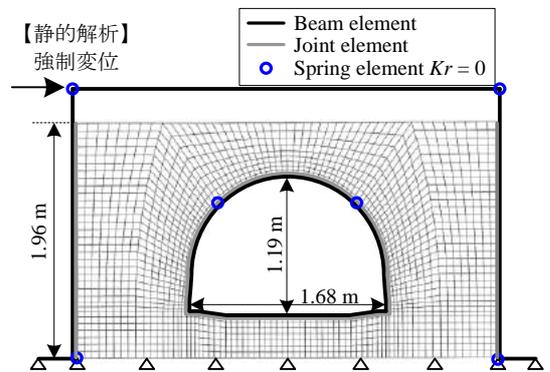


図1 解析メッシュと境界条件

表1 地盤のパラメータ

Principal stress ratio at critical state	4.0
$R_{CS} = (\sigma_1 / \sigma_3)_{CS(comp.)}$	
Compression index $\lambda$	0.08194
Swelling index $\kappa$	0.01014
$N = e_{NC}$ at $p = 98$ kPa & $q = 0$ kPa	1.06
Poisson's ratio $\nu_e$	0.2760
Degradation parameter of overconsolidation state $m$	0.02
Degradation parameter of structure $a$	0.65
Evolution parameter of anisotropy $b_r$	0.4

表2 Joint要素のパラメータ

Shear stiffness $K_s$ [kN/m <sup>2</sup> /m]	$1.55 \times 10^5$
Normal stiffness $K_n$ [kN/m <sup>2</sup> /m]	$1.55 \times 10^5$
Cohesion $c$ [kN/m <sup>2</sup> ]	5.0
Internal friction angle $\phi$ [degree]	28.0

### 3. 数値解析の結果

#### 3.1. 地盤の挙動

図2に、壁面上部における水平変位の時刻歴を示す。変位は右向きを正としている。実験値と解析値を比較すると、加振初期では解析値の方が大きいのにに対して、時間の経過とともに実験値が大きくなり、途中で大小関係が逆転している。これは、加振後の内空変位の推移から考えると、実験では5秒付近でインバートとサイドウォールの継ぎ目に局所的なき裂(図3)が発生し、カルバートの剛性が大きく低下したためであると考えら

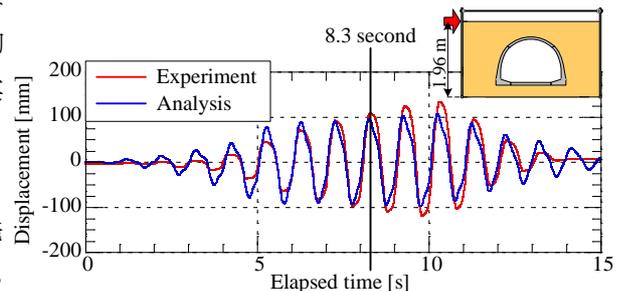


図2 壁面の水平変位の時刻歴

キーワード プレキャストアーチカルバート, 振動台実験, 動的有限要素法  
 連絡先 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 京都大学大学院工学研究科 TEL075-383-3193

れる。しかし、全体としては比較的良く実験を再現できている。

3.2. カルバートの挙動

図4には、右側ヒンジの回転角の時刻歴を示す。解析では地盤の変形が小さかったため(図2)、ヒンジの回転角も解析値の方が小さくなっているが、特に揺れが小さい加振初期においては、実験と解析で良い相関が見られる。図5には、8.3秒におけるカルバートの鉄筋ひずみ分布を示す。実験、解析のいずれにおいても、サイドウォールでは局所的なひずみが発生している。サイドウォールに着目すると、実験では解析よりも大きなひずみが発生しているが、ひずみの分布については、解析と実験で近い値になっている。また、インバートに着目すると、ひずみの大きさ、分布ともによく再現できている。

3.3. カルバートの損傷過程

図6には、振動台実験における鉄筋の損傷過程を示す。同図には、鉄筋が塑性および降伏した位置と、各鉄筋がはじめて降伏ひずみ(2025 $\mu$ )に達した順序を示している。インバートとサイドウォールの継ぎ目付近では、鉄筋は塑性領域に達しているが、降伏には至っていない。しかしながら、3.1.で述べたように、実験では5秒付近でインバートとサイドウォールの継ぎ目にき裂(図3)が発生し、その後の損傷を拡大させた。したがって、ひずみゲージを貼付していないインバート端部においては、より大きなひずみが発生していた可能性がある。また、図5に示すように、サイドウォール脚部では降伏ひずみを大きく超えるひずみが発生した。

図7には、再現解析における鉄筋の損傷過程を示す。インバートとサイドウォールの継ぎ目において鉄筋が降伏し、その後サイドウォール脚部の鉄筋が塑性化している。本解析モデルでは、継ぎ目のき裂について考慮していないため、サイドウォール脚部の損傷は軽微なものにとどまっているが、実験における損傷個所を十分に表現しているといえる。

4. まとめ

本研究では、動的解析による振動台実験の再現解析を実施した。その結果、本研究で用いた解析モデルにより、地震時の挙動を再現することができた。今後は、サイドウォールとインバートの継ぎ目を考慮した解析を実施する必要があると考える。

**謝辞:**本研究は、国土交通省道路局新道路技術会議の研究助成「道路政策の質の向上に資する技術研究開発」により実施した。ここに記して謝意を表す。

【参考文献】1) 松下ら: 2ヒンジプレキャストアーチカルバートの強地震時における損傷形態に関する振動実験, 第70回土木学会年次学術講演会講演概要集, III-132, pp.263-264, 2015. 2) Zhang et al.: Explanation of cyclic mobility of soils, Approach by stress-induced anisotropy, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.4, pp.635-648, 2007. 3) Zhang, F. and Kimura, M.: Numerical prediction of the dynamic behaviors of an RC group-pile foundation, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.3, pp.72-92, 2002.

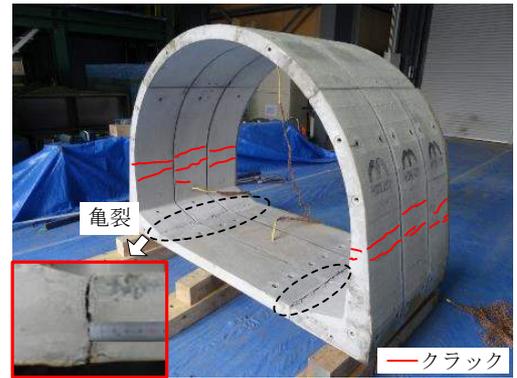


図3 加振後のカルバート

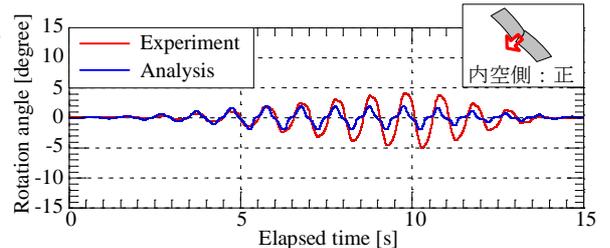


図4 右側ヒンジの回転角の時刻歴

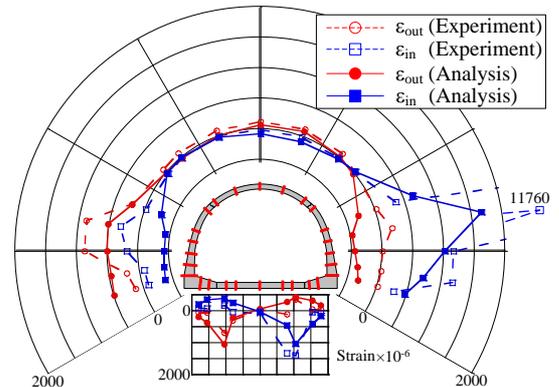


図5 8.3秒における鉄筋ひずみ分布

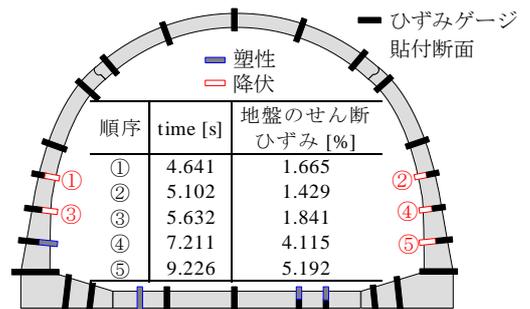


図6 鉄筋の損傷過程(実験)

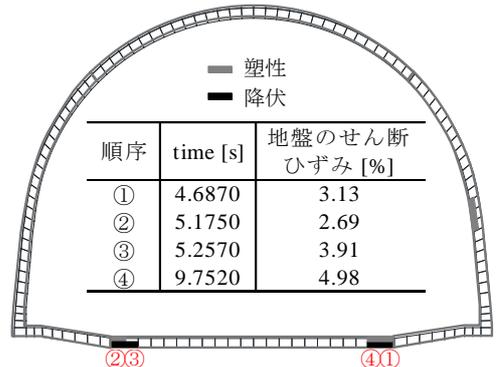


図7 鉄筋の損傷過程(動的解析)