

2 ヒンジプレキャストアーチカルバート強震応答実験に対する数値解析

京都大学大学院
京都大学大学院
京都大学大学院

正会員
学生会員
正会員

○ 澤村康生
並川卓矢
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にヒンジ機能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カルバートである。このため、ヒンジ部を含めた全体構造の地震時挙動について未解明な点が残されている。そこで筆者らは、幅 1.88 m、高さ 1.36 m 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¹⁾、地震時挙動の検討を行っている。本稿では、振動台実験に対して実施した数値解析について報告する。

本研究では、はじめに振動台実験の再現解析を実施し、解析モデルの適用性を確認した。つぎに、振動台実験で計測したのと等しい変位を静的に与える静的解析も実施した。地中構造物の耐震性に関する解析手法としては、応答変位法や応答震度法に代表される静的解析と、解析モデルに直接地震動を入力し、その応答を調べる動的解析が挙げられる。一般に、動的解析は直接的に地盤と構造物の相互作用を確認できる一方で、解析モデルが複雑であり、検討方法として簡便であるとは言い難い。そのため、実務における耐震設計では静的解析が多く用いられているが、解析結果の正しい解釈のためには、動的解析と静的解析の特性を理解し、静的解析で検討可能である範囲を明確にすることが必要である。本研究では、動的解析と静的解析の比較により、荷重条件の違いが解析結果に及ぼす影響についても考察した。

2. 数値解析の概要 本研究では、弾塑性有限要素解析コード DBLEAVES²⁾を用いて 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¹⁾では、土槽の側壁下部をヒンジ構造とし、さらに両側壁の上端を PC 鋼棒で連結することにより、土槽全体の単純せん断変形を許容する構造としている。そこで数値解析においては、土槽側壁は十分に剛な Beam 要素、壁面下端は Rotation spring 要素を用いて実験土槽をモデル化した。壁面下端の回転剛性については、壁面の水平変位が実験値と同等になるように決定した。地盤の力学特性は、Cyclic mobility model³⁾を用いてモデル化した。表 1 に、解析で使用した代表的なパラメータを示す。各種パラメータは、実験で使用した江戸崎砂に対して実施した三軸圧縮試験と等方圧密試験を元に決定した。カルバートは、断面中央に Beam 要素を配し、肩部を回転剛性ゼロの Rotation spring 要素で表現した。ここで、Beam 要素には部材強度の軸力依存性を考慮した AFD model⁴⁾を用いている。地盤とカルバートの境界部分には Joint 要素を配し、両者の境界における影響を考慮した。動的解析における入力地震動は、実験でレベル 2 地震動を入力した際に振動台で計測された加速度を使用した。

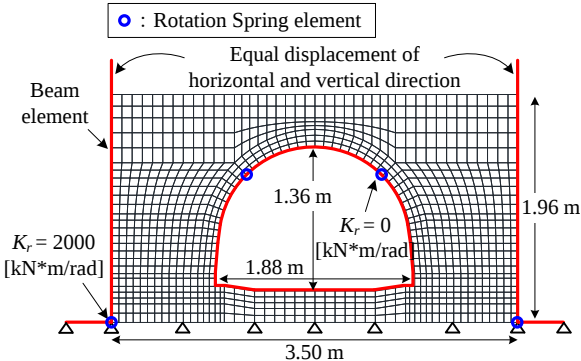


図1 解析メッシュと境界条件

表1 地盤パラメータ

Principal stress ratio at critical state $R_{CS} = (\sigma_1/\sigma_3)_{CS(comp.)}$	4.0
Compression index λ	0.082
Swelling index κ	0.010
$N = e_{NC}$ at $p = 98 \text{ kPa}$ & $q = 0 \text{ kPa}$	1.06
Poisson's ratio ν_e	0.28
Degradation parameter of overconsolidation state m	0.02
Degradation parameter of structure a	0.65
Evolution parameter of anisotropy b_r	0.4

3. 数値解析結果

3.1 解析モデルの適用性 図 2 に、実験と解析について、壁面上部の水平変位の時刻歴を示す。実験では、壁面下端の回転剛性は静止摩擦と動摩擦の影響を受け、壁面変位が一定以上になると壁面が大きく変位する傾向がある。一方、解析では壁面下端の回転剛性は一定としているため、実験において壁面変位が小さい時は解析値の方が大きく、逆に実験において壁面変位が大きい時は解析値の方が小さくなる。しかしながら、全体としては比較的良く実験を再現できており、土槽や地盤のモデル化は妥当であったと考えられる。

キーワード カルバート, 振動台実験, 数値解析, 荷重条件, 応答変位法
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 TEL 075-383-3161

図3に、実験と解析におけるカルバートヒンジ部の回転角増分の時刻歴を示す。全ての時刻において実験と解析で良い相関が見られ、本解析のカルバートのモデル化がある程度適切であったことが確認できる。

3.2 荷重条件による比較 図4には、壁面の右向きの変位が極大となる時刻(4.425 sec)において、カルバートに作用する土圧分布を示す。同図には、振動実験、動的解析、静的解析のそれぞれの結果をプロットしている。カルバートの左側に着目すると、振動実験における土圧分布は、初期状態と比較して、左肩部で増加、左脚部で減少している。動的解析でも同様の傾向が見られるが、その値は実験値よりも小さく、また分布に凹凸が確認できる。これは、Joint要素に滑りや剥離、再接触が繰り返し発生したためであると考えられ、Joint要素の定式化において改善の余地があると言える。一方、静的解析では、左脚部を含めてカルバートの左側全面で土圧の増加が確認できる。これは、静的条件ではカルバートに慣性力が作用しないため、カルバートに右向きの滑動が生じず、地盤の変位がそのままカルバートに作用したためであると考えられる。また、カルバート底面の土圧は動的解析の方が大きく変化している。これは動的解析では慣性力によりカルバートに時計回りの回転運動が発生し、結果的に底板の土圧が変動したと考えられる。

つぎに、図5には同時刻においてカルバートに発生した曲げモーメント増分の分布を示す。動的解析・静的解析ともに実験値よりやや小さくなっているが、全体としては実験と同様の傾向を示しており、荷重条件による差異はわずかである。つまり、本解析条件において、カルバートに発生する断面力は荷重条件よりも地盤のせん断変形に支配されており、静的解析によっても耐震性の検討が可能であると考えられる。ただし、断面の大きさや基礎地盤の条件によっては、カルバートに作用する慣性力の影響が大きくなり、カルバートの並進運動や回転運動が卓越することで、カルバートに作用する土圧が変化し、断面力に影響を及ぼす可能性があると考えられ、注意が必要である。

4. まとめ 本研究では、解析モデルの適用性の検証と、荷重条件が解析結果に及ぼす影響を明らかにすることを目的に、2 ヒンジプレキャストアーチカルバートの振動台実験に対して数値解析を実施した。その結果、本解析モデルにより、同構造の地震時挙動の把握が可能であることを確認した。また、本解析条件下においては、本体にヒンジ機能を含むアーチカルバートにおいても、発生する断面力は荷重条件よりも地盤のせん断変形に支配されることを確認した。

なお、本研究は、国土交通省国土技術政策総合研究所からの委託で実施した。

【参考文献】1) 澤村康生, 並川卓矢, 岸田 潔, 木村 亮: 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に対する振動実験, 第49回地盤工学研究発表会, 2014.(投稿中) 2) Ye, B., Ye, G. L., Zhang, F. and Yashima, A.: Experiment and numerical simulation of repeated liquefaction-consolidation of sand, *Soils and Foundations*, Vol.47, No.3, pp.547-558, 2007. 3) Zhang F., Ye, B., Noda, T., Nakano, M. And Nakai, K.: Explanation of cyclic mobility of soils, Approach by stress-induced anisotropy, *Soil and Foundations*, Vol.47, No.4, pp.635-648, 2007. 4) Zhang, F. and Kimura, M.: Numerical prediction of the dynamic behavior s of an RC group-pile foundation, *Soils and Foundations*, Vol.42, No.3, pp.72-92, 2002.

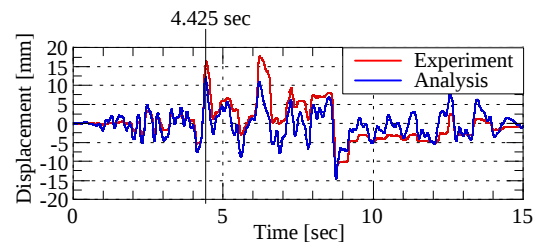


図2 壁面上部における水平変位の時刻歴

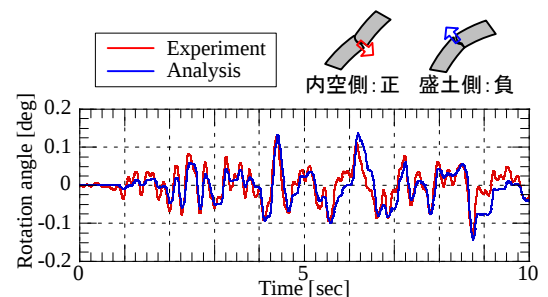


図3 左ヒンジにおける回転角増分の時刻歴

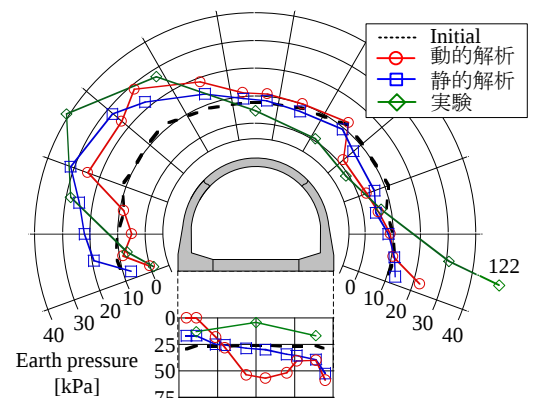


図4 4.425 secにおける土圧分布

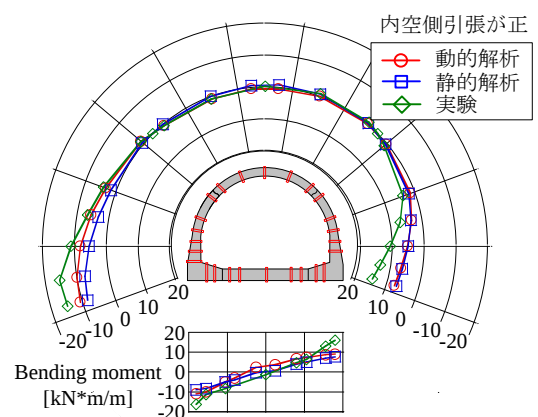


図5 4.425 secにおける曲げモーメント増分