

モジュラーチ工法の適用性に関する研究（その9）

木村 亮*・岸田 潔**・澤村康生***

1. 研究の目的

近年施工例が増加している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カルバートである。そのため、地震時にヒンジ部が逸脱してカルバート全体の崩壊につながる可能性が指摘されており、強地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、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。そこで本研究では、動的解析による振動台実験の再現解析を行うことで、数値解析の適用性について検討した。また、実験で計測された変位を静的に与える静的解析を実施することで、解析法の違いが同構造の損傷過程と破壊形態に及ぼす影響についても考察した。

2. 研究の方法

本研究では、強震応答実験装置を用いた振動台実験を対象に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。実験で用いた土槽は、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。数値解析では、土槽側壁には剛なBeam要素、壁面下端には回転剛性ゼロのSpring要素を用いて実験土槽をモデル化した。地盤の力学特性は、Cyclic mobility model¹⁾を用いてモデル化した。カルバートについては、断面中央にBeam要素を配し、両肩の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 model²⁾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に、両者の境界部分にJoint要素を配置した。振動台実験の再現解析では、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 ($\beta=1/4, \gamma=1/2$)を用いた。静的解析では、壁面上部に右向きの強制変位を与えた。強制変位は土槽に1stepあたり0.001%のせん断ひずみを与えるように設定し、実験の最大せん断ひずみ6.89%までとした。

3. 得られた成果

図2に、実験終了時におけるカルバートの損傷状況を示す。加振後は、サイドウォールの内空側・外空側の両方でクラックが発生した。また、サイドウォールとインバートの継ぎ目に部材を貫通するき裂が発生した。図3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、各鉄筋のはじめて降伏ひずみ (2025μ) に達した順序を示している。実験では、サイドウォール脚部で、鉄筋に大きなひずみが発生した。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、加振中の内空変位の推移から考えると、実験では5秒付近にインバートとサイドウォールの継ぎ目で局所的なき裂が発生し、その後の損傷を拡大させたと考えられる。

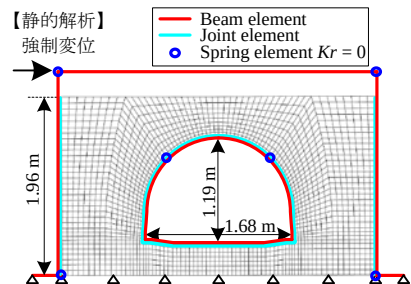


図1 解析メッシュと境界条件

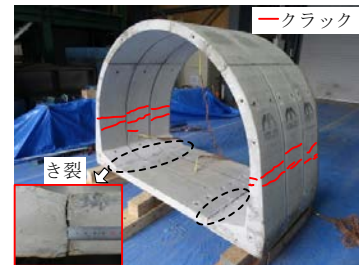


図2 加振後のカルバート

*京都大学大学院工学研究科・教授，**同・准教授，***同・助教

図4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。解析値と実験値を比較すると、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次第に実験値が大きくなり、最終的に大小関係が逆転している。これは、実験ではインバートとサイドウォールの継ぎ目にき裂が入り、剛性が大きく低下したためであると考えられる。図5には、8.32秒におけるカルバートの鉄筋ひずみ分布を示す。実験ではサイドウォール脚部に非常に大きなひずみが発生しており、両者の結果に乖離が見られるが、ひずみ分布の傾向については、解析値は実験値をよく再現している。また、インバートに着目すると、ひずみの大きさ、分布ともに実験をよく再現できている。図6には、動的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と順序を十分に表現しているといえる。

図7には、静的解析における鉄筋の損傷過程を示す。静的解析についても、実験と再現解析と同様、インバートとサイドウォールの継ぎ目が損傷した後、サイドウォール脚部へと損傷が拡大している。したがって、静的解析は損傷進展過程を十分に表現しており、本工法の耐震設計において有力な照査法になると考えられる。

4. 謝 辞

本研究は、モジュラーチ工法協会より委託されたものであり、関係各位に謝意を表す。

発 表 論 文

- 1) 松下麗菜, 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮: 2 ヒンジプレキャストアーチカルバートの盛土施工過程における変形挙動, 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会講演概要集, III-27, 2015.
- 2) 松下麗菜, 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮: 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.
- 3) 宮崎祐輔, 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮: 2 ヒンジプレキャストアーチカルバートを含む盛土におけるカルバートの連結様式を考慮した縦断方向の動的挙動の評価, 地盤工学ジャーナル, Vol.10, No.4, pp.517-529, 2015.
- 4) Sawamura, Y., Kishida, K., and Kimura, M.: Experimental study on seismic resistance of a two-hinge precast arch culvert using strong earthquake response simulator, *Japanese Geotechnical Society Special Publication*, Vol.2, No.48, pp.1684-1687, 2015.

参 考 文 献

- 1) Zhang et al.: Explanation of cyclic mobility of soils, Approach by stress-induced anisotropy, *Soil and Foundations*, Vol.47, No.4, pp.635-648, 2007.
- 2) 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.

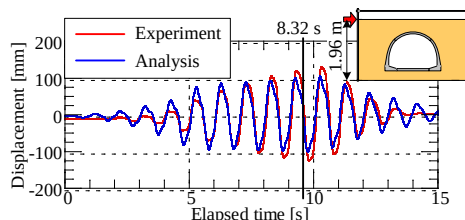
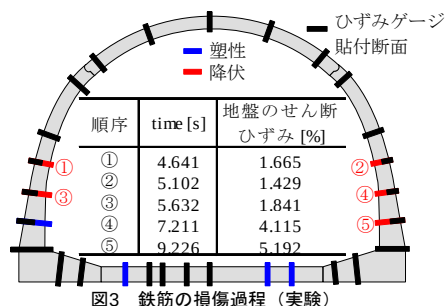


図4 壁面の水平変位時刻歴 (実験と解析)

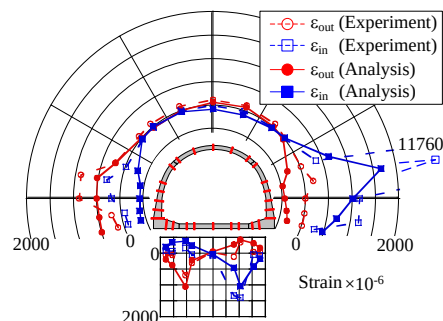


図5 8.32 秒における鉄筋ひずみ分布 (実験と動的解析)

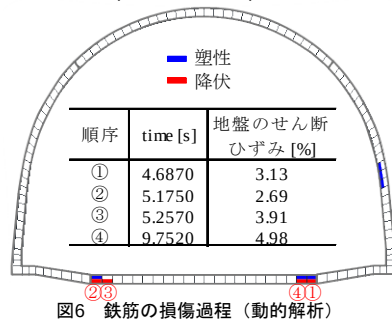


図6 鉄筋の損傷過程 (動的解析)

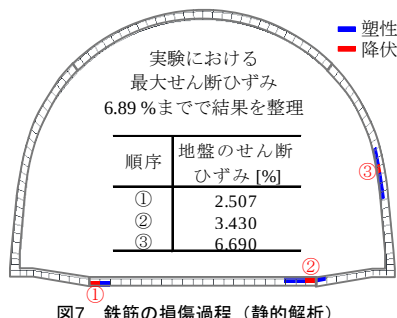


図7 鉄筋の損傷過程 (静的解析)