

曲線部材を有する地中構造物に対する非線形応答変位法の適用性

国立研究開発法人土木研究所 正会員 ○谷本俊輔、大坪正英、佐々木哲也

1. はじめに 著者らは、構造形式の多様化が進むカルバートに対する地震時の標準的な応答計算法として、カルバート・周辺地盤間のすべり・剥離を表現可能な非線形応答変位法¹⁾²⁾の適用を検討しているところであり、大型ボックスカルバートに対してはその適用性が遠心模型実験や実構造物の被災・無被災事例の再現解析を通じて確認されている³⁾。本報では、曲線部材を有する地中構造物を対象として、同手法の適用性を検討した結果を報告する。

2. 動的遠心模型実験の概要 曲線部材を有する地中構造物の動的挙動に関するデータを得るため、動的遠心模型実験を行った。実験対象は3ヒンジ式アーチカルバートの1/50縮尺模型⁴⁾であり、これをせん断土槽内の模型地盤に埋設し、50Gの遠心力場の下で横断方向に加振した。以降に示す数値は全て実物換算値である。

模型概要を図-1、アーチカルバート模型を図-2に示す。カルバートの内空寸法は幅9.0m×高さ4.7mであり、厚さ0.2mのアルミニウム製である。アーチ頂部の土被り厚は3mである。アーチ脚部は厚さ1.0mのアルミニウム製のインバートに支持させた。アーチ頂部はメタルクラウンパイプを配置することで、アーチ脚部は天然ゴムによる間詰を行うことで、ヒンジ結合とした。模型地盤は盛土、基礎地盤の2層構成とし、材料にはそれぞれ締固め度 $D_c=90\%$ の湿潤状態の江戸崎砂、相対密度 $D_r=90\%$ の気乾状態の東北珪砂7号を用いた。上記の模型に対し、レベル1地震動(道示1-I⁵⁾)およびレベル2地震動タイプII(2-II-I-1⁵⁾)の2波形を続けて入力した。本稿では、これらのうちレベル2地震動タイプII(図-3)を入力した結果を検討対象とする。

3. 解析手法 解析モデルの概念図を図-4に示す。アーチ部材およびインバートを模した弾性はり要素の外周に、ジョイント要素を介して地盤ばね要素を配置した。ジョイント要素の接線方向反力度の上限値(摩擦強度)は地盤材料とアルミ板の一面せん断試験結果から設定し、法線方向反力度の下限値(引張強度)はゼロとした。地盤ばね要素には、等価線形化法に基づく地盤反力係数を設定した。すなわち、Ohmachi & Tahara⁶⁾の方法を用いてカルバート最大応答時刻付近におけるひずみ依存性の影響を含んだ各層のS波速度 V_{SD} を加速度計測波形から求め、道路橋示方書V編⁵⁾の式によりひずみ依存性を考慮した地盤反力係数を算出した。

初期応力解析では、アーチ部材の外周に配した地盤ばねの端部節点(G^0)の境界条件を自由とした上で、節点 G^0 に常時土圧(有効上載圧 σ_v' および静止土圧 $\sigma_h'=K_0\sigma_v'=0.5\sigma_v'$)相当の分布荷重を与えた。非線形応答変位法では、地盤ばね端部節点(G^0)に地震時地盤変位を、中間節点(G')に切り欠き力(ボックスカルバートの地震時周面せん断力に相当)を、部材節点(S')に地盤加速度をそれぞれ与えた。地震時地盤変位には、モード解析法⁷⁾により算出した1次モード解(図-5)を使用した。一方、カルバートの慣性力の基となる地盤の加速度および切り欠き力の基となる地盤のせん断応力は、実験値とモード解析法による結果の間に乖離が見られる。そこで、実験結果に基づき、加速度は一様に 5.0m/s^2 として、せん断応力は直線分布として用いることとした。なお、アーチ部

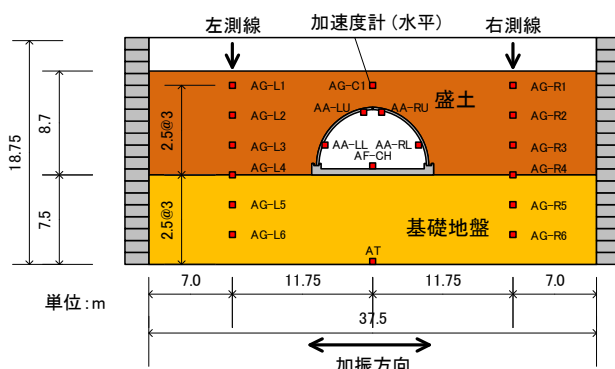


図-1 模型概要図

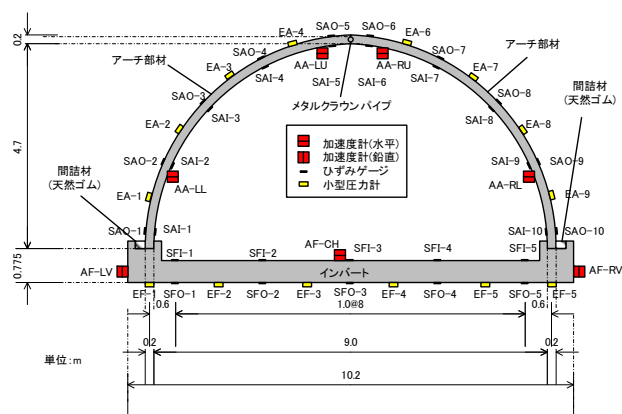


図-2 アーチカルバート模型

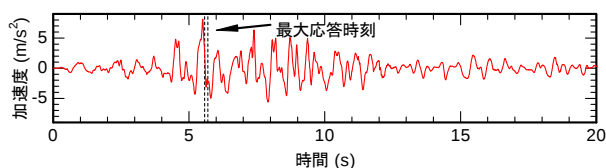


図-3 入力地震動(レベル2地震動タイプII)

キーワード 地中構造物、曲線部材、耐震設計、動的遠心力模型実験、応答変位法

連絡先 〒305-8516 茨城県つくば市南原1-6 (国研) 土木研究所 土質・振動チーム TEL. 029-879-6771

材の常時土圧と切り欠き力には、図-6 に示すように、直交座標系における土要素の常時応力 (σ_v , σ_h) と地震時せん断応力 τ_d を、部材傾斜角 α に応じて法線方向成分 σ_α および接線方向成分 τ_α に変換することで設定した。

4. 解析結果 解析によって得られたアーチカルバート各部の法線・接線方向反力度、曲げモーメントを図-7 に示す。なお、図-7 中の θ はカルバート内空側から見たアーチ各部の位置を指すものであり、 0° が左脚部、 180° が右脚部である。アーチ部材の接線方向反力度を見ると、アーチ部材の大半およびインバート全体が摩擦強度に達していることから、接触面上で著しい非線形性が発揮されていることが分かる。結果として、アーチ部材の曲げモーメントは良好に再現されている。インバートの曲げモーメントは初期応力解析でほぼ決まっており、地震時のひずみ依存性を考慮した地盤反力係数を用いたことにより実験値との間にやや乖離が生じたが、得られた結果は安全側である。

5. まとめ 本稿では、曲線部材を有するカルバートに対し、非線形応答変位法によって横断方向の地震時応答を概ね良好に再現することができることを示した。今後も引き続き、他の構造形式のカルバートに対する本手法の適用性を検証していきたい。

参考文献 1) 立石、岡：地中構造物横断方向のレベル 2 地震動に対する静的耐震計算法の適用性、土木学会論文集、No.752/I-66, pp.179-192, 2004.1. 2) 谷本、佐々木：地盤ばねを用いた地中構造物の非線形応答変位法に関する理論的考察、第 76 回土木学会年次学術講演会、2021.9. 3) 岡崎、伊藤、七澤：応答変位法を用いた大型カルバートの耐震設計手法に関する研究、第 76 回土木学会年次学術講演会、2021.9. 4) 土木研究所、高速道路総合技術研究所、京都大学：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報告書（その 1）、共同研究報告書、第 510 号、2020.1. 5) (公社)日本道路協会：道路橋示方書 V 耐震設計編、2017.11. 6) Ohmachi & Tahara: Nonlinear earthquake response characteristics of a central clay core rockfill dam, S&F, Vol.51, No.2, pp.227-238, 2011.4. 7) 佐々木、谷本：大規模地震動に対する地中構造物の耐震設計のための表層地盤の実用的な応答評価手法、土木研究所資料、第 4430 号、2022.6.

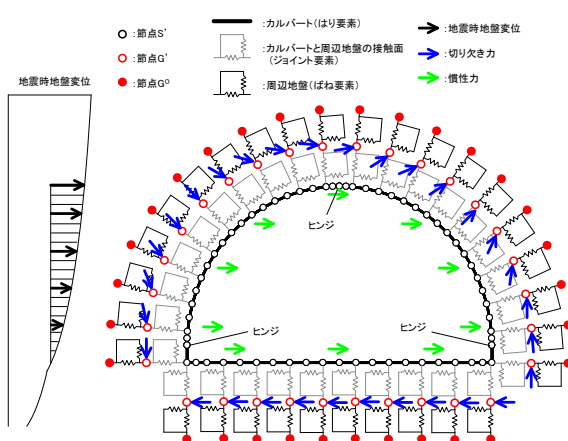


図-4 解析モデルの概念図

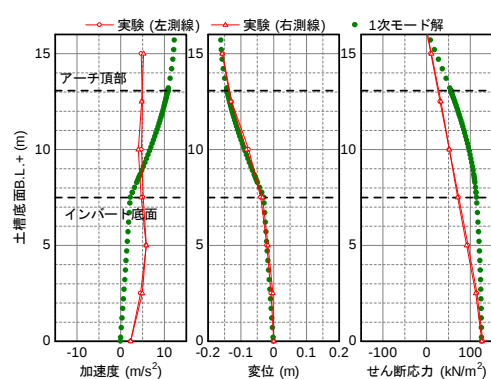


図-5 カルバート最大応答時刻における地盤の加速度、変位、せん断応力分布

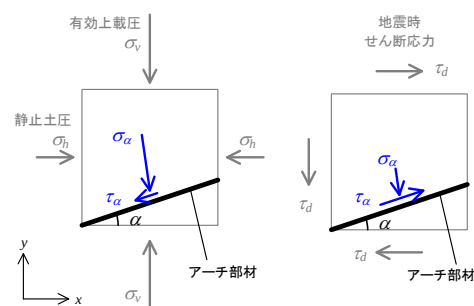


図-6 アーチ部材の常時土圧と切り欠き力の設定方法

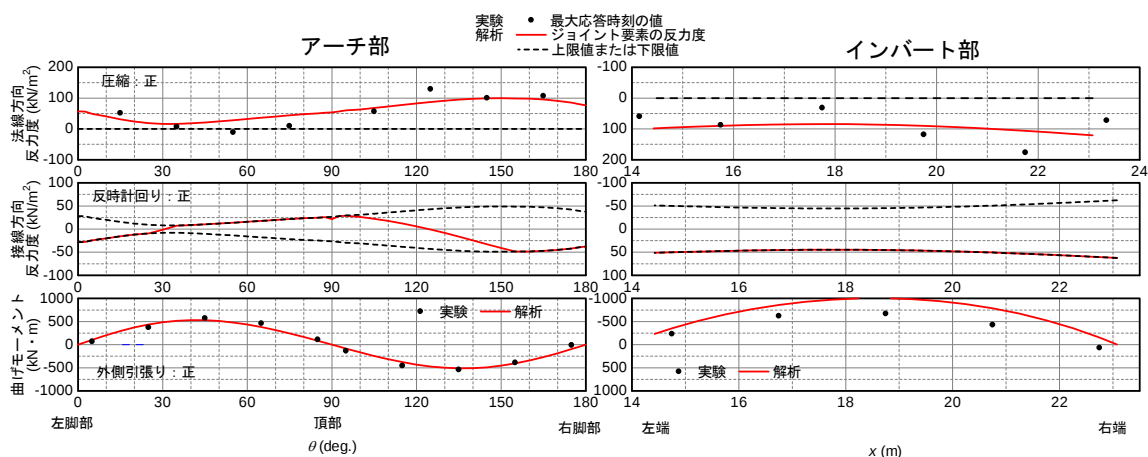


図-7 アーチカルバート各部の法線・接線方向反力度および曲げモーメント