

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

山崎 旬也・野田 翼・石田 雅博

1. はじめに

建設現場では人手不足を背景に現場作業の省力化や効率化を目的として、コンクリート構造物のプレキャスト化が行われている。地中構造物についても、大型のプレキャスト部材を用いたカルバートの採用実績が増えている。

カルバートのような地中構造物の耐荷性能は、一般的に図-1に示すような、横断方向（函軸直角方向）の耐荷力によって上載荷重を支えており、縦断方向（函軸方向）に上載荷重の支持機能は無いとされている。このような背景から、地中構造物の耐震性能に関する研究においては、横断方向の研究が優先されてきた。

そのような中、平成23年東北地方太平洋沖地震において、プレキャストアーチカルバートに写真-1に示すような接合部のコンクリート剥離が高速道路で生じた²⁾。藤原ら³⁾はこの損傷が、カルバート縦断方向の強い地震動により、部材同士が強く接触し合い発生したものと推測している。このような損傷はアーチカルバートの内空が確保できなくなるような損傷ではないが、コンクリート片の落下による第三者被害を考えると許容できるものではない。よって、このようなプレキャストアーチカルバートは耐震補強を行う必要があると考えられるが、どのような耐震補強が有効なのか、具体的な対策案がないのが現状である。

そこで、本研究では動的遠心模型実験により、プレキャストアーチカルバートの縦断方向の損傷メカニズムの解明および補強方法について検討を行うものである。

2. 実験概要

2.1 対象としたプレキャストアーチカルバート

本実験では、実構造物にて損傷が確認されている3ヒンジ式プレキャストアーチカルバートを対

象とした。3ヒンジ式プレキャストアーチカルバートは写真-2に示すように、脚部に2箇所と頂部に1箇所、計3箇所のヒンジ接合部を持つ、鉄筋コンクリートの構造物である。

2.2 実験ケース

表-1に実験ケースを示す。本実験は遠心力50G場で行うため、相似則を考慮し模型寸法は実物大寸法の1/50とした。使用した遠心実験機と模型の写真をそれぞれ写真-3、4に示す。

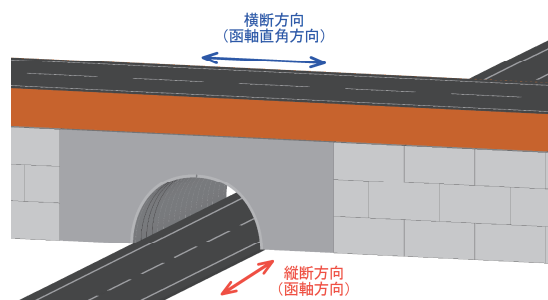


図-1 カルバート検討方向の定義



写真-1 プレキャストアーチカルバートの被災状況



写真-2 3ヒンジ式プレキャストアーチカルバート

表-1 実験ケース

	土かぶり	補強方法	補強位置
CASE-1	3.0m	補強なし	-
CASE-2	3.0m	炭素繊維シート	脚部
CASE-3	3.0m	炭素繊維シート	頂部・脚部

Study on the Seismic Performance Evaluation and Reinforcement Method of Existing Culverts Using Precast Segments

2.3 プレキャストアーチカルバートのモデル化

実験で用いるアーチカルバートの断面形状は一般的な2車線道路を想定し、内空幅9.0mとした。部材厚は規格内の最小厚さである250mmとし、内空高さはこれらの条件から逆算して4.7mとした。実物は鉄筋コンクリート構造であるが、同じ材料で1/50サイズの模型を作製するのが困難であるため、アルミ合金構造とした。その場合、構造材の違いを考慮し、曲げ剛性EIが相似則をできる限り満足するよう、模型の部材厚を4mmに決定した。写真-5にアーチカルバート模型を示す。

2.4 基礎地盤および裏込め地盤のモデル化

プレキャストアーチカルバートの基礎地盤は良質な地盤を選定すること⁴⁾とされているため、3号硅砂を用いて、相対密度85%以上となるよう締固め管理を行い作製した。裏込め地盤はプレキャストアーチカルバートの設計施工マニュアル⁴⁾において、締固め度90%以上で締固め管理することが規定されているため、湿潤江戸崎砂を用いて締固め管理を行い作製した。

2.5 坑口壁のモデル化

坑口壁は、プレキャストアーチカルバートに一般的に用いられる帯状補強材を使用した補強土壁構造とした。坑口壁は厚さ5mmの亚克力板でモデル化した。帯状補強材はりん青銅板の表面に乾燥状態の7号硅砂を付着させることでモデル化

した。帯状補強材の配置状況を写真-6に示す。

2.6 補強工法のモデル化

本研究は既設カルバートを対象としているため、トンネル内空側から施工が可能な補強工法を選定した。さらに、補強後に建築限界を侵さない工法として、炭素繊維シートによる補強を選定した。補強は脚部のみ行う場合と頂部・脚部行う場合として実験を行った。炭素繊維シートは異方向材料であることや、本実験では引張強度および引張剛性だけでなく接着剤の付着強度や付着面積も影響することが考えられることから、別の材料でモデル化するのではなく、目付量ができるだけ小さい100g/m²×1層を実構造物と同様の面積に設置した。その場合、相似則を考慮して実物大に換算すると目付量600g/m²×8層程度のシート厚さとなっている。炭素繊維シートによる補強を行った模型の状況を写真-7に示す。

2.7 入力波形

本実験では、遠心力50G場に達した時点 STEP0とした。STEP1では入力加速度100galを加振し、その後、1ステップごとに入力加速度を50galずつ漸増させ、実験装置の最大加速度600galまで11ステップの加振を行った。入力波は周波数を1Hzとした正弦波を20波入力した。STEP5の入力波を図-2に示す。



写真-3 遠心模型実験機

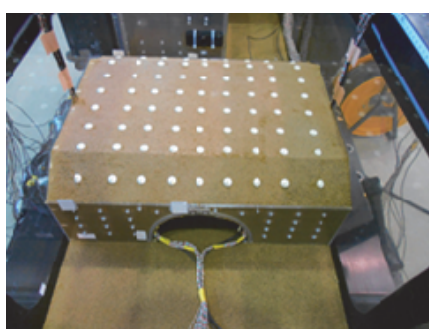


写真-4 模型設置状況

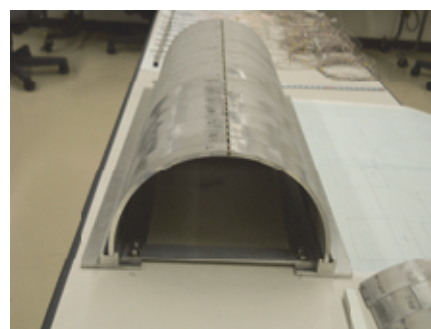


写真-5 アーチカルバート模型



写真-6 帯状補強材の配置状況



写真-7 補強状況

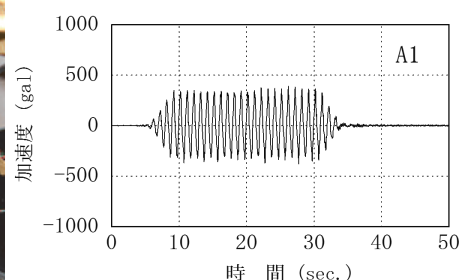


図-2 STEP5の入力波形

3. 実験結果と考察

3.1 実験結果

本実験はステップ加振法により地震動を載荷しているため、前ステップの残留変形や応力がある状態での地震動の載荷となっている。

CASE-1ではSTEP5にてアーチの縦断方向の目開きが大きくなり、上部盛土がアーチ内部に流入し崩壊に至ったため、実験を終了した。CASE-2、3ではSTEP11まで加振したが、崩壊には至っていない。写真-8にCASE-1の加振後の内部の状況を示す。アーチが縦断方向に変形し、部材同士がぶつかり、角当りが生じていることが分かる。写真-9、10にそれぞれCASE-1、3の加振後に土を取り除いた状況を示す。CASE-1では目開きが生じているが補強を行ったCASE-3は目開きが発生しておらず、縦断方向に変形が生じていない。

3.2 プレキャストアーチカルバートの応答加速度

プレキャストアーチカルバートの応答加速度は図-3に示すように、アーチ天端に設置した加速度計と高さ方向に同位置の土中に設置した加速度計および土槽底面に設置した加速度計により計測した。計測した応答加速度の最大値を図-4に示す。なお、CASE-1はSTEP5にて実験を終了しているため、STEP5までの応答加速度を示している。

図-4に示すように、STEP3において坑口付近

(AC) の応答加速度が大きくなっている。同位置の土中に設置された坑口付近(土)の応答加速度との差が大きいことから、アーチが土とは独立して挙動していると考えられる。CASE-2、3については、CASE-1のような応答加速度の変化は確認できなかったため、土とアーチが独立して挙動することは無かったと考えられる。

3.3 炭素繊維シートへの応答ひずみ

炭素繊維シートに設置したひずみゲージ位置(GH1~8、GF1~8)を図-5に示す。ひずみゲージはアーチ部材の目地と同位置に設置している。

図-6にCASE-2の脚部の応答ひずみを示す。また、図-7、8にそれぞれCASE-3の脚部と頂部の応答ひずみを示す。CASE-2は最大で2000 μ 程度の応答ひずみが発生しているが、頂部にも補強をしたCASE-3の脚部では、最大でも400 μ 程度と約1/4程度に小さくなっている。CASE-3の頂部の応答ひずみについては、最大で100 μ 程度とほとんど発生していなかった。これは頂部も補強することにより、応力が分散したものと考えられる。脚部のみを補強した場合に比べ、脚部・頂部を補強した場合の補強面積は約1.7倍に増加するが、応答ひずみは約1/4に低下するためシートの厚み(層数)を低減することが可能であると考えられる。よって、脚部だけでなく頂部も補強した方が、補強量を低減できると考えられる。

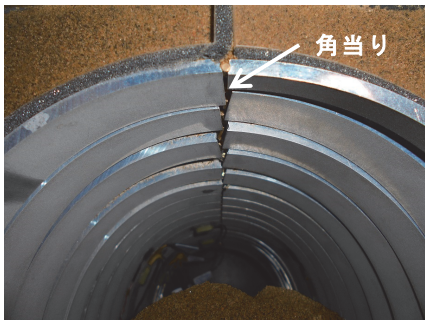


写真-8 CASE-1 加振後の内部状況



写真-9 CASE-1 加振後の状況



写真-10 CASE-3 加振後の状況

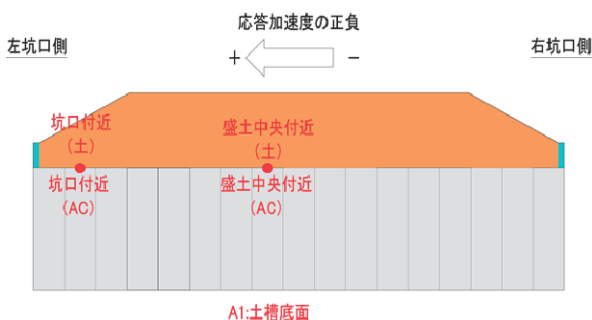


図-3 加速度計設置位置

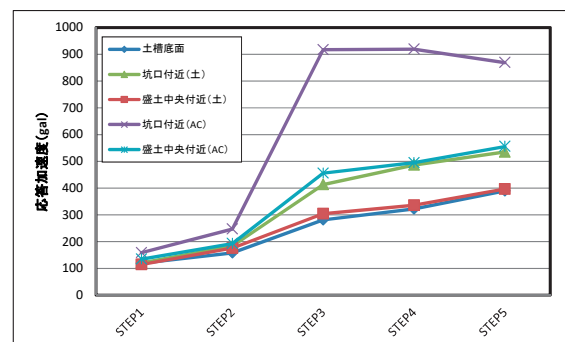


図-4 CASE-1 応答加速度

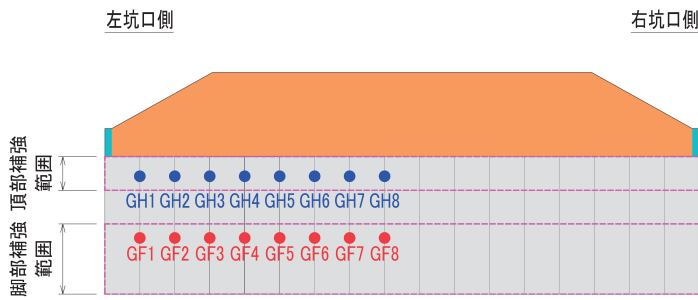


図-5 ひずみゲージ設置位置図

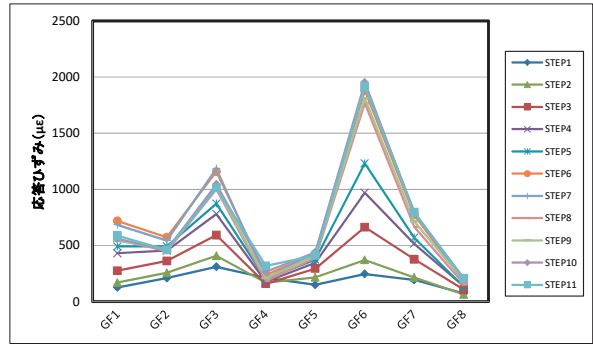


図-6 CASE-2応答ひずみ[脚部]

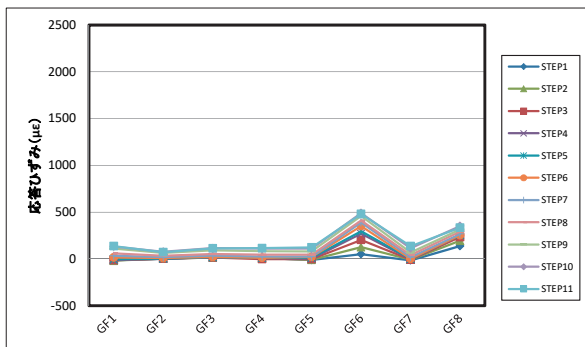


図-7 CASE-3応答ひずみ[脚部]

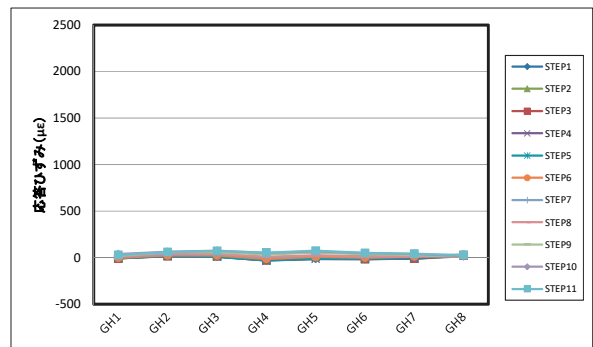


図-8 CASE-3応答ひずみ[頂部]

4. まとめ

プレキャストアーチカルバートの損傷メカニズムと補強方法を検討するため、動的遠心模型実験を実施した。以下に、得られた知見を示す。

- ① プレキャストアーチカルバートの損傷は縦断方向の荷重によって、変形することで頂部の接合部に損傷が生じている。
- ② プレキャストアーチカルバートの頂部の接合部の変形を抑えるには、縦断方向に連結する必要があることが分かった。また、補強については、脚部および頂部を補強することにより、脚部のみの補強に比べ、補強量を低減できることが分かった。

今後、これらの知見を基にプレキャストアーチカルバートの耐震補強マニュアルを整備する予定である。

謝辞

本研究は土木研究所、京都大学、(株)高速道路総合技術研究所との共同研究である「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) 土木学会：続・実務に役立つ耐震設計入門（実践編）、2014.10
- 2) 安部哲生、中村雅範：高速道路における大型プレキャスト部材を用いたカルバートの活用と適用上の留意点、基礎工、Vol.42、No.4、2014.4
- 3) 藤原優、藤岡一頼、佐伯宗大：3 ヒンジプレキャストアーチカルバートの上載盛土の影響に関する分析、土木学会第71回年次学術講演会、2016.9
- 4) (財)先端建設技術センター、テクスパン工法設計施工マニュアル検討委員会：テクスパン工法設計施工マニュアル（案）、1998.12

山崎 旬也



土木研究所構造物メンテナンス
研究センター橋梁構造研究グループ 交流研究員
Shunya YAMAZAKI

野田 翼



土木研究所構造物メンテナンス
研究センター橋梁構造研究グループ 研究員、工修
Tsubasa NODA

石田 雅博



土木研究所構造物メンテナンス
研究センター橋梁構造研究グループ 上席研究員、博士(工学)
Dr. Masahiro ISHIDA