

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 4 月 26 日現在

機関番号：14301

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2014～2015

課題番号：26889036

研究課題名(和文) 盛土内に設置されたヒンジ式プレキャストアーチカルバートの被災メカニズムの解明

研究課題名(英文) Clarification of mechanisms causing seismic disaster to precast arch culverts installed in embankments

研究代表者

澤村 康生 (Sawamura, Yasuo)

京都大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：20738223

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,100,000円

研究成果の概要(和文)：2011年3月の東日本大震災では、盛土内に設置されたヒンジ式のプレキャストアーチカルバートにおいて甚大な被害が発生した。本研究では、地震時の被災メカニズムの解明を目的に遠心模型実験と数値解析による検討を実施した。その結果、坑口部分に一定の土被りを設けることでカルバートの挙動が安定することを確認した。さらに、カルバートが上部道路と一定の交差角を設けて設置される場合には、カルバートに偏土圧が作用し、地震時の安定性を大きく損ねることを確認した。

研究成果の概要(英文)：Earthquake damage to several precast arch culverts installed in embankments was reported after the 2011 Great East Japan Earthquake. In this study, dynamic centrifuge model tests and numerical analyses were conducted to clarify the mechanisms causing seismic disaster to the culverts. From the results, it is confirmed that high overburden stresses can suppress the seismic behavior of the culverts near the mouth. Moreover, when the culverts and the embankment are obliquely-crossed, the asymmetrical earth pressure acting on the culverts is detrimental to the stability of the culverts.

研究分野：地盤工学

キーワード：ヒンジ式プレキャストアーチカルバート 盛土 東日本大震災 遠心模型実験 有限要素解析

1. 研究開始当初の背景

ヒンジ式プレキャストアーチカルバート(図1)は、本体断面を分割し、主要部材をプレキャスト製品とすることで高い品質管理や工期の短縮を可能としたカルバートである。しかし、同構造物の地震時挙動はヒンジ構造により複雑化し、明確な耐震性評価手法はない。そのような中、2011年3月に発生した東日本大震災において、カルバートの供用性を損失する大きな被災が発生した(図2)。

これまで同構造の耐震性については、主にカルバート横断方向の検討が行われており、一定の耐震性能を有することが確認されている。しかしながら、カルバート縦断方向の耐震性については十分な検討が行われておらず、坑口付近の挙動など未解明な点が多い。そして、先の大震災において大きな被害が発生したのは、まさにこのカルバート縦断方向の地震動による影響が大きいと考えられるものであった。

そこで本研究では、特にカルバート縦断方向に着目し、カルバートの被災メカニズムの解明を目的とする。

2. 研究の目的

地震により被災したカルバートは、坑口部の土被りが小さい、坑口部の抑え盛土の量が左右で大きく異なるなど特徴があった。そこで本研究では、坑口付近における土被りや盛土形状に着目して、地震時の被災メカニズムの解明を目的に遠心模型実験と数値解析による検討を実施した。

3. 研究の方法

上記の目的に対し、以下の2つの研究を重点的に実施した。

- (1) 坑口部の盛土形状をパラメータとした検討(遠心模型実験と数値解析)
- (2) 坑口部の抑え盛土の量が左右で異なる場合の地震時挙動に関する検討(遠心模型実験)

遠心模型実験は、京都大学防災研究所所有の遠心力载荷装置を用いて実施した。また数値解析では、3次元弾塑性有限要素解析を実施した。

4. 研究成果

- (1) 坑口部の盛土形状をパラメータとした検討(遠心模型実験と数値解析)

東日本大震災においては、土被りの小さな坑口部などで被災が集中したため、盛土形状が被災に寄与した可能性が高い。そこで、ヒンジ式アーチカルバートを含む盛土模型に対して、盛土形状をパラメータとして縦断方向の地震時挙動を確認した。

本実験では、遠心力50G場において剛性土槽(幅450mm×高さ340mm×奥行300mm)を用いて振動台実験を実施した。実

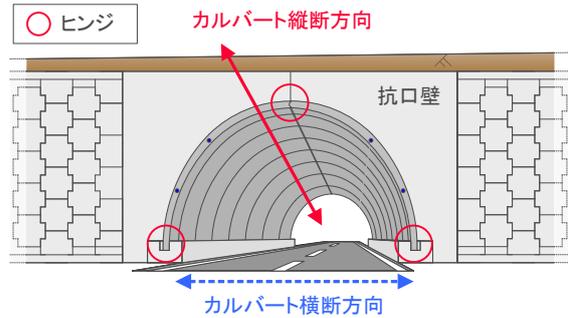


図1 ヒンジ式プレキャストアーチカルバート

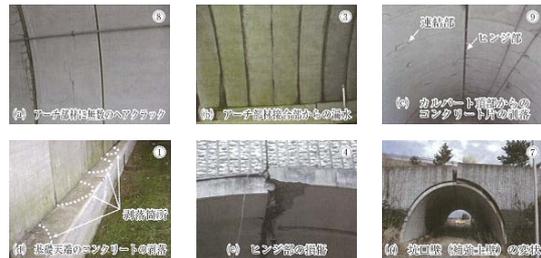


図2 東日本大震災における被災状況 [安部・中村, 2014]

Unit: mm, () means prototype scale: m

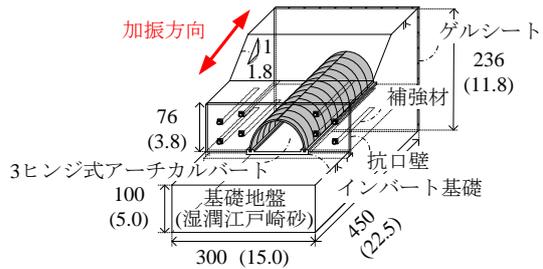
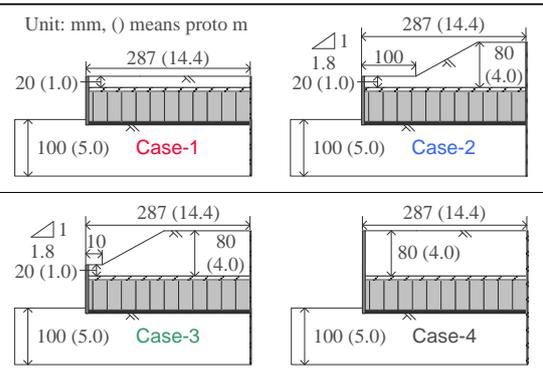


図3 実験模型の概略図

表1 実験ケース



験対象は、5.0 mの基礎地盤上に、3ヒンジ式アーチカルバート(以下、「3ヒンジ式」と呼ぶ)を含む盛土が建設された場合とした。図3に、実験模型ならびに計測項目の概略図を示す。

本研究では、土被り厚と盛土のり面勾配を変化させて、表1に示す4種の異なる盛土形状を設定した。入力波形には、1 Hz、20波のテーパ付き連続波を用いた。ここでは、遠心力50G場に到達した時点 STEP 0とし、その後1ステップごとに最大入力加速度を

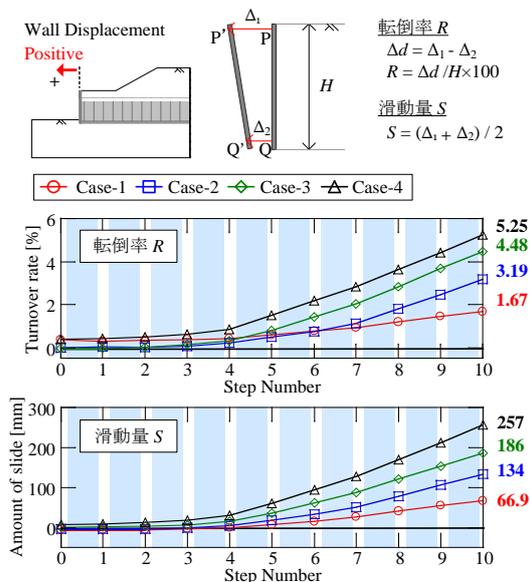


図4 坑口壁の変位量

0.5 m/s² ずつ増やし、最大入力加速度を 0.5 ~ 5.0 m/s² とする計 10 ステップにより加振した。

図4には、STEP 1 ~ 10(最大加速度 0.5 ~ 5.0 m/s²)における壁面の転倒率 R および滑動量 S の経時変化を示す。ここで、転倒率 R は、壁面上部と下部の変位量の差を計測点の間の距離で除した値、滑動量 S は、壁面上部と下部の変位量の平均で定義する。図より、

転倒率：Case-4 > Case-3 > Case-2 > Case-1

滑動量：Case-4 > Case-3 > Case-2 > Case-1

の順にそれぞれ変形量が大きくなる結果となった。壁面の滑動量は壁面上部と下部の二点の変位量の平均値で定義されるため、滑動量は加振による壁面変位量の大きさを意味している。図より、定性的には土被りが増大するにつれて壁面の変位量も増加することがわかる。

つぎに、盛土の変形状態とカルバートの応答加速度の関係を示す。ここでは各ケースで大きく盛土が変形している、STEP 8(最大入力加速度 4.0 m/s²)に注目する。図5には、振動台の入力加速度に対する Ring 3 と Ground の応答加速度の履歴を示す。同図には、入力加速度の振幅、応答加速度の振幅を併記している。図より、Ring 3 の応答値の振幅は

Case-1 > Case-2 > Case-3 > Case-4

の順となることが確認できる。ここで、STEP 8 では、各ケースの滑動量が、Case-1; 41.7 mm, Case-2; 78.6 mm, Case-3; 121.4 mm, Case-4; 170.4 mm であり、Case-4 > Case-3 > Case-2 > Case-1 の順に大きくなる。つまり、Case-1 と比べて Case-3, 4 は大きく盛土が変形している一方で、坑口部のカルバートの応答加速度は Case-1 よりも抑えられている。これより、振動台の入力加速度に若干の差異はあるものの、盛土が大きく変形している状態でも、坑口部に一定の土被りを施すことで、カルバート縦断方向の地震動に対して坑口部のカルバートの応答が軽減される可能性が高いことを示している。

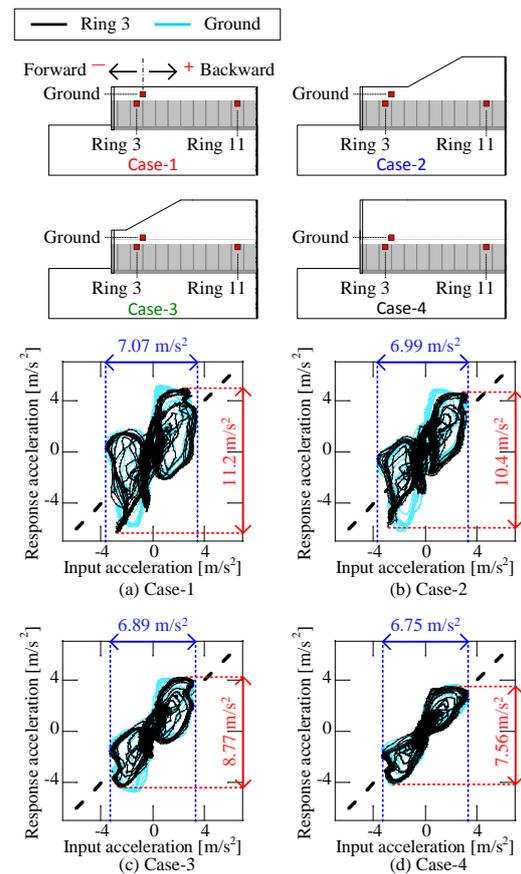


図5 カルバートと地盤の応答加速度(STEP 8)

以上の結果より、カルバート坑口部において、土被りが小さいと盛土の拘束効果が小さくなるため、カルバート縦断方向の地震時応答が大きくなるといえる。また、坑口部に一定の土被りを施すことで、盛土が大きく変形している状態でも、坑口部のカルバートの地震時応答が軽減される可能性が高い。これらの結果については、遠心模型実験を対象に実施した数値解析においても同様の傾向を得た。

(2) 坑口部の抑え盛土の量が左右で異なる場合の地震時挙動に関する検討(遠心模型実験)

実務においては、上部道路とカルバートが平面交差角を有する構造をとり、坑口部の抑え盛土の量が左右で異なる場合が多い。そこで、道路盛土とカルバートの設置に対して種々の交差角度を設定し、ヒンジ式アーチカルバートに偏土圧を作用させた条件で、遠心模型実験により縦断方向の地震時挙動を確認した。

図6に実験模型と計測項目の概略図を示す。図7に、実験のモデル化にあたり参考にした被災事例を示す。写真より、坑口壁が左右非対称に変状していることがわかる。この被災現場は、上部道路とカルバートの交差角を 70° として設計された現場である。そのため、坑口壁右側では斜角のため左側に対して土被りが小さく、坑口部において不均等な上載荷重が作用する構造である。補強土壁の左右

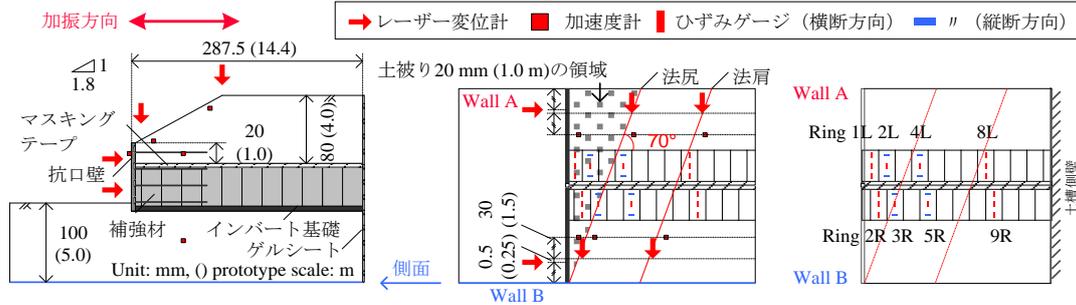


図6 実験模型と計測項目の概略図



図7 東日本大震災における坑口壁の変状 [安部・中村, 2014]



図8 実験模型の完成状態



図9 加振後の様子

非対称な変状は、このような不均一な土被りが原因で発生したものと考えられる。そこで、本実験では、図6、図8に示すように被災現場の斜角条件を再現した。

図9に加振後の模型の状態を示す。写真より坑口壁が左右非対称に変位していることが確認できる。また図10、11には、坑口壁の水平変位と盛土法戻・法肩の沈下量の経時変化を示す。図より、土被りの大きなWall Bにおいて水平変位量と沈下量が大きいことから、Wall Aに対してWall B側の盛土が大きく変形していることが想定される。

以上の結果より、カルバートが上部道路と

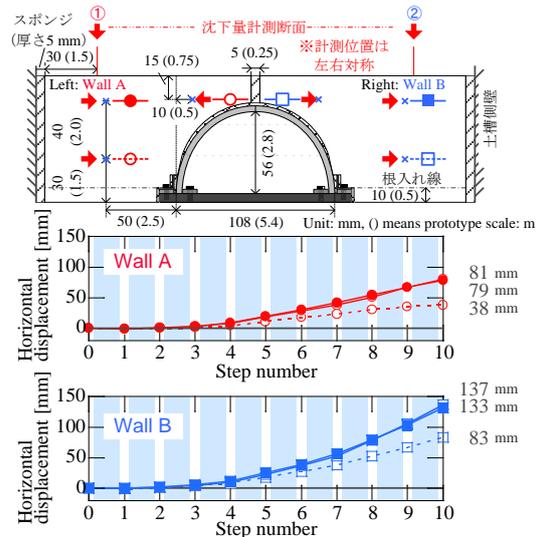


図10 坑口壁の水平変位

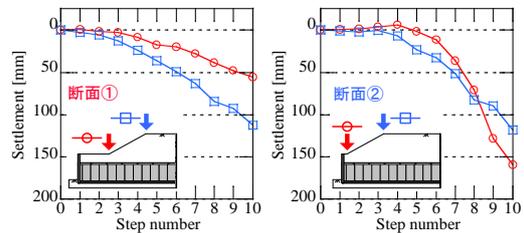


図11 盛土法戻・法肩の沈下量

一定の交差角を設けて設置される場合、縦断方向の地震動を入力すると、補強土壁に左右非対称な変状をもたらすことが再現できた。この左右非対称な変状をもたらす原因は、坑口部において不均一な土被りを設けることで、地震時に発生する慣性力の大きさも左右で非対称になるためである。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- 1) 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.

- 2) 宮崎祐輔, 澤村康生, 岸田 潔, 木村亮: 盛土内に設置されたプレキャストアーチカルバートの地震によるカルバート縦断方向の被災メカニズムの解明, 高速道路と自動車, Vol.59, No.2, pp.21-29, 2016.

[学会発表] (計 6 件)

- 1) Miyazaki, Y., Sawamura, Y., Kishida, K. and Kimura, M.: Influence of earth cover at mouth part of culvert on the seismic behavior of precast arch culverts in culvert longitudinal direction, Proc. of the 28th KKHTCNN Symposium on Civil Engineering, KU-GTE-04, Bangkok, Thailand, 2015-11.
- 2) 宮崎祐輔, 澤村康生, 岸田 潔, 木村亮: アーチカルバート縦断方向地震時挙動に及ぼす盛土形状の影響に関する遠心模型実験, 第 50 回地盤工学研究発表会, pp.1147-1148, 札幌市, 2015-9.
- 3) 宮崎祐輔, 澤村康生, 岸田 潔, 木村亮: カルバート盛土坑口部におけるカルバート縦断方向の地震時挙動に関する遠心模型実験, 第 70 回土木学会年次学術講演会, III-141, pp.281-282, 岡山市, 2015-9.
- 4) 宮崎祐輔, 澤村康生, 岸田 潔, 木村亮: 盛土形状を考慮したカルバート縦断方向の地震時挙動に関する遠心模型実験, 平成 27 年度 京都大学防災研究所研究発表講演会, 2016-2.
- 5) 宮崎祐輔, 澤村康生, 岸田 潔, 木村亮: 斜角のつくヒンジ式アーチカルバートの地震時挙動に関する遠心模型実験, 第 51 回地盤工学研究発表会, (発表決定済み)
- 6) 宮崎祐輔, 澤村康生, 岸田 潔, 木村亮: 不均一な上載荷重が作用するヒンジ式アーチカルバートの動的遠心模型実験, 第 71 回土木学会年次学術講演会, (発表決定済み)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計 0 件)
- 取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ:

<http://geomechanics.kuciv.kyoto-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

澤村 康生 (Yasuo Sawamura)

京都大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 20738223