

機関番号：14301

研究種目：基盤研究 (B)

研究期間：2009～2011

課題番号：21360224

研究課題名 (和文) アーチカルバートを含む景観性に優れた盛土構造の設計規範の構築

研究課題名 (英文) Evaluation of design method of embankment including arch culverts with harmony of landscape

研究代表者

木村 亮 (KIMURA MAKOTO)

京都大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：30177927

研究成果の概要 (和文)：本研究では、道路軸方向に連続的にアーチカルバートを含む盛土構造の提案を行う。本構造は、盛土が有する地域分断や圧迫感を解消し、橋梁より低コストで建設可能である。この構造物の安定性を論じる上でひとつの鍵となるのが、アーチカルバートの挿入間隔とアーチカルバートと間隔に充填される地盤材料との相互作用である。本研究では、遠心模型実験と動的弾塑性有限要素法を用いて、地震時のアーチカルバートの挿入間隔の影響やカルバートと盛土材料の相互作用について検討を行った。結果として、アーチカルバートのユニット間隔が広い場合は、相対的に剛性の小さい地盤の体積が増加するので、アーチカルバートを含む盛土全体の剛性が低下する。したがって、地震時には、アーチカルバートの断面力が増加し、地盤の挙動も大きくなる。

研究成果の概要 (英文)：Multi-arch culverts embankment is a new type of filling structure where several precast arch culverts are installed continuously in the direction of the road extension. The key of the successful design is to estimate the practical interval between installed arch culverts and to clarify the interactive behavior between filling material and precast structure in considering the seismic influence. In this study, dynamic centrifugal model experiments and dynamic FEM analyses have been carried out to investigate the influence of spacing between multi-arch culverts and mechanical behavior under seismic conditions has been discussed. From the results, it was found out that the case with narrow unit interval has high rigidity as a whole because the volume in the fill part where the rigidity is comparatively small decrease and bending moment of arch culvert and deformation of surrounding soil become small.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	3,500,000	1,050,000	4,550,000
2010年度	2,100,000	630,000	2,730,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
年度			
年度			
総計	7,200,000	2,160,000	9,360,000

研究分野：土木工学

科研費の分科・細目：地盤工学

キーワード：アーチカルバート、盛土、沈下、プレキャスト、地盤改良、耐震性、動的解析、景観設計

1. 研究開始当初の背景

新規道路を整備する際、盛土による地域分

断を好まないため、地域に配慮し高架橋で施工することがある。盛土に比べ高架橋は、建

設や維持管理の上で高価なものである。本研究で検討を行う構造物は、高架橋や盛土の代替となるものである。構造は、多連式アーチカルバートを複数ユニット導入し、その周囲を盛土構造とするものであり、盛土とアルバートのハイブリット構造である。技術的課題は、不同沈下とその対策、適切な構造物間隔の設定、耐震性の検討、景観設計の検討であり、本申請では、これらの課題に対して動的遠心模型や動的有限要素解析を適用し、設計規範構築のための検討を行う。

2. 研究の目的

図-1は、アーチカルバート盛土に関する課題をまとめている。これより、検討すべき課題は単一のプレキャストアーチカルバートと共通の課題と多ユニット構造特有の課題に分類することができる。

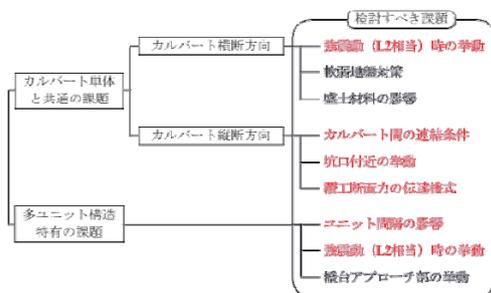


図-1 多ユニットアーチカルバート盛土に関する課題

そこで本研究では、盛土の道路軸方向と縦断方向の地震時挙動が盛土被害の大きな要因であることに着目し、単一のプレキャストアーチカルバート盛土を対象とした動的遠心模型実験を実施する。

3. 研究の方法

1) 動的遠心模型実験による盛土の道路軸方向の動的挙動の評価

本研究では、剛性土槽（長さ 450mm×高さ 300mm×奥行き 150mm）を用いて、50G 場での動的遠心模型実験を実施した。ここでは、2 種類のカルバート形状と 2 種の盛土高をパラメータとした 4 ケースについて実験を行った。覆工形状はアーチタイプとボックスタイプの 2 種類とし、盛土高についてはプロトタイプ換算で、5.0m（低盛土）、7.5m（高盛土）の 2 種類とした。また、比較のためにカルバートを含まない盛土のみの場合でも実験を行った。

本研究では、剛性土槽を用いて実験を行ったため、土槽境界からの反射波の影響を緩和するため、緩衝材として厚さ 3mm のゲルシートを側壁に貼付した(坂本ら, 2010)。模型

地盤は、地盤、盛土ともに乾燥豊浦砂を用いて気中落下法によって相対密度 85%として作製した。実験で使用したカルバート模型は、それぞれの形状に対して、高さと同径幅が同等となるようにし、珪砂 6 号：早強セメント：水=2：1：0.65 の配合のモルタルを用いて作製した。打設後は 28 日間水中で養生させ、その後気中と乾燥炉でそれぞれ 24 時間乾燥させた。

入力波はプロトタイプ 1 Hz、最大加速度約 400 gal のパルス波とし、振動台の変位を制御することで与えた。

2) 動的遠心模型実験による盛土の縦断方向の動的挙動の評価

剛性土槽（長さ 450 mm×高さ 330 mm×奥行き 300 mm）を用いて、50 G 場での動的遠心模型実験を実施した。実験対象は、壁面工を有する直盛土内にアーチカルバートを含まない場合とした。模型地盤は、地盤、盛土共に乾燥豊浦砂を用いて気中落下法によって相対密度 85 %として作製した。また、使用したアーチカルバート模型は、珪砂 6 号：早強セメント：水=2：1：0.65 の配合のモルタルを用いて作製した。壁面工は厚さ 5 mm のアクリル製のパネルを用いてモデル化し、壁面自体は一体かつ剛であると仮定した。両側の壁面パネルは、厚さ 1 mm、幅 5 mm のアルミ製の板を用いて連結し、等変位条件とした。本研究では、剛性土槽を用いて実験を行ったため、土槽境界からの反射波の影響を緩和することを目的に、加振方向に対して垂直な土槽壁面には、緩衝材として厚さ 3 mm のゲルシートを貼付した(坂本ら, 2010)。一方、加振方向に対して平行な土槽壁面については、摩擦を軽減するために、土槽壁面にプラスチックフィルムを張り付けてシリコンオイルを塗付した後、厚さ 1 mm の硬質ゴムを地盤との間に挟むようにした。本実験では、カルバート同士の連結方式、およびカルバートと壁面の連結様式をパラメータとして、表-1 に示す 4 ケースで実験を行った。入力波はプロトタイプ 1 Hz、最大加速度約 400 gal のパルス波とし、振動台の変位を制御することで与えた。

表-1 実験ケース

Case	壁面とカルバート	カルバート同士	備考
0	—	—	カルバートなし
1	分離	連結	基本ケース
2	分離	分離	連結様式の影響
3	連結	連結	坑口の処理方法の影響

4. 研究成果

① 1) 動的遠心模型実験による盛土の道路軸方向の動的挙動の評価

本研究では、カルバートの覆工形状とその

盛土高に注目して動的遠心模型実験を実施し、その地震時挙動について検討した。本研究より得られた知見は以下の通りである。①周辺地盤の最大加速度応答について、アーチカルバートは周辺地盤に追従する傾向が強く盛土のみとほぼ同様の挙動を示すが、ボックスカルバートは剛性が高いために周辺地盤の最大加速度応答が小さくなる。②盛土高を大きくすると、アーチカルバートでは軸力による支持機構を発揮し、上部の荷重は主に脚部に伝達される。一方、ボックスカルバートは側壁の軸力が増加するとともに、頂板に大きな曲げモーメントが発生する。③最大曲げモーメント発生時において、アーチカルバートでは覆工全体が扁平に変形するが、ボックスカルバートでは、脚部および肩部においてのみ曲げモーメントが増加する。

② 動的遠心模型実験による盛土の縦断方向の動的挙動の評価

図-2 に各ケースにおける壁面変位と土圧の分布を示す。Case-1 では、他のケースと比較して壁面下部の変位が大きくなるのがわかる。これはカルバートが縦断方向に一体化されているため、カルバート覆工に大きな慣性力が働き、壁面の変動が大きくなったと考えられる。その結果、変動量が大きくなった分、他のケースに比べて土圧は減少する。一方 Case-2 では壁面変位、壁面土圧ともに Case-0 とほぼ同様の傾向を示す。すなわちカルバート同士が縦断方向に分離されている場合カルバート覆工がそれぞれ独立して挙動するため、全体として壁面に与える影響は小さくなる。Case-3 では、壁面とカルバートが連結されているために壁面の動きが拘束され、初期の壁面変位はほとんど発生しないが、その後は Case-1 と同様の挙動を示す。縦断方向の断面力の変化に関しては、Case-1 では縦断方向について圧縮および引っ張りが交互に生じるのに対し、Case-2 では引っ張力はほとんど発生しないことがわかる。特に Case-1 における②の覆工において大きな断面力が発生している。両脚部の断面力に着目すると Case-1 では Case-2 に対して縦断方向の変動が大きいことがわかる。一方、壁面とカルバートを連結させた Case-3 では、他のケースと比較して、カルバート頂部において比較的大きな断面力が発生している。これは、壁面土圧による押出力の影響が作用したのだと考えられる。

結果として、カルバート同士の連結に関しては、壁面変位に着目すると、カルバート同士が一体化された場合の方が、分離されている場合と比較して、壁面の変動が大きくなる。一方、カルバートに発生する断面力では、一体の場合は圧縮および引っ張りが交互に生じるのに対し、分離されている場合では引っ張

力はほとんど発生しない。また、坑口の処理方法に関しては、壁面とカルバートが連結されている場合、壁面の動きが拘束され壁面変位が小さくなるが、分離されている場合に対して、壁面土圧による押出力の影響から頂部の断面力にも注意を払う必要がある。

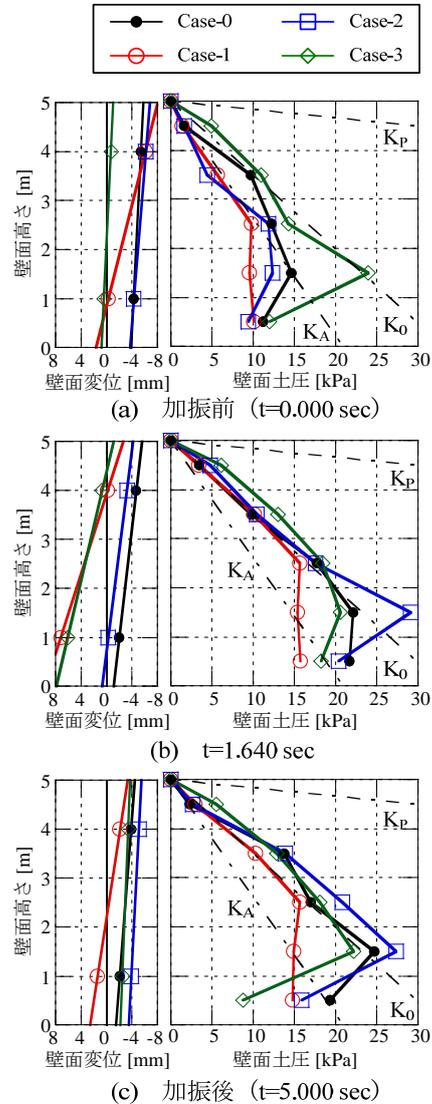


図-2 壁面変位と土圧分布の関係

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3件)

- ① 澤村康生, 岸田潔, 木村亮, 小高武: 多ユニットアーチカルバート盛土の動的挙動に関する遠心模型実験, 地盤工学ジャーナル, Vol.6, No.2, 201-212, 2011.
- ② Sawamura, Y., Kishida, K. Kimura, M.: Numerical approach on dynamic interactive behavior between embankment and installed

multi-arch culverts, Proc. of the 13th Int. Conf. on Computer Methods and Advanced in Geomechanics, Melbourne, pp. 798 – 803, 2011. (査読有)

- ③ 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮, 小高 武 : 多ユニットアーチカルバート盛土の耐震安定性に関する動的遠心模型実験, 第55回地盤工学シンポジウム平成22年度論文集, pp.141 - 146, 2010. (査読有)

[学会発表] (計 14 件)

- ① Sawamura, Y., Kishida, K. and Kimura, M.: Numerical study on dynamic interaction between consecutive culverts and filling in multi-arch culverts embankment, Proceedings of the twenty-fourth KKCNN Symposium on civil engineering, pp. 435 – 438, 2011.
- ② Arai, T, Sawamura, Y, Kishida, K. and Kimura, M.: Behavior of culvert embankment in dynamic centrifuge model test, Proceedings of the twenty-fourth KKCNN Symposium on civil engineering, pp. 353 – 356, 2011.
- ③ 多賀達夫, 岩崎喬夫, 小高 武, 木村 亮, 岸田 潔 : 動的FEM解析による連続アーチカルバートを含む盛土構造の安定性に関する検討, トンネル工学報告集, 第21巻, 土木学会トンネル工学委員会, pp. 435 - 440, 2011, 11.
- ④ 久保田伸一, 大村宏幸, 井上 晋, 木村 亮, 岸田 潔 : 2ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの継手性能確認実験に関する報告, トンネル工学報告集, 第21巻, 土木学会トンネル工学委員会, pp. 423 - 428, 2011, 11.
- ⑤ 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮 : 連続プレキャストアーチカルバート盛土のユニット間隔と耐震性に関する数値解析, 土木学会第66回年次学術講演会, I-466, pp.931 - 932, 2011.
- ⑥ 荒居旅人, 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮 : カルバートを含む盛土の地震時挙動に関する遠心模型実験, 土木学会第66回年次学術講演会, I-465, pp.929 - 930, 2011.
- ⑦ 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮 : 連続プレキャストアーチカルバート盛土のユニット間隔に関する動的遠心模型実験と数値解析, 第46回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1111 - 1112, 2011.
- ⑧ Sawamura, Y., Kishida, K. and Kimura, M. : Dynamic centrifuge model test of multi-arch culverts embankment, Proceedings of the twenty-third KKCNN Symposium on civil engineering, pp. 391 – 394, 2010.
- ⑨ 長屋淳一, 小高 武, 大村宏幸, 岸田 潔

, 横峯正二 : 計測による多ユニットアーチカルバートの応力・変形挙動の評価, トンネル工学報告集第20巻, pp. 373 - 379, 2010.

- ⑩ 澤村康生, 木村 亮, 岸田 潔, 小高 武, 大村宏幸 : 連続プレキャストアーチカルバート盛土の耐震安定性に関する動的遠心模型実験, 土木学会第65回年次学術講演会, I-404, pp.807 - 808, 2010.
- ⑪ 澤村康生, 岸田 潔, 木村 亮 : 連続プレキャストアーチカルバート盛土のユニット間隔に関する動的遠心模型実験, 第45回地盤工学研究発表会講演集, pp. 1413 - 1414, 2010.
- ⑫ Tatsuta, Y., Kishida, K. and Kimura, M. : Experimental study on stability of embankment including precast arch culverts constructed on soft ground, Proceedings of the 22nd KKCNN Symposium on Civil Engineering, pp. 421 – 426, 2009.
- ⑬ 立田安礼, 岸田 潔, 木村 亮 : 軟弱地盤上に設置する多ユニットアーチカルバートの沈下抑制に関する実験的研究, 土木学会第64回年次学術講演会, III-482, pp. 963 - 964, 2009, 9.
- ⑭ 澤村康生, 崔 瑛, 岸田 潔, 木村 亮 : 連続アーチカルバート盛土における橋台とアーチカルバートの間隔に関する解析的検討, 土木学会第64回年次学術講演会, I-478, pp. 955 - 956, 2009, 9.

6. 研究組織

(1)研究代表者

木村 亮 (KIMURA MAKOTO)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 30177927

(2)研究分担者

岸田 潔 (KISHIDA KIYOSHI)
京都大学・大学院工学研究科・准教授
研究者番号 : 20243066
川崎雅史 (KAWASAKI MASASHI)
京都大学・大学院工学研究科・教授
研究者番号 : 20195077
稲積真哉 (INAZUMI SHINYA)
京都大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号 : 90362459