

道路政策の質の向上に資する技術研究開発

【研究終了報告書】

①研究代表者	氏名 (ふりがな)	所属		役職
	木村 亮 (きむら まこと)	京都大学大学院 工学研究科		教授
②研究 テーマ	名称	大型実験および数値解析による連続アーチカルバート盛土の設計規範の構築に関する研究		
	政策 領域	[主領域] 【領域4】	公募 タイプ	タイプⅡ
		[副領域] 【領域5】		
③研究経費 (単位:万円)	平成24年度	平成25年度	平成26年度	総合計
※端数切り捨て。	1,098	2,313	1,181	4,592
④研究者氏名	(研究代表者以外の研究者の氏名、所属・役職を記入下さい。なお、記入欄が足りない場合は適宜追加下さい。)			
氏名	所属・役職 (※平成27年3月31日現在)			
井上 晋	大阪工業大学・教授			
岸田 潔	京都大学・准教授			
長屋 淳一	(株)地域地盤環境研究所・取締役			
澤村 康生	京都大学・助教			
⑤研究の目的・目標	(提案書に記載した研究の目的・目標を簡潔に記入下さい。)			
<p>高規格道路を建設する際には、機能上の理由により盛土や高架橋によって他の道路や鉄道などと立体交差させて分離する必要がある。ここで、盛土は地域を分断し、高架橋は盛土に比べて建設・維持管理が高価であるという問題がある。そこで申請者らは、盛土内に複数のアーチカルバートを設置した新しい盛土構造を提案し、その実用化を目指している。</p> <p>提案する構造は、柔なアーチカルバートを連続的に含むものであり、地震時のカルバートと盛土の動的挙動、相互作用を解明する必要がある。そこで本研究では、振動実験（大型振動台、遠心模型実験）と数値解析、現場計測およびプレキャストカルバートの継手試験を実施し、アーチカルバートを複数含む盛土構造の損傷形態と地震時要求性能を解明し、耐震性を考慮した設計規範の確立を目指す。</p>				

⑥これまでの研究経過・目的の達成状況

図-1に本研究における計画案と研究実施体制・進捗状況を示す。大型振動台実験をはじめとする多岐にわたる実験と数値解析を実施し、本工法における力学的特性を把握することができた。さらに、産官学の枠組みの中で継続的に議論を重ね、本工法における設計規範の構築を行った。

(1)遠心模型実験とその数値解析(担当:木村, 岸田, 澤村):[目標を達成できた]

- カルバート横断方向について、構造形式と盛土高さによる動的挙動の差異を確認した。
- カルバート縦断方向について、当初計画していた実験はH24年度に全て実施し、H25年度は新たなケースを追加した。これらにより、坑口の処理方法について知見を得た。

(2)大型振動台実験とその数値解析(担当:木村, 井上, 岸田, 長屋, 澤村):[目標を達成できた]

- 計5回の大型振動台実験を実施し、強地震時における損傷形態を把握した。
- 大型振動台実験の再現解析を実施するとともに、地中構造物の設計に用いられる応答変位法による解析を行い、実験における損傷進展過程を表現可能であることを確認した。

(3)カルバート構造形式の検討(担当:木村, 井上, 岸田, 長屋):[概ね目標を達成できた]

- 継手部の性能試験より、ヒンジとして機能する限界値を確認した。
- 現場計測により、アーチカルバートの設計においては、沈下および不同沈下の許容値を設定する必要があることを確認した。

(4)結果の総括的とりまとめ(担当:木村, 井上, 岸田, 長屋, 澤村):[目標を達成できた]

- 産官学の継続的な取り組みにより、本研究の成果として設計規範を取りまとめることができた。

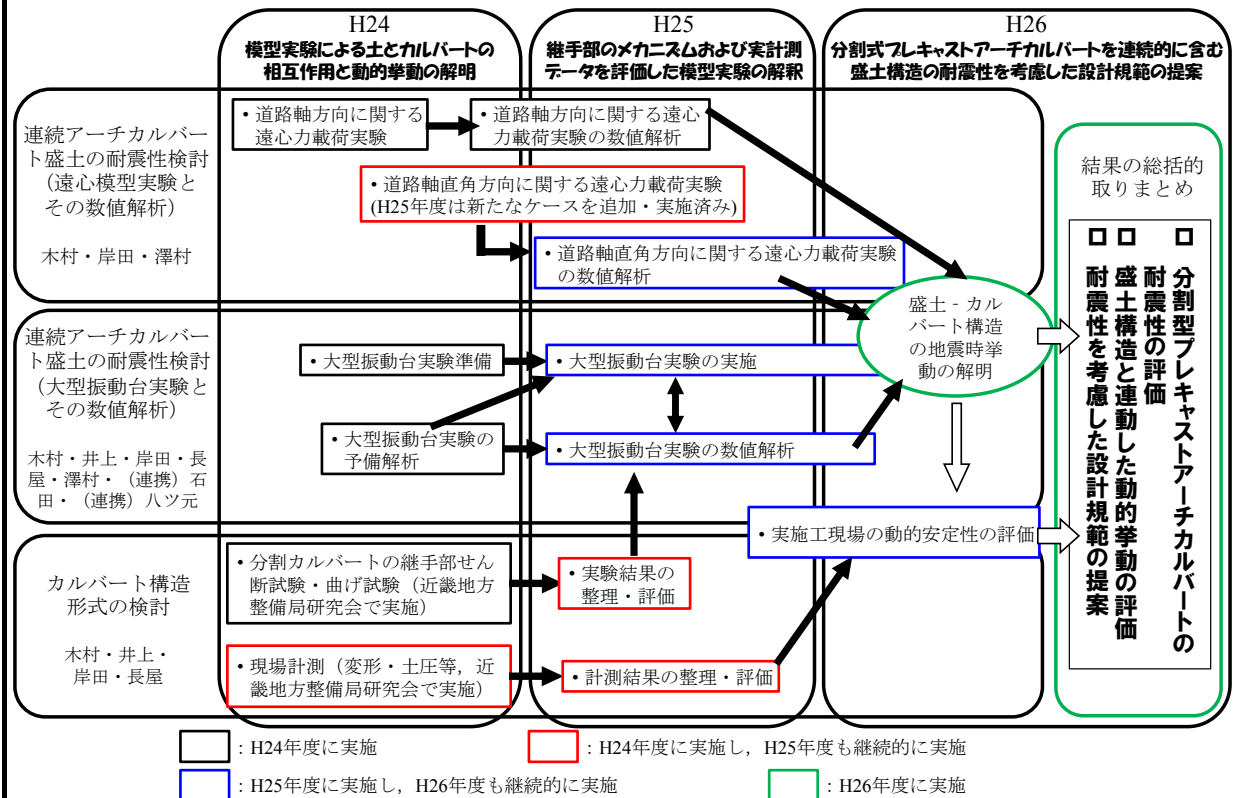


図-1 本研究における計画案と研究実施体制・進捗状況

⑦中間・FS評価で指摘を受けた事項への対応状況

【平成24年度】

<中間評価結果:A>

現行のとおり推進することが妥当と評価する。

<参考意見>

1. 過去の研究や他部門での研究，そして本研究の成果を踏まえ，連続アーチカルバート盛土の設計規範として何が重要ポイントか整理しておくこと。

<対応状況>

・参考意見 1 に対する対応:

プレキャスト製のアーチカルバートに関して，過去に行われた研究成果の整理を実施し，大型振動台実験の条件設定・計測計画の参考とした。さらに，連続アーチカルバートはその形状が橋梁構造に似ていることから，橋梁における設計法について調査した。特に，径間の不同沈下に関する考え方は，最終年度に取りまとめた設計規範においても記載することとした。

【平成25年度】

<中間評価結果:A>

研究の進展に伴う課題も明確化され，今後の研究計画に適切に反映されており，現行のとおり推進することが妥当と評価する。

<参考意見>

1. 実験と並行して，数値解析も精力的に進めていただきたい。
2. 実験と解析の比較が，設計基準の提案で重要であると考えるので，その内容を記述していただきたい。
3. 設計規範の提案にあたっては，適用範囲や留意事項などについても盛り込んでいただきたい。

<対応状況>

・参考意見1,2 に対する対応:

遠心模型実験(カルバート横断方向・縦断方向)，大型振動台実験(カルバート横断方向)に対して再現解析を実施し，実験結果との相互補完を行った。特に大型振動台実験に関する数値解析においては，実験の再現解析だけでなく，応答変位法による検討も実施し，従来から用いられている応答変位法などの静的照査法を用いても，強地震時におけるプレキャストアーチカルバートの損傷進展過程を再現可能であることを確認した。

・参考意見 3 に対する対応:

H24, 25年度に実施した現地調査と現場計測より，プレキャスト製のカルバートは，偏土圧が作用する場合など，設計における前提が成り立たない条件下において不具合を起こす可能性が高くなることを確認した。この点を踏まえて設計規範の提案に際しては，産官学連携の議論のもと，適用範囲や設計・施工上の留意点についても盛り込むことができた。

③研究成果

(1) 遠心模型実験とその数値解析(担当:木村, 岸田, 澤村)

【カルバート横断方向に対する検討(H24年度に実施)】

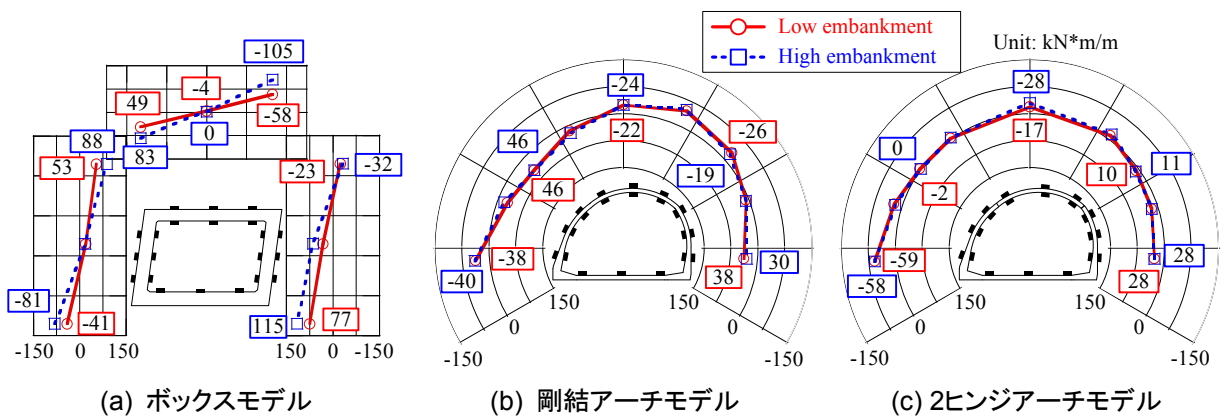
カルバートの構造形式と盛土高がカルバート構造物の地震時挙動に与える影響を明らかにするために、遠心力50 G場における動的遠心模型実験とその数値解析を実施した。実験では、写真-1に示す3種類の模型を作製した。

遠心実験と数値解析より、各構造形式と盛土高に関する基本的な動的挙動を確認した。特に連続アーチ盛土に用いられるヒンジ式のアーチカルバートについては、盛土高によらず地震時の曲げモーメント増分は一定であること(図-2)、盛土高が大きくなると拘束圧によりヒンジ機能が抑制されることを確認した(図-3)。



(a) ボックスモデル (b) 剛結アーチモデル (c) 2ヒンジアーチモデル

写真-1 実験で用いたカルバート模型



(a) ボックスモデル (b) 剛結アーチモデル (c) 2ヒンジアーチモデル

図-2 各構造形式に働く曲げモーメント増分の分布

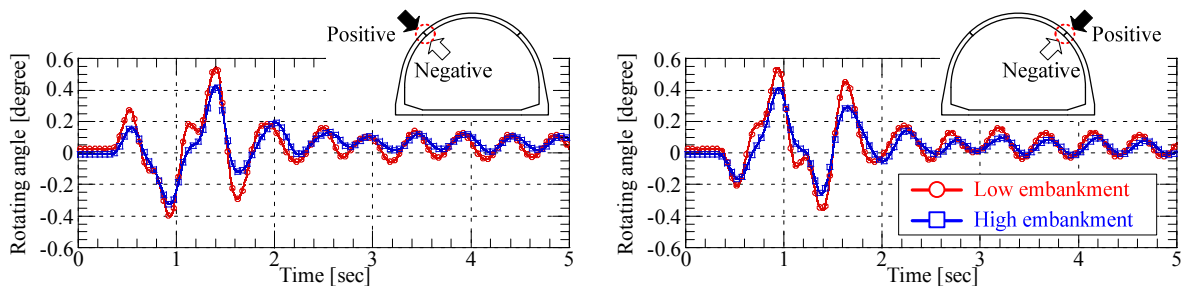


図-3 2ヒンジアーチモデルにおけるヒンジ部の回転角の時刻歴

⑨研究成果（つづき）

【カルバート縦断方向に対する検討（H24、25、26年度に実施）】

カルバート縦断方向の耐震性については、カルバートの被災事例の主たる方向であるにも関わらず、地震で被害を受けた場合には復旧を行えばよいとの認識から、十分に検討が行われていない。そこで本研究では、カルバート縦断方向の耐震性に関する基礎データの収集と地震時要求性能の明確化を目的に、カルバート間の連結様式および坑口付近の挙動に着目した遠心模型実験とその数値解析を実施した。図-4、図-5には、H25年度に実施した遠心模型実験の概略図と実験ケースをそれぞれ示す。本実験では、縦断方向のカルバートの連結の有無をパラメータとした。本研究により得られた主な成果は以下の通りである。

- 1) カルバート間を連結した場合には、カルバート間の目地の開きを抑制するだけでなく、カルバート同士が分離されている場合に比べて壁面変位も小さくなる（図-6）。
- 2) カルバートリング同士が分離されている場合、盛土全体の挙動に追従してカルバートリングそれぞれが前傾あるいは後傾を繰り返す（図-7）。その過程で、上載荷重や接地圧のバランスが崩れ、カルバートに大きな曲げモーメントが発生する。
- 3) カルバート直上の土被りが大きい場合には、カルバートの拘束圧が大きくなることで、カルバート同士の連結の有無による影響が小さくなる。したがって、坑口付近には一定以上の土被りを有している方が構造体として安定する。

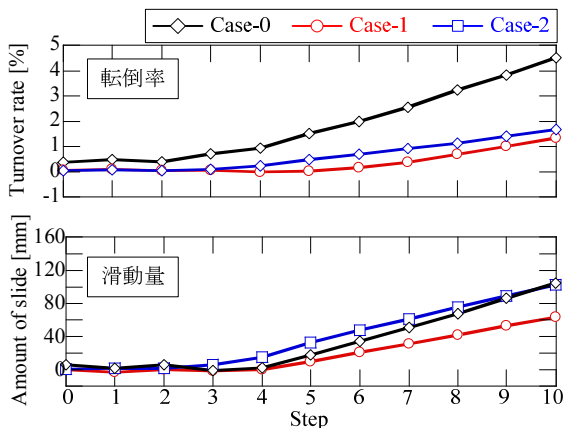
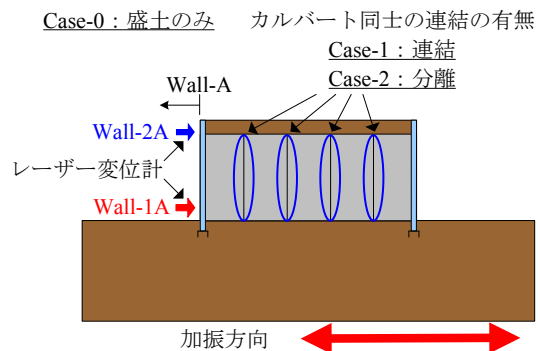
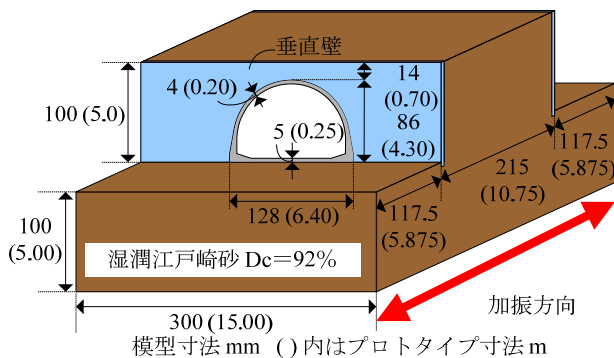
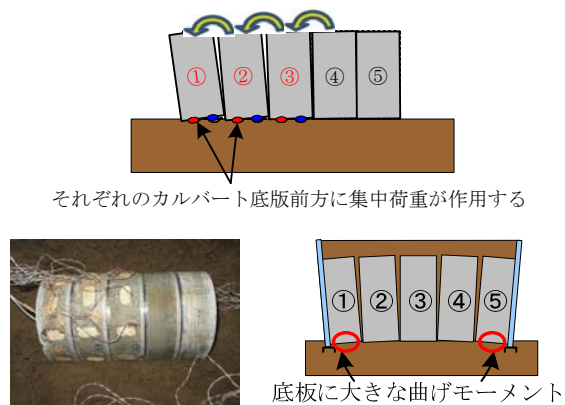


図-6 壁面の転倒率と滑動量



⑧研究成果（つづき）

(2)大型振動台実験とその数値解析(担当:木村, 井上, 岸田, 長屋, 澤村)[目標を達成できた]

【大型振動台実験と数値解析（H24, 25, 26年度）】

本研究では、京都大学防災研究所所有の強震応答実験装置を用いて、研究期間内に計5回の大型振動台実験を実施した（2ヒンジタイプ：3回，3ヒンジタイプ：2回）。

ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートにおいて、地震時に最も懸念されることはヒンジの逸脱による全体構造の崩壊である。本研究では、強地震時にこのような被災形態となるのかということの主たる目的とし、RCで作製した大型カルバート模型を用いて振動実験を行った。さらに、模型地盤作製時におけるカルバートの内空変位や作用土圧を計測し、設計との比較を行った。本研究により得られた成果は以下の通りである。

- 1) ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートは、部材の変形をある程度許容することで周囲の地盤から積極的に地盤反力を引き出し安定する構造物である。そのため、設計においては盛土高さに応じて図-8(a)に示すような変形挙動をすることを考えられている。本研究で行った盛土施工過程の計測より、盛土高さが天端以上になった際には、カルバート全体が扁平に変形し、側方の水平土圧が静止土圧よりも大きくなることを確認した(図-8(c))。これは設計における想定通りの挙動である。
- 2) 地盤のせん断ひずみが7%を超えるような条件では、コンクリートの表面に無数のクラックが発生し、鉄筋には降伏ひずみの2倍以上のひずみが発生する(写真-2)。しかしながら、加振中にヒンジ部が先行して逸脱し、カルバート全体が崩壊するようなことはない(写真-3)。

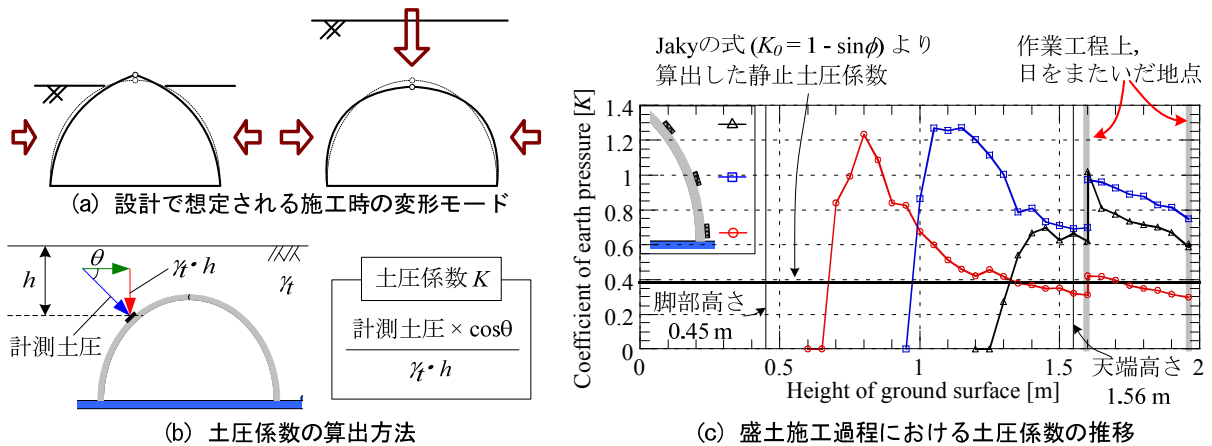


図-8 盛土施工過程における変形挙動



写真-2 加振後のひび割れの状況

写真-3 加振後のヒンジ部の様子

⑨研究成果（つづき）

- 3) カルバートは加振による損傷に伴って、内空幅は狭まり、内空高さは広がり、天端ヒンジは盛土側に変形することが明らかとなった(図-9, 10). カルバートのような地中構造物では、橋梁などと比較して地震後の損傷状況が確認しにくいことが課題とされているが、地震後にカルバートの内空変位を計測することで、地震時による被災状況を推定できる可能性があることが明らかになった. 本研究成果は維持管理の視点から重要な知見である.
- 4) 本研究で用いた解析モデルにより、地震時の挙動を精度よく再現可能であることを確認した(図-11). また、周辺地盤に強制変位を与える静的解析を用いた場合、本体断面にヒンジ機能を有するヒンジ式のプレキャストアーチカルバートであっても、その損傷進行過程を表現可能であることを確認した(図-12, 13, 14). したがって、同構造の耐震設計を行う際には、静的解析による照査法が有効な手法となると考えられる.

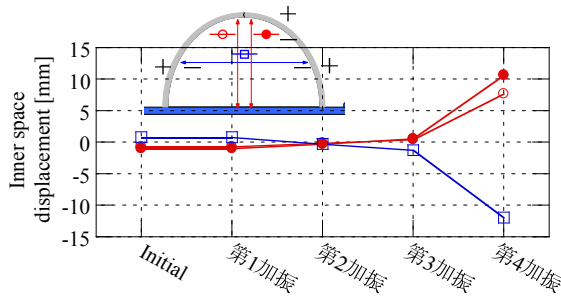


図-9 内空変位の推移

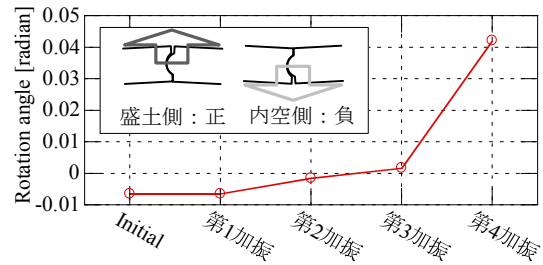


図-10 天端ヒンジの回転角の推移

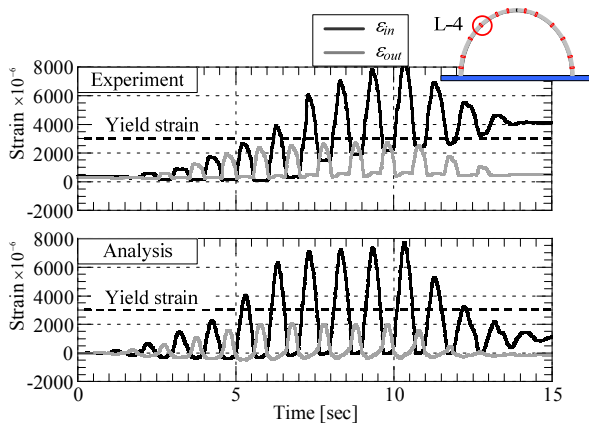


図-11 鉄筋ひずみの時刻歴(実験と動的解析)

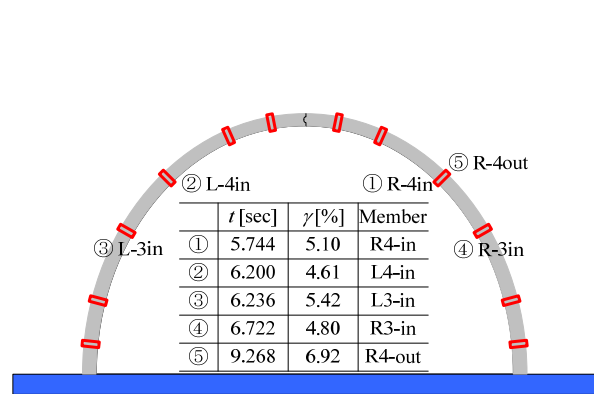


図-12 鉄筋の損傷進行過程(振動台実験)

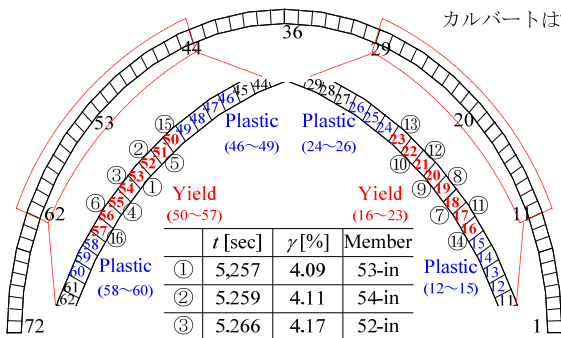


図-13 鉄筋の損傷進行過程(動的解析)

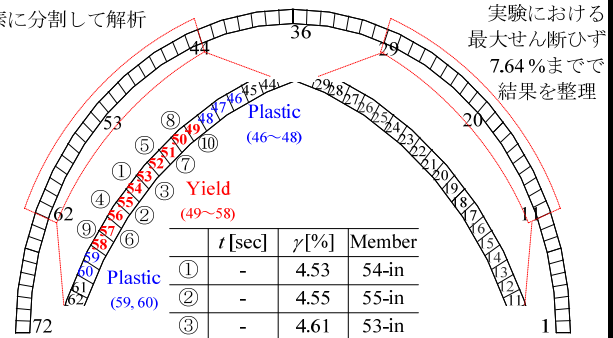


図-14 鉄筋の損傷進行過程(静的解析)

⑧研究成果（つづき）

【(3)カルバート構造形式の検討(担当:木村, 井上, 岸田, 長屋) |概ね目標を達成できた】

【継手部の性能試験(H24, 25年度)】

ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートは、本体にヒンジ機能を有することが最大の特徴であるが、ヒンジ部に求められる性能や限界状態については必ずしも明確になっていなかった。そこで本研究では、継手単体における曲げおよびせん断試験(図-15)を実施し継手部における性能を確認した。

図-16に継手部を外空側(正方向)および内空側(負方向)に回転させた場合の継手部の回転角と継手部に発生する曲げモーメントの関係を示す。図より、負方向でも0.08 rad(約4.6 deg)までは過大な回転剛性をとらないことが確認できる。図-16より、両方向の回転剛性をそれぞれバイリニア型にモデル化し、実物大の断面について肩部をヒンジ構造、実験から得られた回転剛性を有するモデル、剛構造、とした場合について解析を実施した。その結果、実験より得られた回転剛性をを用いた場合でも、肩部をヒンジ構造とした場合との差はわずかであることを確認した。以上のように、本研究と同様の性能試験を実施することで、継手部の特性を適切に評価可能であることを確認した。



図-15 継手部の曲げ試験

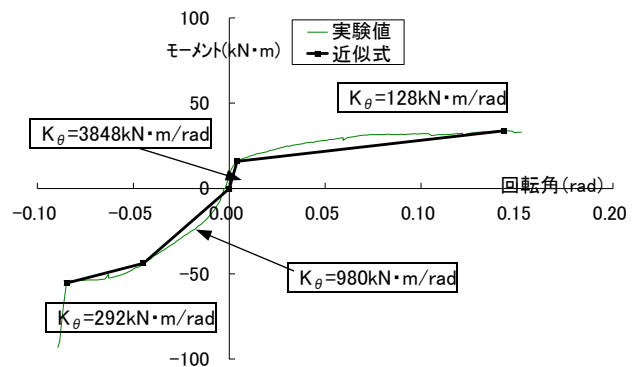


図-16 継手部の回転剛性

【現場計測および現地調査(H24, 25年度)】

平成24年度の現場計測において、アーチカルバートを設置する基礎地盤に軟弱地盤が存在する場合は、表層の地盤を改良しても盛土荷重により沈下が発生し、特に2連型のアーチカルバートを設置した場合にはセンターピアとサイドウォール脚部で不同沈下が生じ、底版の断面力が大きくなることを確認した。

平成25年度は、上記の知見を踏まえて軟弱地盤上に設置された1連型のアーチカルバートについて現地調査を実施した。その結果、1連型のアーチカルバートにおいても、両脚部と底板中央で不同沈下が発生した場合については、断面力の増加により部材にひび割れが発生することを確認した。さらに、縦断方向に対して盛土高さが変化している場合、その影響を強く受けることも確認した。平成24年、25年の現場計測結果より、ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートの設計においては、沈下および不同沈下の許容値を設定する必要があることを確認した。

以上の点を踏まえ、設計規範の構築に際しては、基礎地盤について、基礎の強度(N値や地盤反力係数)だけでなく不同沈下に対する検討も実施し、構造体として余裕度を持たせた設計にすることを提案した。

⑧研究成果（つづき）

(4) 結果の総括的とりまとめ(担当:木村, 井上, 岸田, 長屋, 澤村)|目標を達成できた|

【カルバートを含む盛土構造に対する設計規範の構築(H26年度)】

設計規範の構築に向けては、後述する公開ワークショップをはじめ、公開実験とその報告会を通じて産官学の枠組みの中で十分な議論を行った。最終的には、個々の研究成果を論文として公表するだけでなく、適用範囲や留意点を含めて取りまとめることが出来た。

設計規範の内容として、特に以下の点が重要であるとした。

① ヒンジ部に求められる要求性能の明確化

ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートの設計においては、ヒンジ部は完全なヒンジとしてモデル化が行われている。しかしながら、実際にはいくらかの回転剛性を有しており、さらにその回転剛性が担保される限界がある。したがって、今後の設計においては、ヒンジ部分の性能と限界状態について、しかるべき方法により試験をする必要がある。本研究では、ヒンジ部の曲げ試験およびせん断試験を実施し、ヒンジ機能について確認を行うとともに、ヒンジ部の性能を照査する具体的な方法についても示した。

② 施工時および供用中(常時)の安定性に関する考え方

本研究における大型振動台実験において、水平土圧係数については設計で想定している通りの挙動を確認した。しかしながら、2連型のカルバートを対象に行った現場計測では、基礎地盤の沈下により鉄筋の許容応力を超えるなど不具合が発生した。これまで基礎地盤については、N値や地盤の強度に関する規定はあったものの、基礎部分の不同沈下量に関する規定は存在しなかった。そこで設計規範では、橋梁における径間の不同沈下量の検討例を参考に、新たに不同沈下に関する検討についても提案した。

③ 地震時の安定性に関する考え方

・カルバート縦断方向に関するカルバート同士の連結方法および坑口付近の土被りについて

ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートは、縦断方向に幅1~2 m程度のRC部材を連続して設置する工法であるため、各部材間の連結方法が同方向の耐震性に与える影響が大きい。これまでは、縦断方向の連結に関する具体的な指針が存在せず、各工法が独自の設計・施工法がとられてきた。本研究により目地の開きを抑制するという点からは、カルバートを縦断方向に連結する方が有利であると考えられる。また、カルバートの土被りが大きい場合、拘束圧が大きくなることでカルバートの挙動が安定することから、特に坑口壁周辺には、一定以上の土被りを有する構造とすることが望ましい。

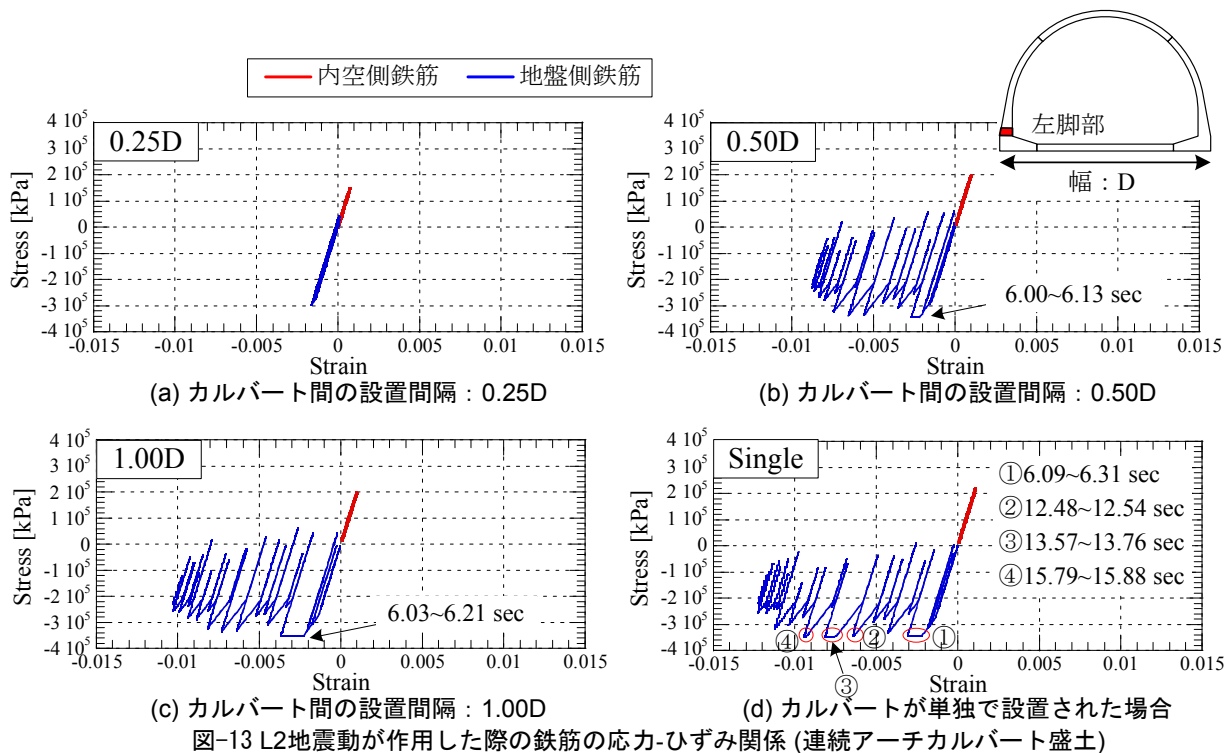
・カルバート横断方向の挙動と設計方法

ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートにおいて最も懸念されることは、地震時にヒンジ部が逸脱し、カルバート全体が崩壊することである。しかし、本研究の範囲内では、十分な支持力を有する基礎地盤上に適切に施工されたヒンジ式のプレキャストアーチカルバートでは、地盤に数%を超えるせん断ひずみが発生しているような場合においても、ヒンジ部から先行的に破壊し、カルバート全体が崩壊する可能性は低いことが明らかとなった。また、数値解析による検討により、応答変位法に代表される静的照査法を用いても、カルバートの損傷過程を一定の精度で再現可能であるこ

とが明らかとなった。したがって、カルバート横断方向の設計を行う際には、これまで地中構造物に対して用いられてきた、応答変位法、応答変位法などの静的照査方法による適用が可能であると考えられる。ただし、耐震性の検討を行う際には、事前にヒンジ部の性能や挙動を実験等により確認し、その挙動(回転剛性など)が適切に表現可能である解析モデルを用いる必要がある。

・連続アーチカルバート盛土の耐震性について

本研究において実施した数値解析による検討では、一定間隔でカルバートが無限に設置されている場合には、その設置間隔が狭い方がカルバートと地盤を含む全体の剛性が高くなるため、カルバートに発生する断面力や変形が小さくなることが明らかとなった(図-13)。したがって、このような条件では、単独で設置された場合が最も厳しい条件となるため、単独で設置された場合を対象に耐震性の検討を行えばよいことを確認した。しかしながら、実構造を考えた場合には、連続アーチカルバート盛土の端部に設置されたカルバートには、左右から偏土圧が作用することが予想され、これにより挙動が大きく変化することが予想される。したがって、現状においては、単独で設置された場合の耐震性の照査に加えて、動的照査法による耐震性の検討を標準とするのが望ましい。



⑨研究成果の発表状況

【平成 24 年度】(全 6 編)

代表論文:

- 1) 澤村康生, 岸田 潔: 盛土内に設置されたカルバートの構造形式と地震時挙動に関する研究, 平成 24 年度近畿地方整備局研究発表会, 調査・計画・設計部門 No.23, 2012-7. 【優秀賞】

内訳: 25th KKCNN Symp. on Civil Engineering (1 編), 平成 24 年度近畿地方整備局研究発表会 (1 編), 土木学会第 67 回年次学術講演会 (1 編), 京都大学防災研究所発表講演会 (1 編), 2nd Int. Conf. on transportation Geotechnics (1 編), 6th International Workshop on New Frontiers in Computational Geotechnics (1 編)

【平成 25 年度】(全 9 編)

代表論文:

- 2) Sawamura, Y., Kishida, K. and Kimura, M.: Centrifuge Model Test and FEM Analysis of Dynamic Interactive Behavior between Embankments and Installed Culverts in Multiarch Culvert Embankments, International Journal of Geomechanics, ASCE, 2013-9.
- 3) Sawamura, Y., Kishida, K. and Kimura, M.: Dynamic behavior of multi-arch culverts embankment considering the installation interval of consecutive arch culverts, Proceedings of the 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, pp.1591-1594, 2013-9.
- 4) 澤村康生, 荒居 旅人, 岸田 潔, 木村 亮: 壁面工を有する盛土内に設置されたアーチカルバートにおける縦断方向の地震時挙動に関する遠心模型実験, 地盤工学ジャーナル, Vol.9(1), pp.41-57, 2014-3.

内訳: ASCE International Journal of Geomechanics (1 編), 18th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering (1 編), 地盤工学ジャーナル (1 編), 26th KKCNN Symp. on Civil Engineering (2 編), 第 48 回地盤工学研究発表会 (1 編), 土木学会第 68 回年次学術講演会 (2 編), 8th International Conference on Physical Modelling in Geotechnics (1 編)

【平成 26 年度】(全 11 編)

代表論文:

- 5) 澤村康生, 並川卓矢, 岸田 潔, 木村 亮: 強震応答実験装置を用いた 2 ヒンジプレキャストアーチカルバートに対する振動実験, 第 49 回地盤工学研究発表会発表論文集, 地盤工学会, pp.1057-1058, 2014-7. 【優秀賞】
- 6) 澤村康生, 石原央之, 岸田 潔, 木村 亮: 強震応答実験装置を用いた 3 ヒンジプレキャストアーチカルバートの振動実験, 第 59 回地盤工学シンポジウム論文集, pp.207-214, 2014-11.
- 7) Sawamura, Y., Kishida, K. and Kimura, M.: Evaluation of Dynamic behavior of culverts and embankments through centrifuge model tests and a numerical analysis, Proc. of the 14th IACMAG, pp.743-748, Kyoto, 2014-9.

内訳: 14th International Conference of the International Association for Computer Methods and Recent Advances in Geomechanics (1 編), 27th KKCNN Symp. on Civil Engineering (2 編), 第 55 回地盤工学シンポジウム (1 編), 第 49 回地盤工学研究発表会 (3 編), 土木学会第 69 回年次学術講演会 (3 編), 京都大学防災研究所発表講演会 (1 編)

【平成 26 年度】(全 7 編: 発表予定(発表決定済み)を含む)

代表論文:

8) 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, 2015-5.

【優秀賞】

9) 澤村康生, 石原央之, 岸田 潔, 木村 亮: 動的および静的解析による 3 ヒンジアーチカルバートの損傷進展過程の検討, 第 70 回年次学術講演会, 2015. (発表予定)

10) 澤村康生, 石原央之, 岸田 潔, 木村 亮: 強地震時における 3 ヒンジプレキャストアーチカルバートの損傷形態に関する実験的検討, 第 49 回地盤工学研究発表会, 2015. (発表予定)

内訳: 平成 27 年度土木学会関西支部年次学術講演会 (1 編), 第 50 回地盤工学研究発表会 (2 編), 土木学会第 70 回年次学術講演会 (2 編), 国際地盤工学会第 15 回アジア地域会議 (2 編)

⑩研究成果の社会への情報発信

(1) 京都大学防災研究所における公開実験(大型振動台実験)と結果報告会

下記の通り、強震応答実験装置を用いた大型振動台実験を公開実験として実施した。

- ✓ 第1回 大型振動台実験(2ヒンジ)(加振:2013年 8月29日, 参加者:20名)
⇒第1回報告会(2013年10月1日)
- ✓ 第2回 大型振動台実験(2ヒンジ)(加振:2013年11月14日, 参加者:25名)
⇒第3回実験後に報告会を実施
- ✓ 第3回 大型振動台実験(3ヒンジ)(加振:2014年 2月27日, 参加者:25名),
⇒第3回実験後に報告会を実施
- ✓ 第4回 大型振動台実験(3ヒンジ)(加振:2014年 9月26日, 参加者:30名)
⇒下記, 第1回ワークショップにて結果を報告
- ✓ 第5回 大型振動台実験(2ヒンジ)(加振:2014年12月11日, 参加者:30名)
⇒下記, 第2回ワークショップにて結果を報告

(2) カルバート構造を含む盛土構造物の動的挙動に関する公開ワークショップ

下記の通り、カルバート構造を含む盛土構造物の耐震性について、公開ワークショップを2回実施した。ワークショップでは、本研究での成果を発表するとともに、産官学連携で設計規範の構築に向けた活発な議論が行われた。

<第1回ワークショップ_参加者:20名>

日時: 2014年12月12日(金) 13:00~17:00

場所: 京都大学時計台100周年記念館

プログラム:

- 13:00 ~ 開会
- 13:10 ~ 遠心力場における動的模型実験(京都大学 澤村 康生)
- 13:40 ~ カルバートと盛土の強震応答振動台における模型実験(京都大学 岸田 潔)
- 14:10 ~ 道路構造物を取りまく現状とアーチカルバートの課題(土木研究所 石田 雅博)
- 15:00 ~ 休憩
- 15:10 ~ 2ヒンジカルバートの設計・施工の現状(モジュラーチ工法協会 藤原 慎八)
- 15:30 ~ 3ヒンジカルバートの設計・施工の現状(日本テクスパン協会 瀬戸 英俊)
- 16:00 ~ パネルディスカッション:設計規範の構築を目指して
- 17:00 ~ 閉会

<第2回ワークショップ_参加者:20名> ……研究期間終了後に、本研究成果の報告として実施した。

日時:2015年 3月13日(金) 13:00~17:00

場所:土木研究所 ICHARM講堂

プログラム:

13:00～ 開会

13:10～ 2ヒンジカルバートに対する大型振動台実験(京都大学 澤村 康生)

14:10～ 3ヒンジカルバートに対する大型振動台実験(京都大学 岸田 潔)

15:00～ 休憩

15:10～ アーチカルバートに対する正負交番載荷試験(土木研究所 篠原 聖二)

16:00～ 研究のとりまとめ報告およびディスカッション:設計規範の構築を目指して

17:00～ 閉会

(3) 学外技術展示会での展示

下記の通り、学外の技術展示会にて研究成果の展示を実施した。

- ✓ 建設技術展2013近畿(開催日時:2013年10月30日～31日)
- ✓ ハイウェイテクノフェア2013(開催日時:2013年11月7日～8日)
- ✓ 建設技術展2014近畿(開催日時:2014年10月29日～30日)
- ✓ 建設技術展2015近畿(開催日時:2015年10月28日～29日) <展示予定>
- ✓ ハイウェイテクノフェア2015(開催日時:2015年11月25日～26日) <展示予定>

(3) 研究代表者の所属研究室ホームページ<<http://geomechanics.kuciv.kyoto-u.ac.jp/index.html>>

研究代表者の所属研究室ホームページにおいて、各種公開イベント(大型振動台実験、公開WS、学外展示会)の告知を行うとともに、実験の動画等についてお配信している。

⑪ 研究の今後の課題・展望等

(1) 3次元的な挙動の確認

本研究では、カルバートを含む盛土構造の耐震性に関して、カルバートの方向と地震動の方向を関連付けて検討を行ってきた。これにより、それぞれの地震動による損傷形態や解析手法について確認することが出来た。今後の展望としては、3次元的な挙動の解明が挙げられる。特に、盛土に対して一定の角度を持ってカルバートが設置している際には、坑口付近において「小土被り・偏土圧」の条件となりやすく、カルバートの挙動が不安定になることが予想される。2011年の東北地方太平洋沖地震においては、このような条件において大きな被害が発生していることから、この点に着目した更なる検討が望まれる。

(2) 既設構造物の耐震補強・復旧方法に関する検討

ヒンジ式のプレキャストアーチカルバートは、高速道路をはじめ日本全国に数百件の施工実績を有する構造物である。本研究により、現行の設計法に基づき適切に設計・施工されたカルバートについては、一定の耐震性能を有することが確認された。しかしながら、既設のカルバートに対しては、必要に応じて耐震補強を行う必要があると考えられるが、どのような損傷に対してどのような耐震補強対策が有効なのか明らかになっていない。今後は、震災後の復旧方法と併せて、この点について議論を深める必要がある。

⑫研究成果の道路行政への反映

強地震時における損傷形態の解明，ヒンジの性能評価手法と静的解析法の適用性の明示

道路土工カルバート工指針では，本体断面にヒンジを有する構造については，「カルバートの変位及び変形が大きくなり，また，部分的な破壊がカルバート全体の崩壊につながる可能性がある」として，ヒンジ式プレキャストアーチカルバートに耐震性の検討を求めている．しかし，これまでは検討方法について明確になっておらず，設計者の判断に委ねられてきた．

本研究により，地盤のせん断ひずみが数%を超えるような強地震時においても，ヒンジ部が先行して逸脱し，全体の崩壊に至ることはないことが明らかになった．これにより，実務の設計においては，ヒンジ部の性能について本研究で実施したと同様の性能試験により確認した上で，応答震変位法に代表される静的照査法を用いて設計すればよいことを明示した．

設計規範の提案

ヒンジ式プレキャストアーチカルバートの設計に関して，本研究成果を取りまとめた設計規範を提案した．①評価方法を含めたヒンジ部の要求性能の明確化，②施工時および常時における設計の留意点，③カルバート横断方向・縦断方向それぞれに対する地震時挙動，④連続アーチカルバート盛土の耐震性と設計法，これらはいずれも実務に即した内容であり，道路事業者にとって有益な情報をまとめることができた．

⑬自己評価

(1) 研究目的の達成度

「⑥これまでの研究経過・目的の達成状況」に示した通り，大型振動台実験とその数値解析を軸として，研究期間内に当初計画していた全ての項目を実施することができた．

(2) 研究成果

力学的な挙動の解明をはじめ，ヒンジ部の性能評価法の明示，耐震設計における静的照査法の適用性の確認など，実務的な成果も数多く挙げることができた．

(3) 今後の展望

本研究により，現行の設計法に基づき適切に設計施工された場合には，同構造は一定の耐震性を有することが明らかになった．今後は，本研究により取りまとめた設計規範を軸として，既設構造物の耐震補強技術の開発などについて，引き続き産官学の連携により取り組むことが望まれる．

(4) 道路政策の質の向上への寄与

多種にわたる検討により得られた研究成果をもとに設計規範を提案した．内容はいずれも実務に即した内容であり，道路事業者にとって非常に有益な情報であると考えられる．

(5) 研究費の投資価値

本研究では，限られた予算の中で，5回の大型振動台実験を含む複数の実験と数値解析，現場計測を実施し多くの研究成果を得た．特に大型振動台実験は，緻密なRC製模型を用いたものであり，これにより強地震時の挙動を精緻に把握することができた．このような点から，本研究に対する投資価値は十分にあったと判断する．