

アーチカルバートを連続的に含む 景観性に優れた盛土構造の 耐震性能評価と災害復旧に関する研究

プロジェクトリーダー

京都大学大学院 工学研究科

岸田 潔

発表者

京都大学大学院 工学研究科
(日本学術振興会特別研究員)

○澤村康生



発表内容

1. プロジェクトの紹介

- 連続アーチ盛土工法
- 現在までの取り組み

2. カルバート縦断方向の耐震性に関する研究

- 遠心模型実験および数値解析による耐震性能評価
【官・学】

3. カルバート横断方向の耐震性に関する研究

- 数値解析による耐震性能評価【官・学】

4. カルバート横断方向の耐震性に関する研究

- 大型実験および数値解析による設計規範の構築
- 国総研，土研との共同研究 ← 産の協力

1.1 連続アーチ盛土工法

★連続アーチ盛土工法とは？

連続的にプレキャストアーチカルバートを配置した盛土構造物

- 地域の遮断，ダムアップ，風の遮断等の盛土構造物の課題を克服したもの
- 景観性に優れ，地元や利用者に親しみやすい構造．
- トンネル掘削などで発生する土砂を有効利用でき，プレキャストであるため施工性に優れている．
- 橋梁と比べて，安価である．



1.2 プロジェクト組織

★ 産

ジオスター(株), 日本ゼニスパイプ(株), 日本ヒューム(株),
ヒロセ(株), 日本興業(株)
(株)ニュージェック, (株)地域地盤環境研究所

★ 官

国土交通省近畿地方整備局道路部, 滋賀国道事務所, 奈良国道事務所

★ 学

京都大学工学研究科
大阪工業大学

★ アドバイザー

国土技術政策総合研究所
(独)土木研究所



1.3 これまでの歩み

★ 景観性に優れたアーチカルバートを用いた盛土構造に関する研究

- 不具合事例の整理 【産】
- 実施工を想定した施工マニュアルの整備(2ヒンジタイプ) 【産・官・学】
- 模型実験および数値解析による不同沈下対策の検討 【官・学】
- 計測 【産】



★ アーチカルバートを連続的に含む景観性に優れた盛土構造の耐震性能評価と災害復旧に関する研究

- 東日本大震災での被災事例の収集 【産】
- 実施工を想定した施工マニュアルの整備(3ヒンジタイプ) 【産・官・学】
- 継ぎ手部のせん断試験 【産】
- 模型実験および数値解析による耐震性能評価 【官・学】
- 計測 【産】

➡ 道路政策の質の向上に資する技術研究開発（～平成27年3月まで）

1.4 連続アーチカルバート盛土の地震時挙動の影響

連続アーチカルバート盛土

プレキャストアーチカルバートを連続的に設置した**高架橋のような盛土構造物**

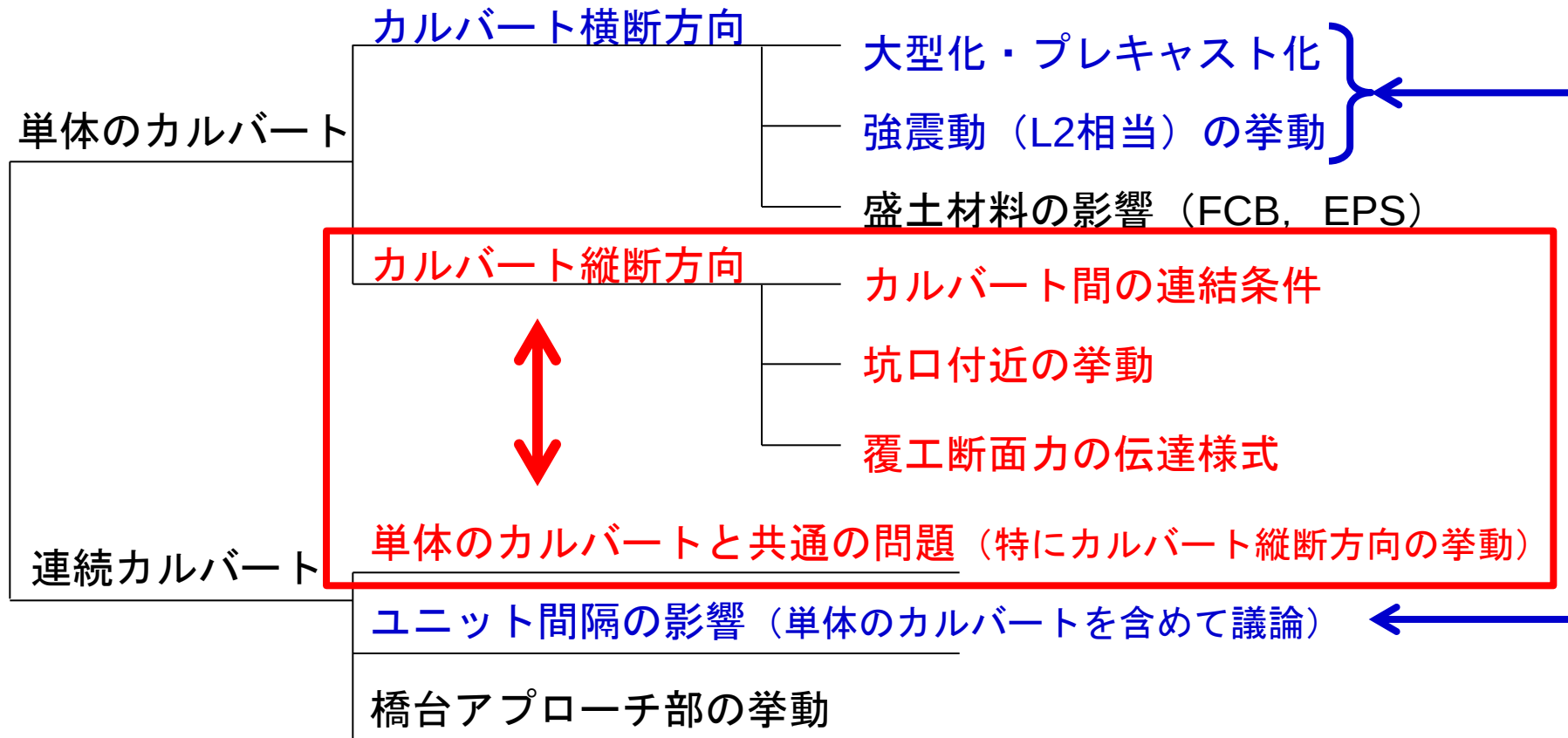


- ・ 高架構造は**コスト高** ← 盛土構造物だから低コスト
- ・ 盛土構造による**地域分断** ← アーカルバートによる大断面の空間

➡ 地盤条件・要求される性能に合わせた**幅広い工法の選択**が可能

連続アーチ特有のユニット間隔が耐震性に与える影響について検討

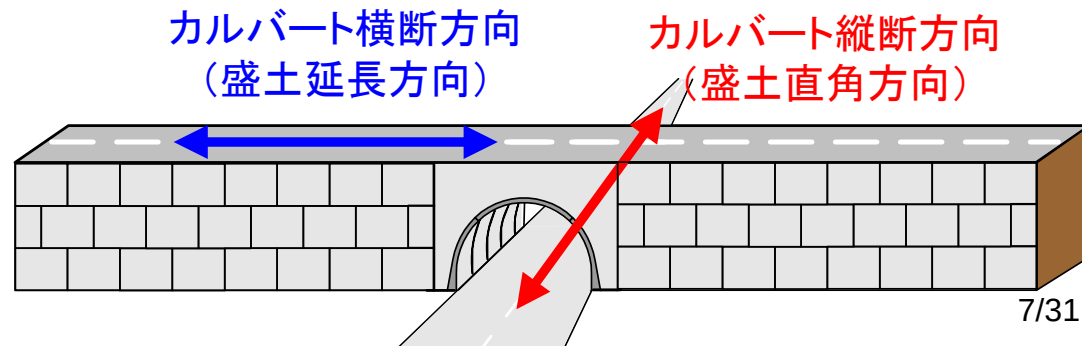
1.5 カルバートの地震時挙動に関する検討



本研究の目的

カルバート構造の耐震性に関する諸問題に対して、

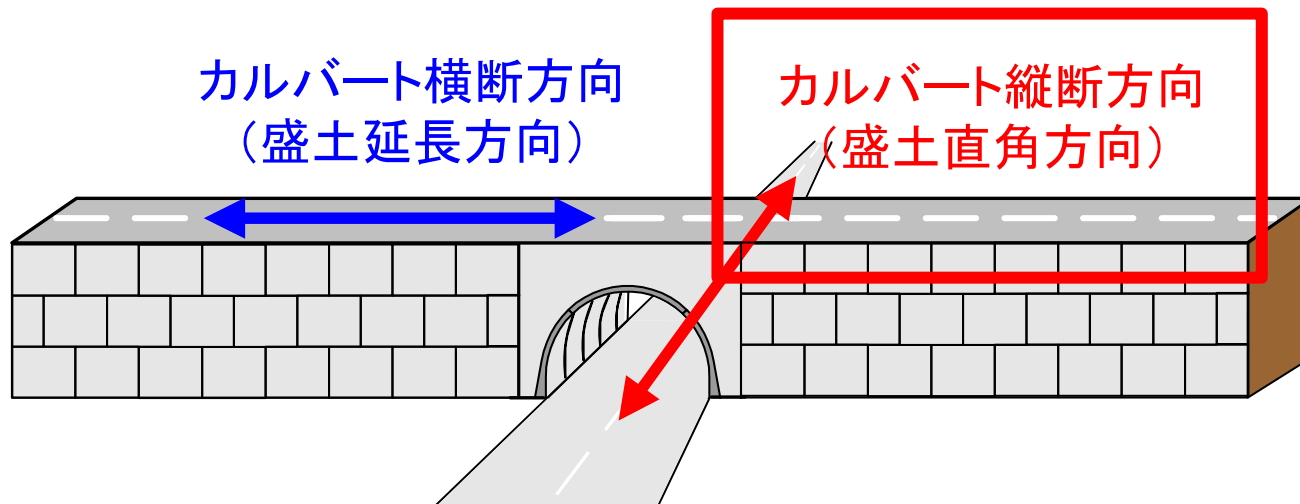
- ・遠心模型実験
 - ・大型実験
 - ・数値解析
- を用いて検討



2.カルバート縦断方向の耐震性に関する研究

-遠心模型実験-

-遠心模型実験に対する数値解析-



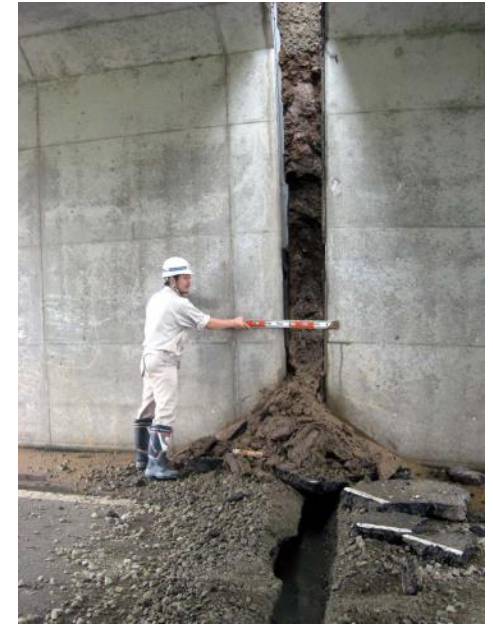
2.1 カルバート縦断方向の地震時被害

カルバート縦断方向の被害事例

舗装の亀裂・段差・沈下



目地の開き



カルバート本体の被害は少なく、主な被害は舗装の段差や目地の開きなど

➡ 道路機能の低下により道路ネットワークには大きな影響を及ぼす！！

研究の目的

- ・ カルバート同士の連結様式
- ・ カルバートと壁面との相互作用
- ・ 盛土高さによる影響

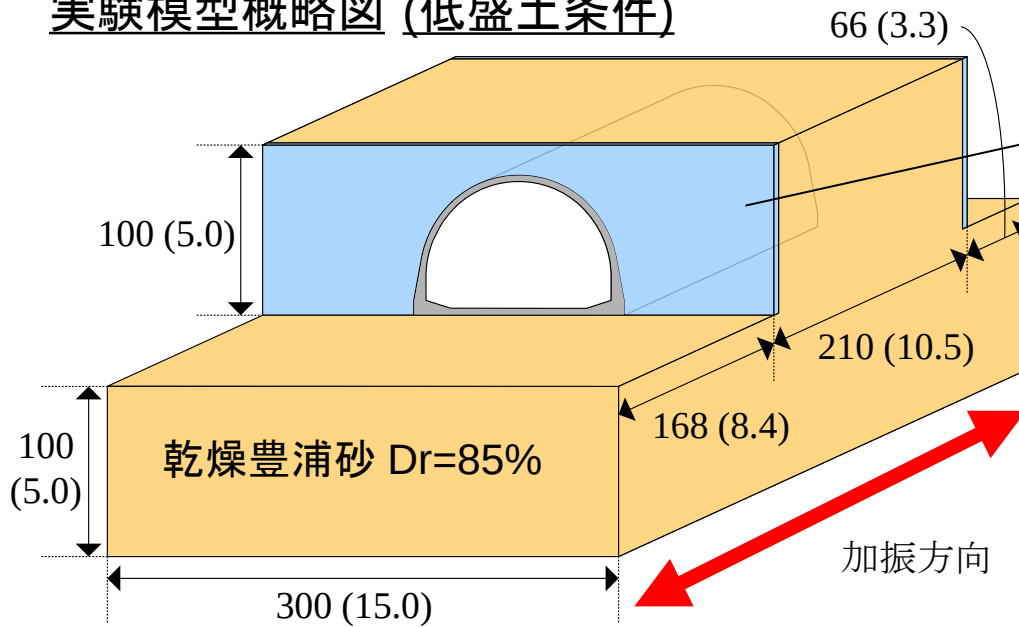
} カルバート縦断方向の地震時挙動に関する基礎データの収集

➡ カルバート縦断方向に関する地震時要求性能の明確化

2.2 カルバート縦断方向の動的遠心模型実験

動的遠心模型実験(50G)

実験模型概略図 (低盛土条件)



模型寸法 mm () 内はプロトタイプ寸法 m

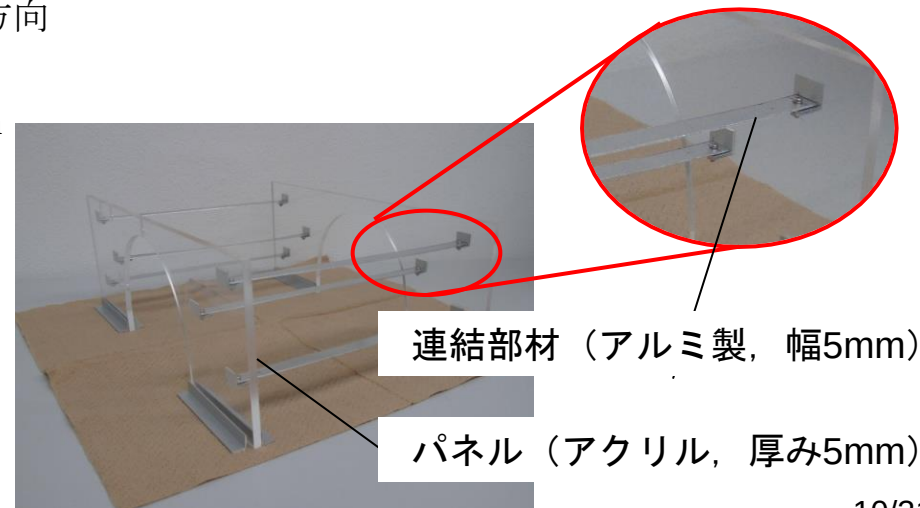
実験対象



壁面パネル+カルバート盛土

壁面パネル模型

- ・ 壁面は**一体かつ剛**
- ・ 両側の壁面は連結部材により**等変位条件**



2.3 実験ケースと入力波形

実験ケース

Case-0

Case-1

Case-2

Case-3

		基本ケース	カルバート連結の影響	カルバートと壁面の接続構造	
		壁面とカルバート: 分離 カルバート同士 : 連結	壁面とカルバート: 分離 カルバート同士 : 分離	壁面とカルバート: 連結 カルバート同士 : 連結	
低盛土 5 m	カルバートなし				
高盛土 10 m					

入力波形

パルス波(1Hz 正弦波1波) → 基本的な挙動の把握

カルバート同士

カルバートと壁面を連結

2.4 カルバート同士の連結様式による影響

基本ケース

カルバート同士分離

Case-0

Case-1

Case-2

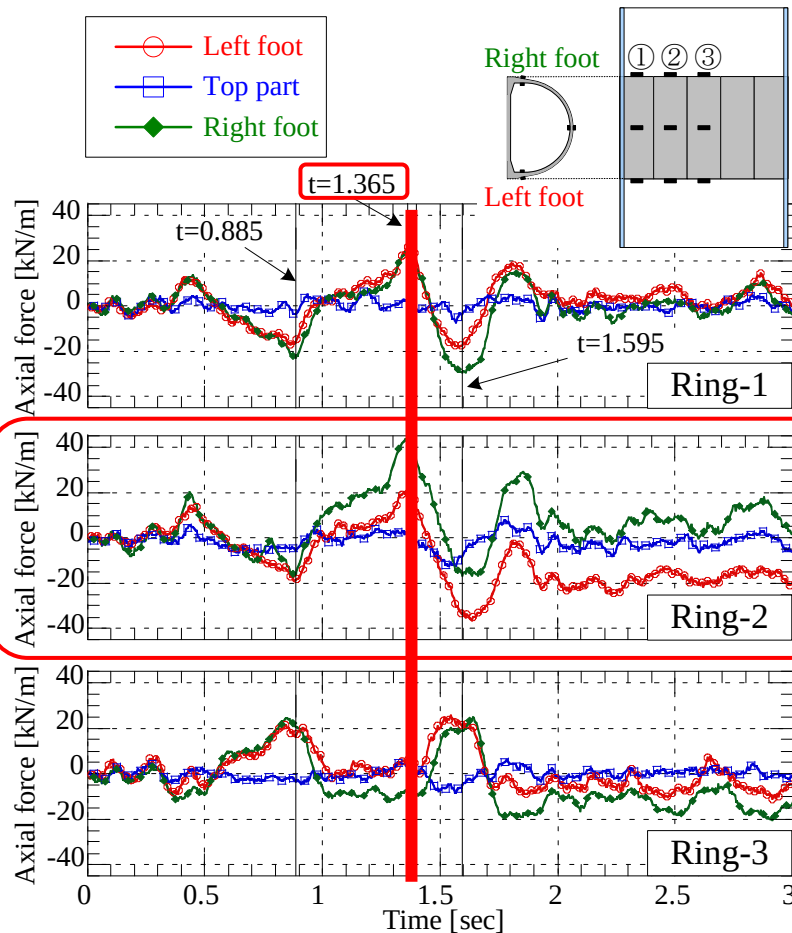
Case-3

		基本ケース	カルバート連結の影響	カルバートと壁面の接続構造
カルバートなし		壁面とカルバート: 分離 カルバート同士 : 連結	壁面とカルバート: 分離 カルバート同士 : 分離	壁面とカルバート: 連結 カルバート同士 : 連結
低盛土 5 m				
高盛土 10 m				

※ 壁面とカルバートは分離されている！

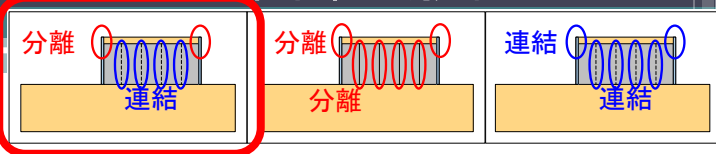
2.5 実験結果 Case-1

軸力増分

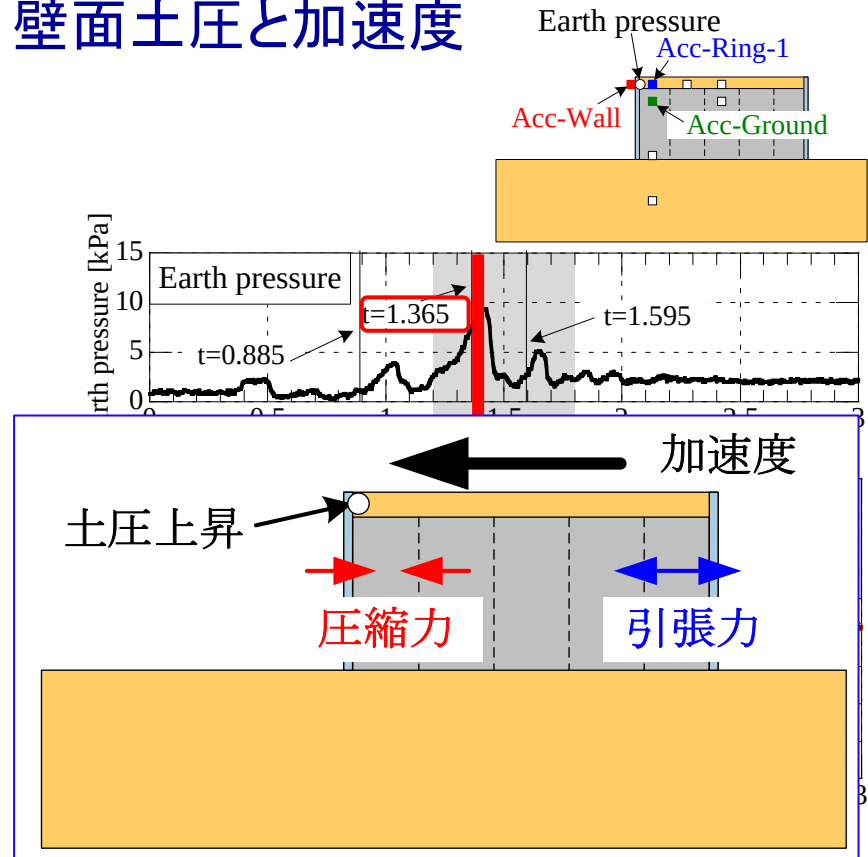


- ・ 圧縮力と引張力が交互に作用
- ・ 特にRing-2で大きな変化

左右のカルバートから断面力が伝達



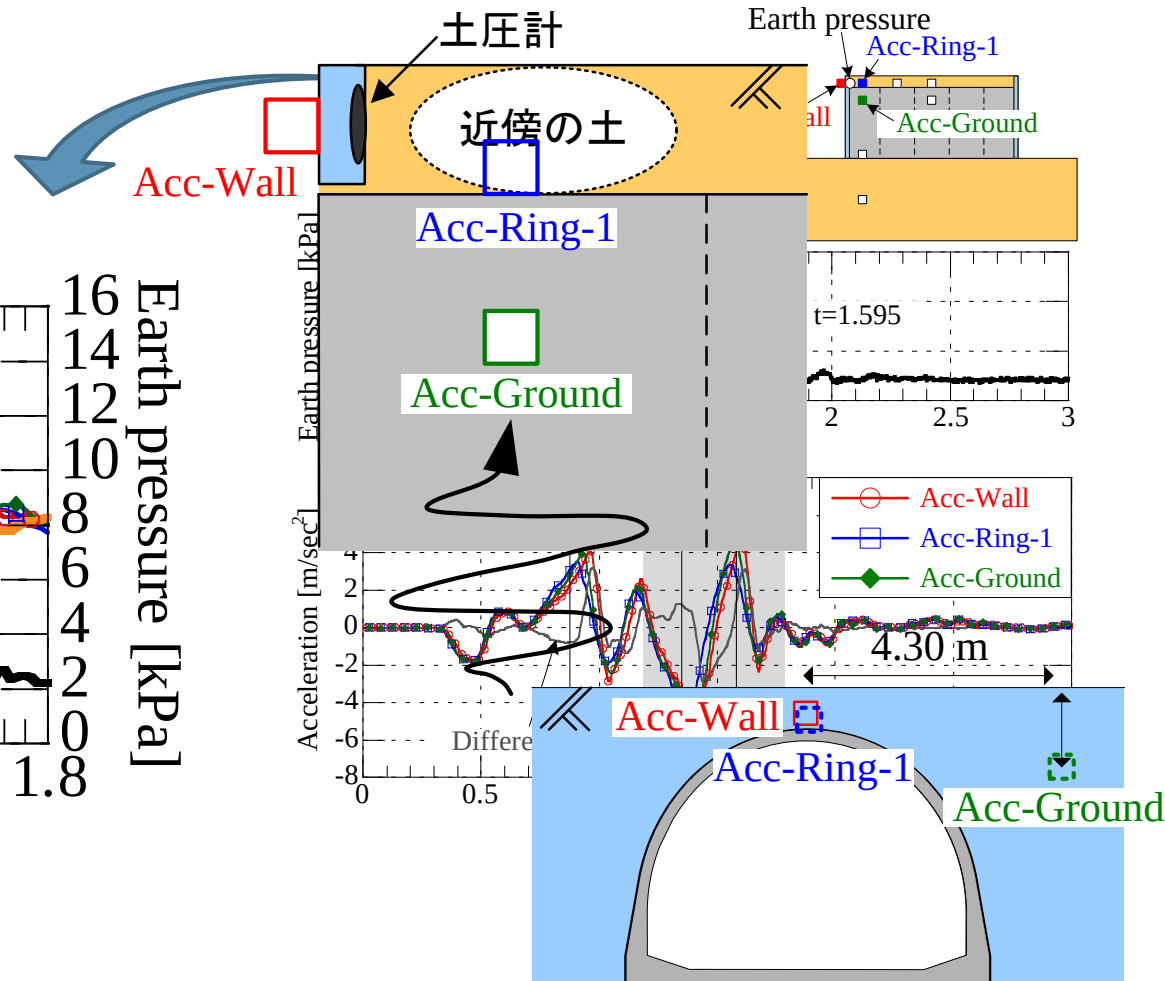
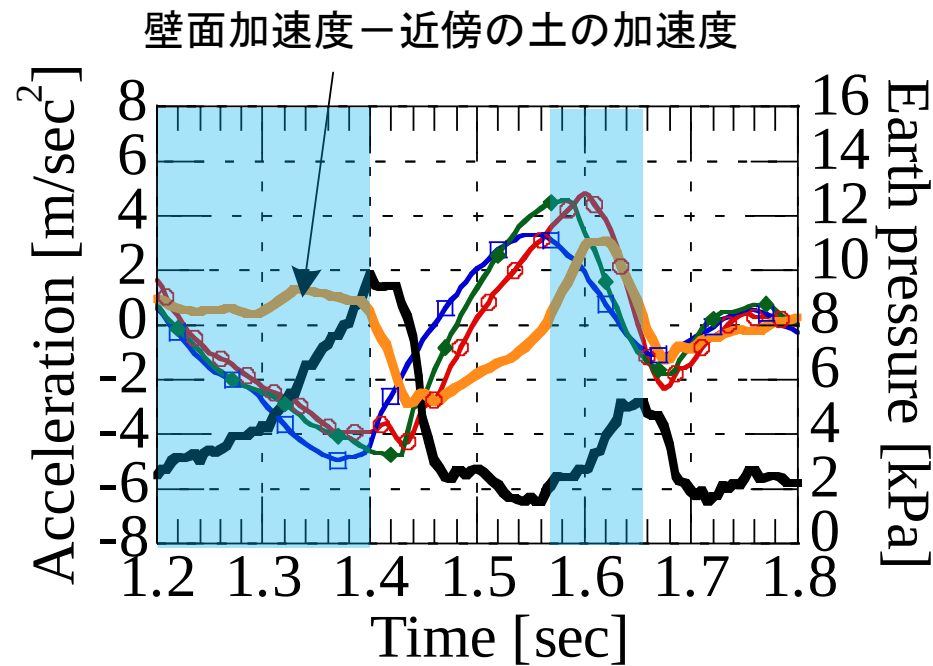
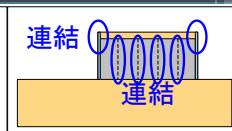
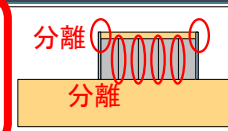
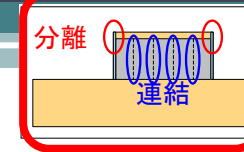
壁面土圧と加速度



◆ $t=1.365$:

- ・ 加速度 $\Rightarrow$ 左向き
- ・ 直上の土圧 $\Rightarrow$ 上昇
- ・ Ring-1の軸力 $\Rightarrow$ 圧縮力

2.6 加速度と壁面土圧 Case-1



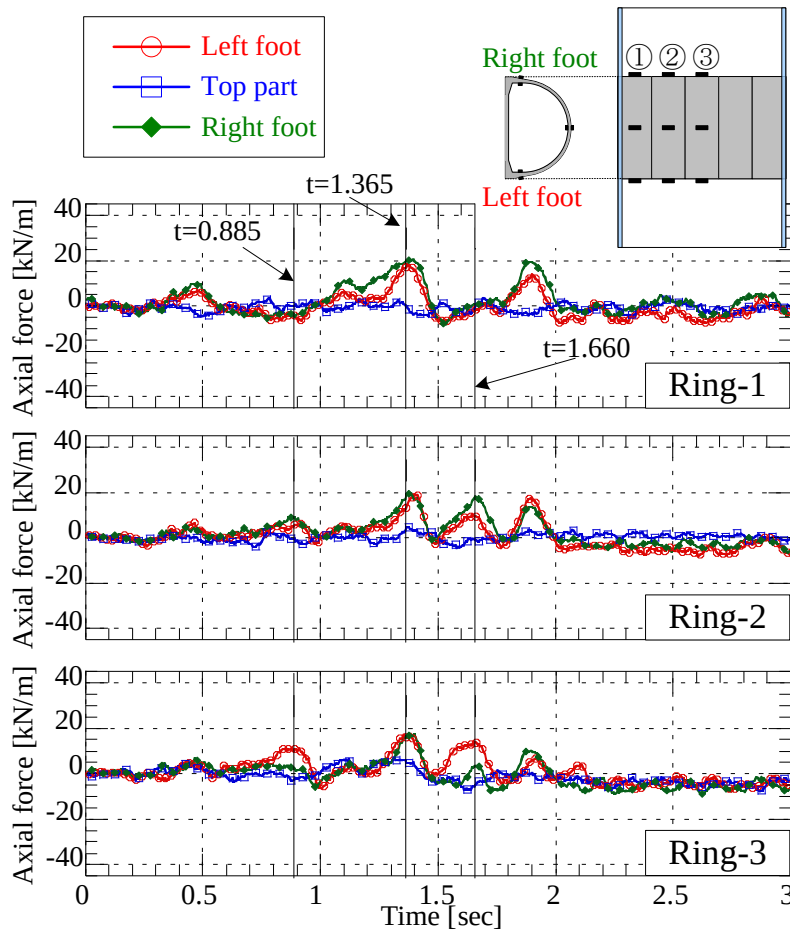
◆ 加速度の変化:

基礎地盤 ⇒ カルバート ⇒ 盛土 ⇒ 壁面

壁面加速度－近傍の土の加速度（相対加速度） ≥ 0 の時，土圧上昇

2.7 実験結果 Case-2

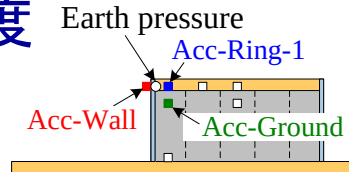
軸力増分



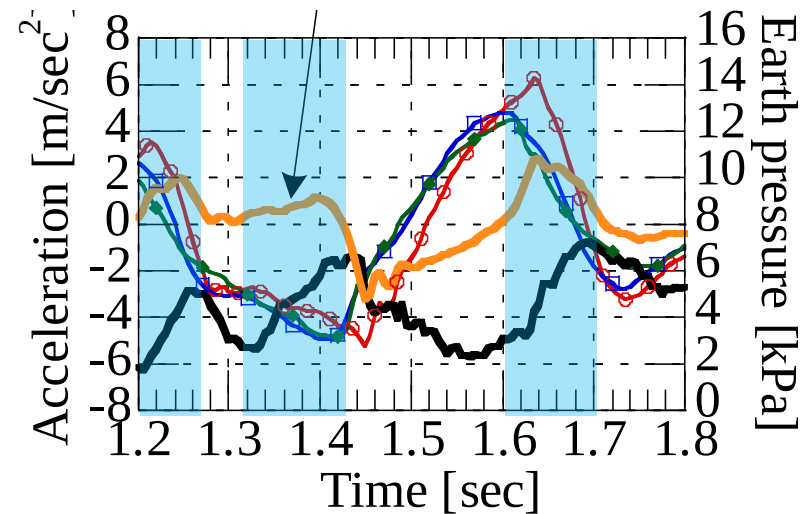
- ・引張力はほとんど発生しない
- ・圧縮力もCase-1より小さな値

独立した挙動により断面力が分散

壁面土圧と加速度



壁面加速度－近傍の土の加速度



◆ 加速度の変化:

カルバート, 盛土 ⇒ 壁面

- ・カルバートと盛土が同じ挙動
- ・壁面と盛土の加速度の差と土圧の増減に良い相関

2.8 研究により得られた成果

カルバートの軸力

◆ カルバート同士の連結様式に関して

- 連結されている場合 (Case-1)
 - ・ 圧縮力と引張力が交互に発生
 - ・ カルバート間で断面力の伝達
 - ・ リングによって発生する断面力に差が見られ、特に高盛土条件ではリング間の差が顕著になる
- 分離されている場合 (Case-2)
 - ・ 主に圧縮力が発生
 - ・ 発生する断面力は連結に比べて小さい
 - ・ 高盛土条件では引張力も発生する可能性がある

◆ カルバートと壁面の連結様式に関して

- 連結されている場合 (Case-3)
 - ・ カルバートに壁面からの押出力と引張力が伝達し、局所的な断面力が発生する可能性がある

壁面土圧

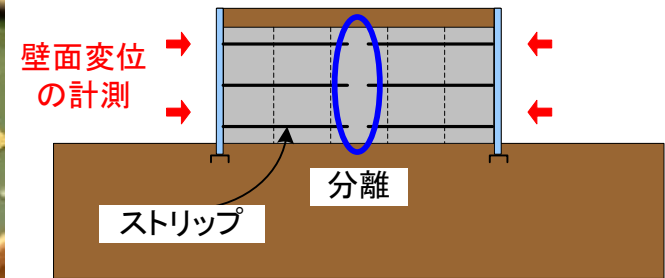
◆ カルバートと壁面の連結様式に関して

- 分離されている場合 (Case-1, 2)
 - ・ 壁面と盛土の加速度の差をとることで、土圧の増減が説明できる
- 連結されている場合 (Case-3)
 - ・ 盛土内部に働く慣性力が直接土圧として表れる

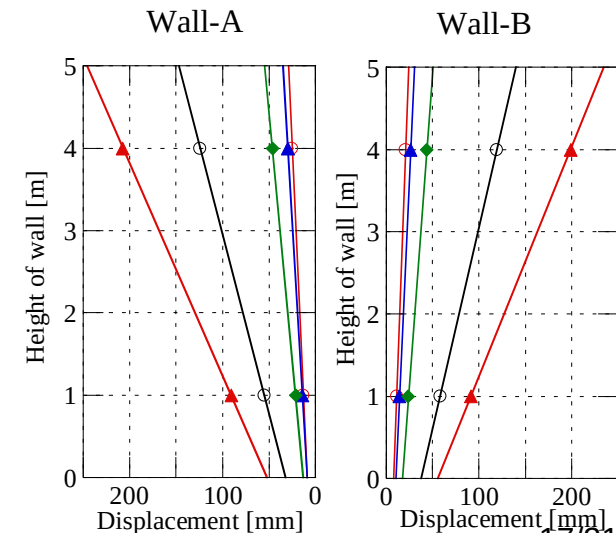
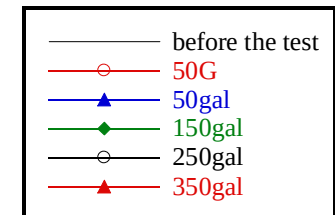
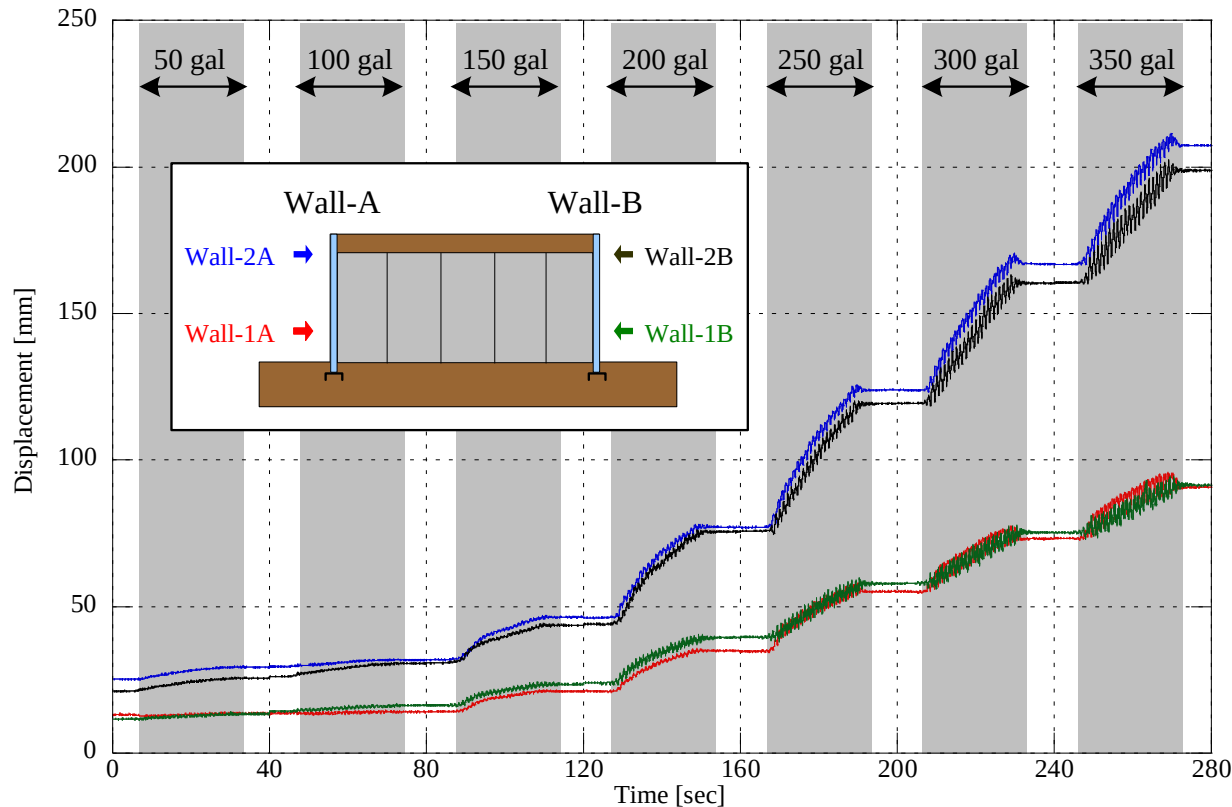
2.9 今年度の実験

実験概要

- ◆ ストリップを中央で分離
 - ⇒ 両側の壁面はそれぞれ自立
- ◆ 地盤を締固めにより管理
- ◆ ステップ加振



実験場により近い条件で、盛土全体の変形について検討



3.カルバート横断方向の耐震性に関する研究

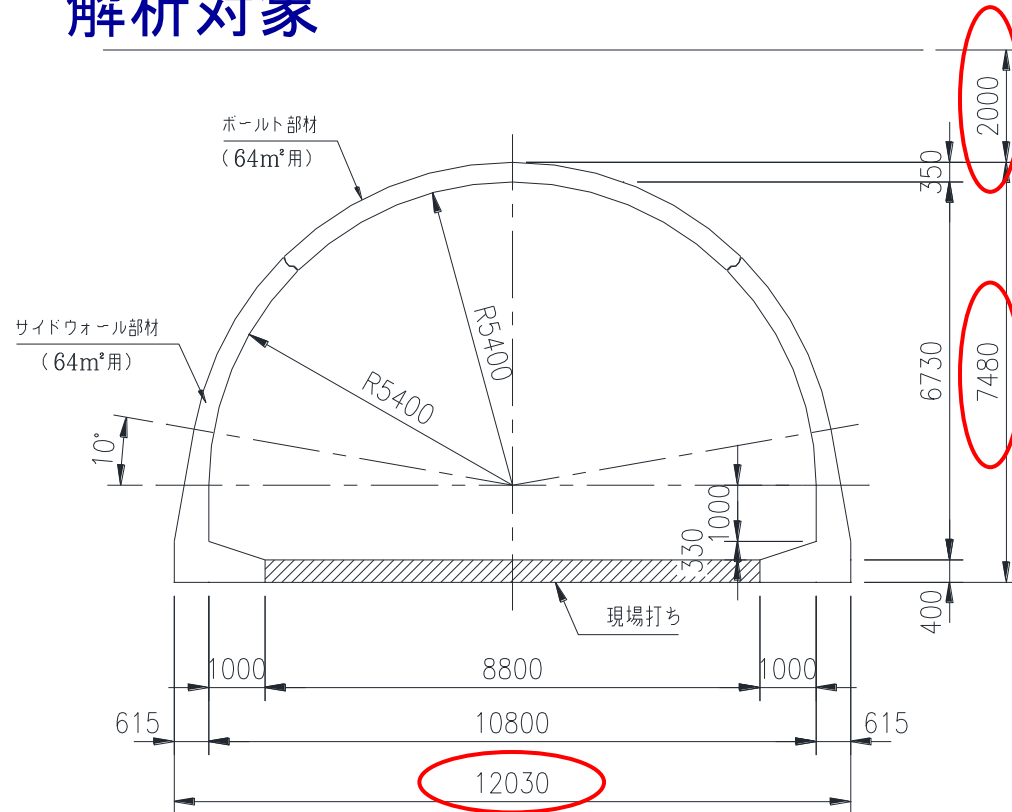
-連続アーチ盛土に対する数値解析-

カルバート横断方向

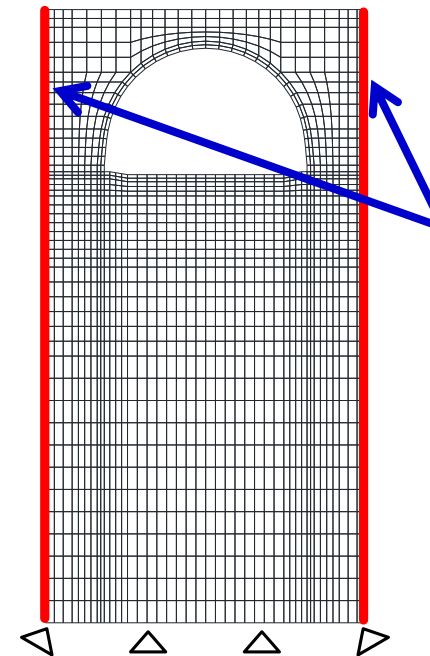


3.1 解析対象とモデル化, 入力地震動

解析対象



連続アーチのモデル化



解析メッシュの
左右を等変位
境界

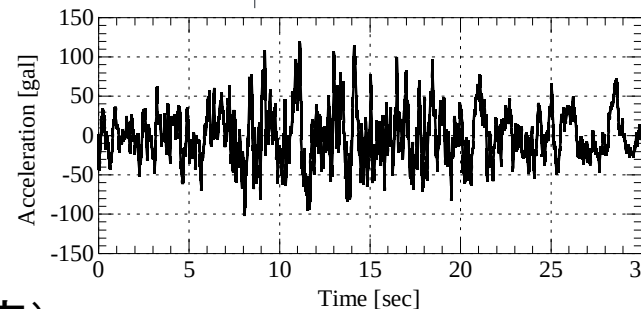
(半無限に等間
隔でアーチが
挿入されている
ような条件)

入力地震動

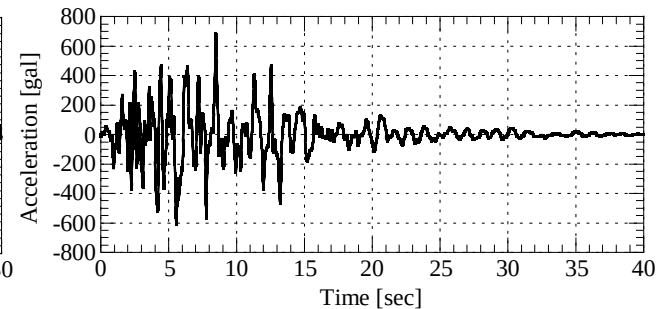
◆ 道示Vの波形を使用

・ 地盤種別: II 種

(一般的な沖積層を想定)



L1地震動



L2地震動

3.2 地盤とカルバートのモデル化

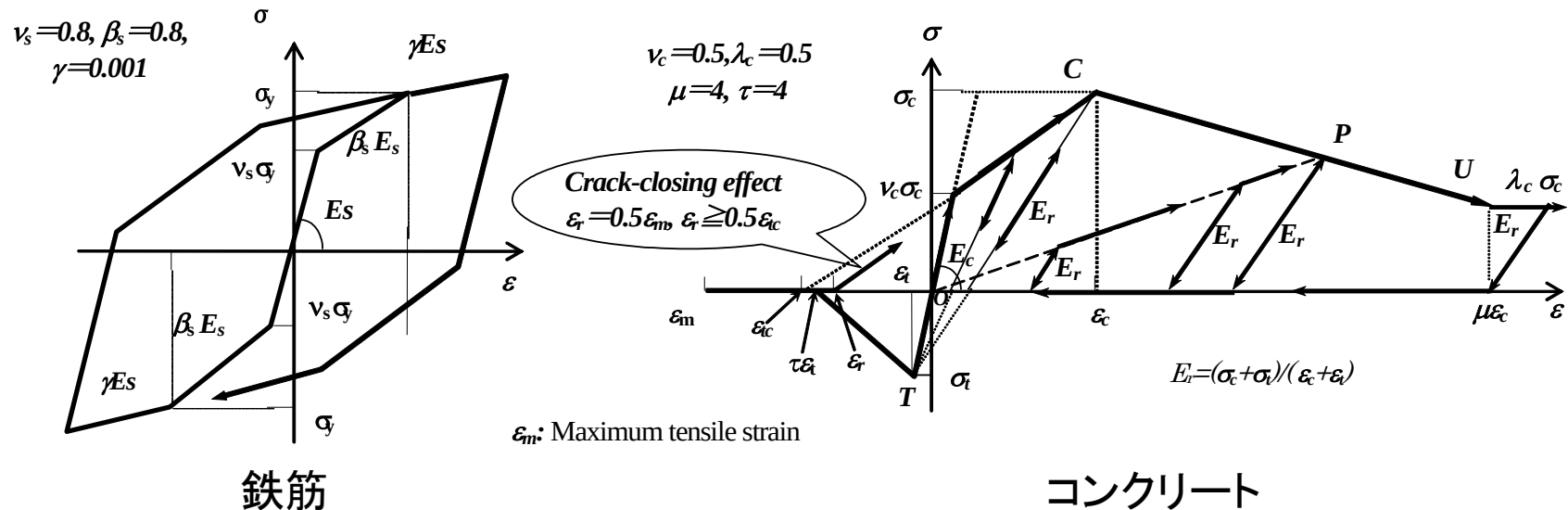
地盤

◆ 弾完全塑性モデル (Modified Drucker-Prager model (Zhang, et al., 2000))

	N値	γ [kN/m ³]	E [kN/m ²]	ϕ [deg]	C [kN/m ²]	ν	K_o	h
盛土	5	19	14000	30	0	0.33	0.5	0.05
基礎地盤	15	19	42000	30	0	0.33	0.5	0.05

アーチカルバート

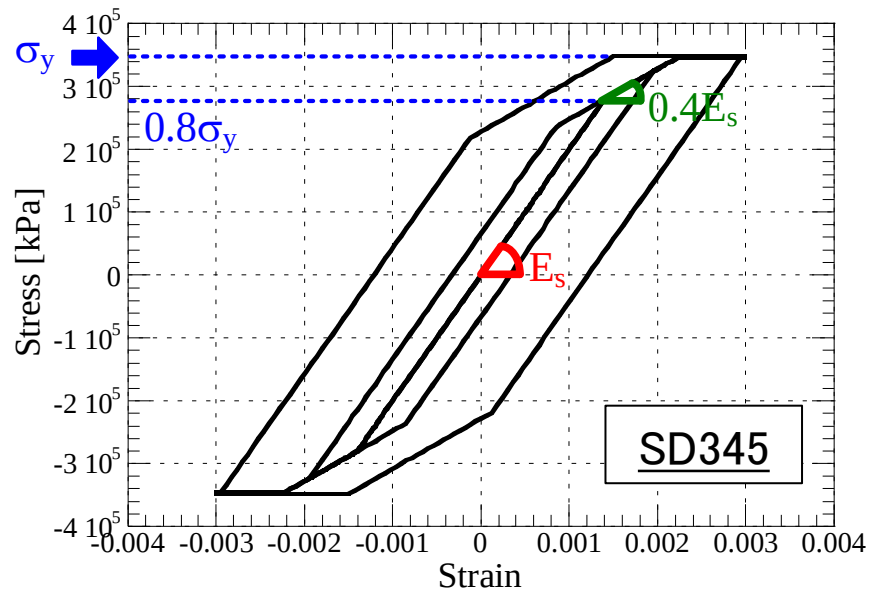
◆ AFD (Axial force dependent) model (Zhang & Kimura, 2002))



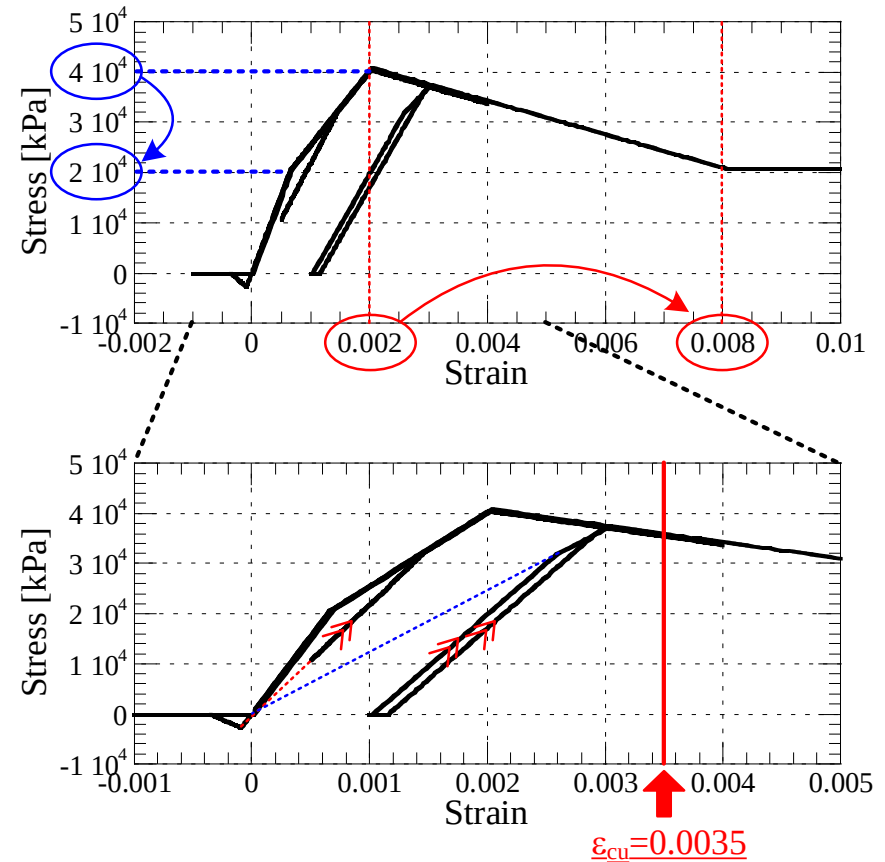
3.3 地盤とカルバートのモデル化

アーチカルバート

◆ AFD (Axial force dependent) model (Zhang & Kimura, 2002))



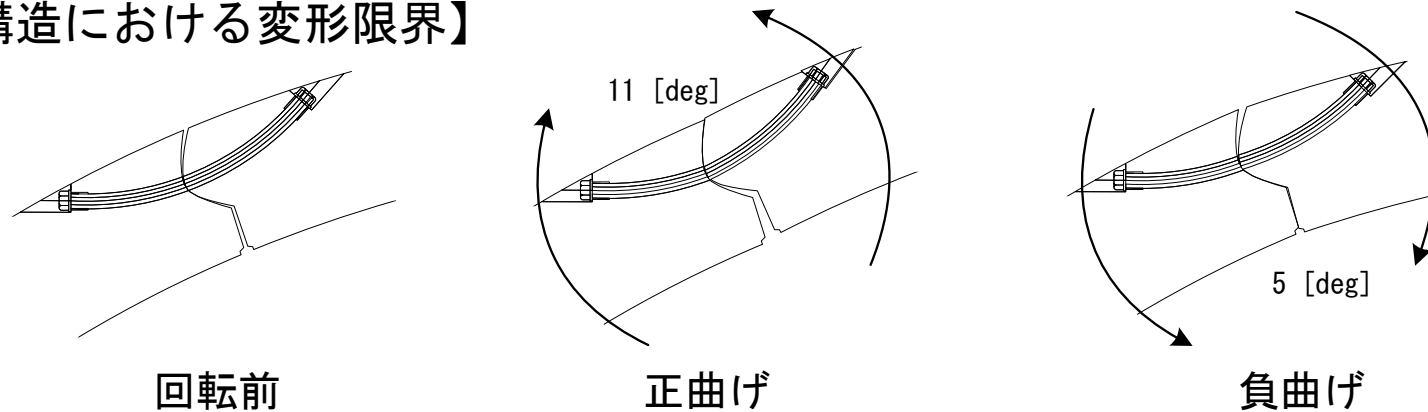
鉄筋



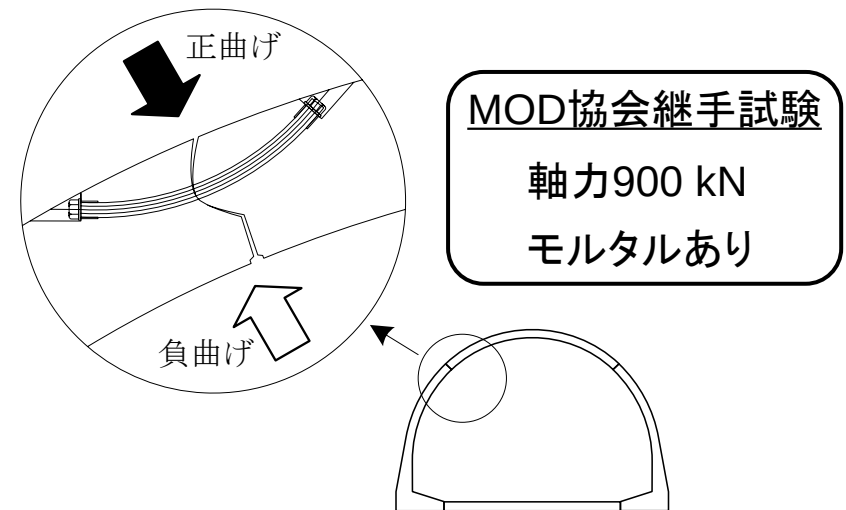
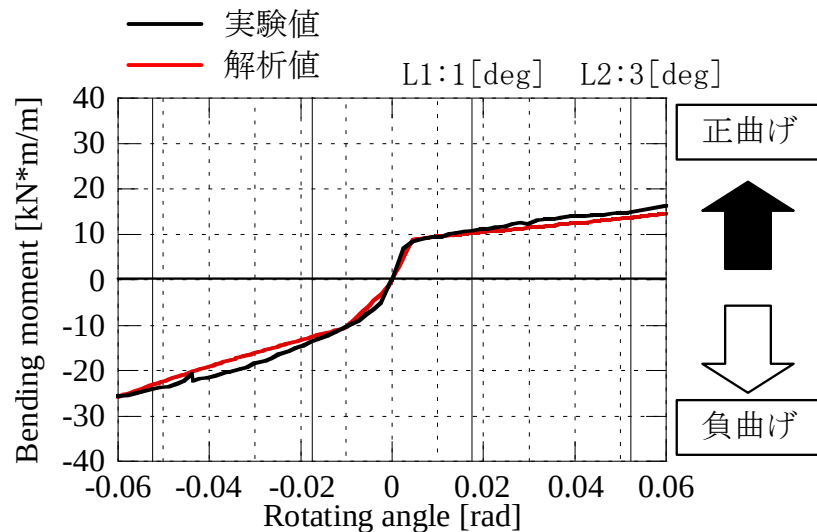
コンクリート

3.4 連続アーチカルバート盛土に対する数値解析 ヒンジ部のモデル化

【実構造における変形限界】

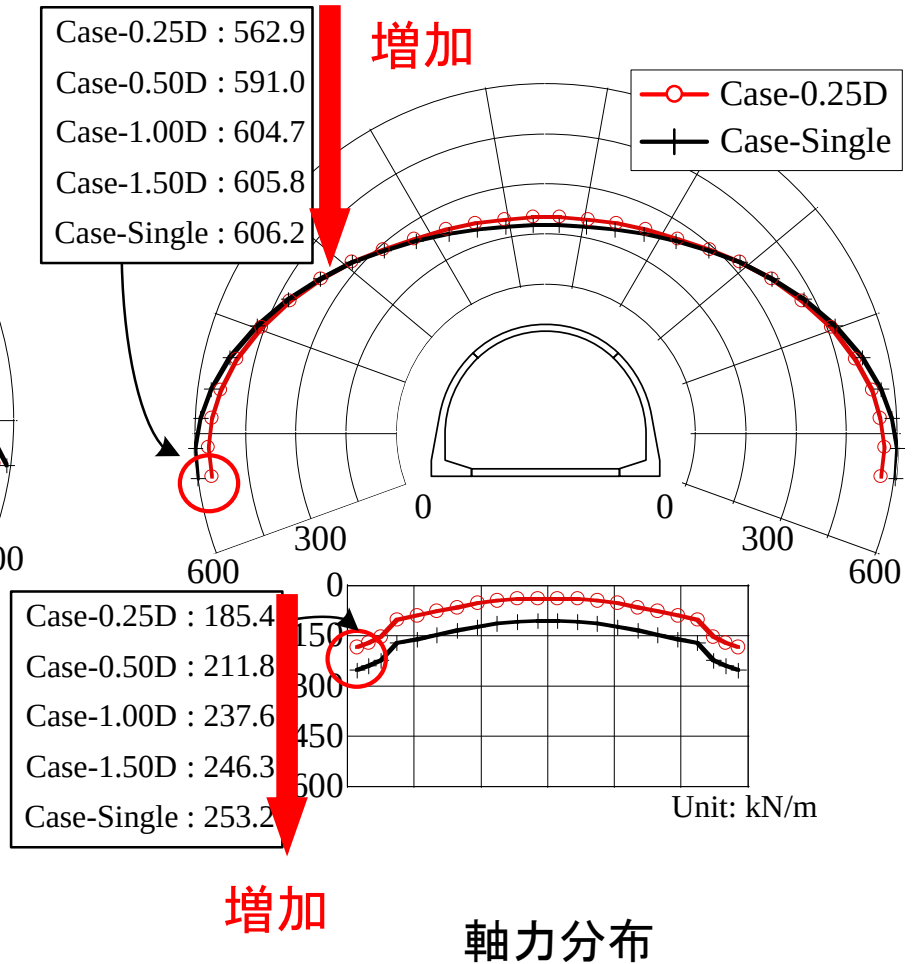
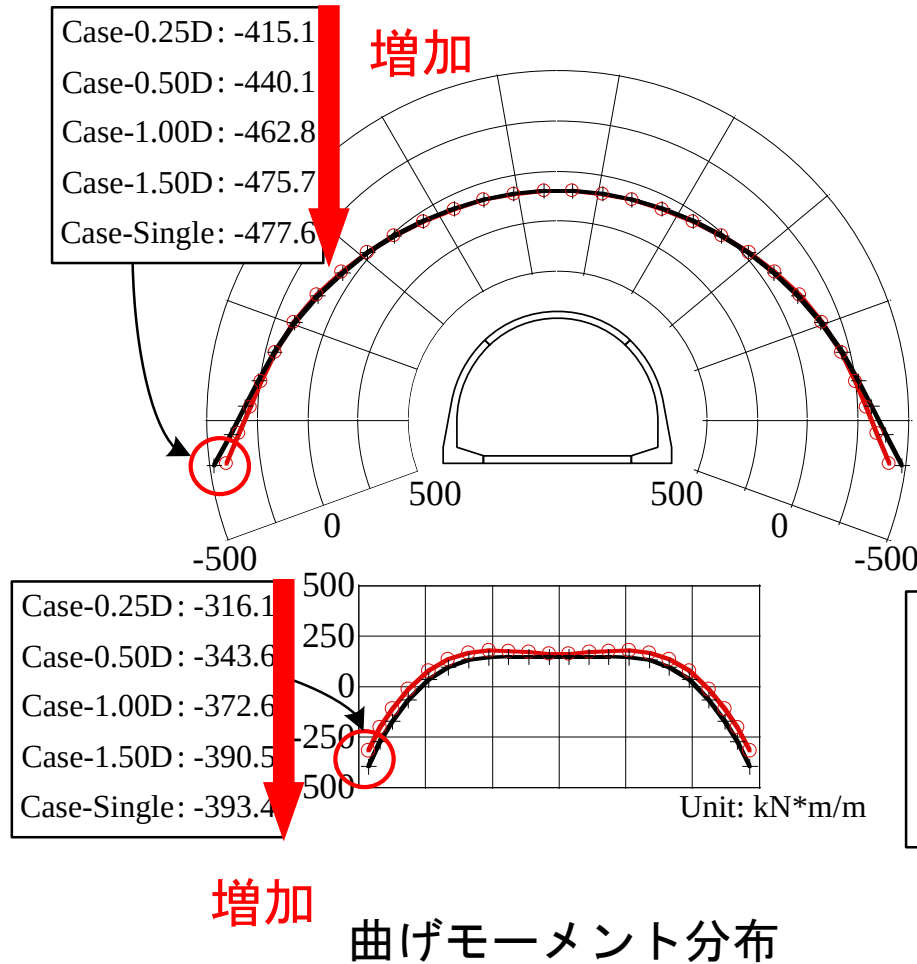


【数値解析におけるモデル化】



3.5 初期状態（加振前）の断面力

初期状態の断面力



◆ ユニット間隔が広い方が、初期断面力が大き ← 周囲の地盤体積が大きいため

3.6 L2地震動における応答①

鉄筋の応力-ひずみ関係 (Case-Single)

◆ 内空側鉄筋

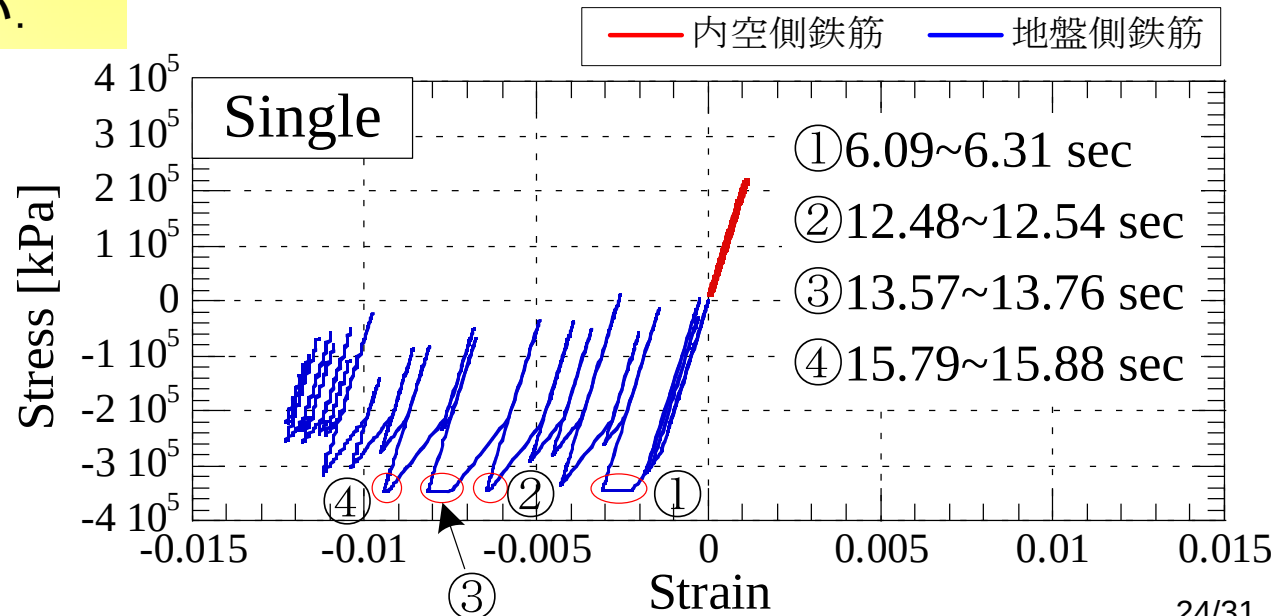
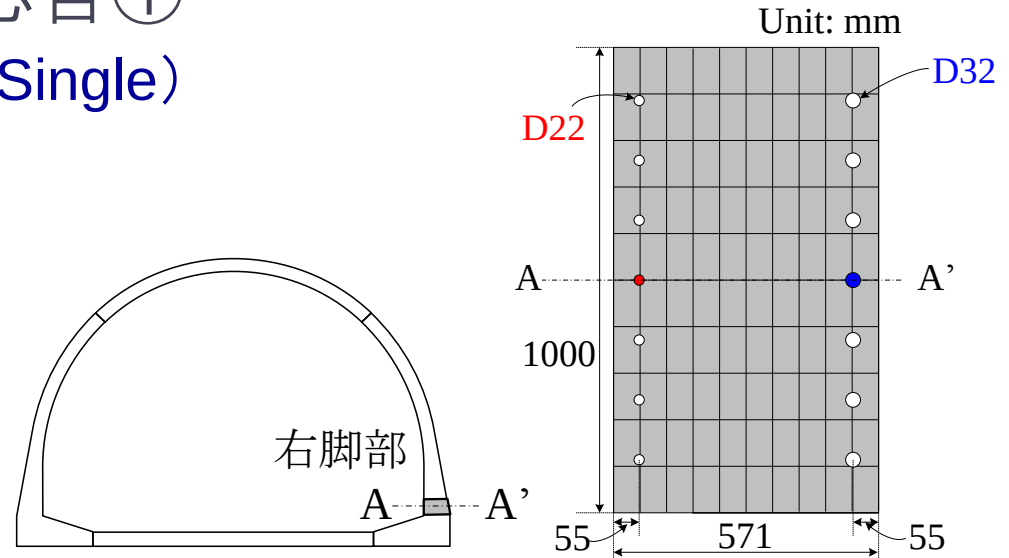
L2地震動に対しても弾性範囲

◆ 地盤側鉄筋

鉄筋が降伏し塑性化が進行

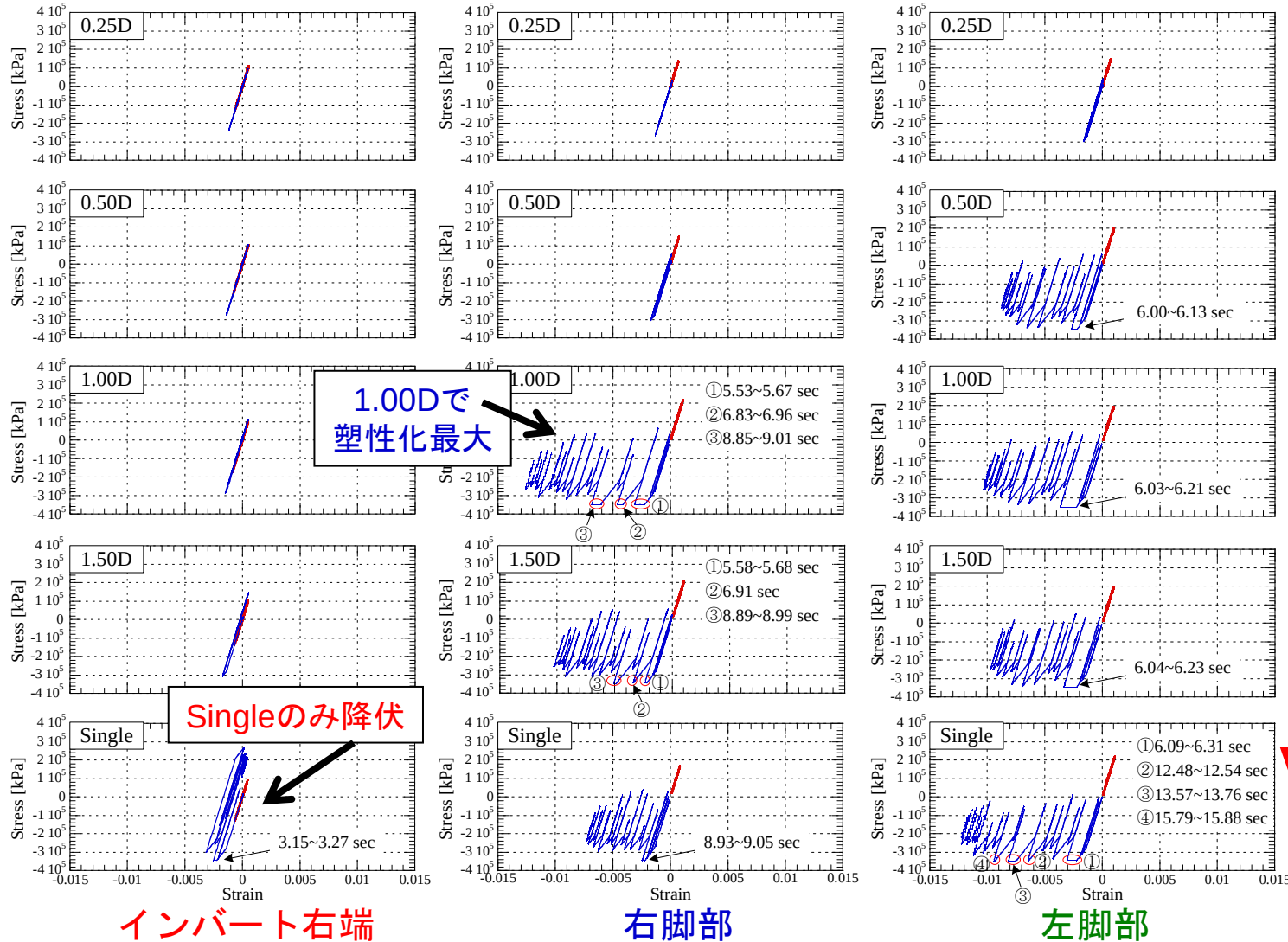
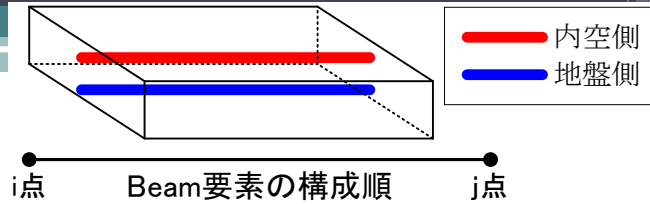
➡ コンクリートが終局ひずみ ϵ_{cu} に至ることはない。

本解析条件においては
L2地震動に対しても
耐震性を満足する



3.7 L2地震動における応答②

鉄筋の応力-ひずみ関係(全ケース)



◆ 全体的には

ユニット間隔

大

降伏量・降伏箇所

増加

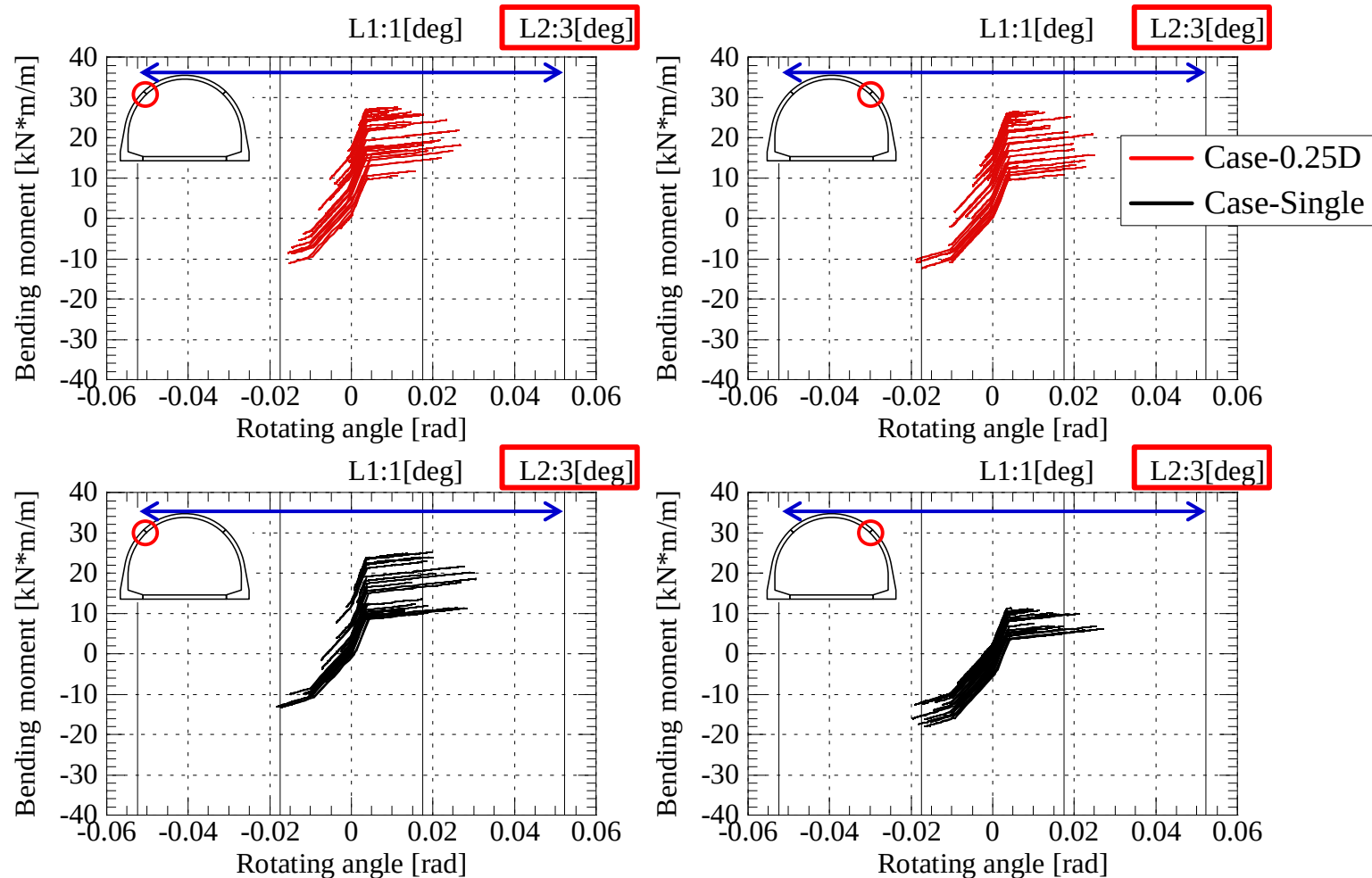
ただし、

コンクリートが
終局ひずみ ϵ_{cu}
に至ることは
ない。

◆ 多ユニット化によって、Singleのケースよりも塑性化が進行する箇所も存在

3.7 L2地震動における応答③

肩部のヒンジの回転角と曲げモーメント

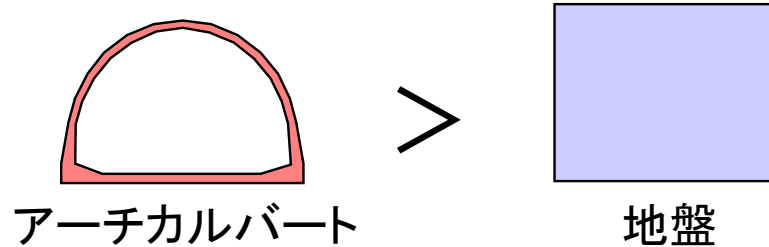


◆ いずれのケースにおいてもL2地震動の基準値 $\pm 3^\circ$ 以内

➡ 脚部が塑性化している場合でもヒンジ部の機能が損なわれる可能性は低い

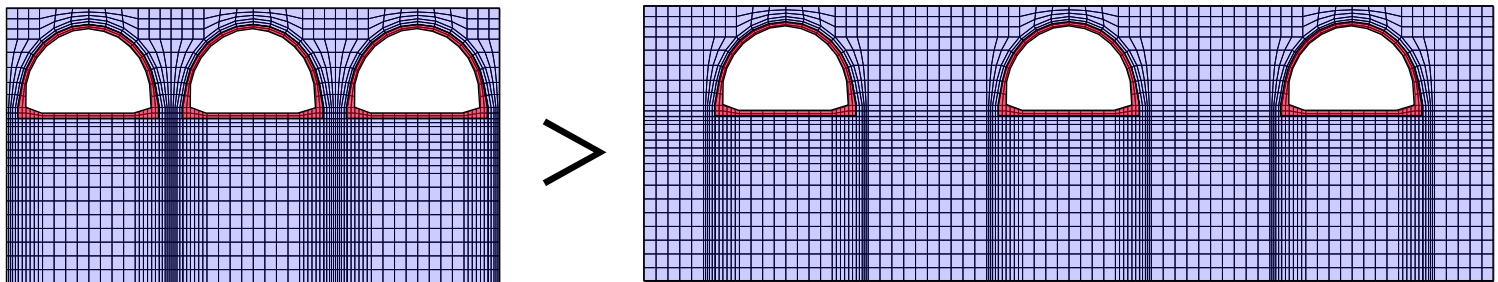
3.8 ユニット間隔と耐震性に関して

◆ 個々の剛性



◆ 構造体全体としての剛性

ユニット間隔が狭いケースでは、**相対的に剛性の小さな地盤の体積が減少**



変形:

Case-0.25D < < Case-1.50D ≒ Single

断面力:

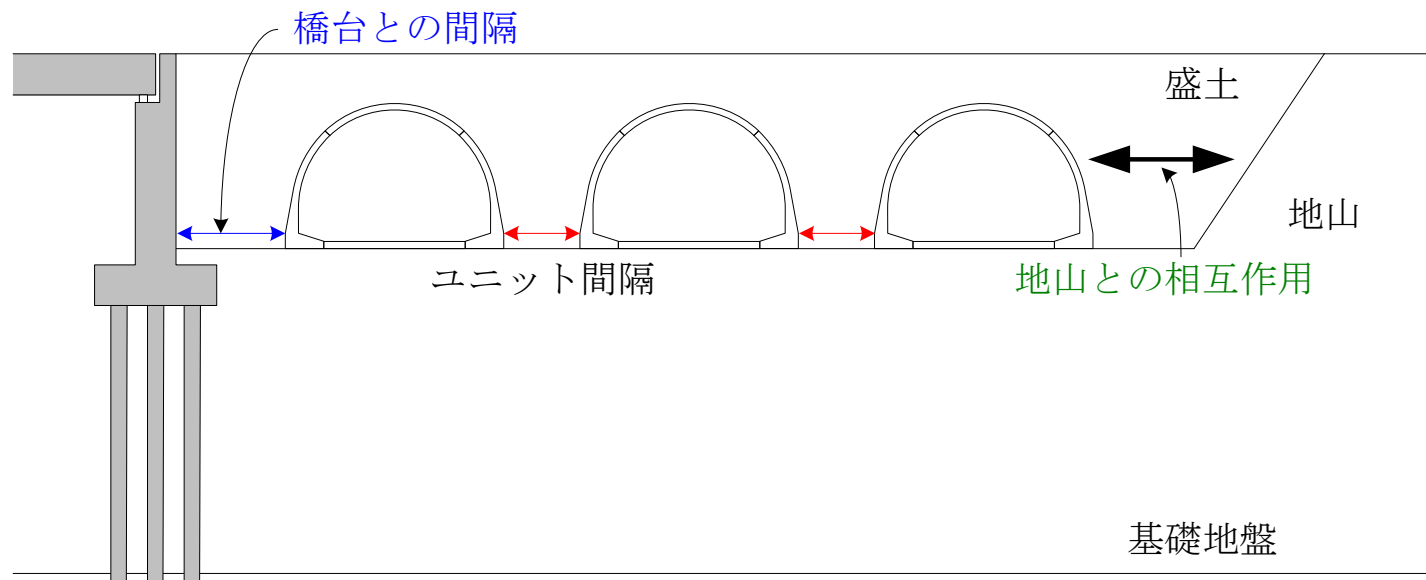
Case-0.25D < < Case-1.50D ≒ Single

3.9 まとめと実施工における留意点

実施工における留意点

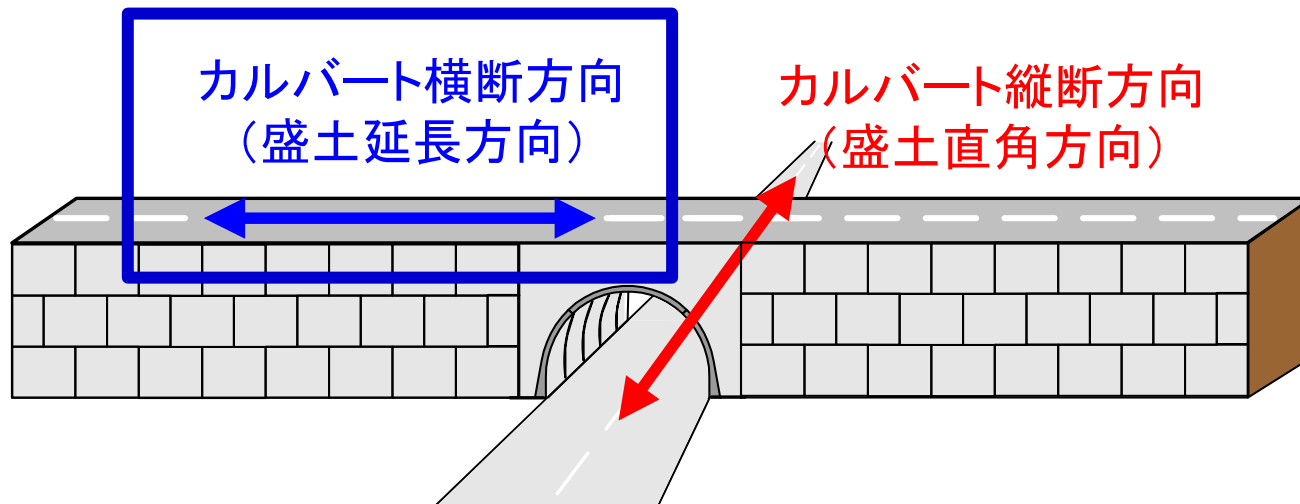
- ◆ 本解析では、**ユニット間隔が狭いケースの方が耐震性能が優れている結果**となった。
- ◆ しかし、**実際の現場では、連続アーチ盛土の周辺には地山や橋台が存在することから、周辺構造とのバランスを考慮してユニット間隔を決定することが望ましい。**
- ◆ 特に、**ユニット間隔を極端に狭くした場合には、連続アーチ盛土の端部のアーチカルバートに偏土圧が作用することが懸念され、耐震性はおろか常時の安定性についても損なう危険性がある。**

➡ **プレキャストアーチカルバートに極端な偏土圧が作用することのないよう、ユニット間隔を決定することが必要である。**



4.カルバート横断方向の耐震性に関する研究

-大型振動台実験-



4.1 大型振動台実験 研究目的

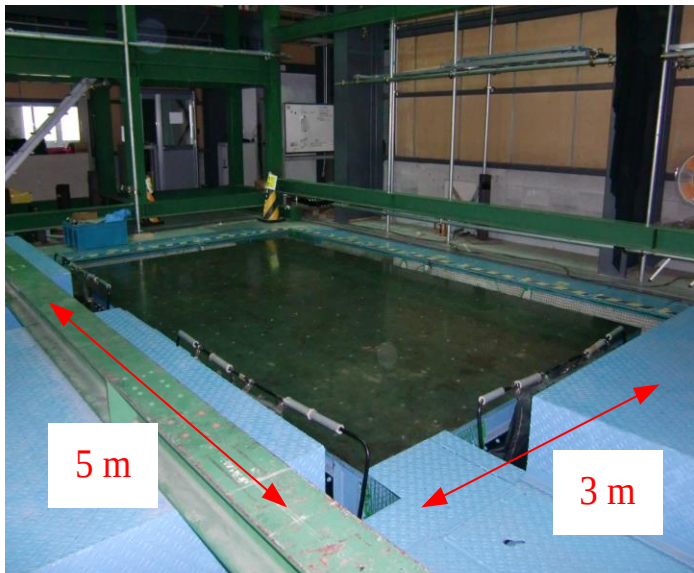
動的な荷重に対するモジュラーチ全体およびヒンジ部の挙動を把握すること



- ・ RC構造の模型を用いる
- ・ ヒンジ部を単純な突合せとし，継手部に起因する破壊の有無を検討

大型振動台

京都大学防災研究所所有の大型振動台



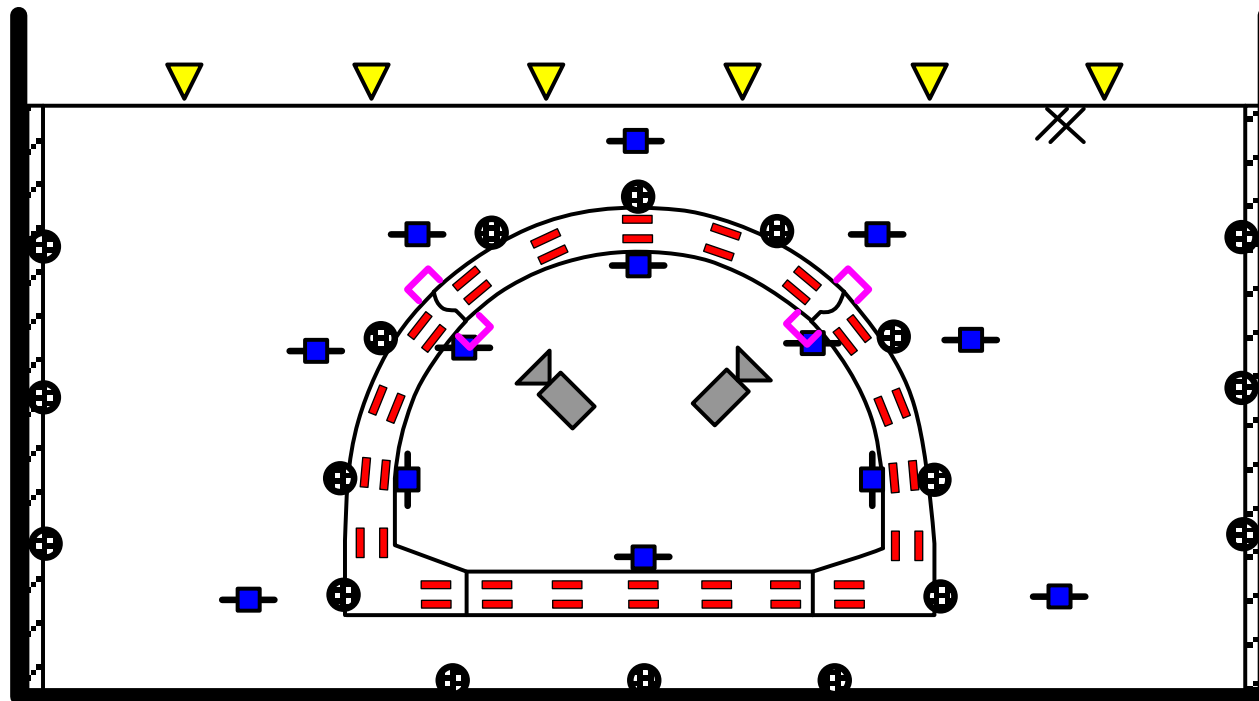
テーブル	5m(X軸方向) × 3m(Y軸方向)
加振方向	水平2軸(X,Y)、垂直(Z)、回転($\theta_x, \theta_y, \theta_z$)
駆動方式	電気・油圧サーボ方式
継手方式	静圧軸受方式
最大搭載重量	定格15tonf、最大30tonf
最大変位	水平(X): $\pm 300\text{mm}$ 水平(Y): $\pm 250\text{mm}$ 垂直(Z): $\pm 200\text{mm}$
最大速度	水平(X): $\pm 150\text{cm/s}$ 水平(Y): $\pm 150\text{cm/s}$ 垂直(Z): $\pm 150\text{cm/s}$
最大加速度 (15tonf戴荷時)	水平(X): $\pm 1\text{G}$ (無負荷時 $\pm 1.5\text{G}$) 水平(Y): $\pm 1\text{G}$ (無負荷時 $\pm 1.5\text{G}$) 垂直(Z): $\pm 1\text{G}$ (無負荷時 $\pm 1.5\text{G}$)
最大回転角度	X、Y、Z軸まわり($\theta_x, \theta_y, \theta_z$): $\pm 3^\circ$
加振周波数	DC~50Hz
加振入力波形	正弦波、不規則波、任意波形

4.2 計測器配置

【計測項目】

- ・ ヒンジ部の目開き量 : 小型変位計
- ・ カルバートの部材力 : ひずみゲージ（鉄筋）
- ・ カルバートへの作用土圧 : 土圧計
- ・ 土槽壁面への作用土圧 : 土圧計
- ・ 地表面変位量 : レーザー変位計
- ・ カルバートの加速度, 変位 : 加速度計
- ・ 地盤の加速度 : 加速度計

- 土圧計
- 加速度計
- ▼ レーザー変位計
- ひずみゲージ(鉄筋)
- 小型変位計
- 📷 ビデオカメラ



ご静聴ありがとうございました。

