

高じん性モルタルを用いた 実大橋梁耐震実験の破壊解析 ブラインド解析結果

株式会社フォーラムエイト
甲斐義隆

チーム構成

- 甲斐義隆 : 株式会社フォーラムエイト
- 青戸拡起 : A-Works 代表
- 松山洋人 : 株式会社フォーラムエイト
- Brent Fleming : 同上
- 安部慶一郎 : 同上
- 吉川弘道 : 東京都市大学 総合研究所 教授

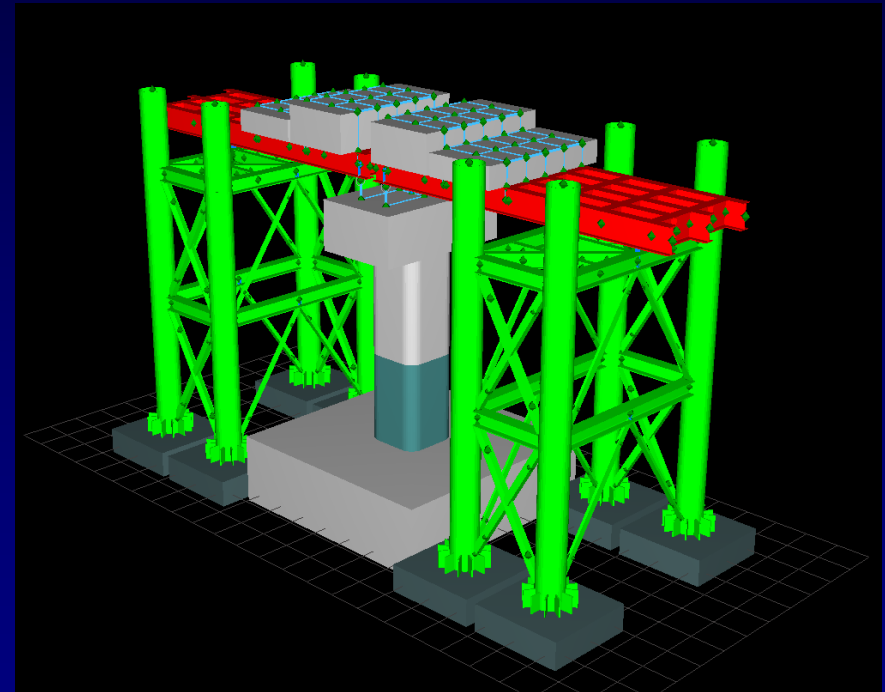
解析モデル

解析概要

- 使用プログラム: Engineer's Studio ver.1.03.00 (HPFRCC追加版)
株式会社フォーラムエイト
- 対象: C1-6橋脚試験体および端部橋脚を含む全体系モデル



試験体写真※



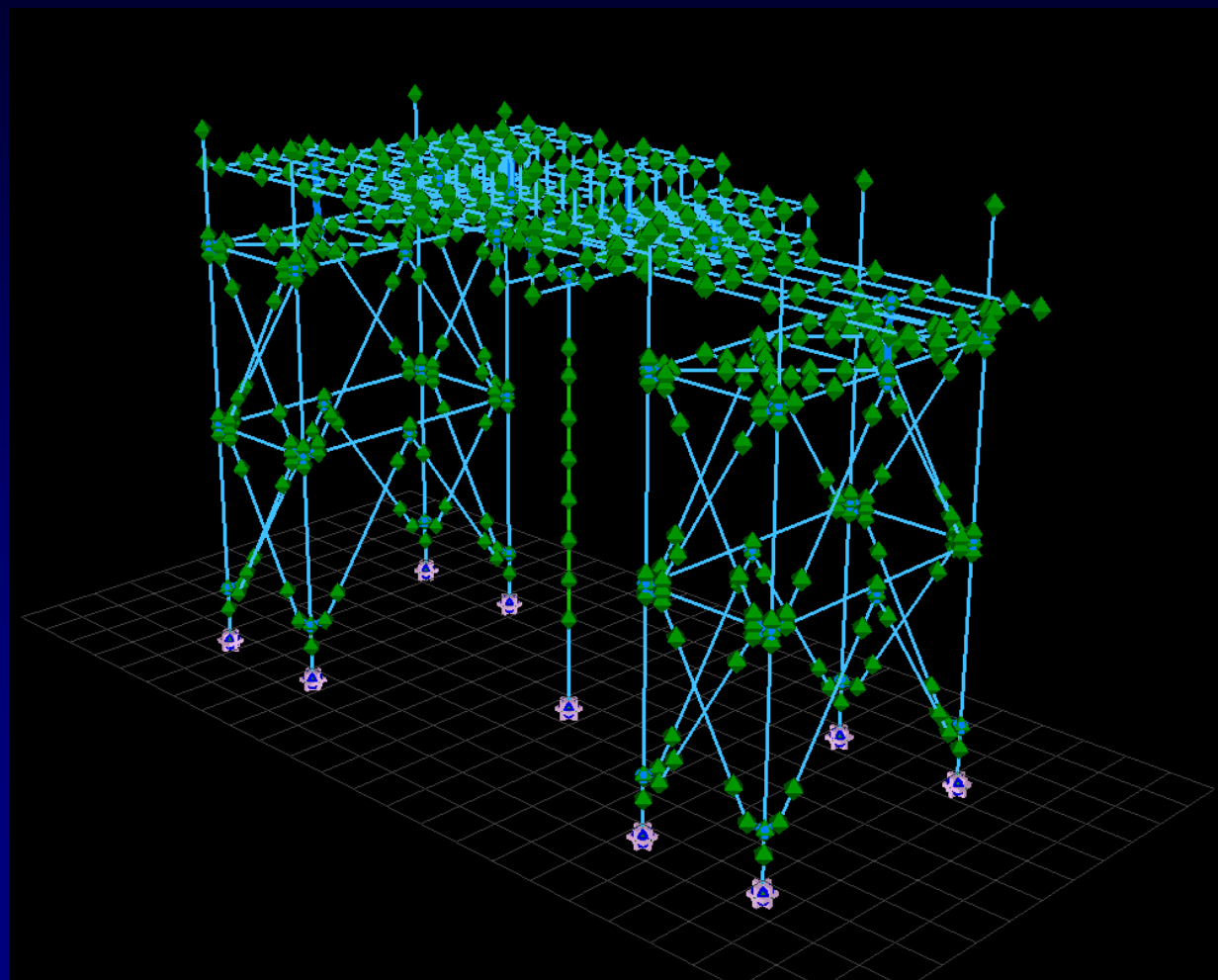
Engineer's Studioモデル

※兵庫耐震工学研究センターHP加振実験映像(<http://www.bosai.go.jp/hyogo/movie.html>)の"20100302 n.wmv"より

解析手法

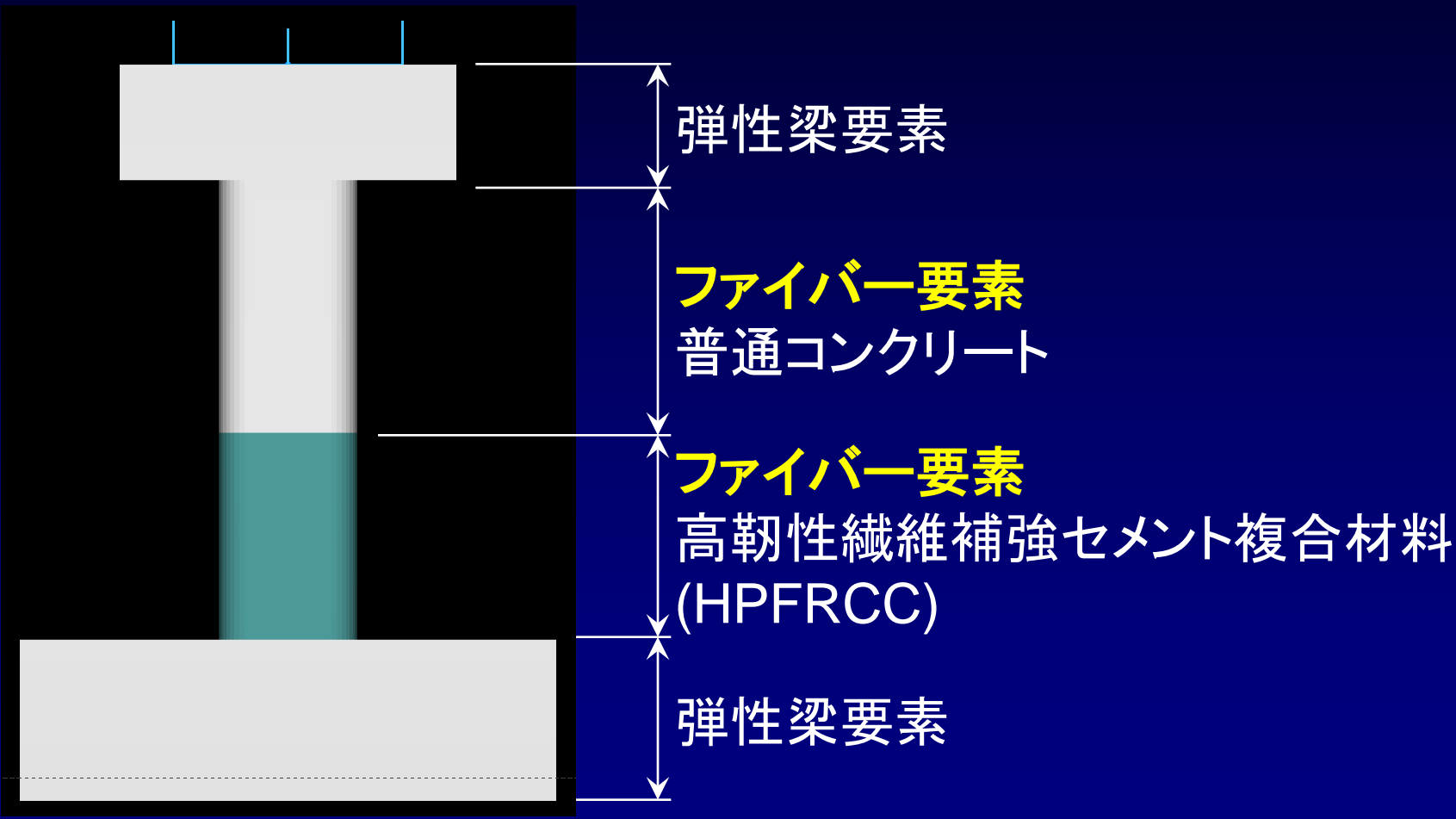
- ファイバー要素を用いた立体骨組解析
- Newmark β 法($\beta=1/4$)
- 振動台上での計測波(加速度)を水平2方向+鉛直方向, 合計3方向同時入力
- $\Delta T=0.005$ 秒
- 大変位解析(適合条件: 非線形)

解析モデル概要

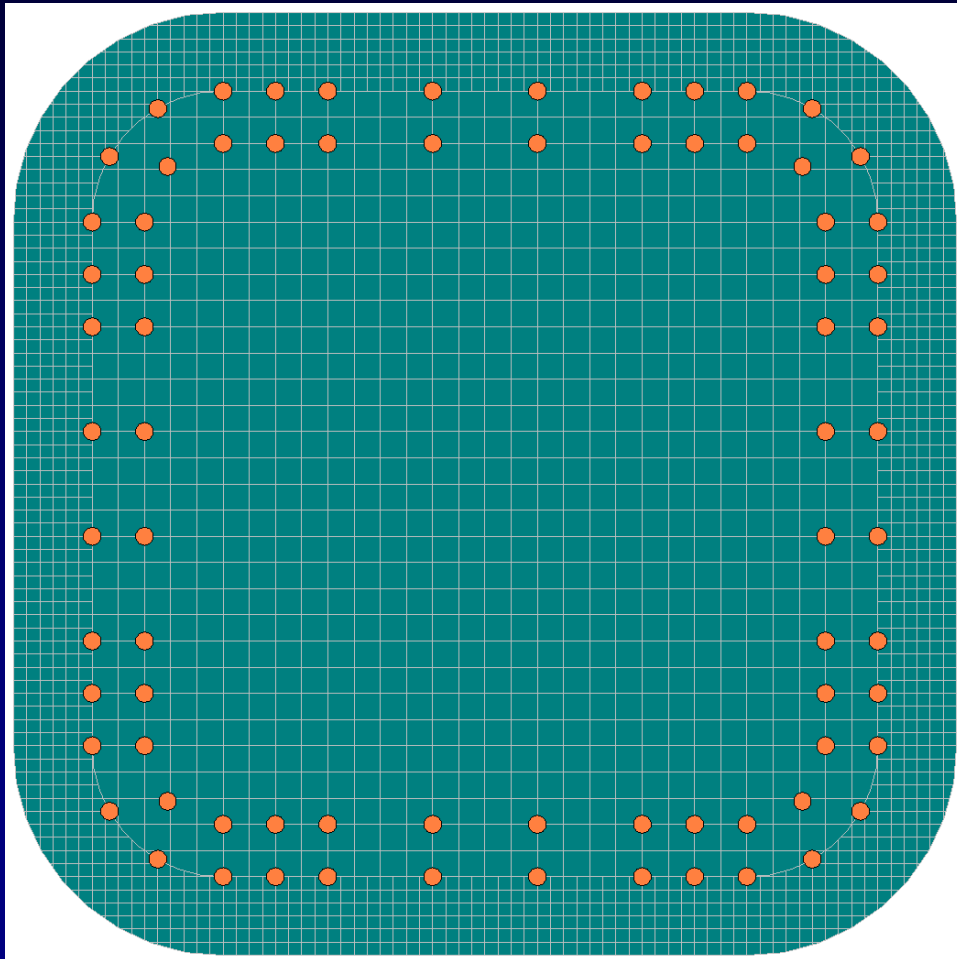


- ・節点数 : 586
- ・弾性梁要素 : 735
- ・Fiber要素 : 7
- ・バネ要素 : 8

橋脚のモデル化



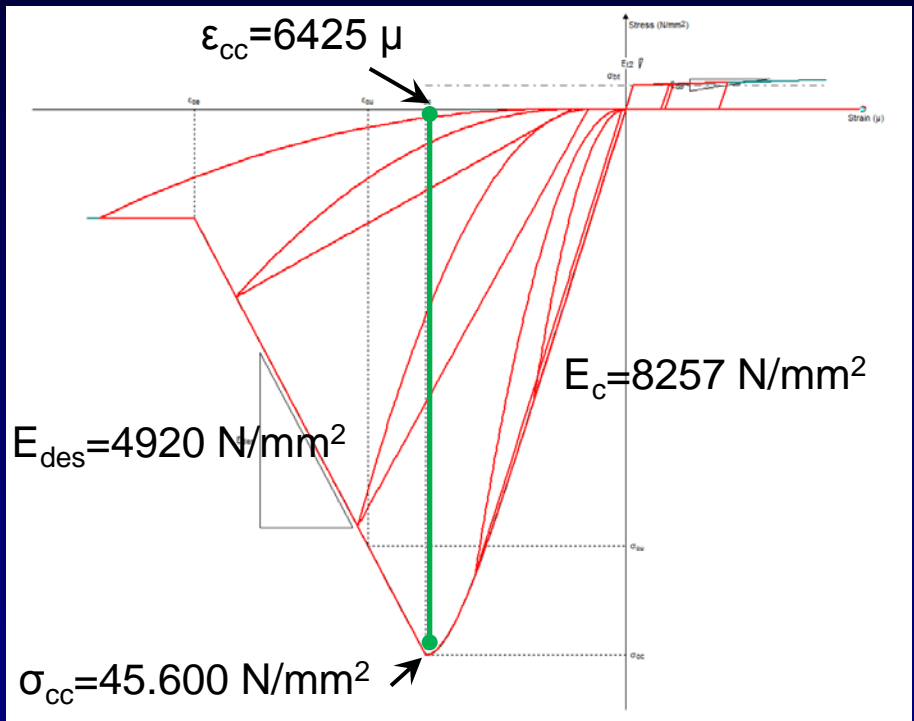
ファイバー要素のメッシュ分割



1断面あたり2512セル

ヒステリシス

HPFRCC:
製品版にはないため、今回急遽下図のような簡易モデルを実装した。圧縮側を「Hoshikuma」、引張側を「バイリニア」でモデル化。骨格についてはHPFRCCの繰返し試験結果より、試験結果を包絡するように決定。横拘束効果は評価しない。

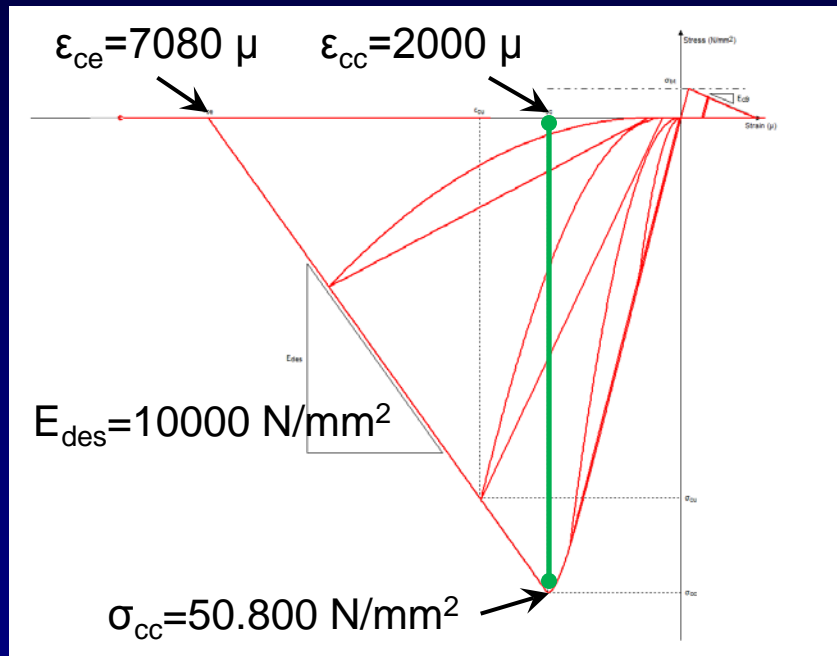


σ_{cc} は実験当日の結果

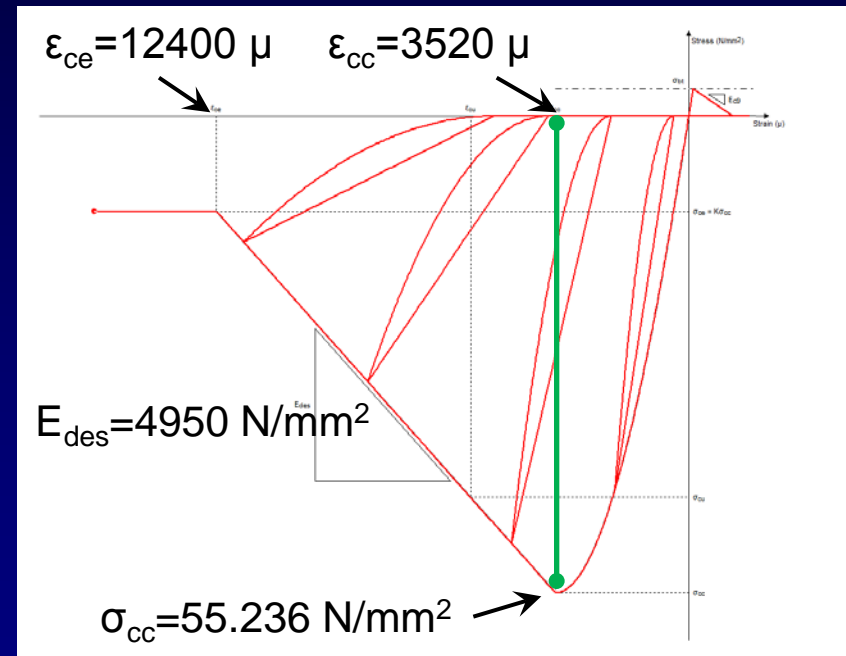
E_{des} については下記文献しか記載がなく、その他のパラメータと試験を揃えるため下記文献を参考にした
Richelle Zafra, Kazuhiko Kawashima, Manabu Nakayama and Koichi Kajiwara : Compression, Tension and Cyclic Loading Experiments on Polypropylene Fiber Reinforced Cement Composites

ヒステリシス

コンクリート：
圧縮側を「Hoshikuma」，引張強度考慮。



かぶりコンクリート



コアコンクリート

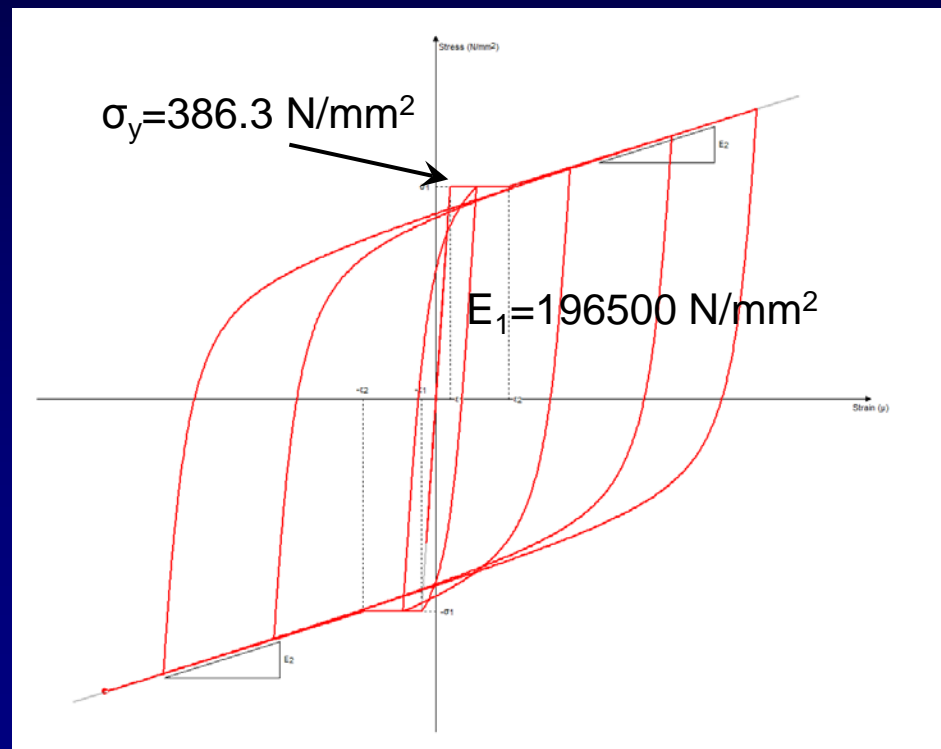
σ_{cc}は実験当日の結果

ヒステリシス

鉄筋：

圧縮側，引張側ともにトリリニアモデル。

内部履歴は修正MP(堺-川島)モデル。



減衰

- 要素別剛性比例型を使用
- ファイバー要素の粘性減衰定数はゼロ
- 各要素の粘性減衰定数は以下のとおり
 - 桁 : 2%
 - コンクリート(弾性) : 5%
 - 剛部材 : 0%
 - 支承 : 0%

初期損傷の評価方法

Engineer's Studioでは、解析中の支承条件変更および重量の変更はできないため、正確に実験での条件と整合させることは不可能である。

よって、以下の仮定、検討を行った上で、解析を実行した。

【基本モデル(本加振, 100%入力)に対して】

- 免震支承から固定支承へ荷重支持条件が変更となるが、免震構造での橋脚躯体への損傷を伴う応答はないもの仮定し、基本モデルに対しては初期損傷なしとして解析を行う。
- 加速度波形を2回連続入力した結果、1回目と2回目では最大振幅に大きな差は認められない。
- 以上より、本ケースに対しては**初期損傷は無視して加速度波形を2回連続入力し、100%2回目の結果を評価する。**

初期損傷の評価方法

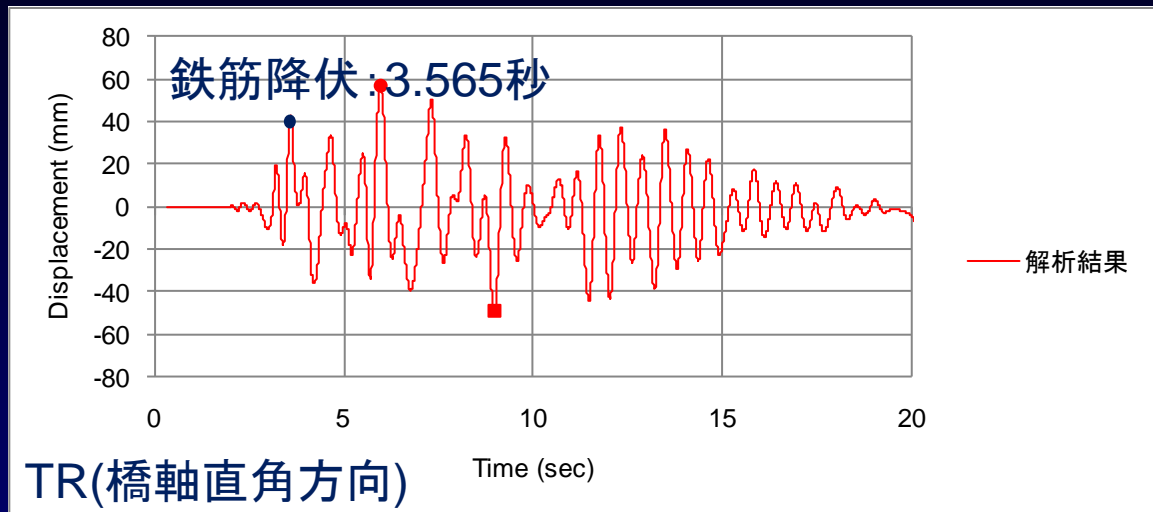
【付加マスモデル(付加重量あり, 125%入力)に対して】

- 基本モデルの100%を2回入力した結果と, 付加マスモデルに対して90%入力した結果, 応答波形がほぼ同等の振幅となった。(トライアル計算)
- 付加マスモデルに対して90%入力を行った後に100%入力した結果と, 100%入力を1回解析した結果では, 事前に90%入力した結果の方が最大振幅が大きい。
- 90%→100%→125%×2回と125%×2回では結果に大きな違いは認められなかった。
- 以上より, 125%入力の結果に着目する場合, それ以前の影響は小さいため, 初期損傷は無視して加速度波形を3回連続入力し, 125%2回目の結果を評価する。

解析結果

橋脚天端の変位履歴

本加振, 100%, 1回目

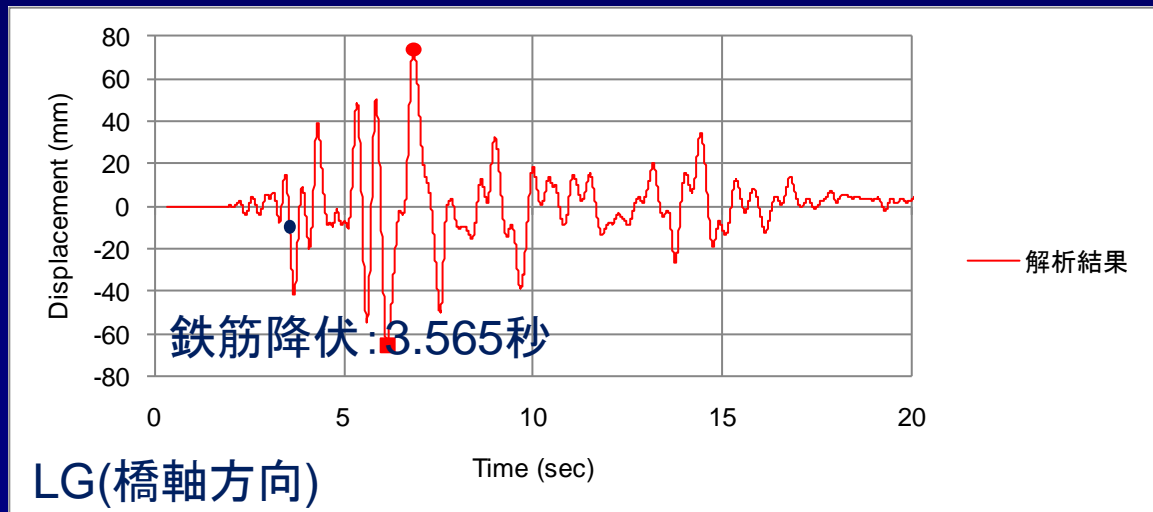


【最大値】

解析: 56.776 mm (5.965s)

【最小値】

解析: -48.890 mm (8.970s)



【最大値】

解析: 73.737 mm (6.835s)

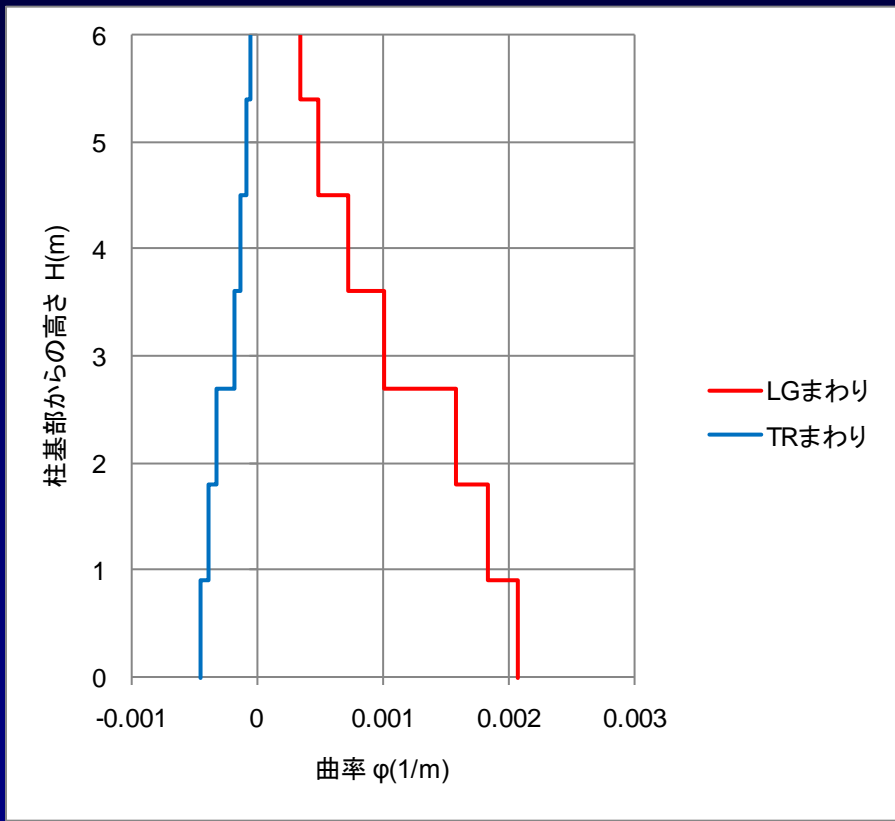
【最小値】

解析: -65.280 mm (6.140s)

鉄筋降伏時の曲率分布

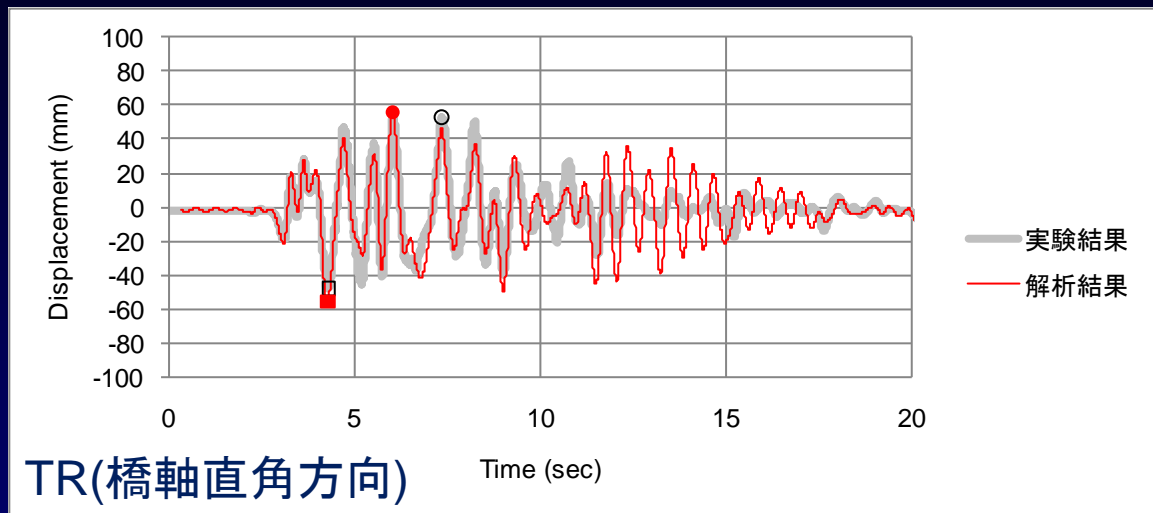
本加振, 100%, 1回目

解析にて柱基部の鉄筋が降伏した3.565秒時の曲率分布



橋脚天端の変位履歴

本加振, 100%, 2回目



【最大値】

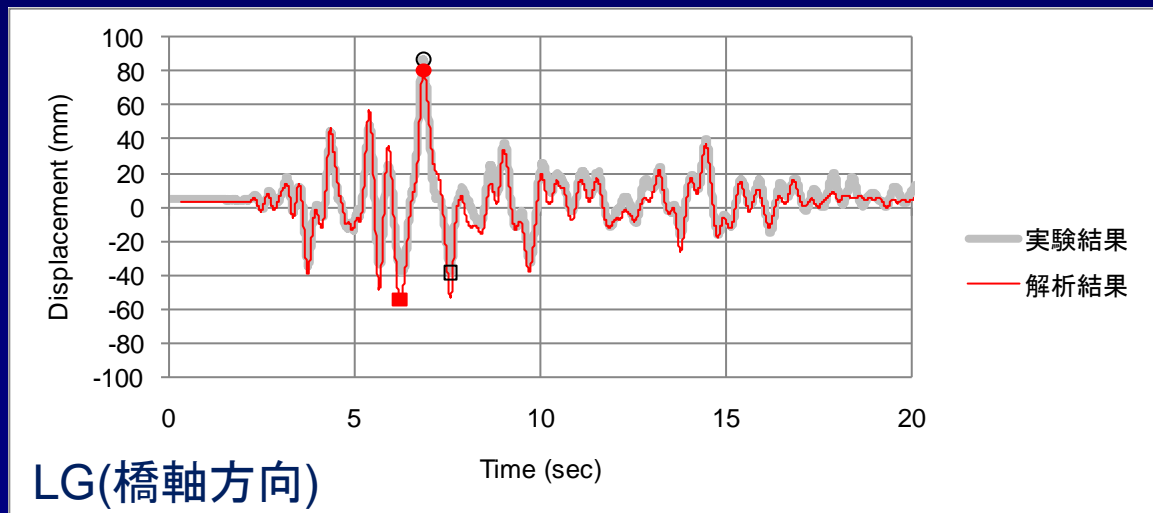
実験 : 52.647 mm (7.330s)

解析 : 55.822 mm (6.010s)

【最小値】

実験 : -48.044 mm (4.290s)

解析 : -55.443 mm (4.265s)



【最大値】

実験 : 86.637 mm (6.860s)

解析 : 80.192 mm (6.845s)

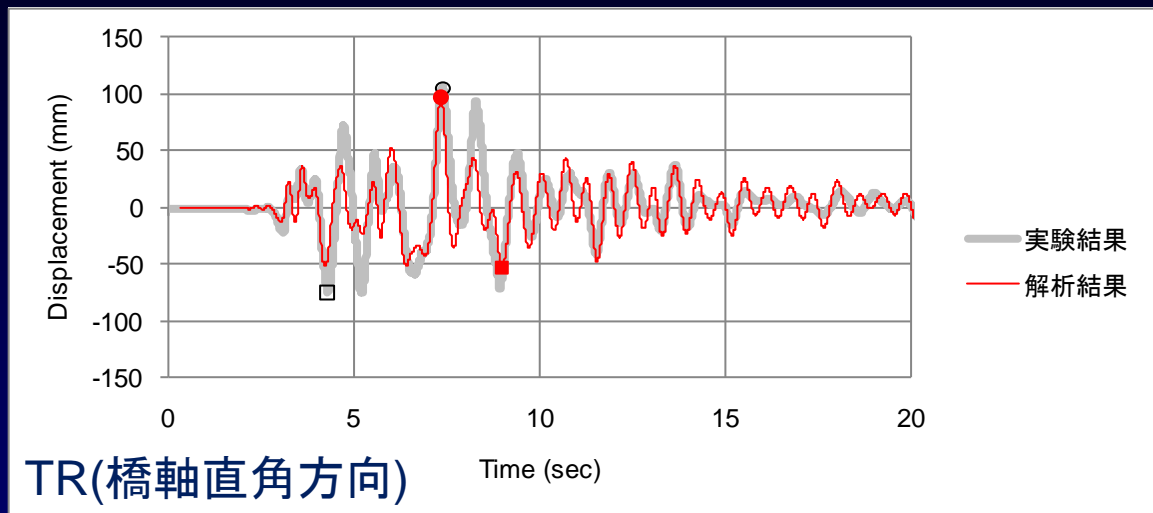
【最小値】

実験 : -38.778 mm (7.570s)

解析 : -54.180 mm (6.205s)

橋脚天端の変位履歴

付加マス後, 100%



【最大値】

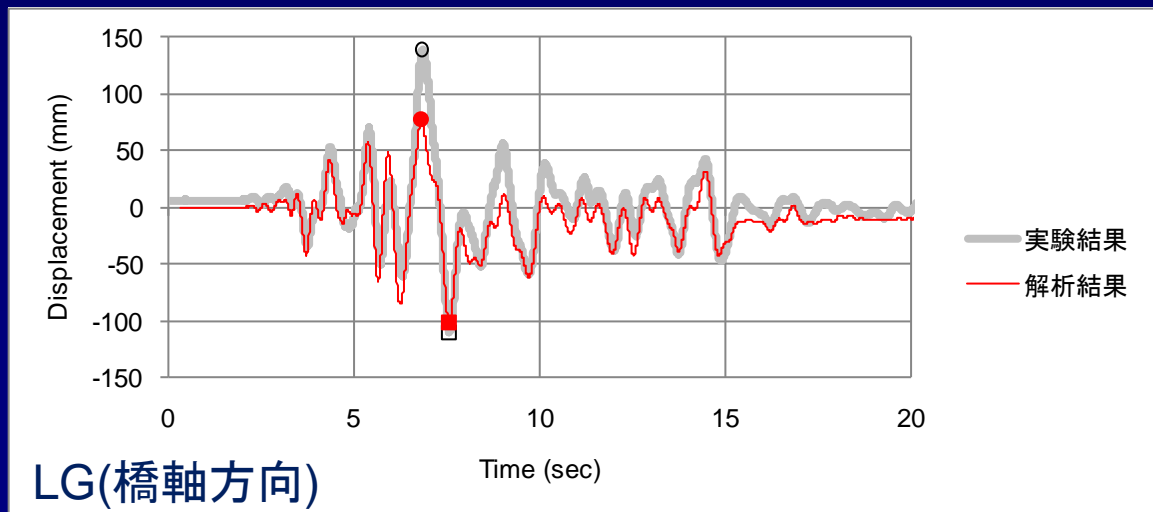
実験: 104.812 mm (7.370s)

解析: 97.107 mm (7.335s)

【最小値】

実験: -75.485 mm (4.280s)

解析: -53.534 mm (8.970s)



【最大値】

実験: 138.319 mm (6.825s)

解析: 76.925 mm (6.800s)

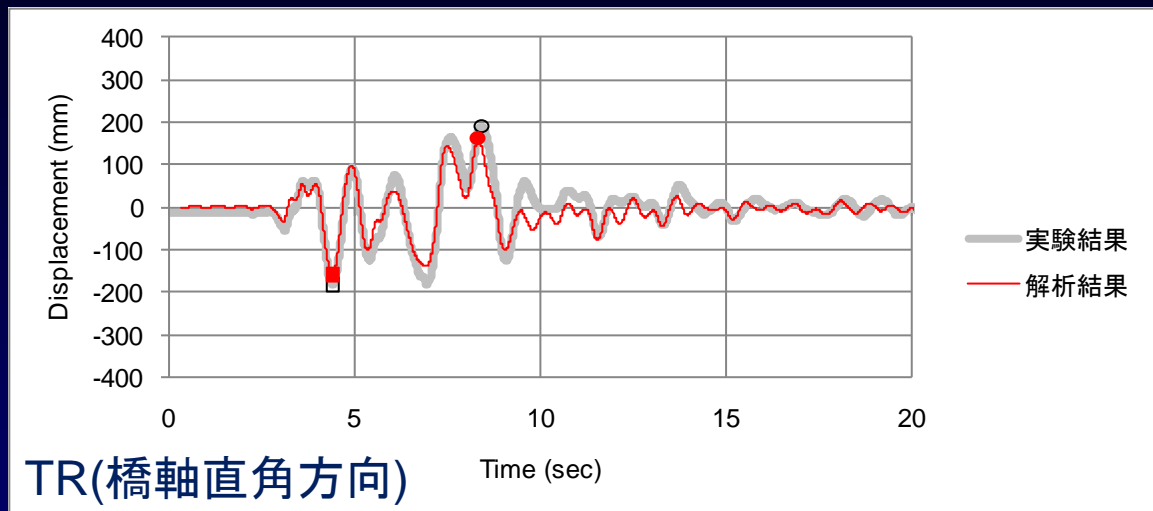
【最小値】

実験: -109.958 mm (7.560s)

解析: -101.314 mm (7.550s)

橋脚天端の変位履歴

付加マス後, 125%, 2回目



【最大値】

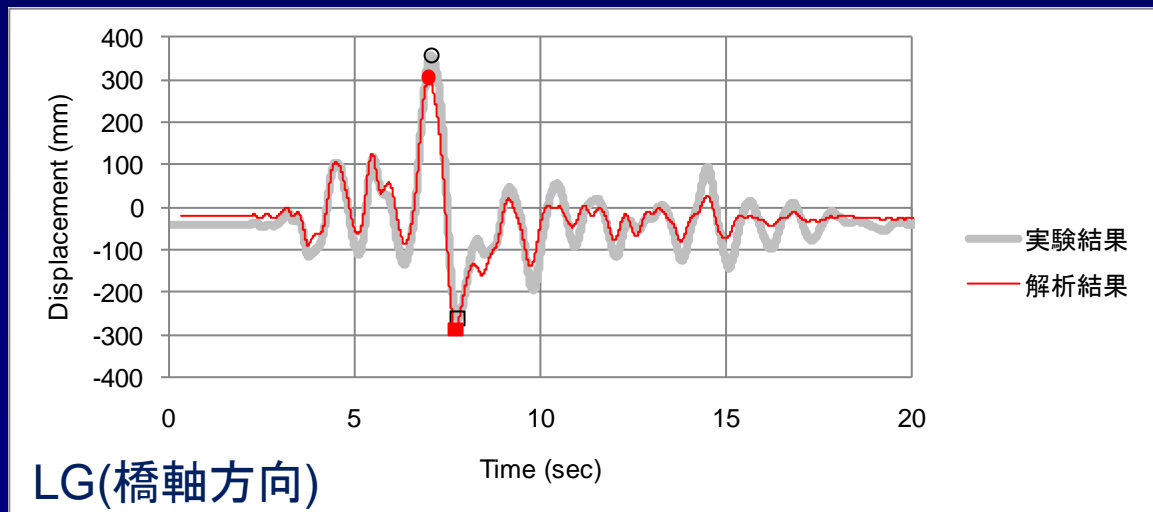
実験: 189.892 mm (8.405s)

解析: 162.907 mm (8.315s)

【最小値】

実験: -180.943 mm (4.395s)

解析: -157.006 mm (4.395s)



【最大値】

実験: 356.452 mm (7.065s)

解析: 303.400 mm (6.980s)

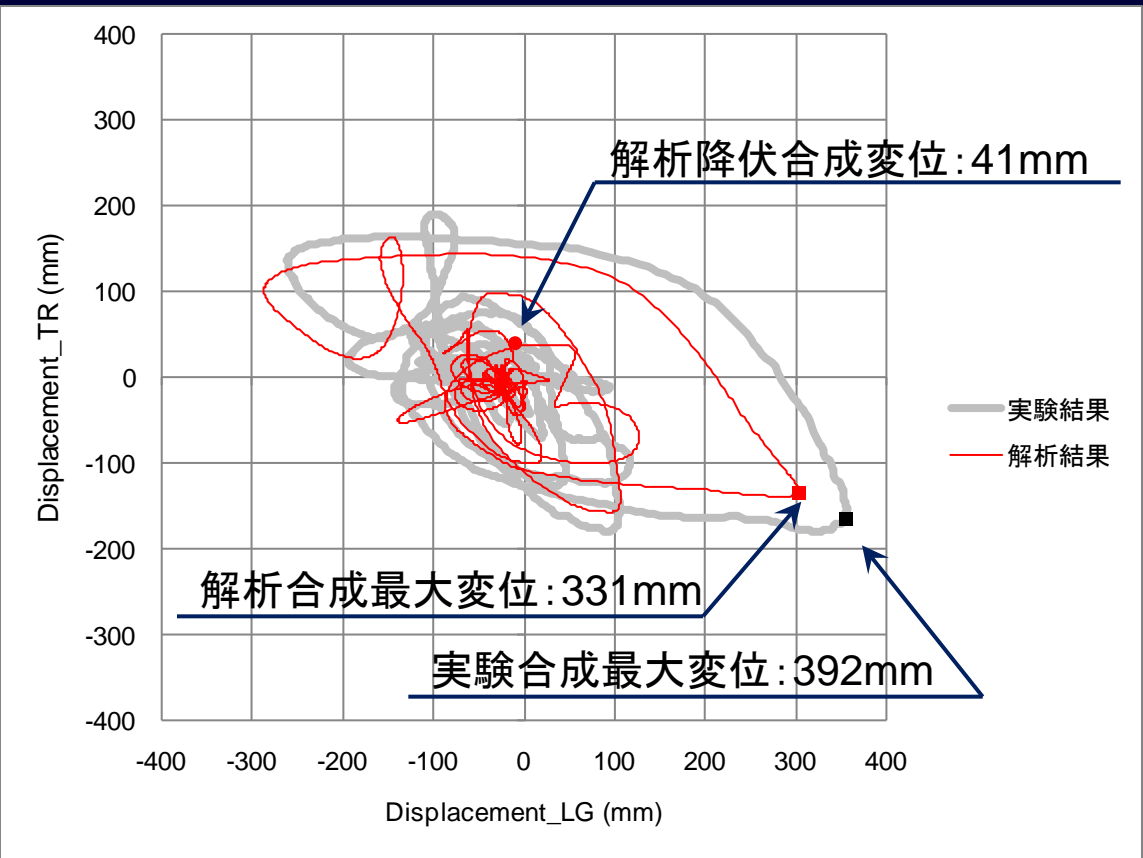
【最小値】

実験: -261.264 mm (7.750s)

解析: -287.242 mm (7.705s)

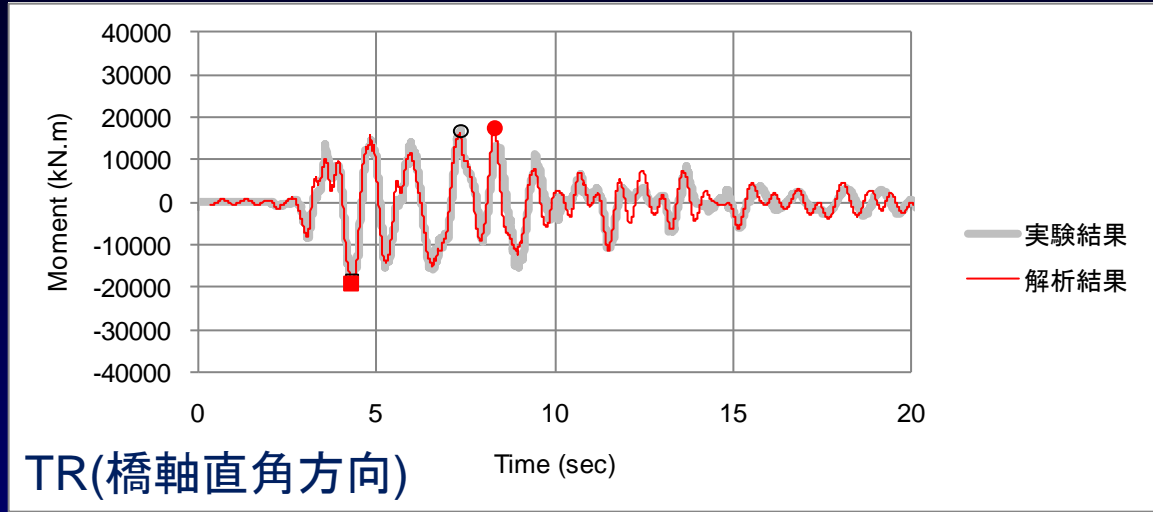
橋脚天端の変位履歴

付加マス後, 125%, 2回目



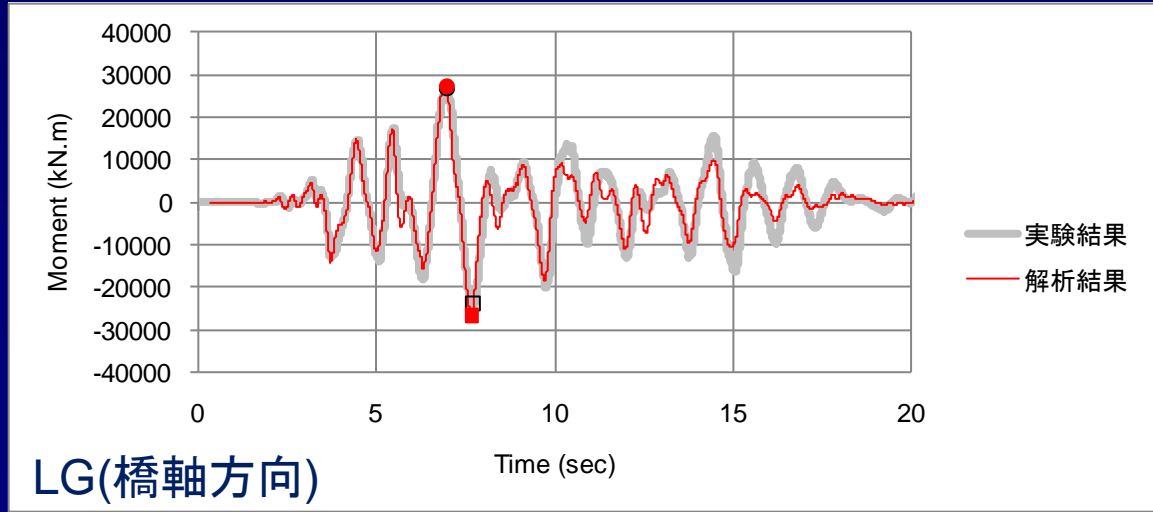
柱基部のモーメント履歴

付加マス後, 125%, 2回目



【最大値】
実験 : 16683 kN.m (7.355s)
解析 : 17504 kN.m (8.315s)

【最小値】
実験 : -18388 kN.m (4.320s)
解析 : -19229 kN.m (4.300s)

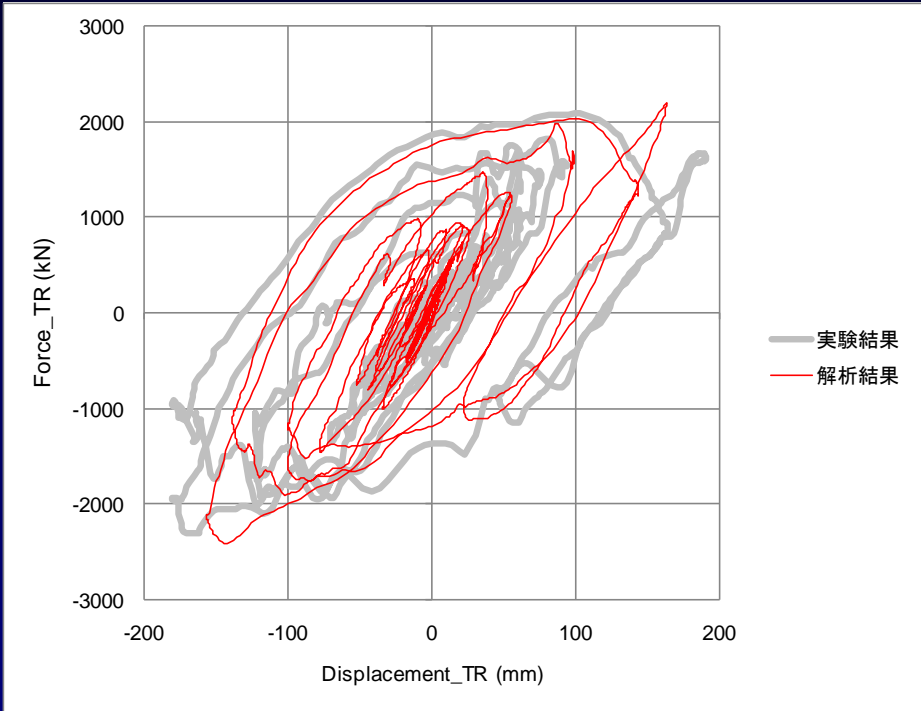


【最大値】
実験 : 26438 kN.m (6.990s)
解析 : 27363 kN.m (6.970s)

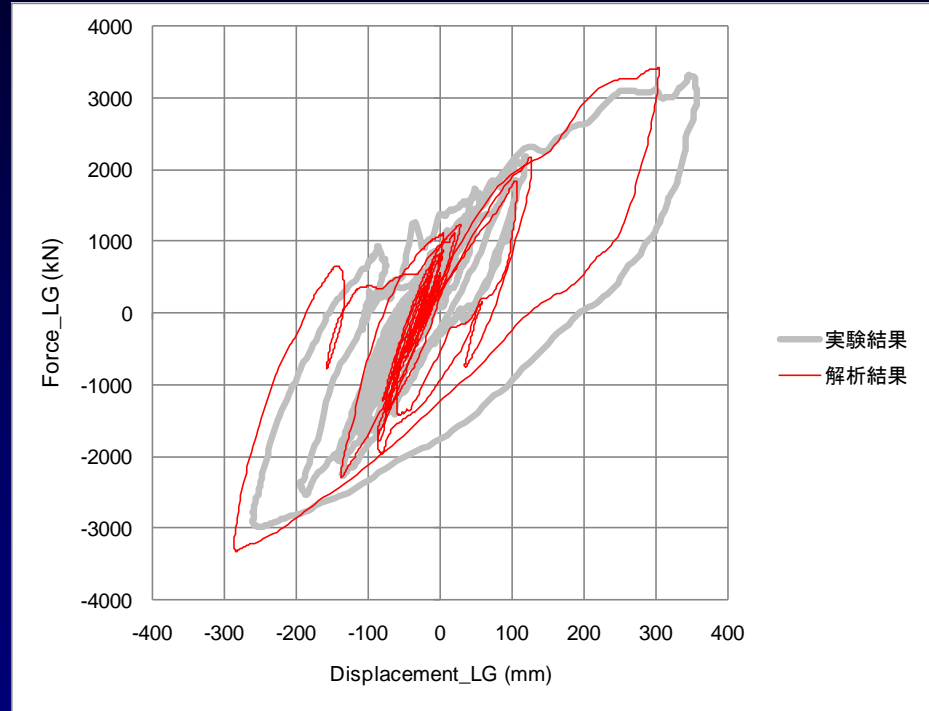
【最小値】
実験 : -23764 kN.m (7.705s)
解析 : -26449 kN.m (7.680s)

荷重変位曲線

付加マス後, 125%, 2回目



橋軸直角方向



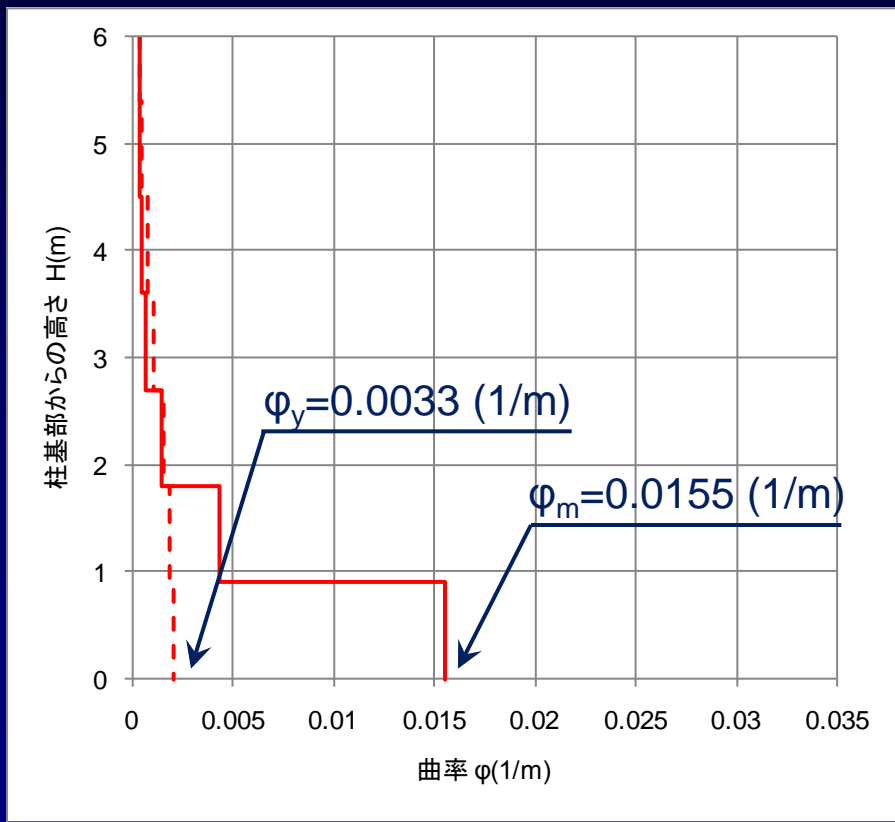
橋軸方向

橋軸直角方向, 橋軸方向とも荷重変位曲線の形状は紡錘型を呈しており, 高いエネルギー吸収能力を保有していることがうかがわれる。

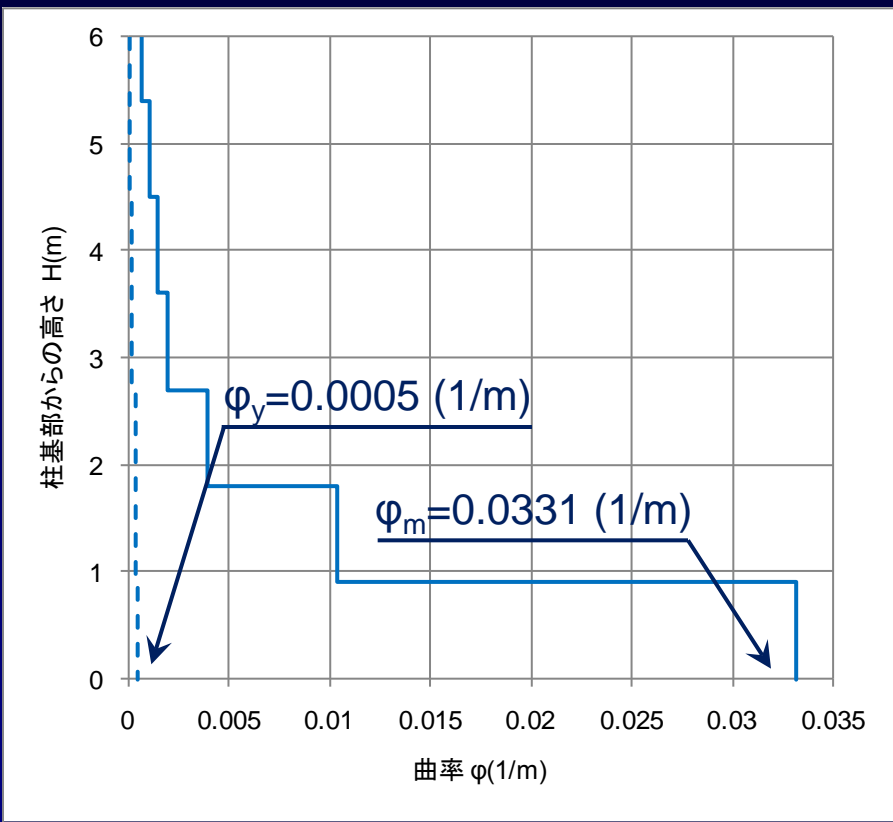
最大応答変位時の曲率分布

付加マス後, 125%, 2回目

解析にて橋脚天端の変位が最大を記録した6.970秒時の曲率分布(破線は降伏時)



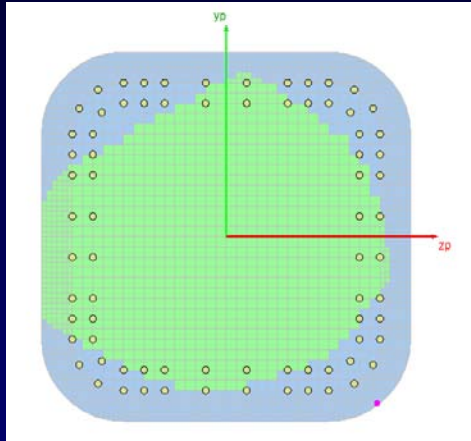
橋軸回り



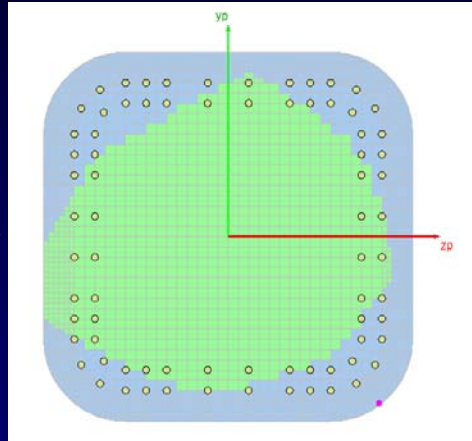
橋軸直角軸回り

橋脚基部のひずみ履歴

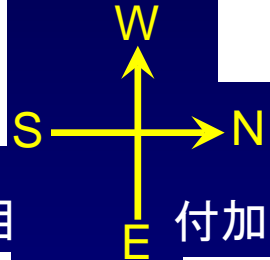
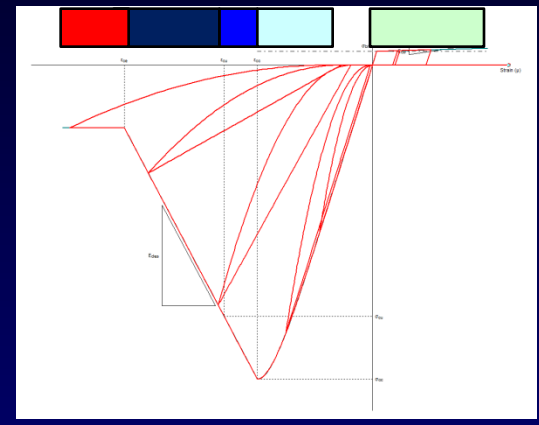
本加振100%-1回目



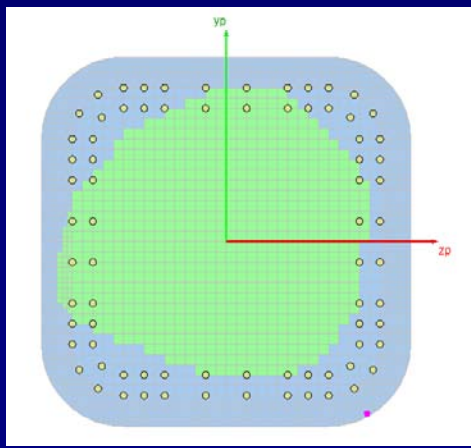
本加振100%-2回目



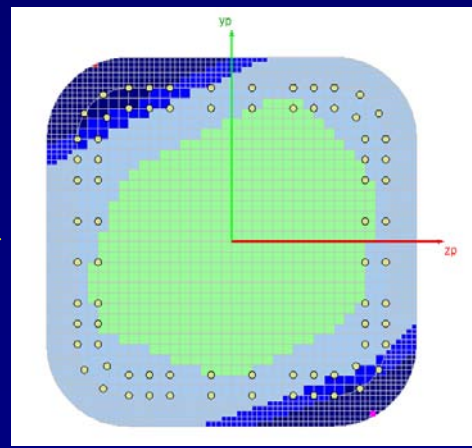
ひずみ凡例



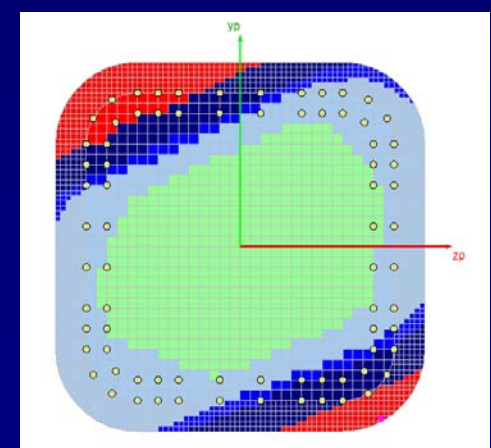
付加マス後100%



付加マス後125%-1回目



付加マス後125%-2回目



考察

- 作用荷重レベルが大きくなるほど、解析結果と実験結果はよく一致する。
- 付加マス後、125%、2回目の解析結果は実験結果より小さい。HPFRCC部ではコアとかぶりを区分していないのが要因の一つとして挙げられる。
- 最大330mm(≒4.4%)の変位が生じたにもかかわらず、残留変位は25mm(≒0.3%)であった。
- 荷重変位曲線は紡錘型を呈しており、高いエネルギー吸収能力を有している。