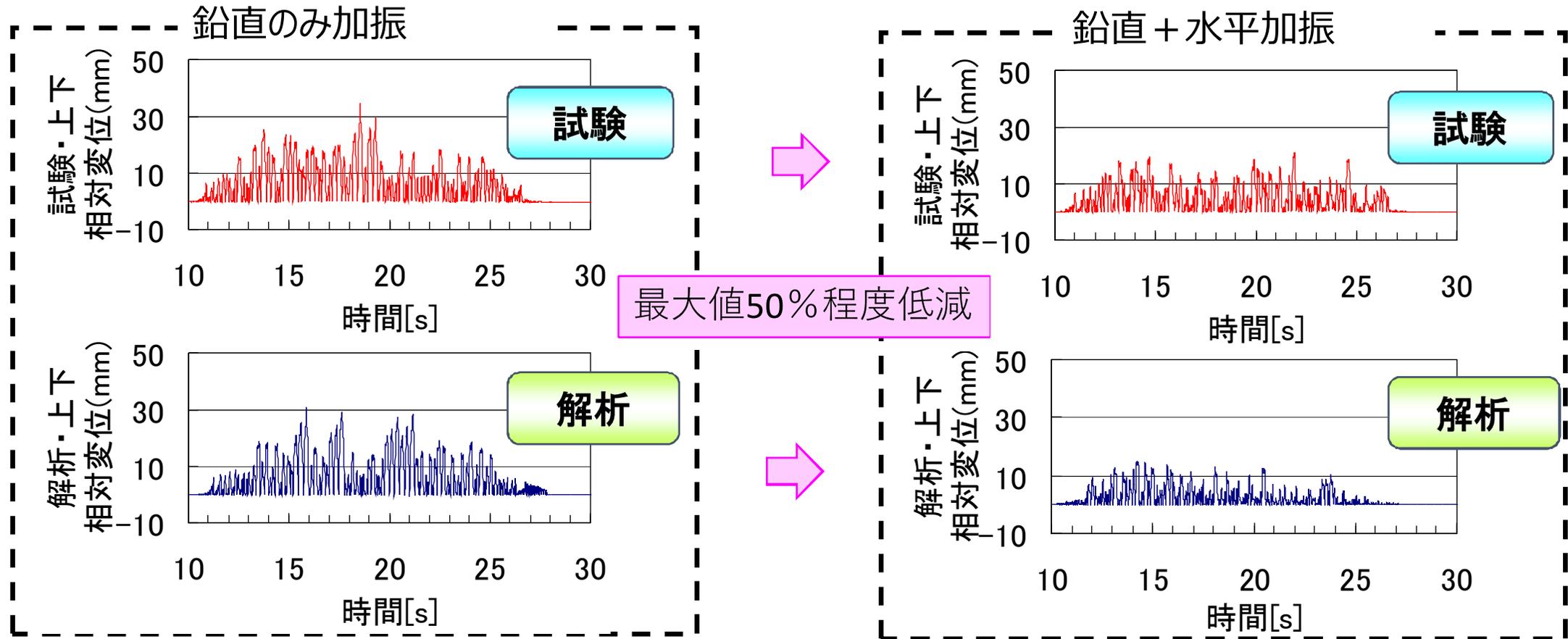


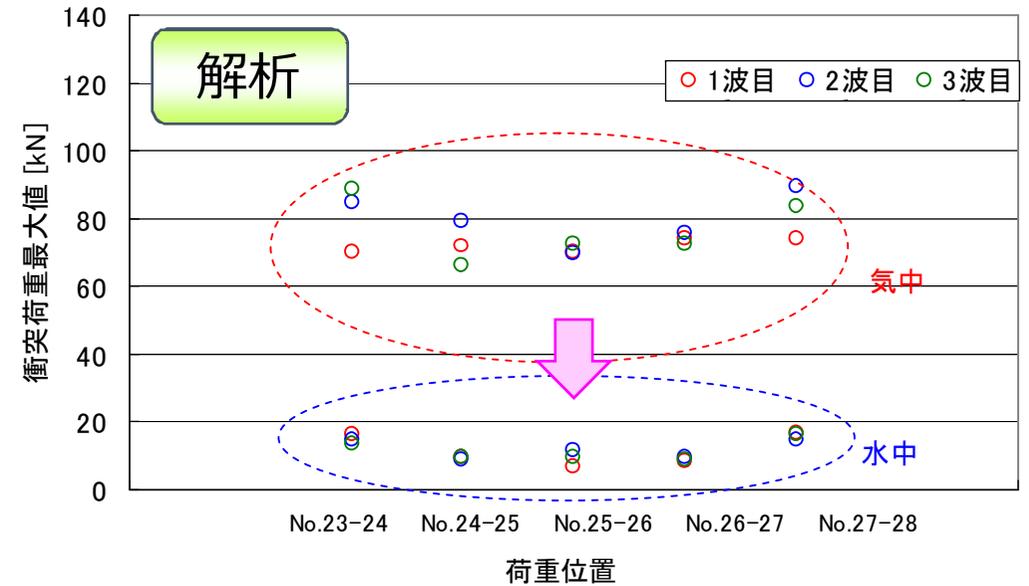
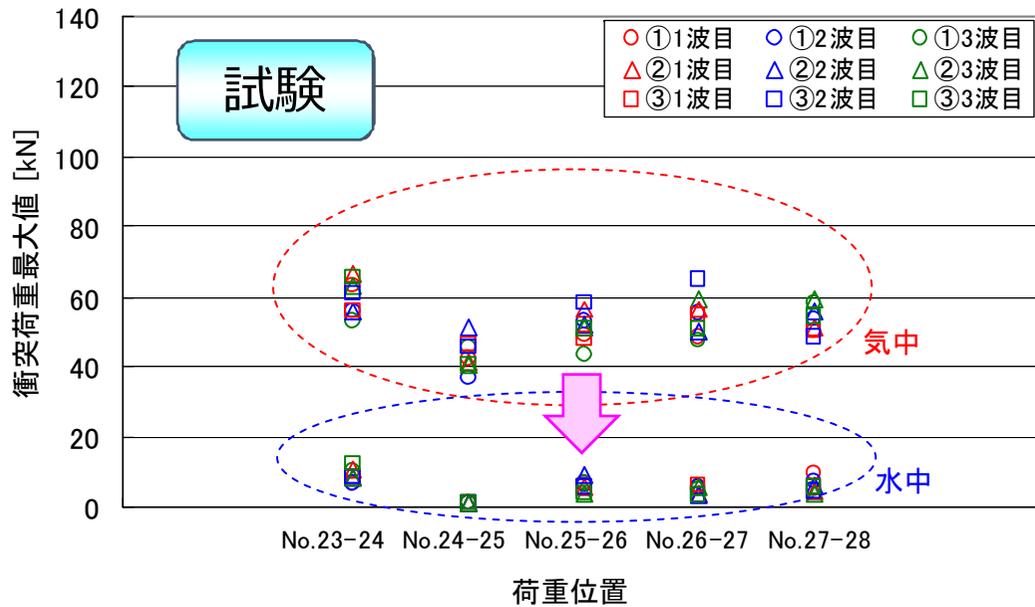
コメント	解析で試験を概ね再現ができたとしているが、その考え方を説明すること
回答	<p>炉心群振動解析コードREVIAN-3Dの開発は、</p> <ul style="list-style-type: none"> ・群振動挙動への主要な影響因子を特定 ・その影響を確認できる体系の試験を実施し、試験データを取得 ・解析コードで、影響因子の効果を確認 <p>というステップを踏みながら進めてきた。</p> <p>具体的には、試験は4つの体系：①単体、②37体群体系、③18体及び32体列体系、④127体及び313体多数体系で試験を実施した。</p> <p>試験で得られた群振動挙動の特徴のうち、代表的事例として</p> <ol style="list-style-type: none"> ①試験：垂直加振に水平加振が加わると跳び上がり量が低減する効果（P2） ②試験：流路網の流体力により衝突荷重が低減する効果（P3） ③試験：内部流水により跳び上がり量が増加する効果（P4） ④試験：最外周付近で水平方向の衝突荷重が増大する列配置の効果（P5） <p>等を確認し、主たる影響因子の影響程度を確認した。</p> <p>解析の跳び上がり量や衝突荷重の計算値と試験結果値の比較は、群振動挙動がばらつきの大い現象であることを踏まえると、単純に数値の大小関係だけを比較して解析の妥当性を判断することには限界がある。そこで、試験で確認された群振動挙動の特徴を、時刻歴挙動の定性的比較（波形の特徴比較）、解析値の統計量（最大値/RMS値等）の比較を実施し、それらの比較検討結果を総合的に判断して、解析は試験を概ね再現できていると判断した。</p> <p>なお、解析の精度の観点から、試験結果全体を俯瞰すると、</p> <ul style="list-style-type: none"> ➤ 最大跳び上がり量に関しては、±20～30%程度の精度で評価。 ➤ 最大衝突荷重に関しては、0～+60%程度（保守側※）の精度で評価。 <p style="text-align: center;">※：解析モデルでは、燃料体のZ軸廻りの回転を考えていない。この結果、解析モデル上では燃料体同士の衝突がパッド部の面同士の衝突となり、解析により算出された衝突荷重は実際の衝突現象に比べ大きな値となる。</p>

単体 正弦波試験



- 水平加振の重畳により、跳び上がり量最大値は50%程度低減。解析でも同様に50%程度低減しており、水平加振の効果を解析でも再現できたと判断（時刻歴による確認）
- 本試験の場合、最大跳び上がり量は、20%程度小さく評価

37体群体系 正弦波試験



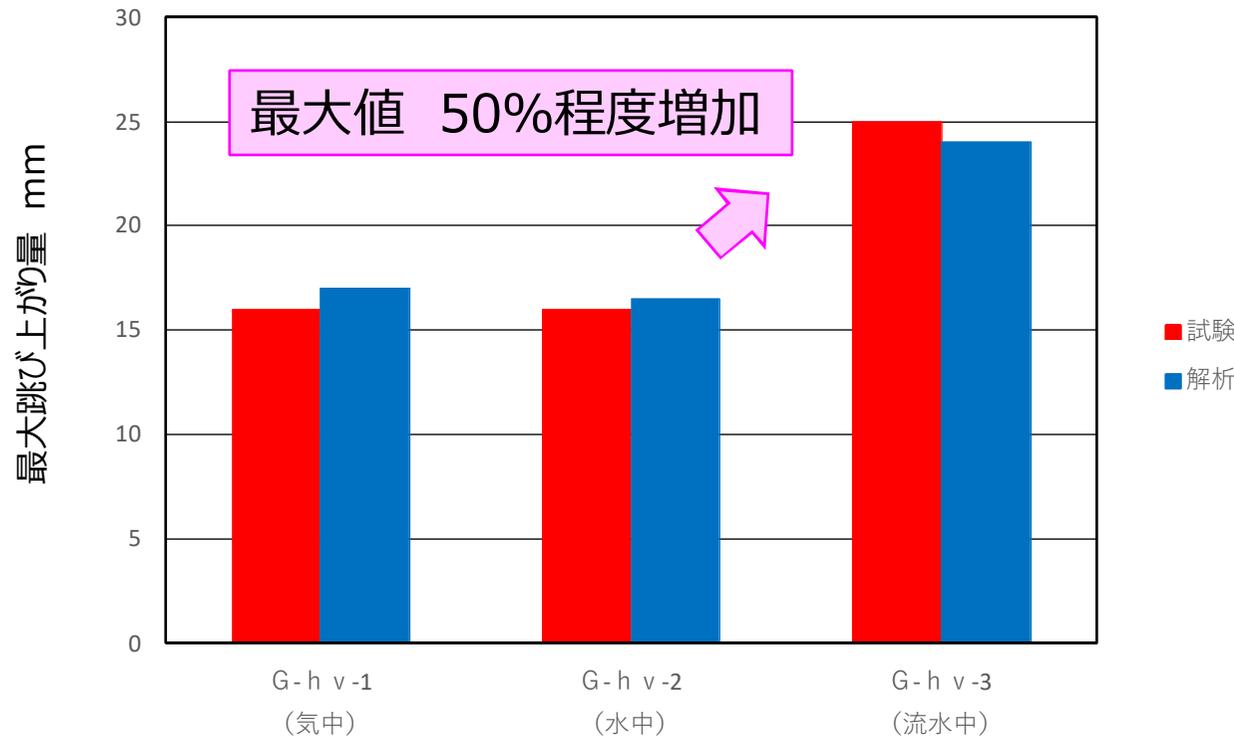
最大値分布 85%程度低減

最大値分布 85%程度低減

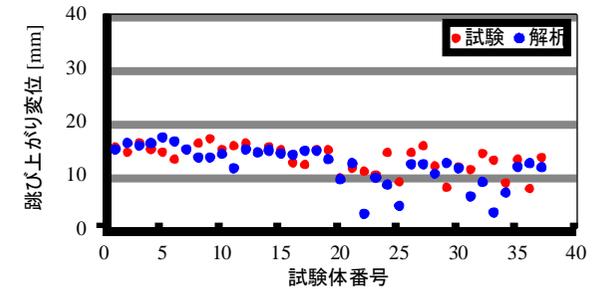
- 流路網流体力により、気中に比べ水中での衝突荷重の最大値は85%程度低減。解析でも同様に85%程度低減しており、流路網流体力の効果を解析で再現できたと判断（最大値分布による確認）
- 本試験の場合、衝突荷重を30%程度大きめ（保守側）に評価

37体群体系 正弦波試験

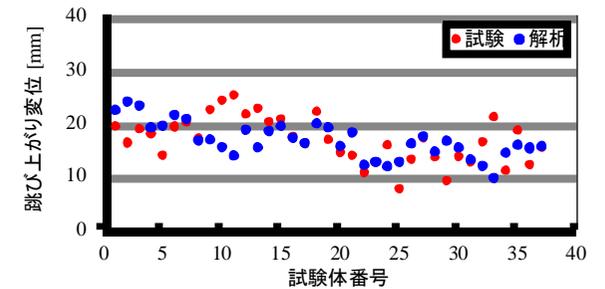
水平 + 鉛直加振



水中試験での最大跳び上がり量の分布

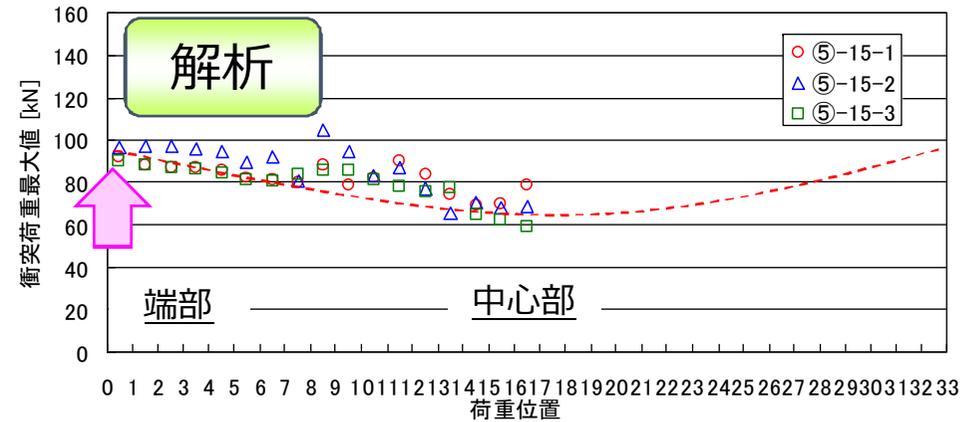
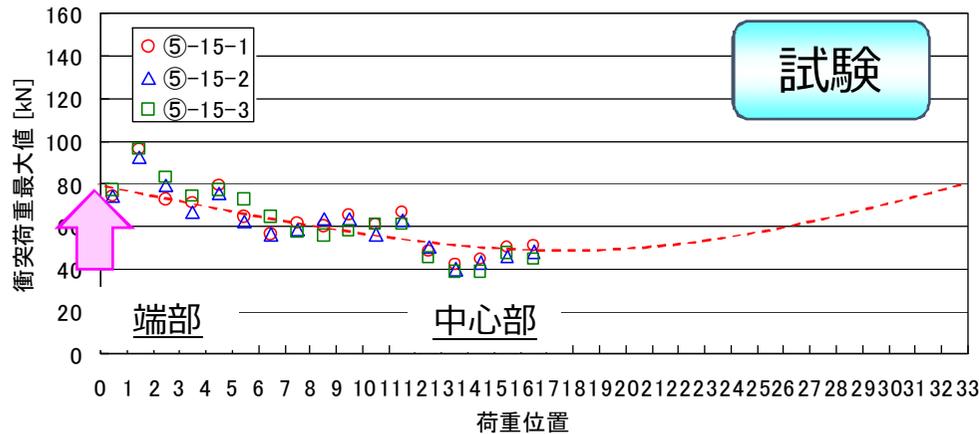
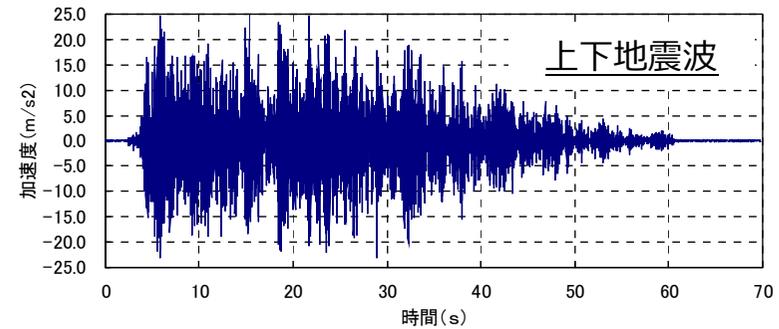
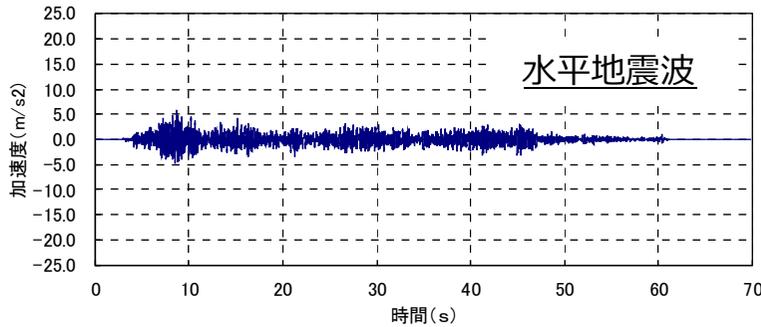


流水中試験での最大跳び上がり量の分布



- 内部流水による流体力により、水中に比べ流水中での跳び上がり量の最大値は50%程度増加。解析でも同様に50%程度増加しており、再現できたと判断（最大値による確認）
- 本試験の場合、最大跳び上がり量を±10%程度の範囲で評価

32体列体系 地震波試験



最大値の分布 端部は中央に比べ40%程度増加

- 端部においては、中心部に比べ衝突荷重の最大値は40%程度増加。解析でも同様に40%程度増加しており、再現したと判断（最大値による確認）
- 本試験の場合、衝突荷重を15%程度大きめに評価

解析で試験を再現できたと判断する場合の考え方

- 群振動挙動は影響因子が多く、また衝突の前後で燃料体の挙動が大きく変化する現象。燃料体挙動に与える個別の影響因子を定量的に評価することには限界がある。
- 群振動試験では、定性的な挙動の「再現性」に着目し、影響因子の定性的な効果と影響の度合いを定量的に確認しながら進める。
- 影響因子の効果確認のための試験は、その効果が顕著に現れる（予測される）体系を用いて試験を実施。
- 「再現」できたとする判断材料（試験データ）は時刻歴波形、最大値、最大値の分布などであり、これらを解析値と比較することで総合的に「再現性」を判断。

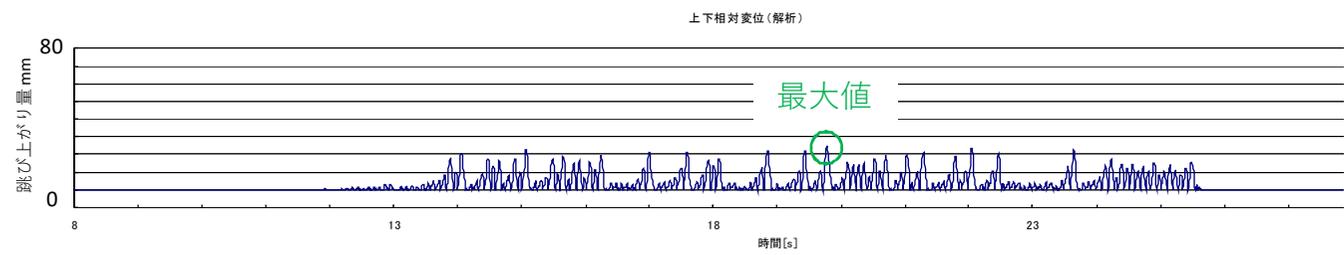
ばらつきの大きい現象の中での、解析精度を整理すると

- 4種類の試験体系（①単体、②37体群体系、③18体及び32体列体系、④127体及び313体多数体系）で群振動試験を実施し、コードの妥当性を検証するデータを取得。
- 開発した解析手法によりノミナル評価（各種の不確かさを未考慮）を行い、最大値を評価値と選定することで、ばらつきの大きい現象を統計論的には**一定**の信頼度をもった評価が可能。
- 解析の精度の観点から、試験結果全体を俯瞰すると
 - 跳び上がり量に関しては、 $\pm 20 \sim 30\%$ 程度の精度で評価。
 - 衝突荷重に関しては、 $0 \sim +60\%$ 程度の精度で評価。
- 衝突荷重の評価値が大きめ（保守側）となるのは、常に面同士が面の中心で衝突する（軸方向の回転自由度を拘束）とした仮定に起因するものと推定。

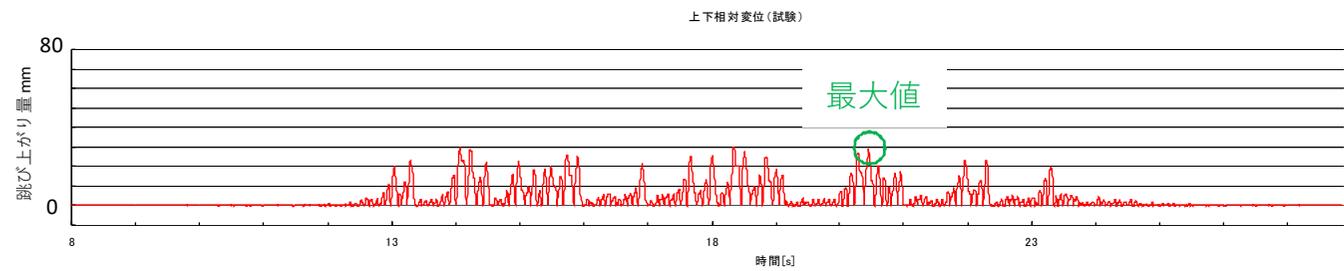
加振条件
 正弦波
 水平 3.9m/sec²
 鉛直 19.6m/sec²

気中

解析



試験

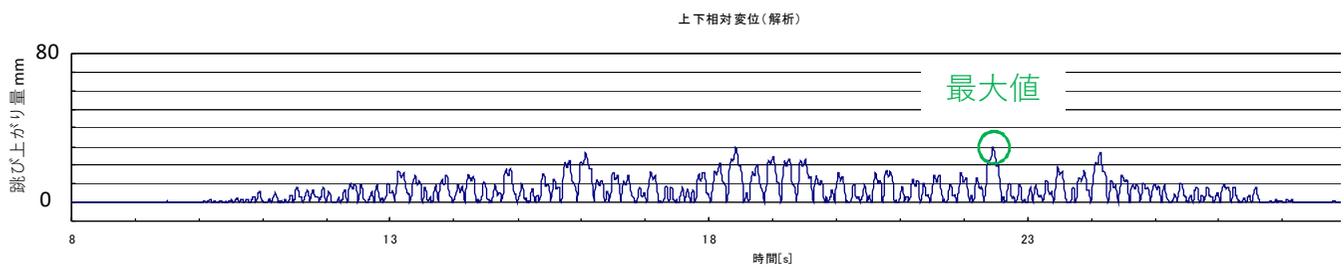


気中

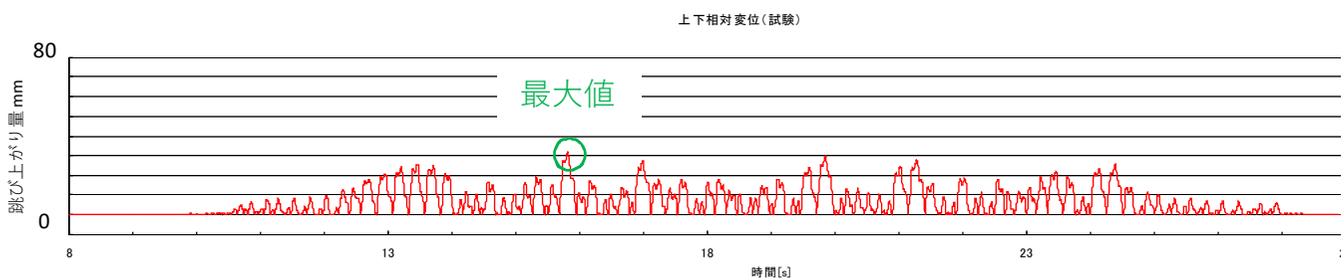
解析最大値 25mm
 試験最大値 30mm
 精度 0.83

流水中

解析



試験



流水中

解析最大値 30mm
 試験最大値 32mm
 精度 0.94

気中

解析

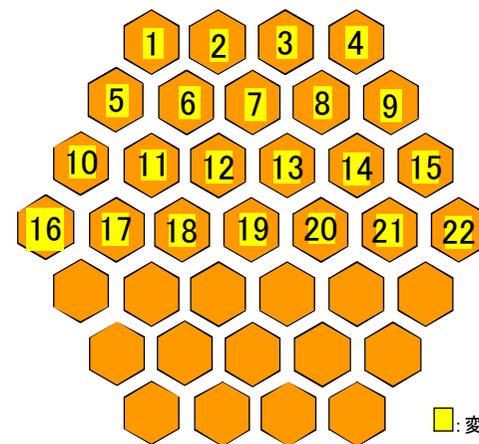
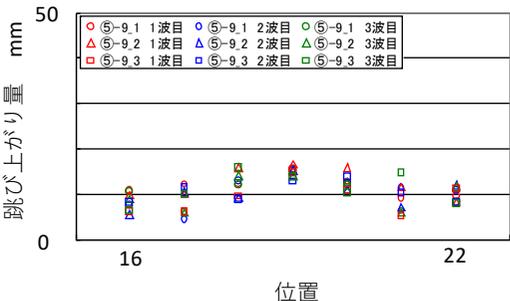
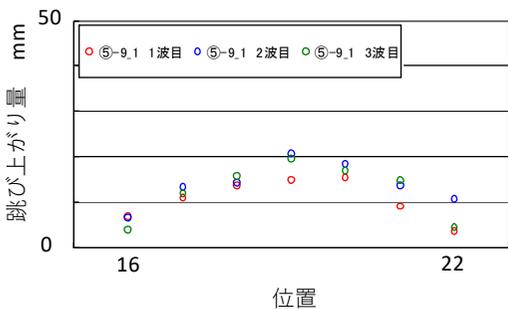
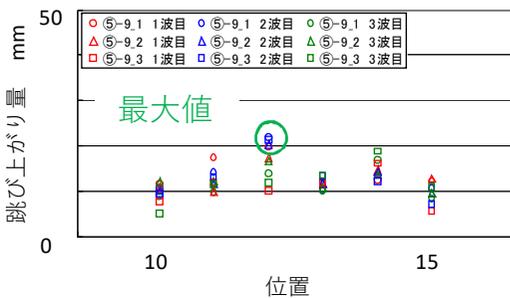
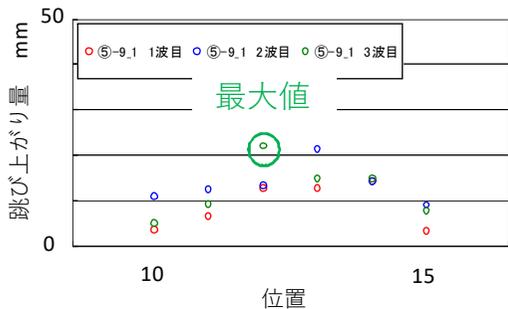
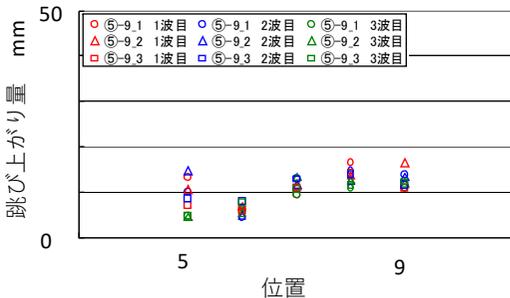
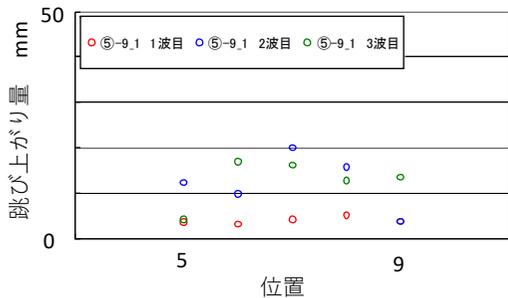
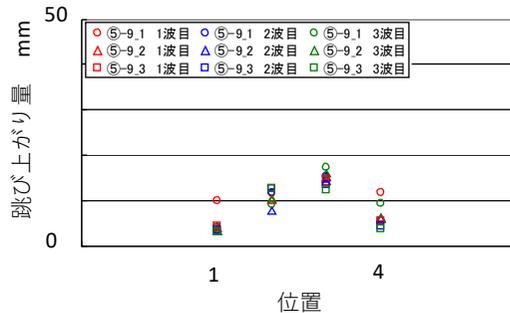
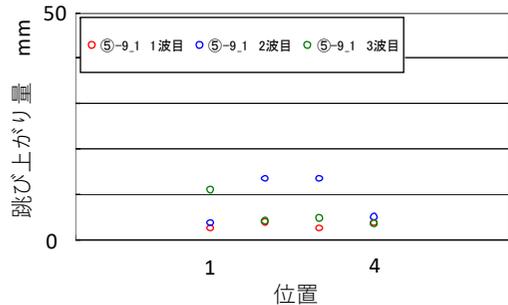
試験

加振条件

正弦波加振

水平 3.9m/sec²

鉛直 14.7m/sec²

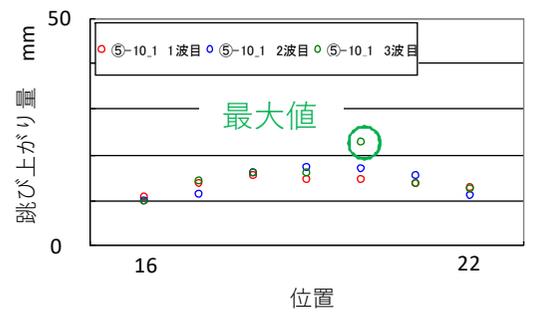
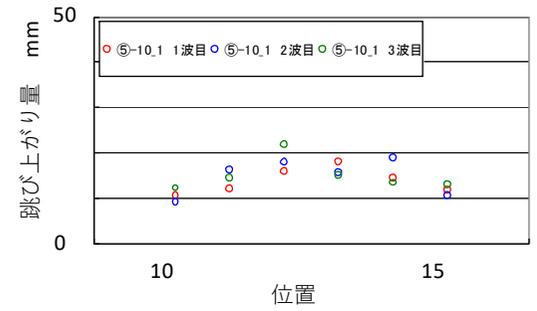
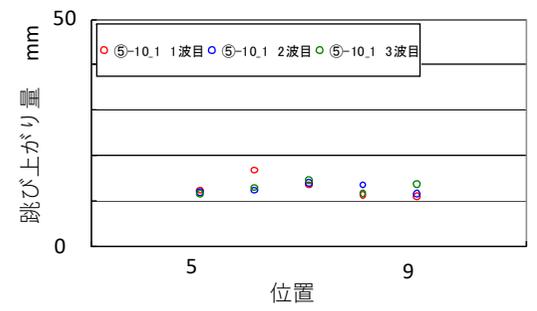
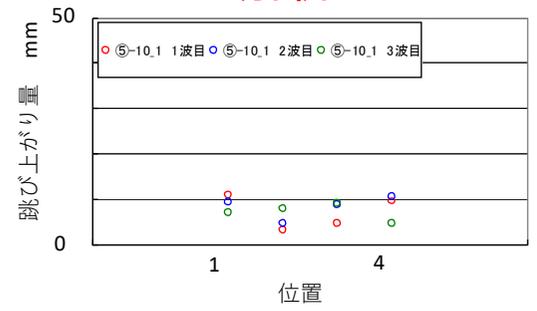


気中

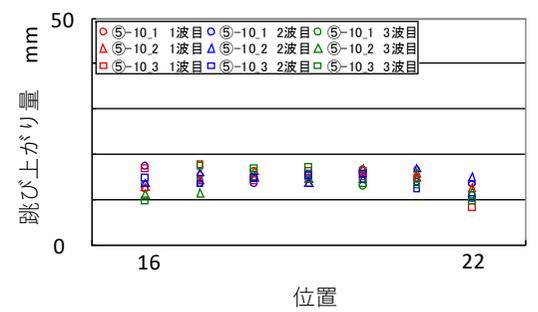
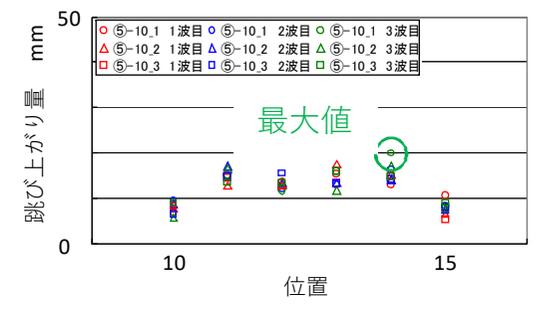
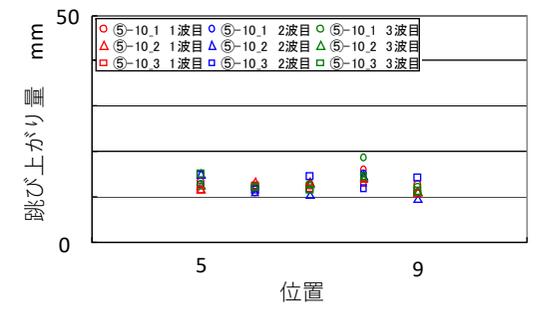
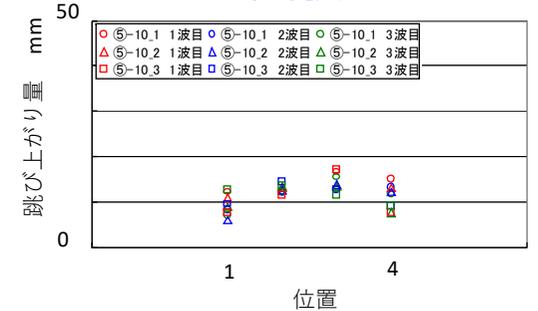
解析最大値 22mm
試験最大値 22mm
精度 1.00

水中

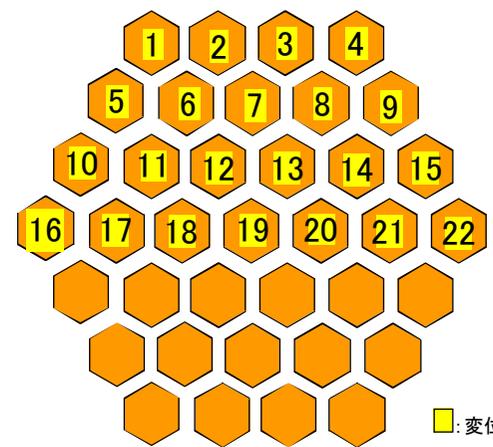
解析



試験



加振条件
 正弦波加振
 水平 3.9m/sec²
 鉛直 14.7m/sec²

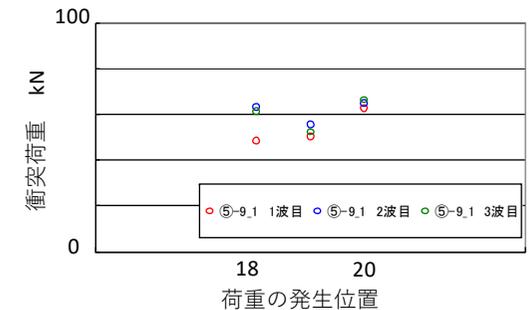
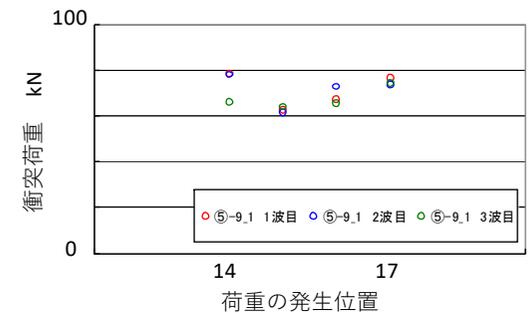
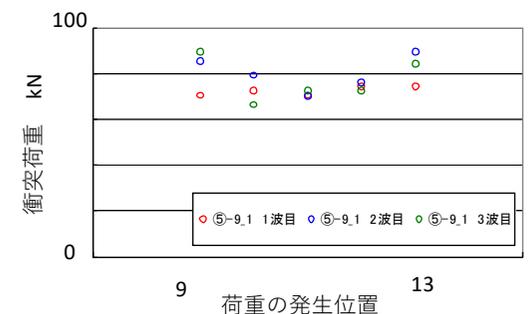
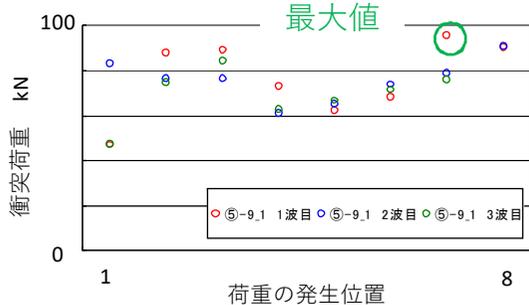


水中

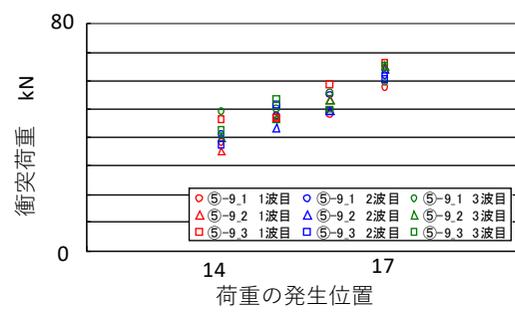
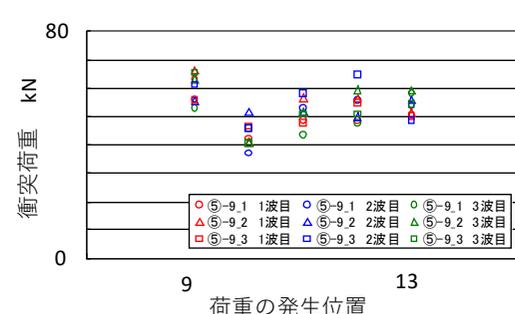
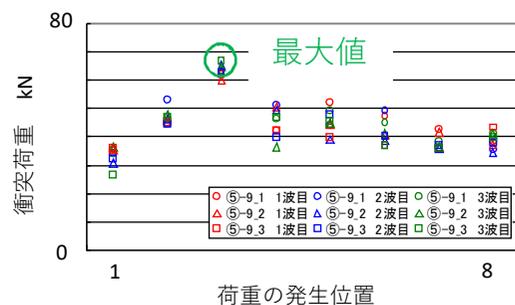
解析最大値 23mm
 試験最大値 20mm
 精度 1.15

気中

解析



試験

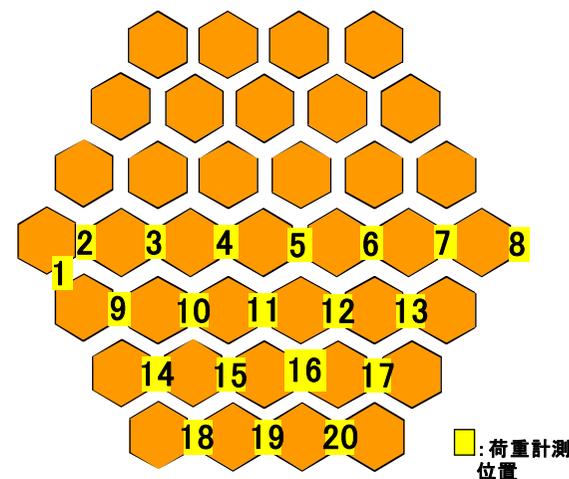


加振条件

正弦波加振

水平 3.9m/sec²

鉛直 14.7m/sec²



気中

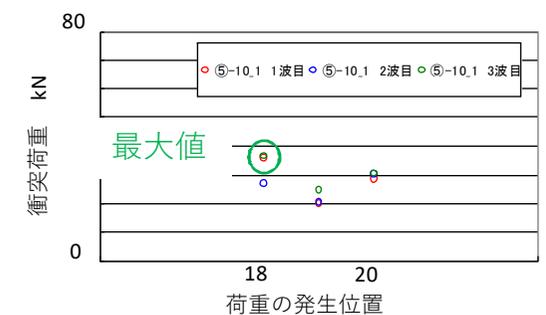
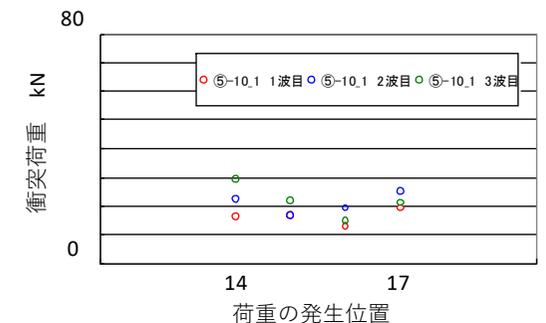
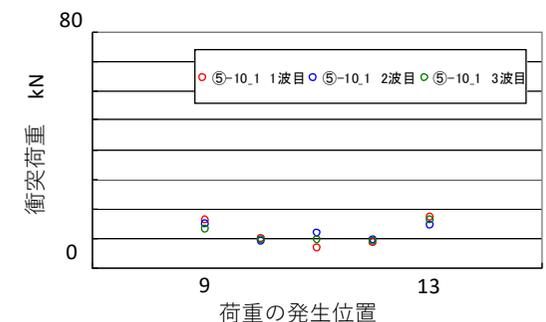
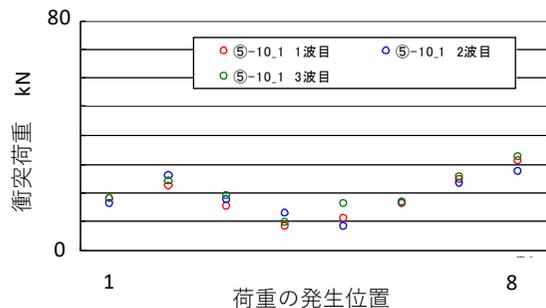
解析最大値 96kN

試験最大値 66kN

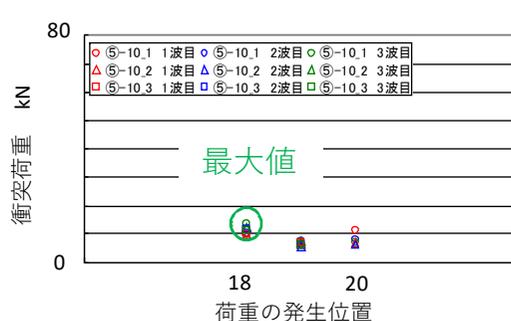
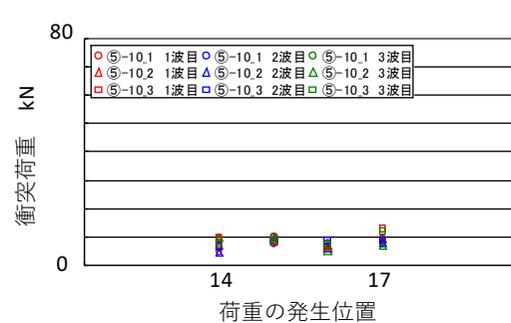
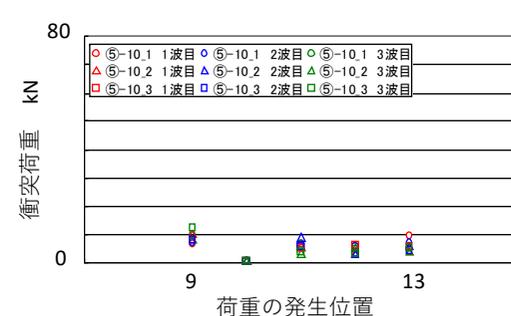
精度 1.41

水中

解析



試験

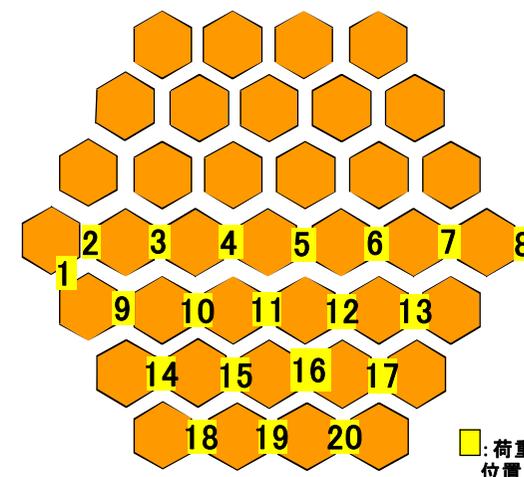


加振条件

正弦波加振

水平 3.9m/sec²

鉛直 14.7m/sec²



水中

解析最大値 37kN

試験最大値 15kN

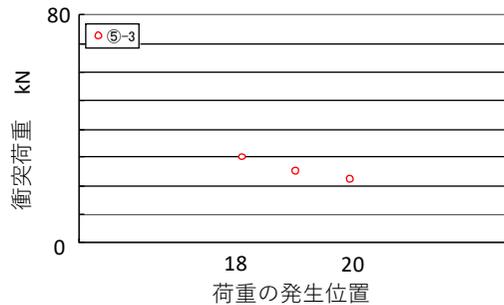
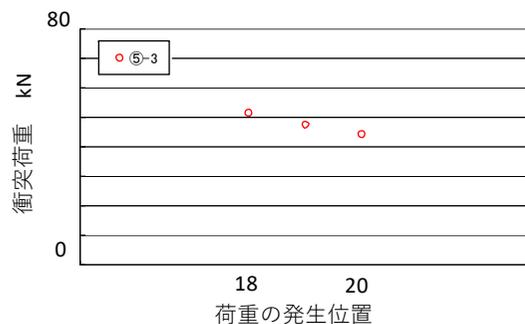
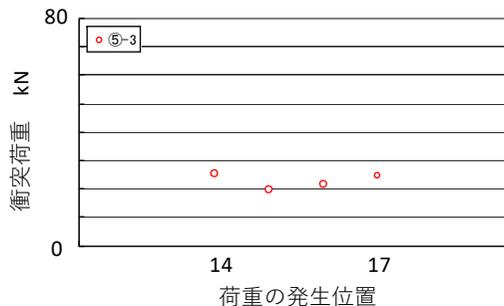
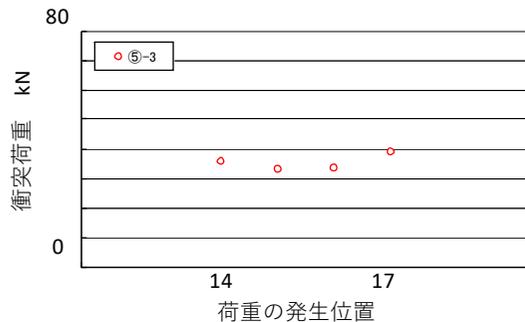
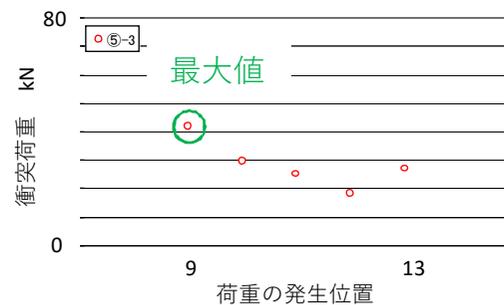
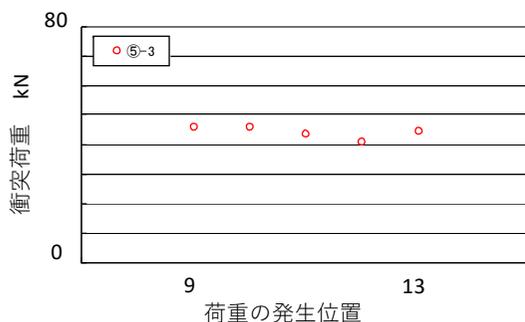
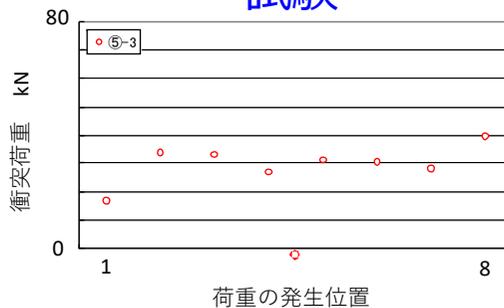
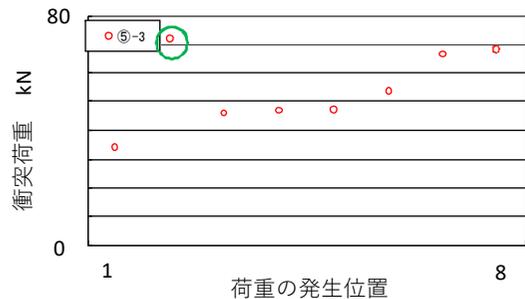
精度 2.47

* 衝突荷重の試験最大値が小さいケースでは、比率による精度比較は難しい

水中

最大値 解析

試験

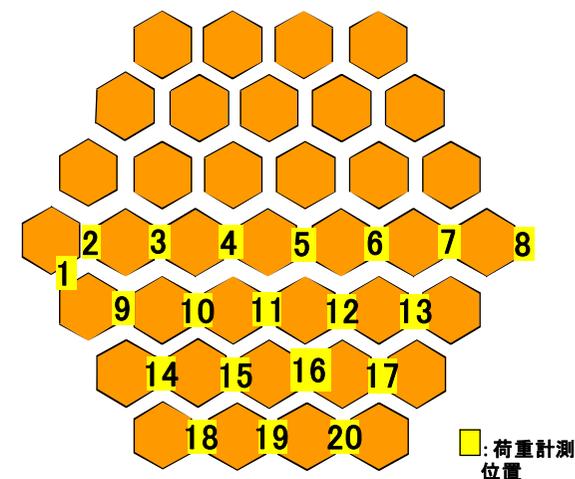


加振条件

正弦波加振

水平 8.0m/sec²

鉛直 14.7m/sec²



水中

解析最大値 71kN

試験最大値 43kN

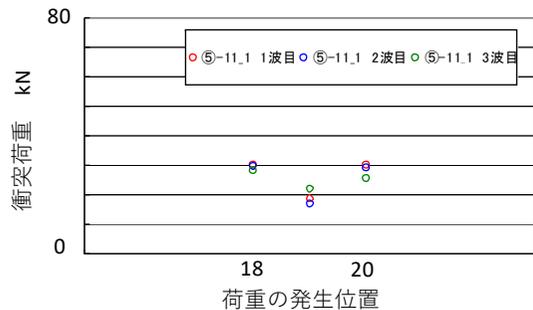
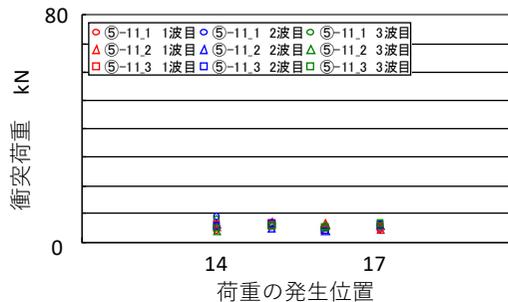
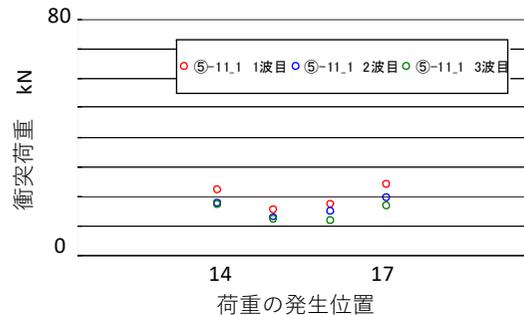
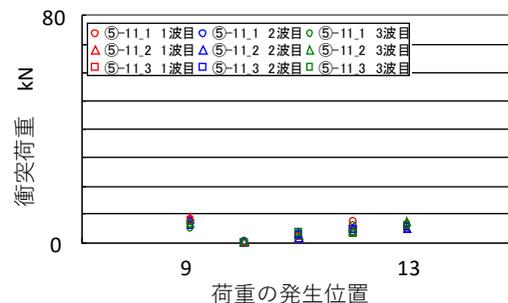
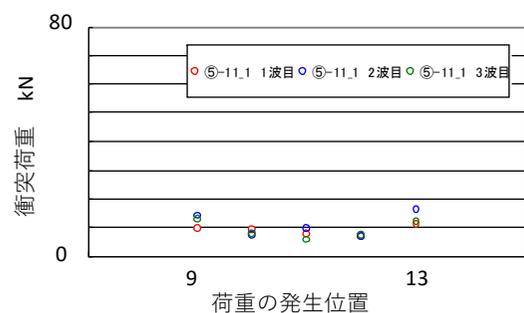
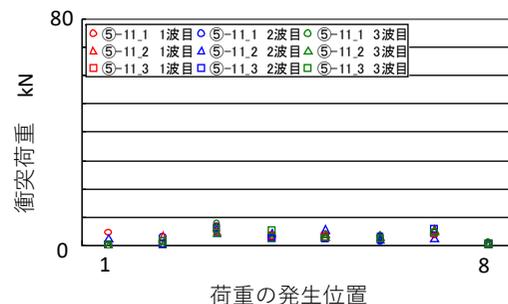
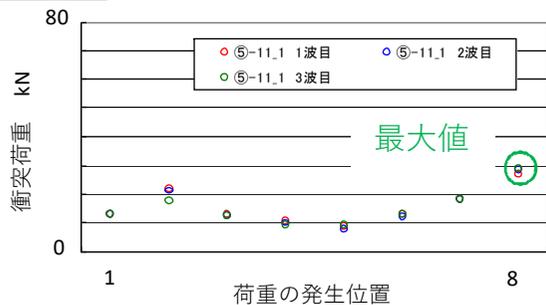
精度 1.64

* 水平荷重を大きくし、衝突荷重の試験値を大きくすると、荷重の分布が近づく (比率計算が有意になる)

流水中

解析

試験

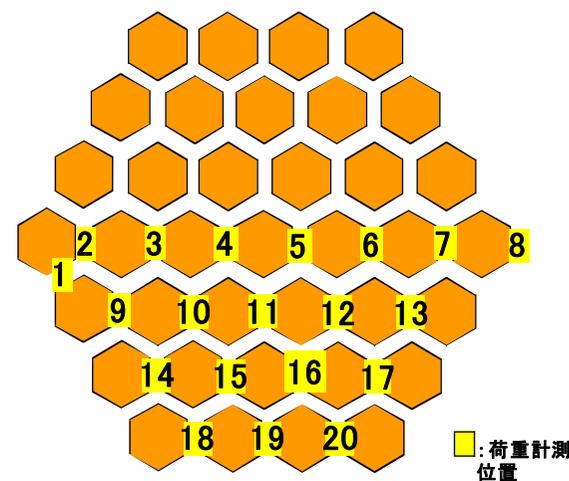


加振条件

正弦波加振

水平 3.9m/sec²

鉛直 14.7m/sec²



流水中

解析最大値 29kN

試験最大値 10kN

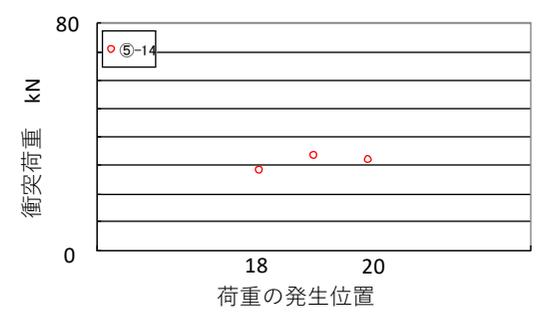
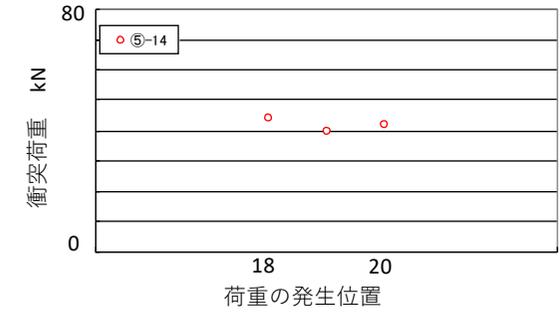
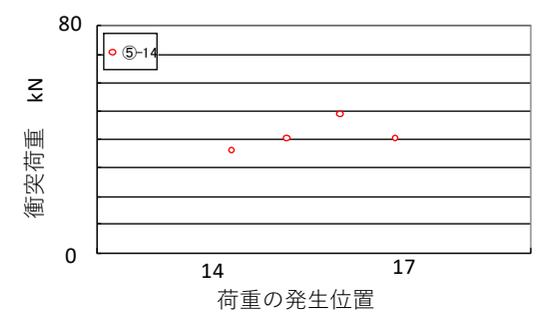
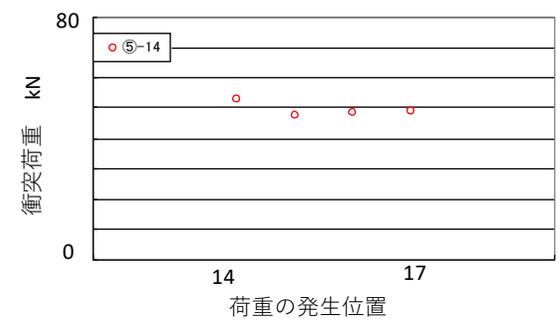
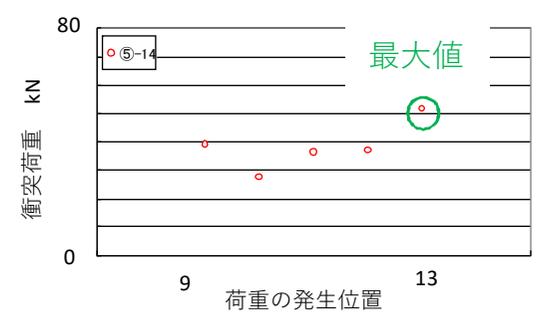
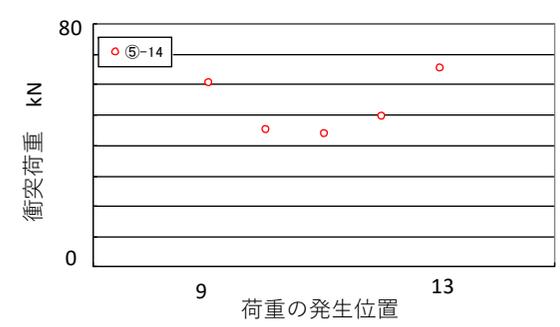
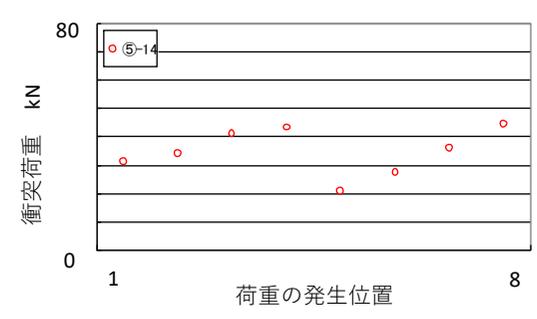
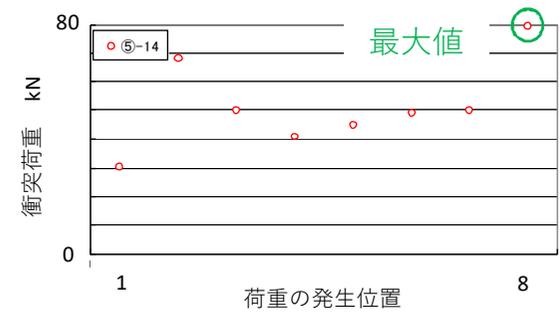
精度 2.90

* 衝突荷重の試験最大値が小さいケースでは、比率による精度比較は難しい

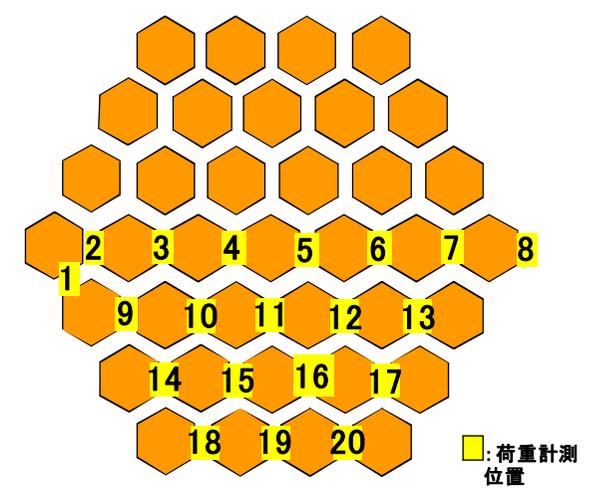
気中

解析

試験



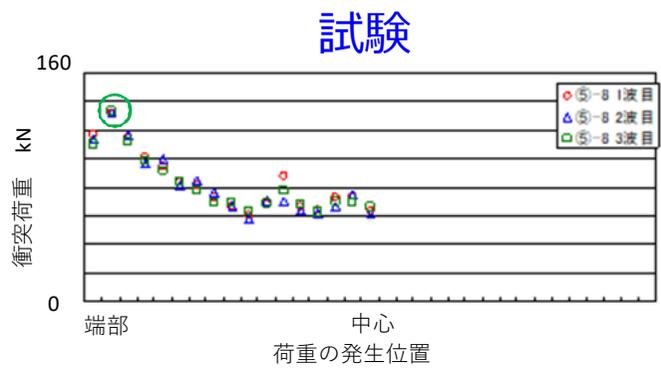
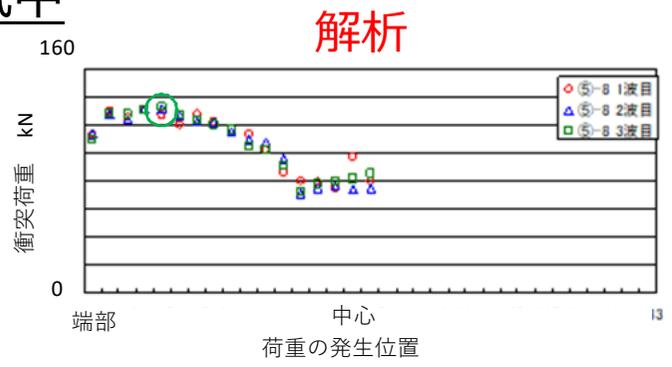
加振条件
 模擬地震波
 水平 100% 単独加振



気中

解析最大値 80kN
 試験最大値 51kN
 精度 1.57

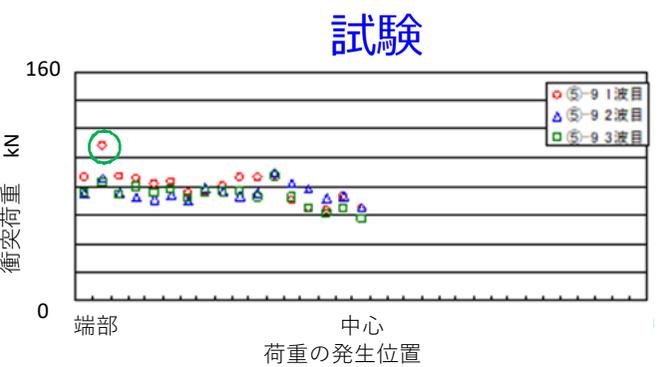
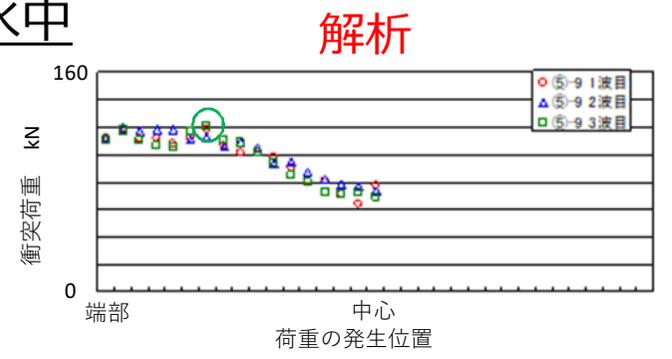
気中



加振条件
 正弦波加振
 水平 3.9m/sec² 鉛直 15.0m/sec²

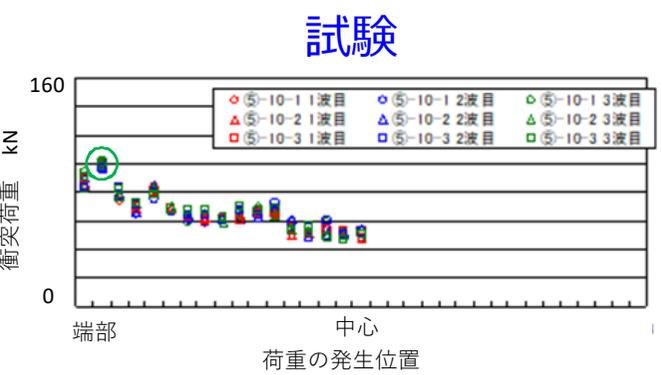
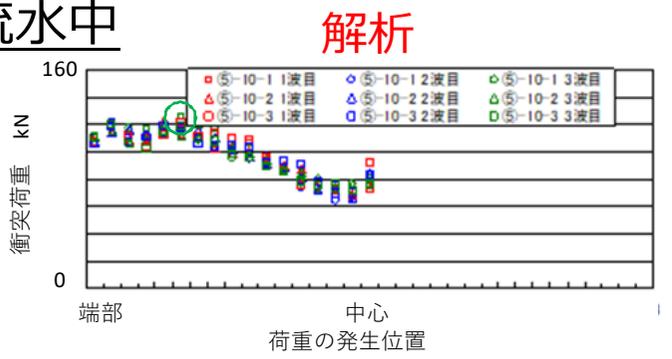
気中
 解析最大値 133kN
 試験最大値 133kN
 精度 1.00

水中



水中
 解析最大値 118kN
 試験最大値 108kN
 精度 1.09

流水中



流水中
 解析最大値 123kN
 試験最大値 102kN
 精度 1.21