

Workshop:
非線形地震応答解析の検証と妥当性確認の方法と事例

非線形地震応答解析の検証と 妥当性確認の方法に関する ガイドラインの基本方針(案)

平成31年2月13日

地盤・構造物の非線形地震応答解析法の妥当性確認/検証方法の
体系化に関する研究小委員会

中村 晋(日本大学工学部土木工学科)

目次構成(案)

本 編

1. 適用範囲
2. 用語
3. 検証と妥当性確認の考え方
 - 3.1 基本方針
 - 3.2 初期構造・材料特性の妥当性確認
 - 3.3 全体解析モデルの検証と妥当性確認
 - 3.3.1 材料モデル, 全体解析モデルの検証
 - 3.3.2 材料モデルの妥当性確認
 - 3.3.3 全体解析モデルの妥当性確認
4. 解析モデルの予測性能
5. 評価過程のまとめ

付 属 書

1. 解析手法と数値・数理モデルについて
2. 予測性能について
3. 創成解について
4. 不確かさの定量化

資料編(事例集)

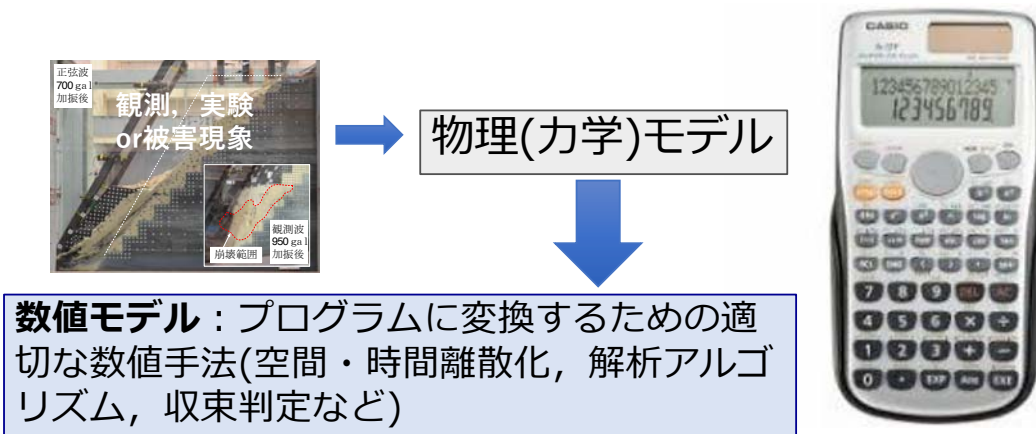
1. 成層地盤における非線形地震応答解析
2. 不整形地盤における非線形地震応答解析
3. 個別要素法による非線形解析
4. 護岸構造物の非線形地震応答解析
5. 地盤-基礎-構造物系の非線形地震応答解析

1.適用範囲

■地震作用下での社会基盤施設の建設，設計および維持管理，や安全性評価に適用される地盤工学分野，構造工学分野およびその複合分野における数値解析シミュレーション

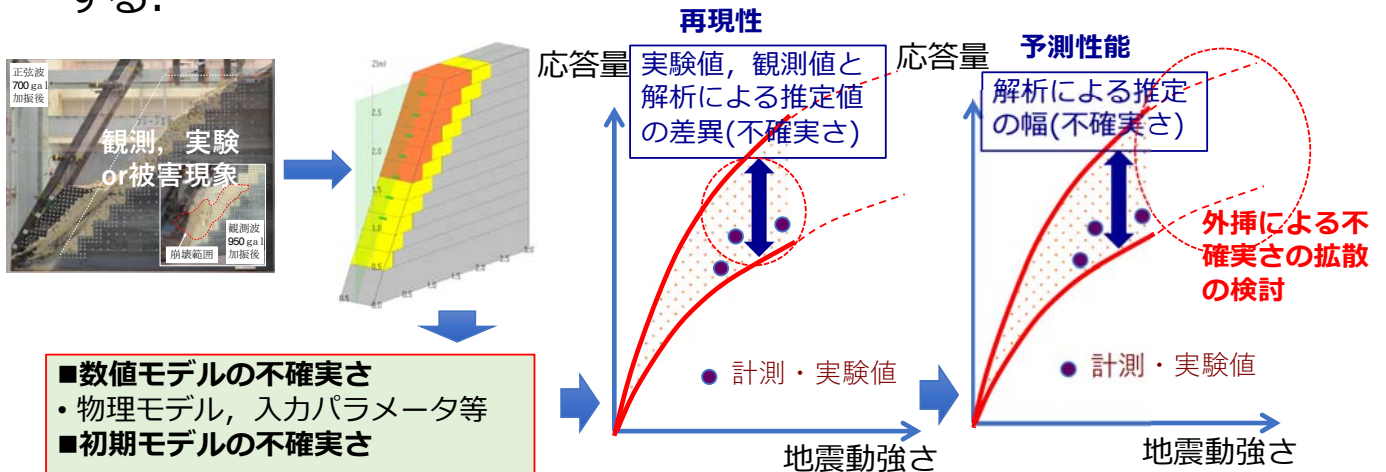
2.用語の定義:検証

■数値モデルが，その基礎となる数理モデルを忠実に表現し，かつ数値モデルの解をデジタル計算機の性能の範囲において導くことを確認する実施プロセス



2.用語の定義:妥当性確認

- 解析モデル(数理モデル)がその予測性能から,対象とする実現象を満足できる幅で予測できることを確認する実施プロセスと定義する.



2.用語の定義:再現性他

- 再現性** : 既存観測, 実験結果と不確かさ(地盤・構造, 非線形性に関する不確かさ)を考慮した解析モデルのシミュレーション結果との推定誤差
- 予測性能** : シミュレーションモデルを用い, 再現性能を評価し妥当性を確認した条件を超える条件(地震作用)に対する計算結果の不確かさ
- 推定誤差*** : シミュレーションの結果を合理的表す評価指標(標本)と測定値との差についての統計的な推定量(測定値を真値と仮定)
- 不確かさ*** : シミュレーション結果を合理的表す評価指標(標本)のばらつきの特徴づけるパラメータ
- **評価指標**

*日本原子力学会標準「シミュレーションの信頼性確保に関するガイドライン：2015」参照

3.1 基本方針：解析モデルと解析手法

■**解析コード**：独自開発の非線形地震応答解析コード(FEM, 粒子法, DEMなど)

• 既存の非線形地震応答解析コード(ABQUS, ADYNAなど)に構成モデルなどを組み込んだ解析コード

■**解析モデル**：解析対象とする地盤, 地盤-構造物

• 地震作用の評価

• 地盤の崩壊挙動, 地盤の変形挙動

• 地盤-基礎-構造物の応答挙動(SRモデル, 地盤バネ-杭基礎モデル, 有限要素-杭基礎モデルなど)

• 地盤-地中構造物の応答挙動

■**解析手法**：検証と妥当確認の対象は対象解析モデルの解析を実施する解析コード

⇒ 解析モデルに応じて評価対象となる物理量が異なる

3.1 基本方針:検証と妥当性確認の方法

■**検証**：

➢ 理論的に検証された解析コードとの比較

➢ 理論解との比較

➢ 創生解による検証

■**妥当性確認**：

➢ 対象解析手法を用いた**解析モデルと実験データとの比較**による**対象事象の再現性の確認と予測性能の評価**

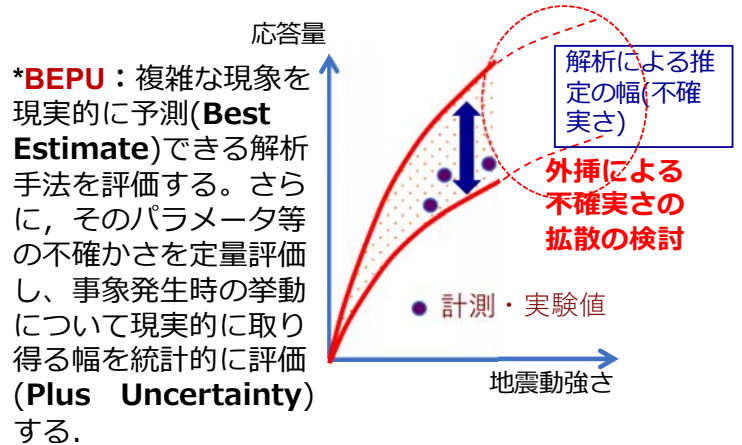
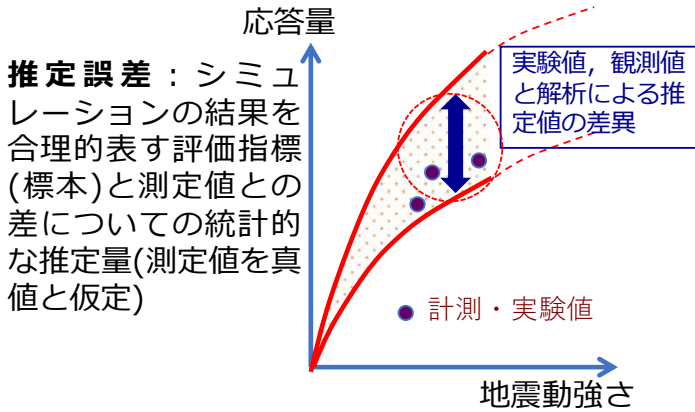
➢ 対象解析手法を用いた**解析モデルと実対象の観測データ・実被害状況との比較**による**被災モードの再現性の確認と予測性能の評価**

• **解析モデルの設定**：地盤・構造モデル, 材料特性モデルの不確かさ, 実験データの不確かさを考慮

3.1 基本方針:妥当性確認における再現性と予測性能

■**再現性**：既存観測，実験結果と不確かさ(地盤・構造，非線形性に関する不確かさ)を考慮した解析モデルのシミュレーション結果との評価指標に関する推定誤差

■**予測性能**：シミュレーションモデルを用い，再現性を評価し妥当性を確認した条件を超える条件(地震作用など)に対する評価指標に関する計算結果の不確かさ



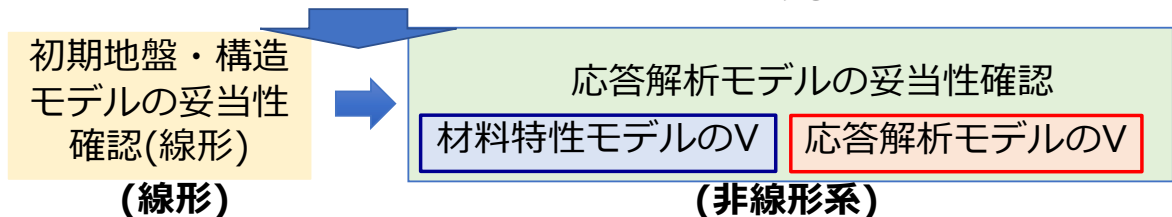
3.1 基本方針：実施手順

■2.5段階で実施

- 応答解析モデルの検証
- 初期地盤・構造モデルの妥当性確認 (選定)
- 応答解析モデルの妥当性確認
 - 材料特性モデルと妥当性確認
 - 応答解析モデルの妥当性確認

***BEPU**：複雑な現象を現実的に予測(**Best Estimate**)できる解析手法を評価する。さらに，そのパラメータ等の不確かさを定量評価し，それらを入力として，事象発生時の挙動について現実的に取り得る幅を統計的に評価(**Plus Uncertainty**)する。

応答解析モデルの検証



3.2 初期地盤・構造モデルの妥当性確認

■**目的**：地盤構造モデルの不確かさを踏まえた再現性の確認
解析モデルの妥当性確認に用いる地盤構造モデルの選定

■**方法**：実地盤での観測結果、実験結果との比較

- 地震観測記録との比較
- 常時微動観測によるH/Vスペクトルの卓越周期との比較
- 実験により得られた計測結果との比較

■**初期地盤・構造モデルの不確かさとその定量化**

- 探査結果をふまえたモデルの不確かさ
- 解析手法自体の不確かさ
 - ⇒ サンプルング法, 感度係数法など

■**再現性の評価**：

- 評価指標：評価対象事象を表す物理指標(最大値, 周波数特性など)
- 観測結果と解析モデルの比較により許容される推定誤差

3.3.1 材料特性モデル,全体解析モデルの検証

■**目的**：解析の目的に応じて選択された解析モデルが線形, 非線形挙動を適切に解析コードとしてインストールされていることの検証

■**方法**：

- 対象とする応力ひずみ特性の理論解と数値解析結果の比較
- 検証されたCodeによる応力-ひずみ関係と数値解析結果の比較
- 創成解による評価

■**留意事項**：

- 解析対象となる応力経路での比較
- 評価指標：解析の目的に応じた指標の選択

3.3.2 材料特性モデルの妥当性確認(1)

- **目的**：材料特性モデルの不確かさを踏まえた非線形挙動の再現性確認
- ・ **留意事項**：妥当性確認が可能な情報がない場合には、全体解析モデルにおける不確かさの一つとして考慮し、その妥当性確認を実施しない場合もある。
- **方法**：
 - **実地盤材料に関する強度、変形特性、応力-ひずみ履歴などの実験結果との比較**
 - ・ **強度特性**：静的、動的強度特性(c , ϕ)
 - ・ **変形特性**：繰り返しせん断特性など
 - ・ **応力-ひずみ関係**：静的関係(三軸圧縮試験, 一面せん断試験), 動的履歴(ねじりせん断試験)etc
 - **類似の地盤材料に関する実験結果との比較**

3.3.2 材料特性モデルの妥当性確認(2)

- **材料特性モデルの不確かさの定量化**
 - **実地盤における地盤材料特性の再現性を評価できる複数実験or観測データがある場合**：材料特性モデル自体の不確かさの定量化
 - ⇨ 既往の対象特性に関する不確かさに基づくサンプリング法, 感度係数法など
 - ・ **再現性の評価**：実験と構成モデルの比較による推定誤差と許容される不確かさ
 - **実地盤における地盤材料特性の再現性を評価できる複数実験or観測データがない場合**：材料特性モデルの不確かさの影響を全体解析モデルで確認 ⇨ 既往の対象特性に関する不確かさを参照

3.3.3 全体解析モデルの妥当性確認

■目的： 妥当な初期地盤構造モデルを用い、地盤材料の非線形モデルの不確実さを踏まえた再現性の確認

■方法：

- 実験結果との比較
- 実地震観測結果（アレー観測など）との比較
- 被害事例との比較

■全体解析モデルの不確実さの定量化

- ・ 初期地盤・構造モデル、材料特性モデルの不確実さ
- ・ 解析手法自体の不確かさ
 - ⇒ サンプルング法、感度係数法など
- ・ 実測記録の不確かさ

■再現性の評価

- 評価指標：評価対象事象を表す物理指標(最大値、周波数特性など)
- 観測結果と解析モデルの比較により許容される推定誤差

4. 解析モデルの予測性能

■対象： 再現性を評価した全体解析モデル

■外挿による不確実さの拡散の検討：

- ・ 解析対象事象に係わる不確実さが再現性の評価で用いた条件を超える条件
- ・ 予測性能：評価指標に関する計算結果の不確かさ