

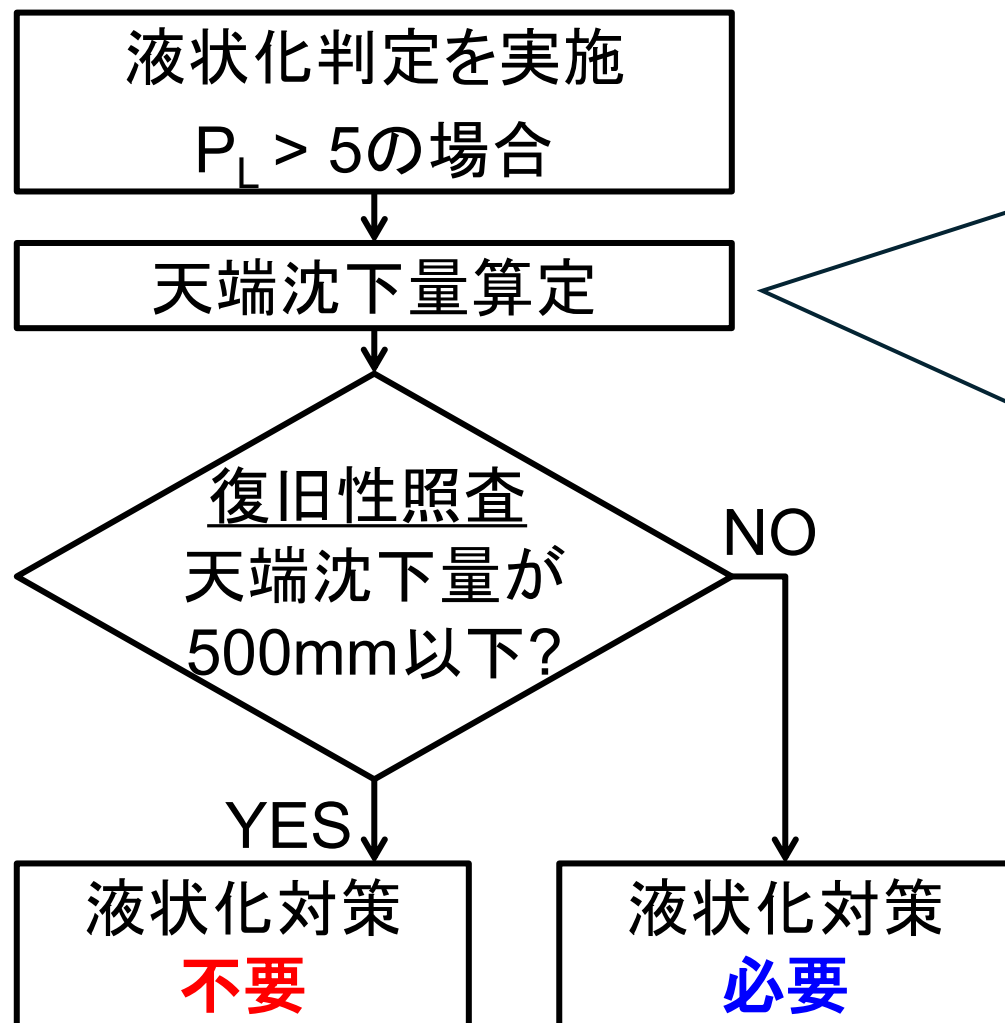
薄い液状化層が盛土の 地震時沈下量に与える影響

鉄道地震工学研究センター 地震動力学研究室
主任研究員 伊吹 竜一

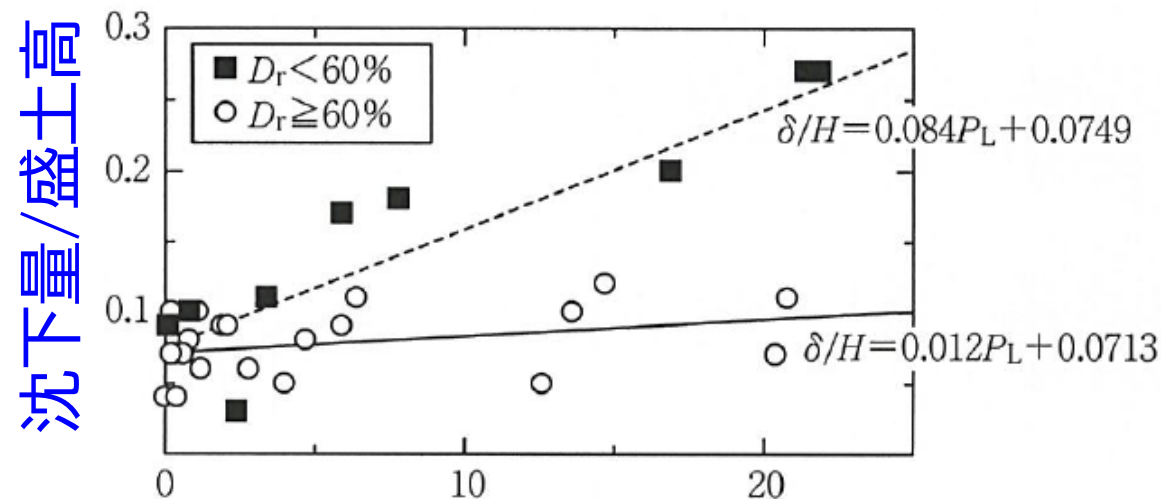
1. はじめに
2. 薄い液状化層を有する地盤上の盛土の沈下挙動
 - 2.1 薄層の液状化挙動を再現可能なせん断土槽
 - 2.2 沈下モードと液状化層位置の関係
3. 沈下モードを考慮した沈下量算定
 - 3.1 沈下量算定法の選定フロー
 - 3.2 沈下量算定法および沈下モード判定法
4. まとめ

1. はじめに

液状化地盤上に位置する盛土の沈下量算定



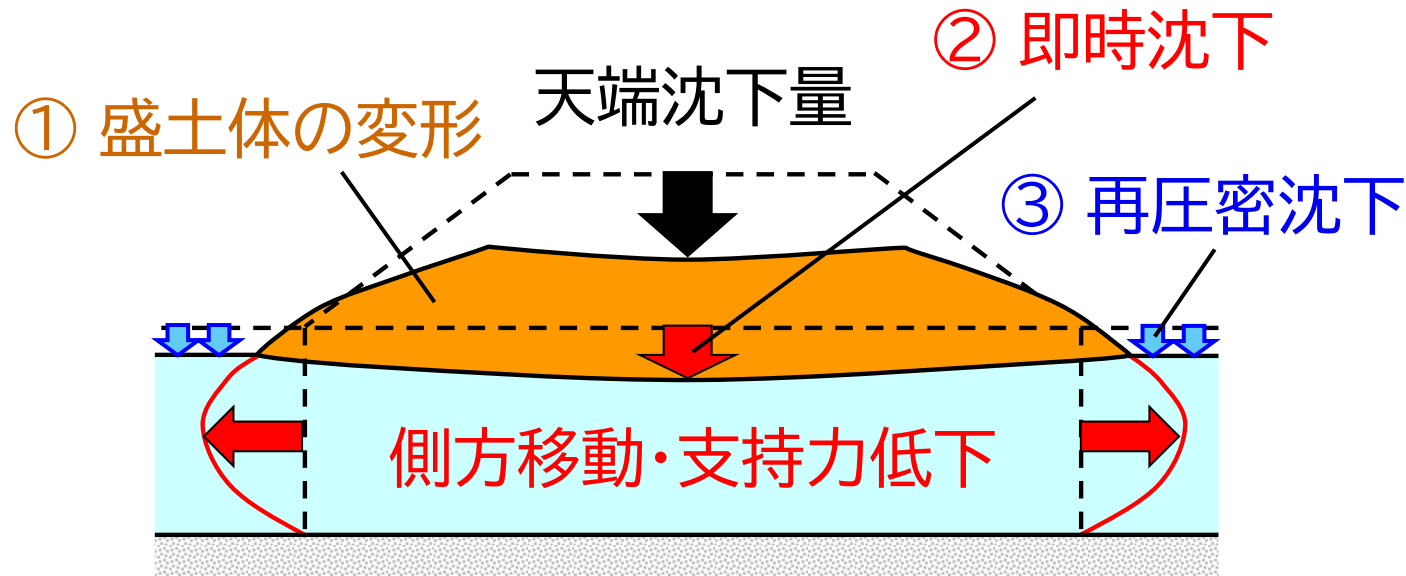
実験結果に基づく沈下量算定式



支持地盤全体の液状化を想定した
実験結果を整理

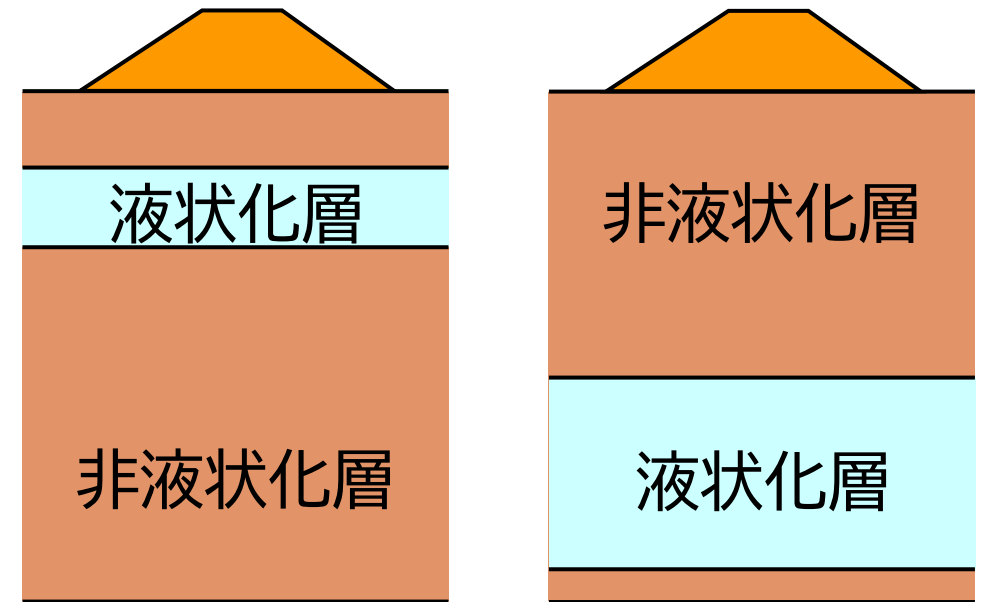
1. はじめに

盛土の主な沈下モード



現状の沈下量算定式 = ①～③の全モードを考慮

実際の地盤



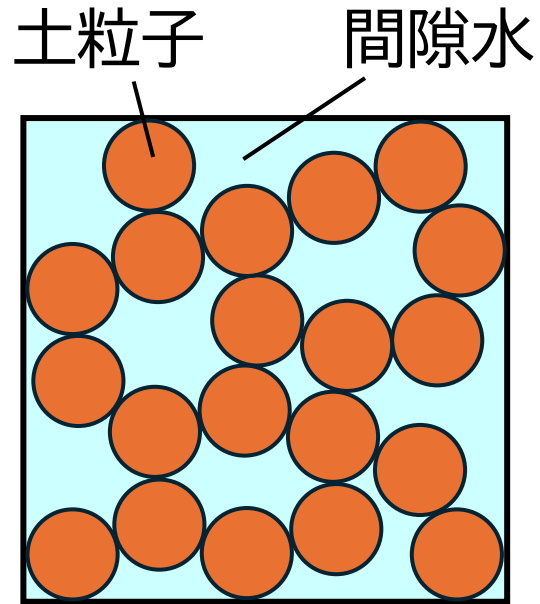
- ・ 地層構成による沈下モードの違いを考慮できない？ → 加振実験による確認
- ・ 液化化層が薄い場合、深い位置にある場合に過大評価？ → 沈下量算定法の検討

- 1. はじめに
- 2. 薄い液状化層を有する地盤上の盛土の沈下挙動
 - 2.1 薄層の液状化挙動を再現可能なせん断土槽
 - 2.2 沈下モードと液状化層位置の関係
- 3. 沈下モードを考慮した沈下量算定
 - 3.1 沈下量算定法の選定フロー
 - 3.2 沈下量算定法および沈下モード判定法
- 4. まとめ

2. 薄い液状化層を有する地盤上の盛土の沈下挙動

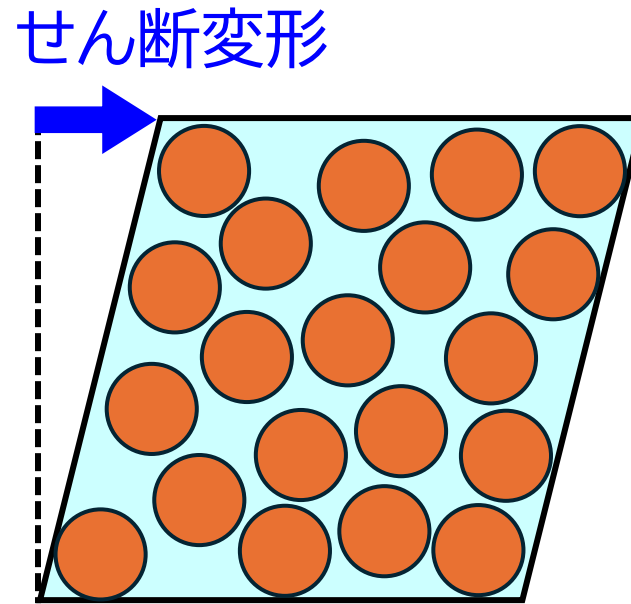
Railway Technical Research Institute

地震前



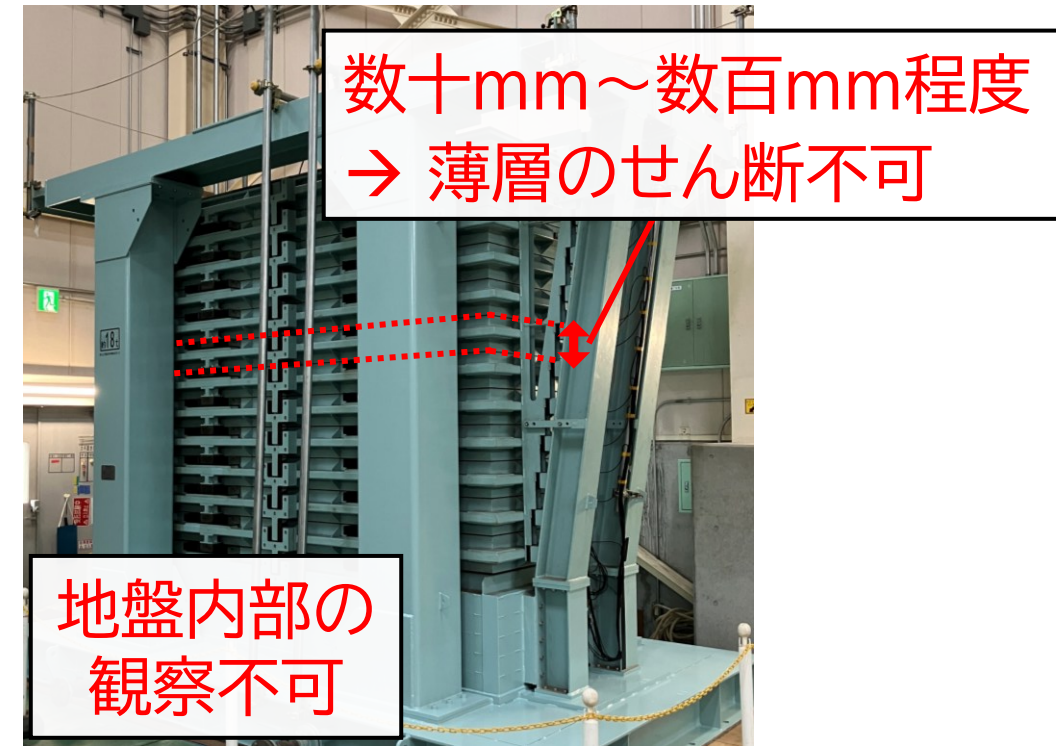
土粒子同士が
噛み合うことで
地盤が安定

地震時



せん断変形により
噛み合いが外れて
液状化が発生

せん断土槽



複数のフレームを重ねること
でせん断変形を再現可能

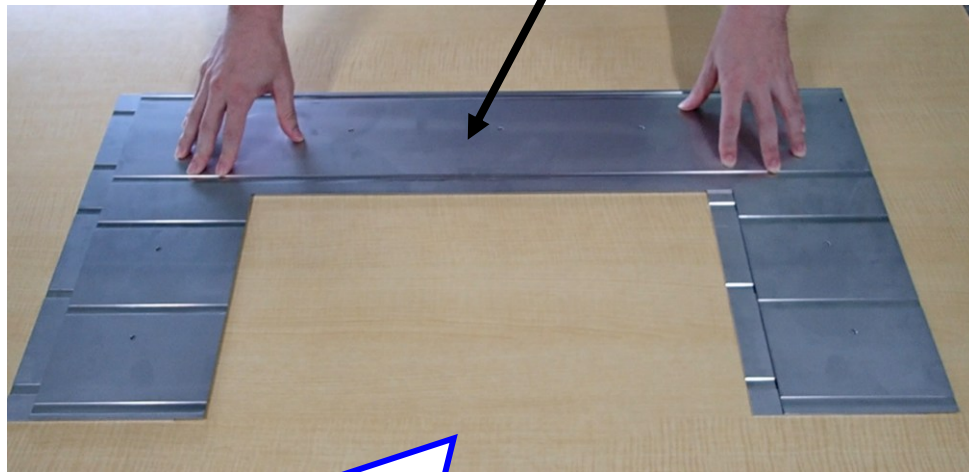
2.1 薄層の液状化挙動を再現可能なせん断土槽

Railway Technical Research Institute

コの字型の薄いせん断フレームを使用したせん断土槽を作製

→ フレーム厚2.5mm=20mm (1/50模型で1m)の層を8分割可能

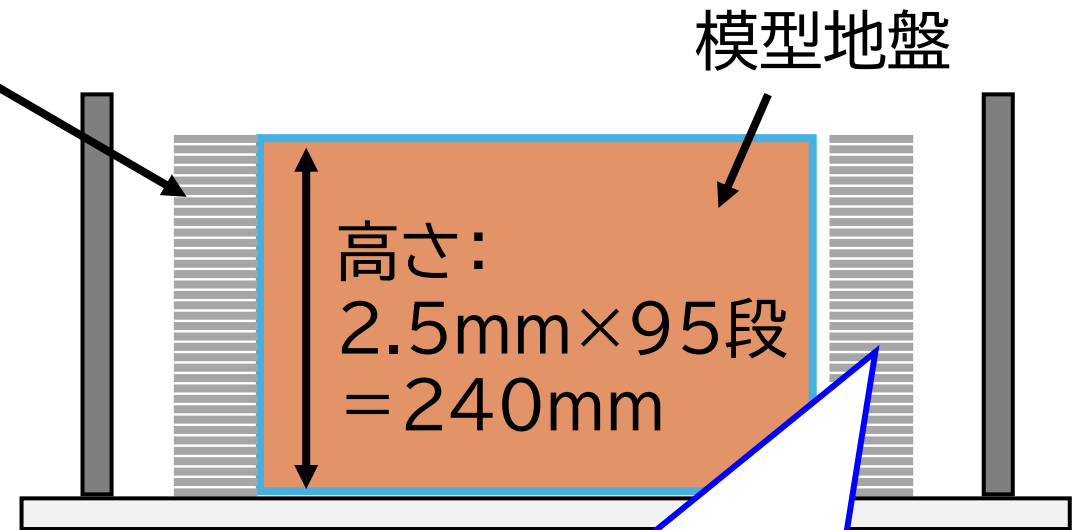
平面図



せん断枠(コの字の薄板)

ガラス窓 → 前面から観可能察

正面図(矢視A-A)



薄層の挙動を追跡可能

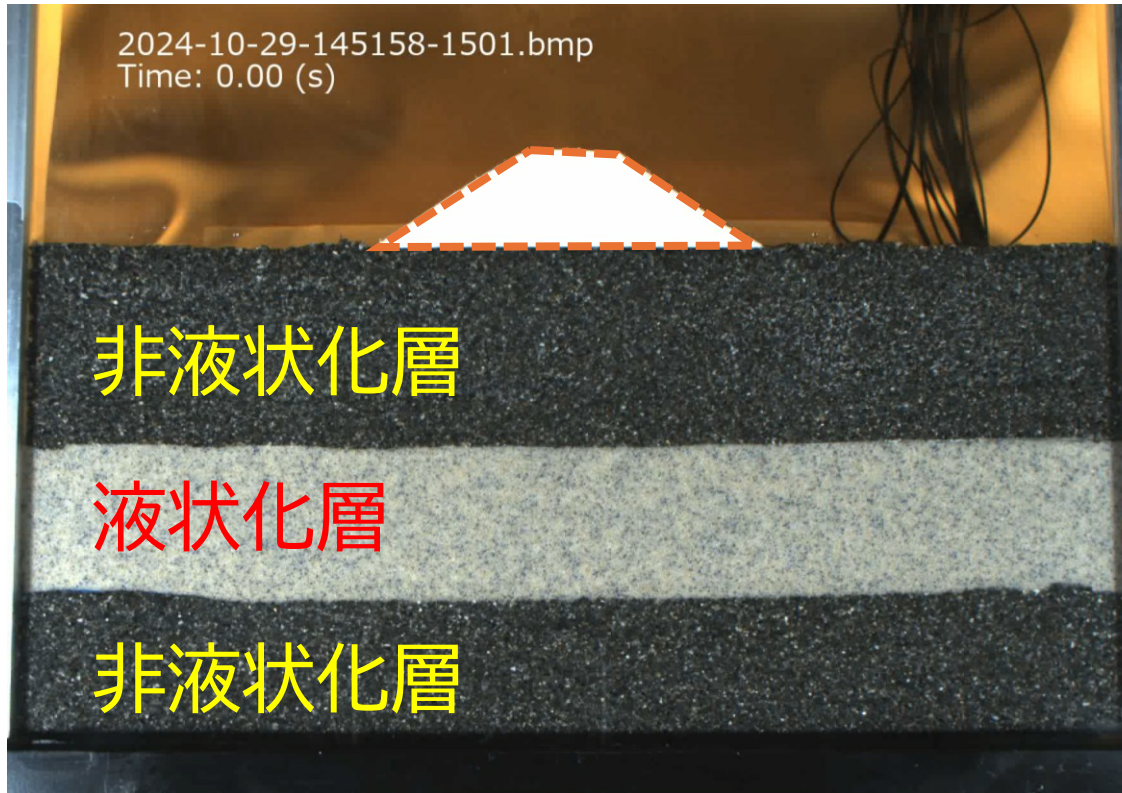
2.1 薄層の液状化挙動を再現可能なせん断土槽

Railway Technical Research Institute

高精度画像計測システム



実験中の地盤・せん断フレームの様子

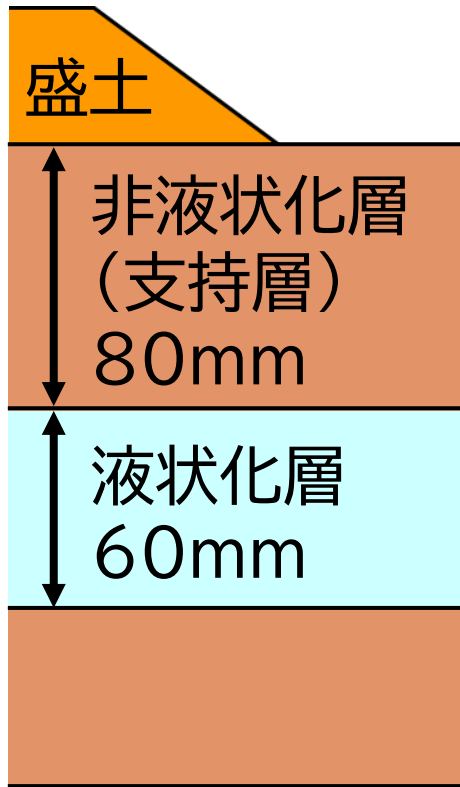


薄層の液状化挙動を再現可能な実験システムを構築 + 1G場の加振実験

2. 実験概要

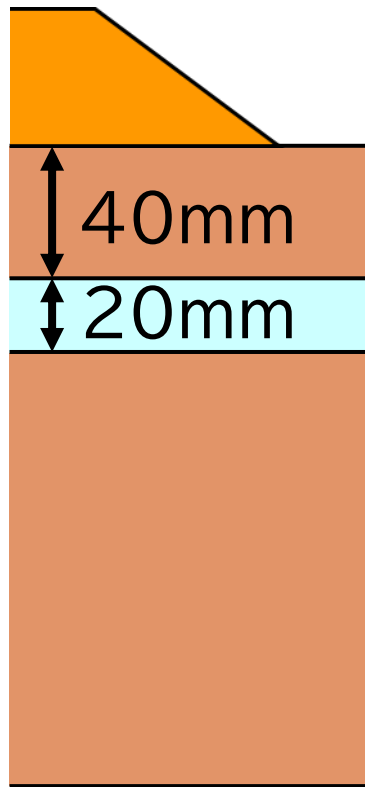
液状化層の厚さと位置の異なる3ケースについて、1G場加振実験を実施

Case1



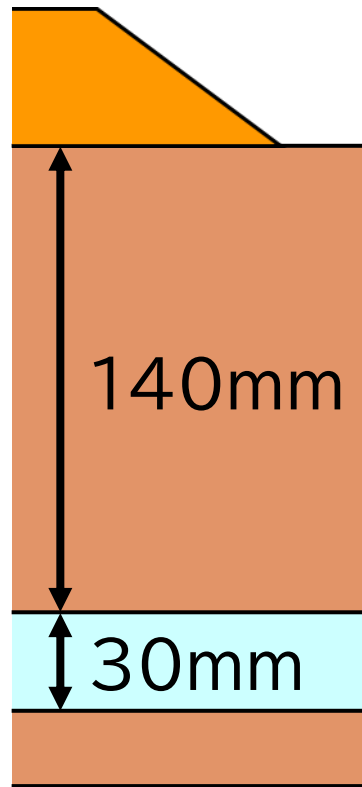
概算 P_L : 21.8

Case2



8.8

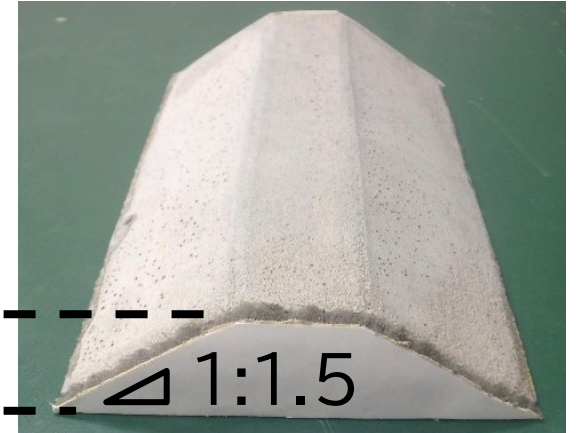
Case3



9.2

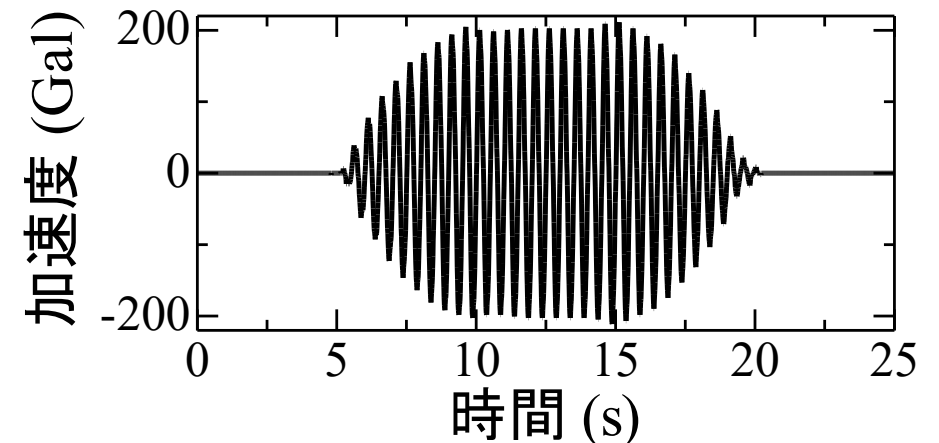
盛土模型

- セメント改良土
→ 支持地盤の
変形に着目
- 高さ40mm



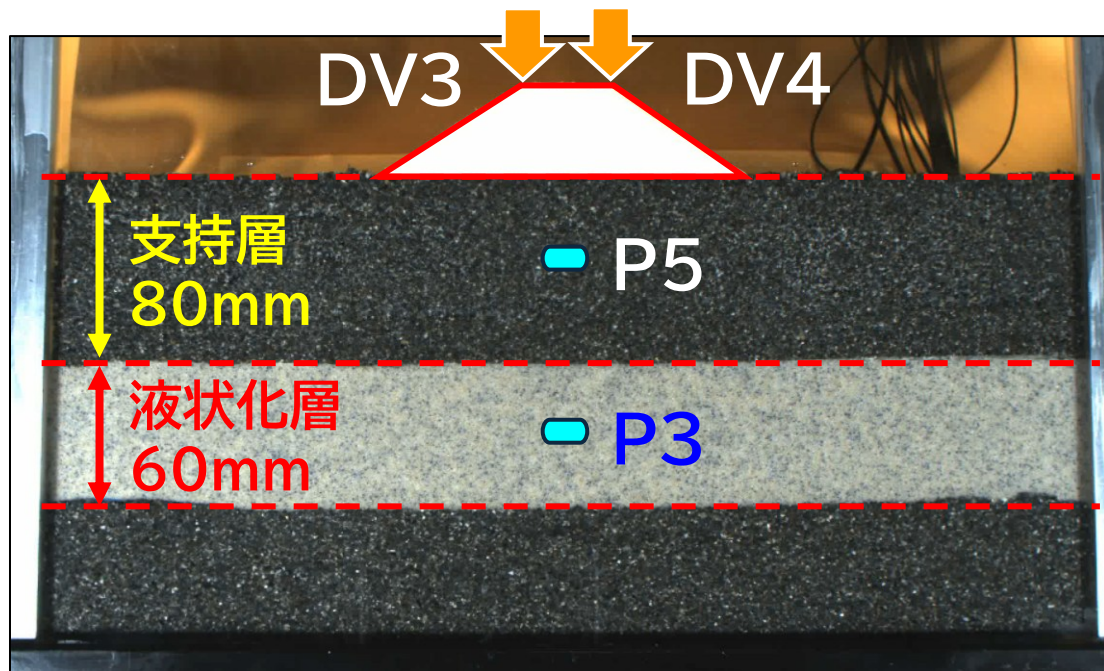
底面幅140mm

入力波

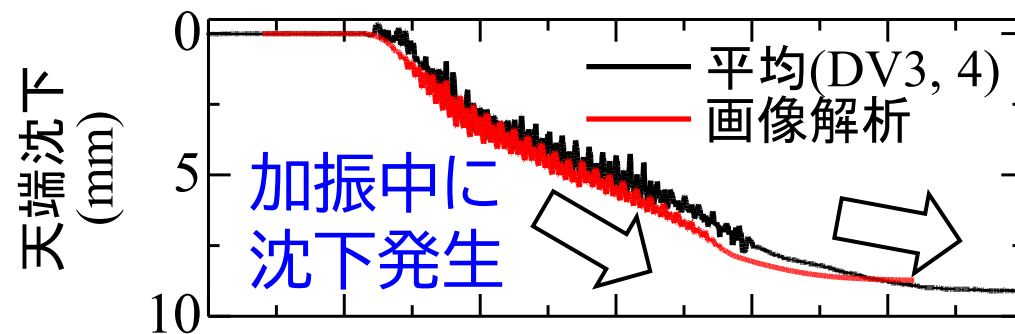
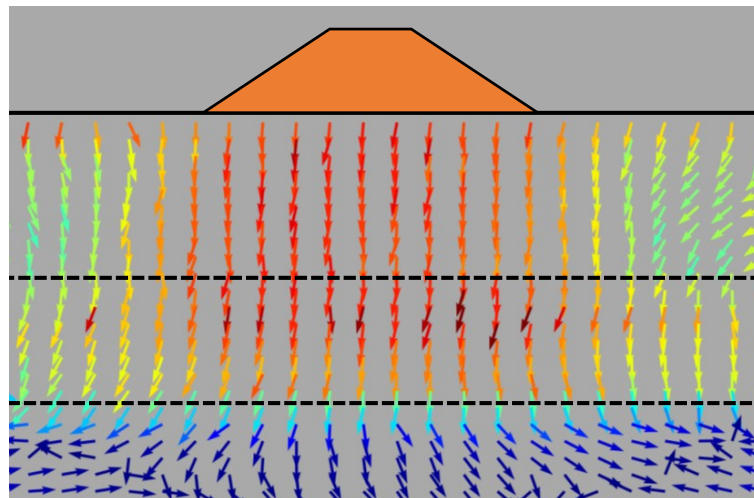


2. 実験結果 Case1(支持層80mm 液状化層60mm)

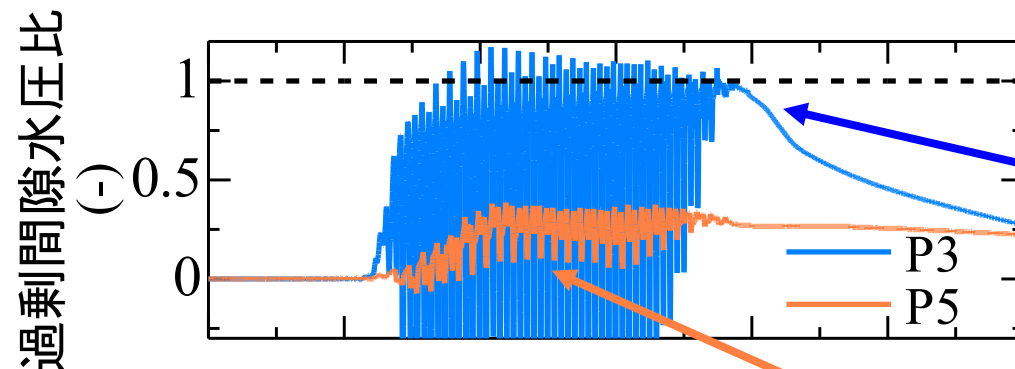
Railway Technical Research Institute



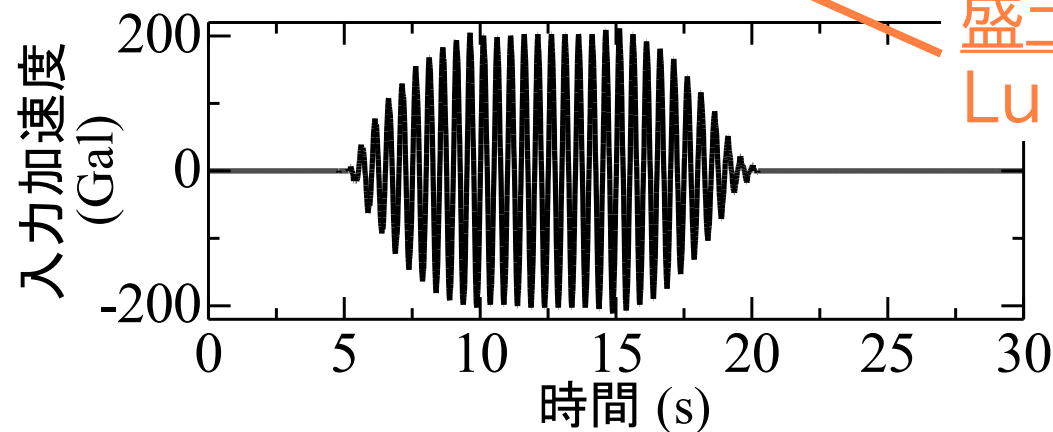
変位
ベクトル図



加振後も
沈下
(再圧密)

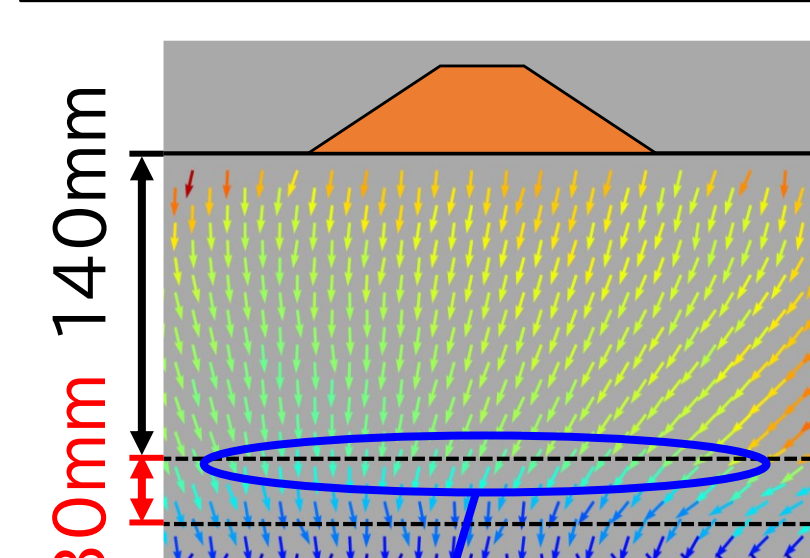
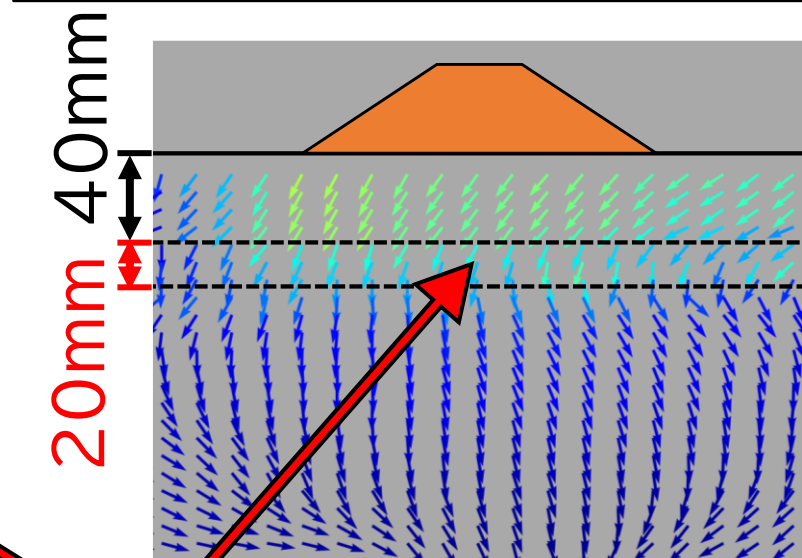
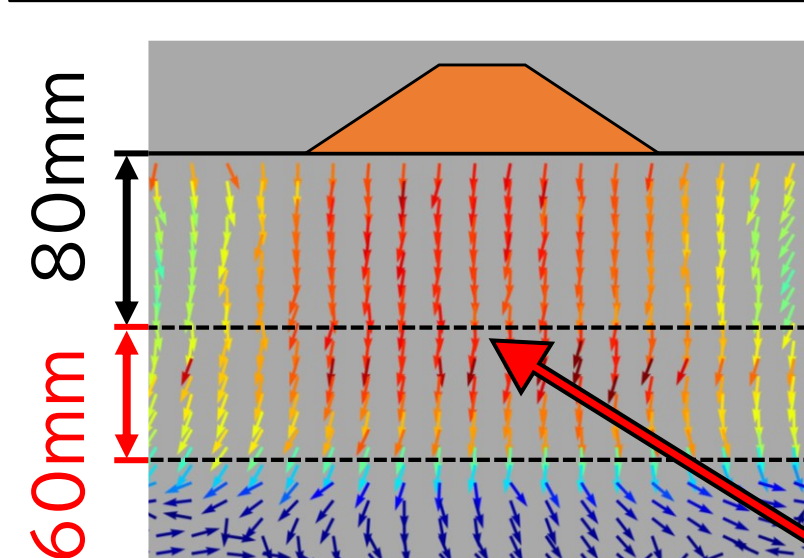
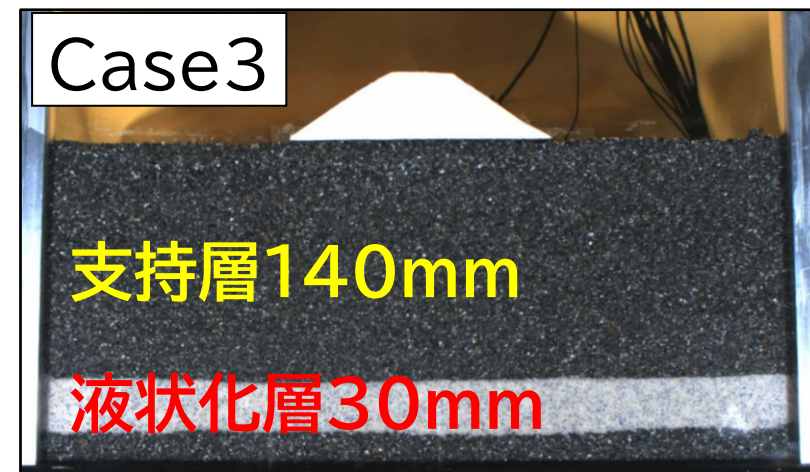
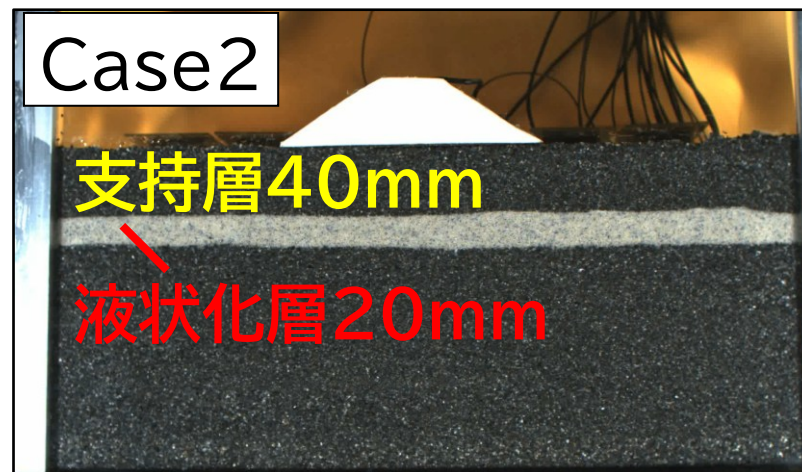
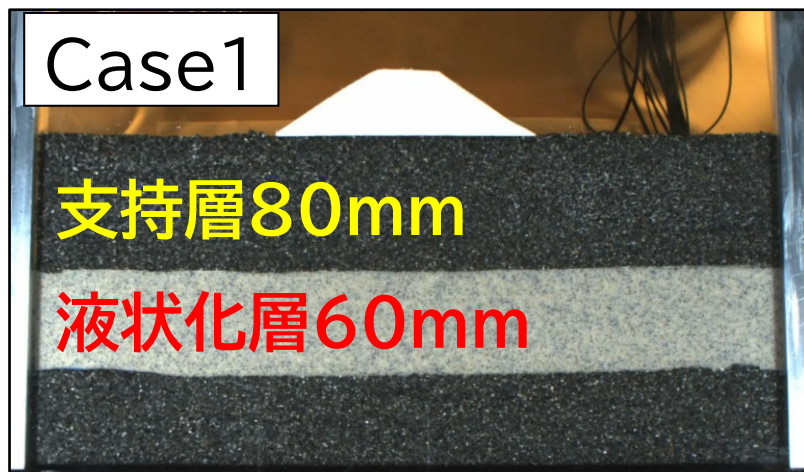


液状化層
 $Lu \div 1$
(液状化)



盛土直下
 $Lu \div 0.39$

2.2 沈下モードと液状化層位置の関係



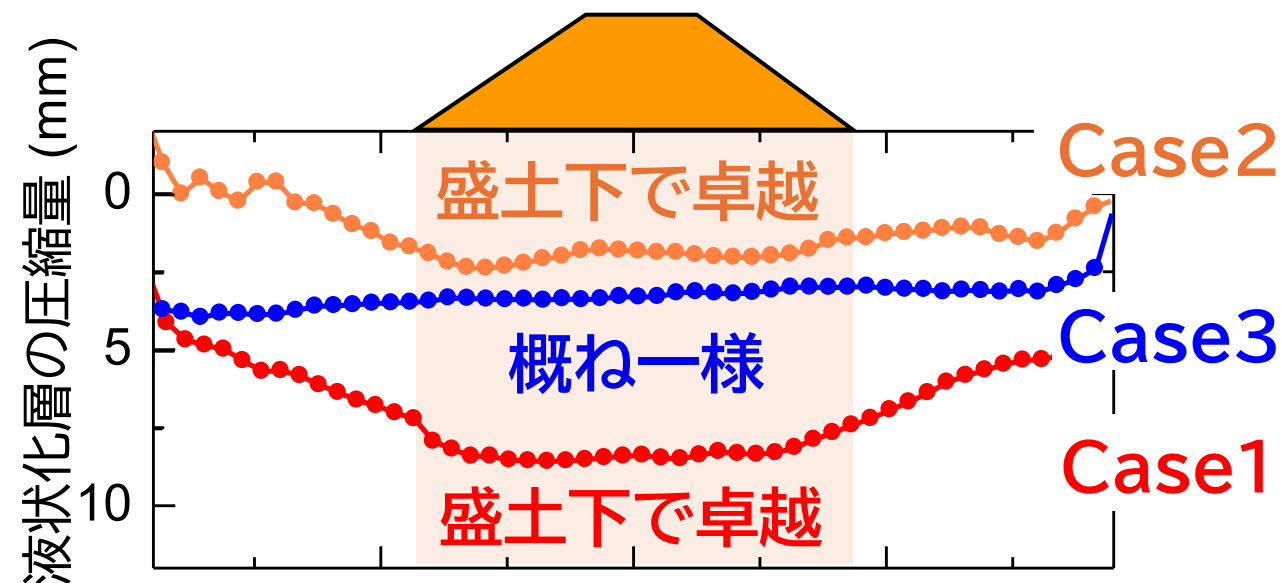
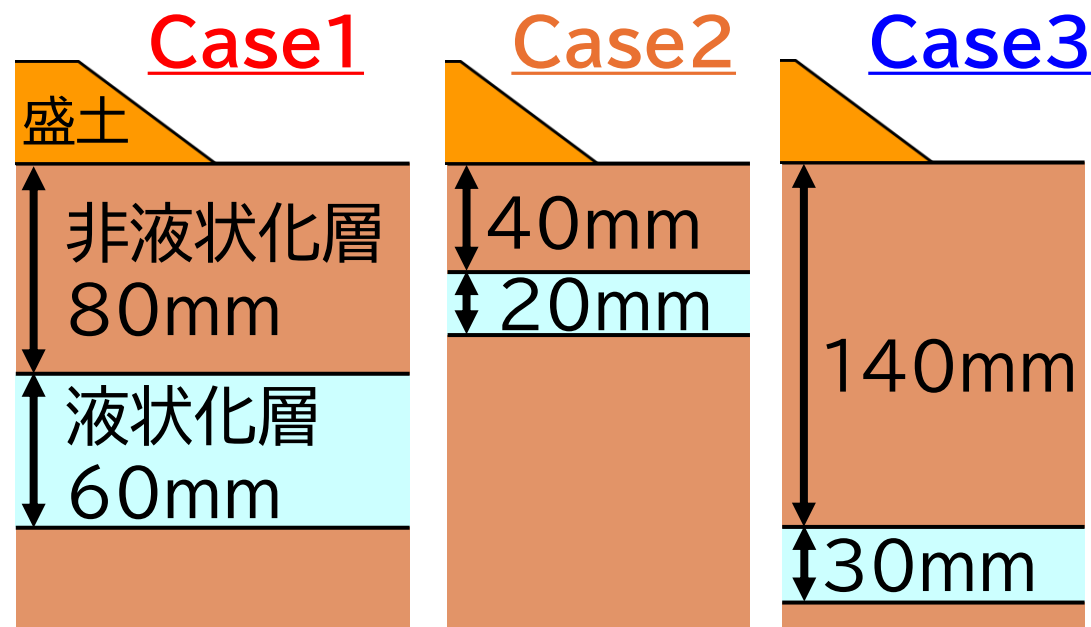
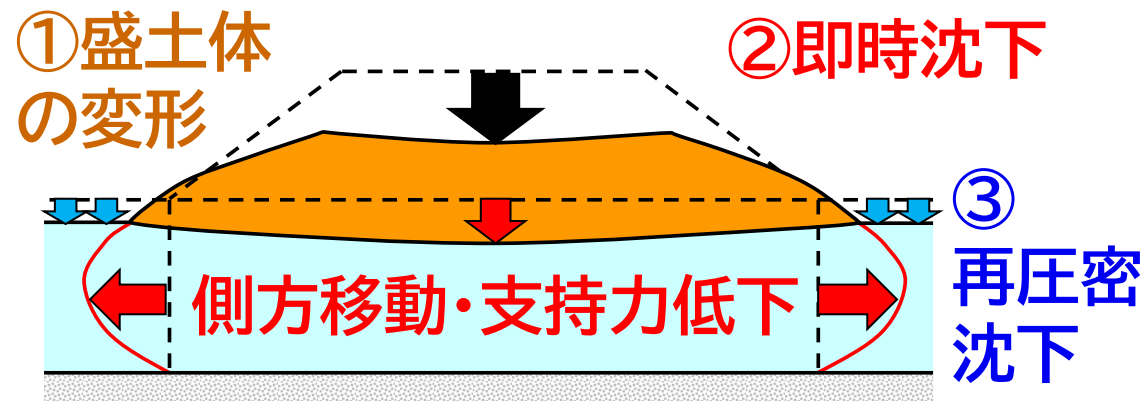
盛土直下の沈下が卓越

概ね一様な沈下

2.2 沈下モードと液状化層位置の関係

Railway Technical Research Institute

液状化地盤上の盛土の変形モード



液状化層の位置 = 浅い = 深い
盛土荷重の影響 = 大きい = 小さい

即時沈下 + 再圧密沈下
再圧密沈下

液状化層の位置により異なる沈下モード

- 1. はじめに
- 2. 薄い液状化層を有する地盤上の盛土の沈下挙動
 - 2.1 薄層の液状化挙動を再現可能なせん断土槽
 - 2.2 沈下モードと液状化層位置の関係
- 3. 沈下モードを考慮した沈下量算定
 - 3.1 沈下量算定法の選定フロー
 - 3.2 沈下量算定法および沈下モード判定法
- 4. まとめ

3.1 沈下量算定法の選定フロー

液状化判定 $P_L > 5$

詳細な検討
必要? or 実施?

NO

沈下モード
の判定

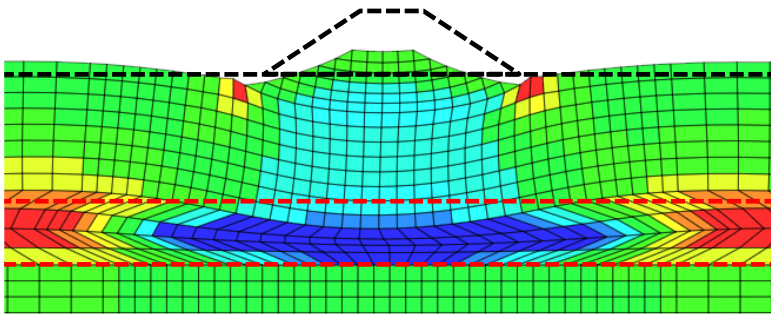
即時沈下が卓越

YES

圧密沈下が卓越

推奨法 (全沈下モード)

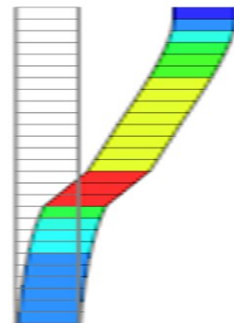
2次元FEM有効応力解析



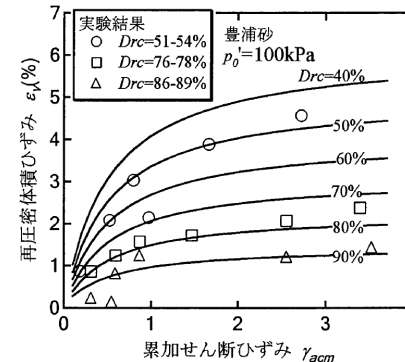
沈下量と沈下モードを
合わせて評価可能

簡易法1 (圧密沈下のみ)

地盤応答解析 + 沈下量/ε グラム



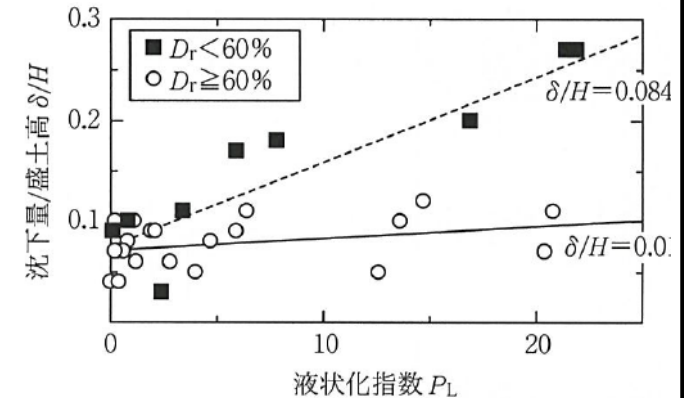
液状化層の
 γ を算定



γ から ε_{vol} を算定

簡易法2 (全沈下モード)

$P_L \sim$ 沈下量関係



現行と同様

3.1 沈下量算定法の選定フロー

液状化判定 $P_L > 5$

詳細な検討
必要? or 実施?

NO

沈下モード
の判定

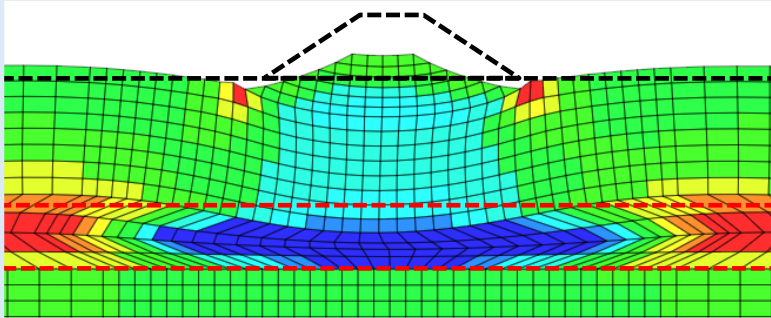
即時沈下が卓越

YES

圧密沈下が卓越

推奨法 (全沈下モード)

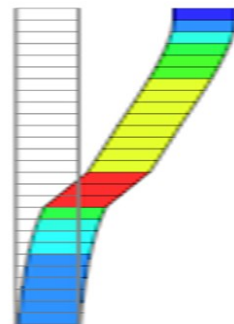
2次元FEM有効応力解析



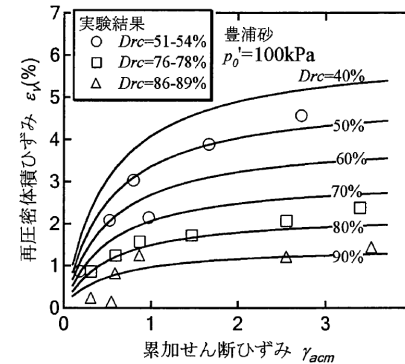
沈下量と沈下モードを
合わせて評価可能

簡易法1 (圧密沈下のみ)

地盤応答解析 + 沈下量/ε グラム



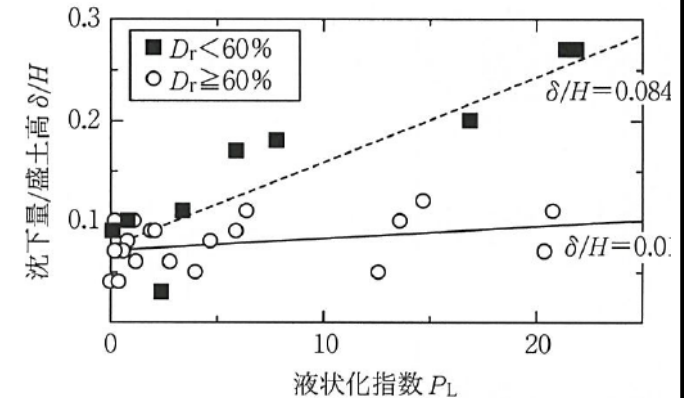
液状化層の
 γ を算定



γ から ε_{vol} を算定

簡易法2 (全沈下モード)

$P_L \sim$ 沈下量関係



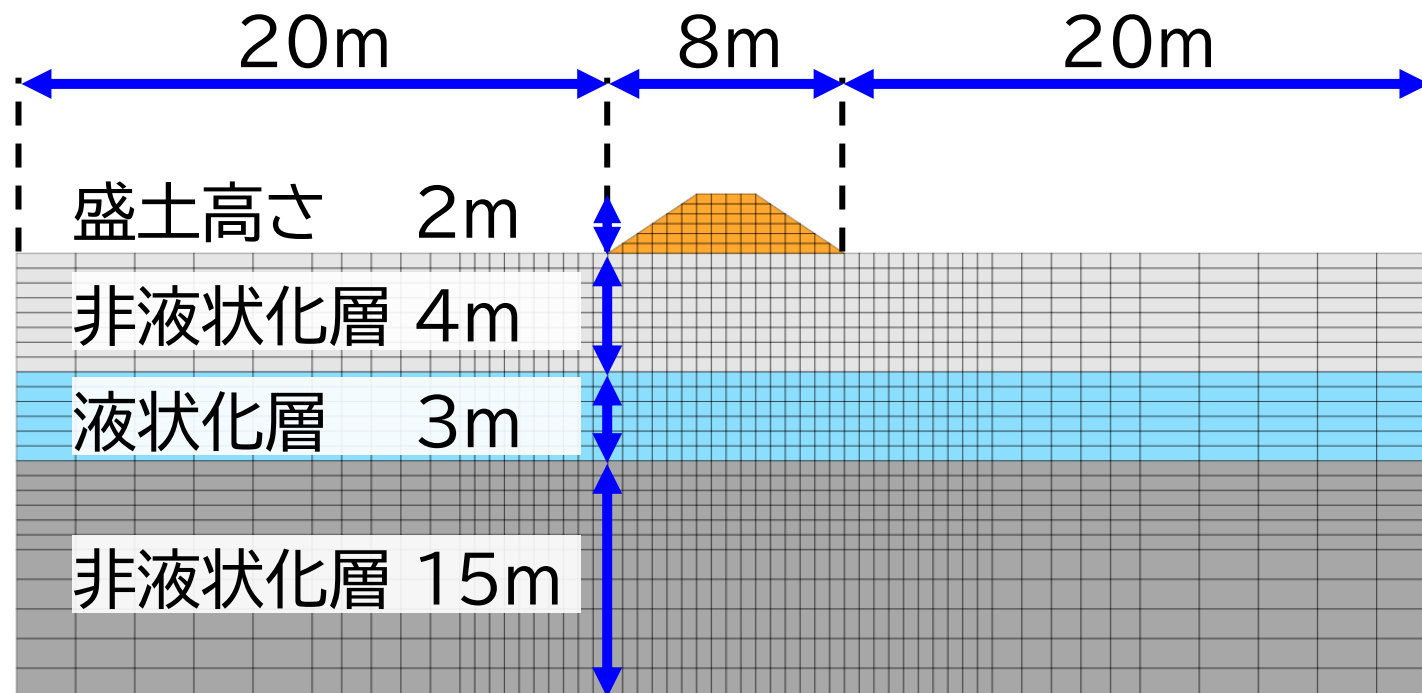
現行と同様

3.2 沈下量算定法【推奨法】

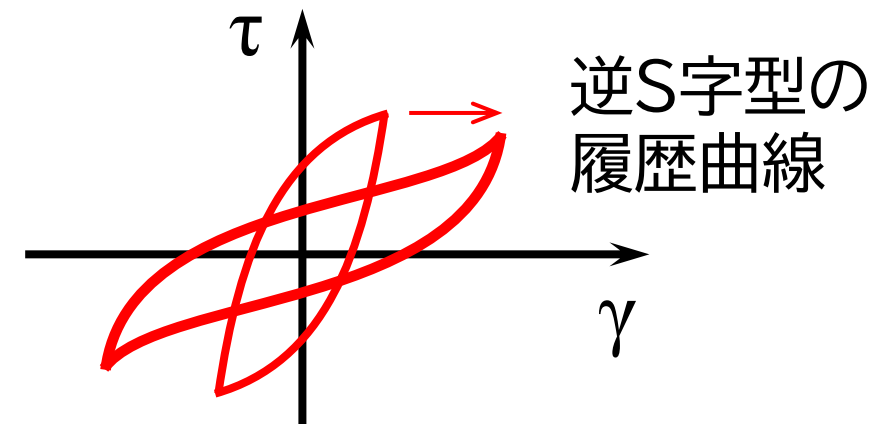
推奨法：2次元FEM有効応力解析

検証解析モデル

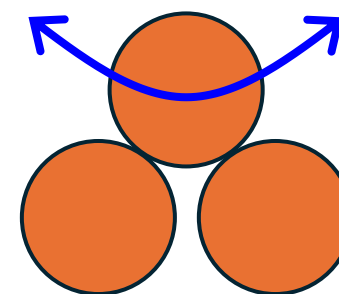
液状化層の深度を変えた解析を実施



非液状化層：GHE-Sモデル



液状化層：修正GHE+おわんモデル

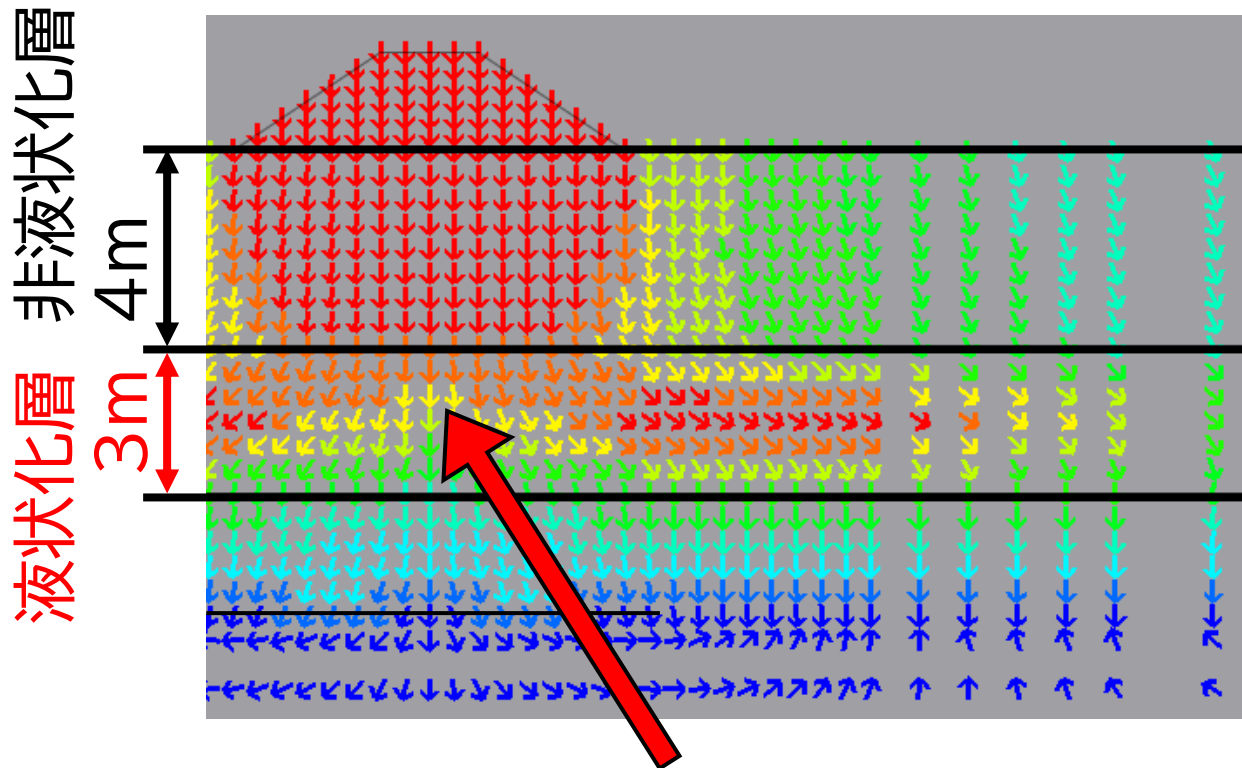


せん断変形～
水圧関係を
表現可能

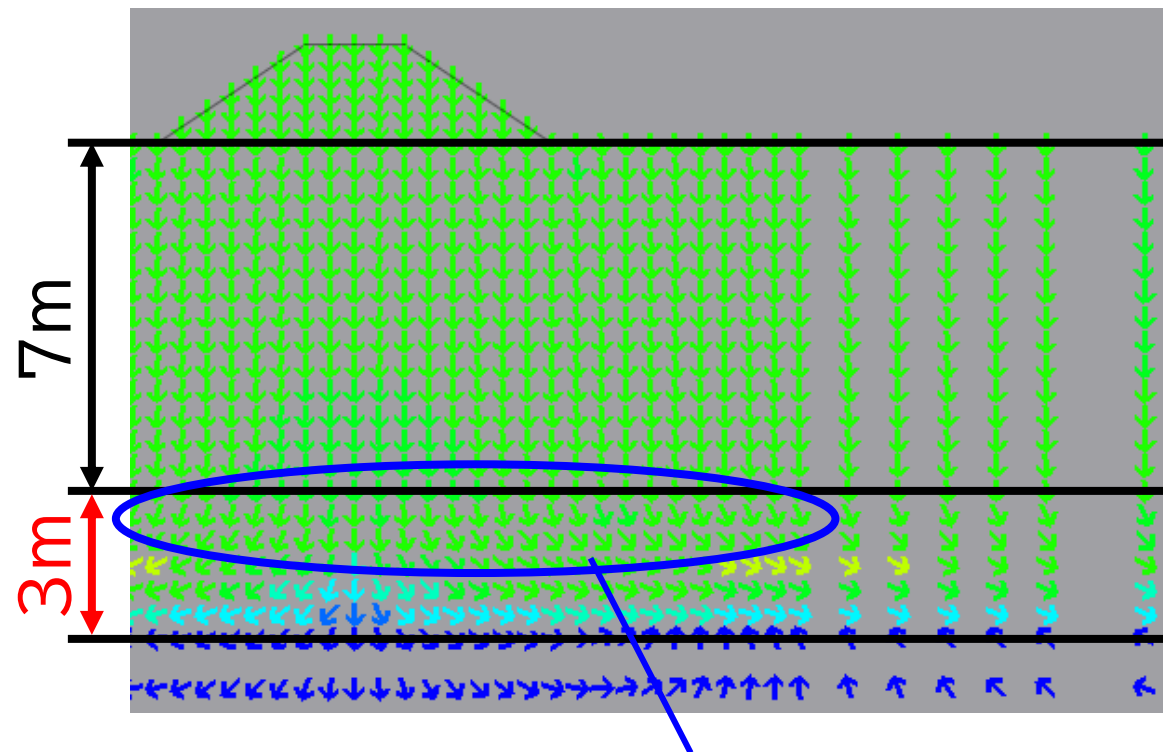
3.2 沈下量算定法 【推奨法】

推奨法：2次元有効応力FEM解析

変位 0  300mm



液化化層が浅い → 盛土直下の沈下が卓越



液化化層が深い → 概ね一様な沈下

沈下モードと沈下量を合わせて評価可能

3.1 沈下量算定法の選定フロー

液状化判定 $P_L > 5$

詳細な検討
必要? or 実施?

NO

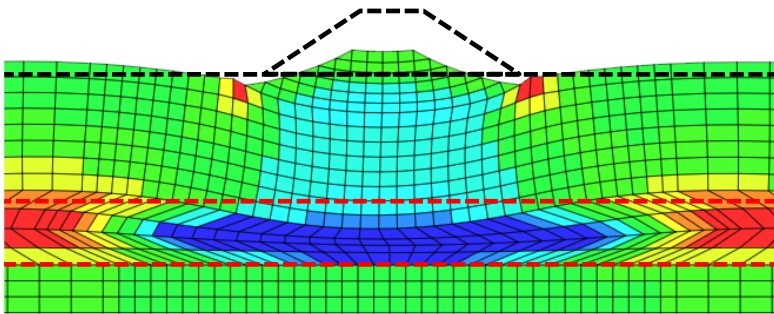
沈下モード
の判定

即時沈下が卓越

圧密沈下が卓越

推奨法 (全沈下モード)

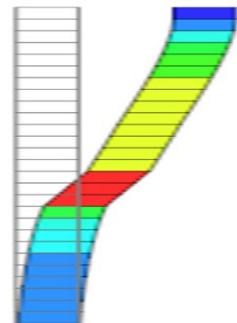
2次元FEM有効応力解析



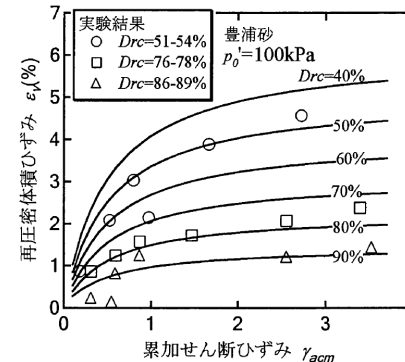
沈下量と沈下モードを
合わせて評価可能

簡易法1 (圧密沈下のみ)

地盤応答解析 + 沈下量/ε_{vol} グラム



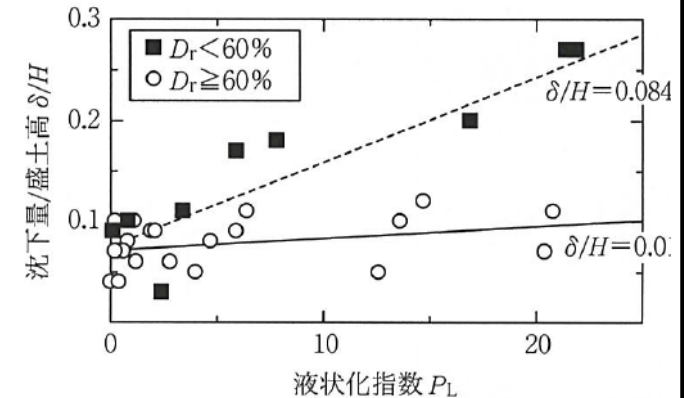
液状化層の
 γ を算定



γ から ε_{vol} を算定

簡易法2 (全沈下モード)

$P_L \sim$ 沈下量関係



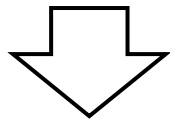
現行と同様

3.2 沈下モード判定法

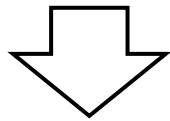
液状化層の位置(支持層の厚さ)に応じて、異なる沈下モード

沈下モード判定法

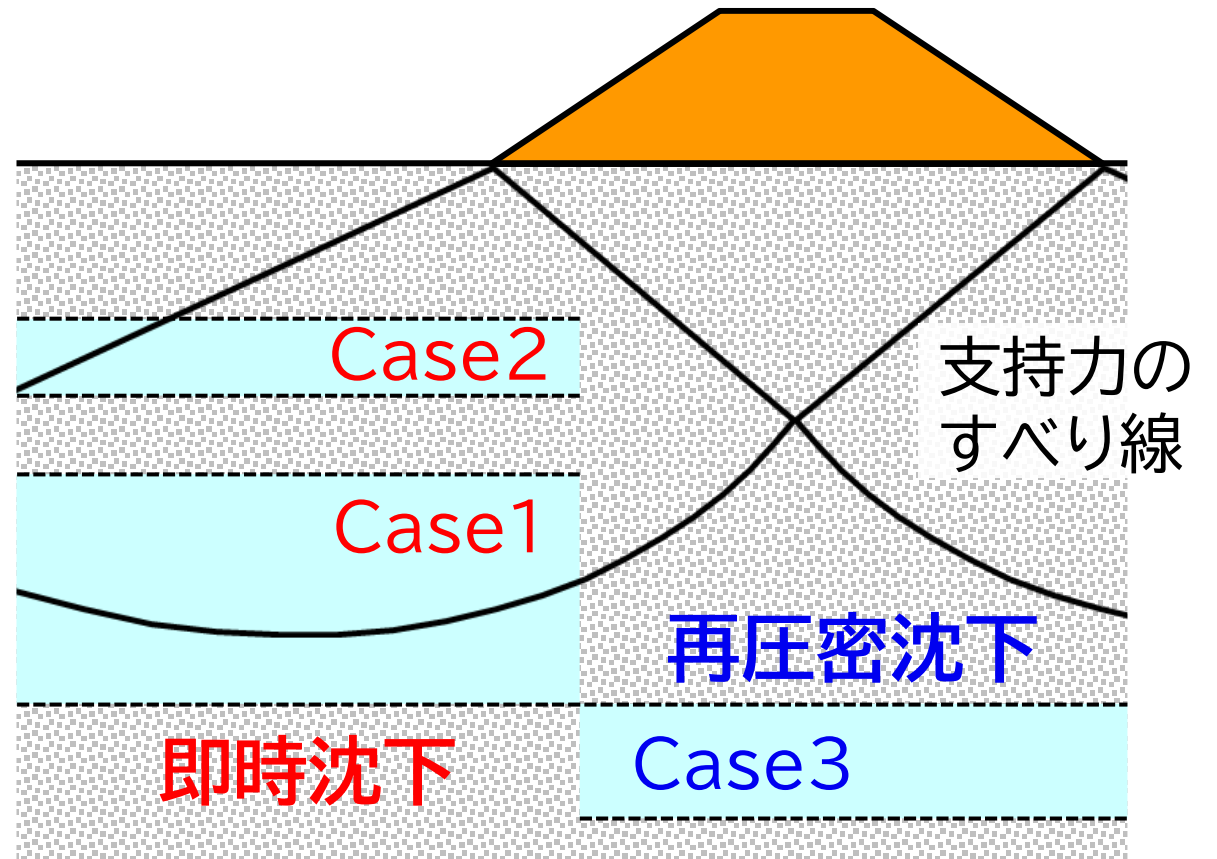
液状化層が支持力の
すべり線以深



盛土荷重が分散



再圧密沈下が卓越



3.1 沈下量算定法の選定フロー

液状化判定 $P_L > 5$

詳細な検討
必要? or 実施?

NO

沈下モード
の判定

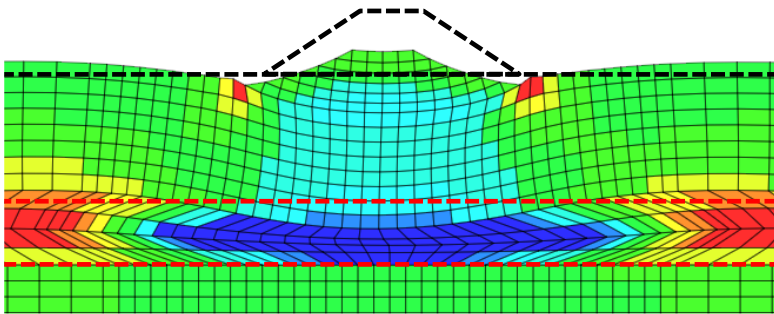
即時沈下が卓越

YES

圧密沈下が卓越

推奨法 (全沈下モード)

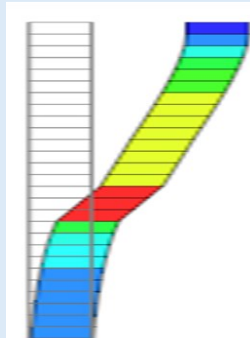
2次元FEM有効応力解析



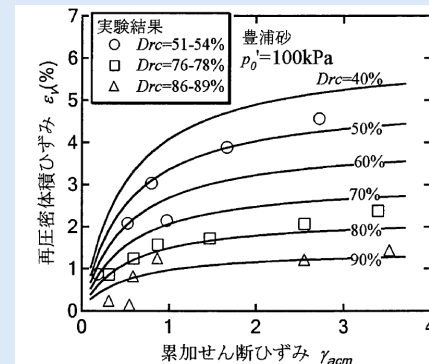
沈下量と沈下モードを
合わせて評価可能

簡易法1 (圧密沈下のみ)

地盤応答解析 + 沈下量/ε グラム



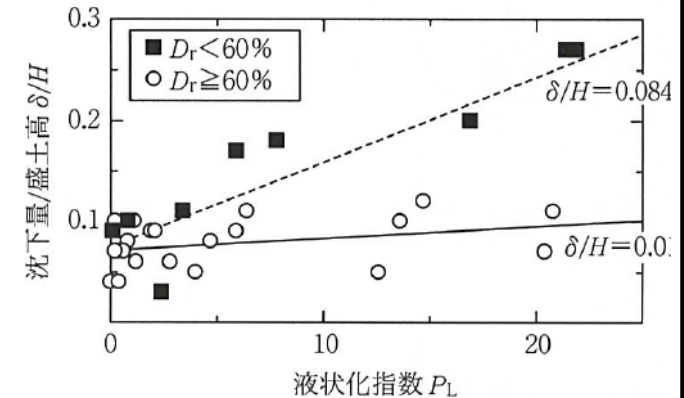
液状化層の
 γ を算定



γ から ε_{vol} を算定

簡易法2 (全沈下モード)

$P_L \sim$ 沈下量関係



現行と同様

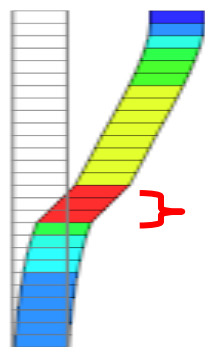
3.2 沈下量算定法【簡易法1】

簡易法1：1次元地盤応答解析

液状化層が滑り線以深にある場合には、
再圧密沈下が卓越



1次元地盤応答解析により
液状化層の時刻歴
せん断ひずみ γ を算定



液状化層

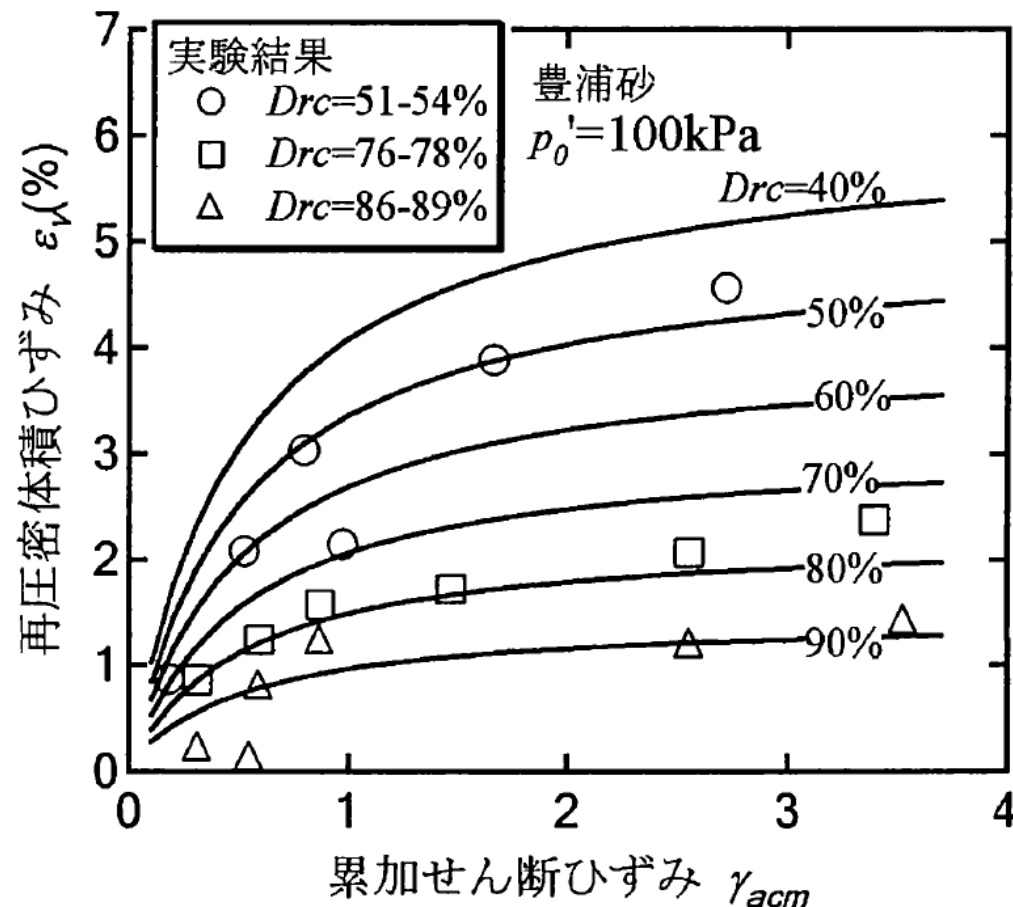


せん断ひずみから体積ひずみ ε_{vol} を算定
(例えば、仙頭ら(2004)の関係式を活用)



再圧密沈下量 = 液状化層厚 $\times$ ε_{vol}

仙頭ら (2004)



1. はじめに
2. 薄い液状化層を有する地盤上の盛土の沈下挙動
 - 2.1 薄層の液状化挙動を再現可能なせん断土槽
 - 2.2 沈下モードと液状化層位置の関係
3. 沈下モードを考慮した沈下量算定
 - 3.1 沈下量算定法の選定フロー
 - 3.2 沈下量算定法および沈下モード判定法
4. まとめ

4. まとめ

まとめ

- 薄層の液状化を再現可能なせん断土槽を作製し、加振実験を実施した。
- 液状化層の位置によって、盛土の沈下モードが異なることを確認した。
浅い:即時沈下+再圧密沈下 深い:再圧密沈下
- 沈下モード判定法と沈下量算定法を提案した。
- 今後は遠心模型実験により、提案法の妥当性を実応力場で確認予定。

成果の活用

- より実情に即した沈下量評価に基づき、液状化対策の要否や対策範囲を設定することで、盛土を経済的に構築することが可能となる。

土井達也, 伊吹竜一, 井澤淳: 地震時の地盤の揺れを再現する,
RRR, 2026年7・8月号掲載予定