

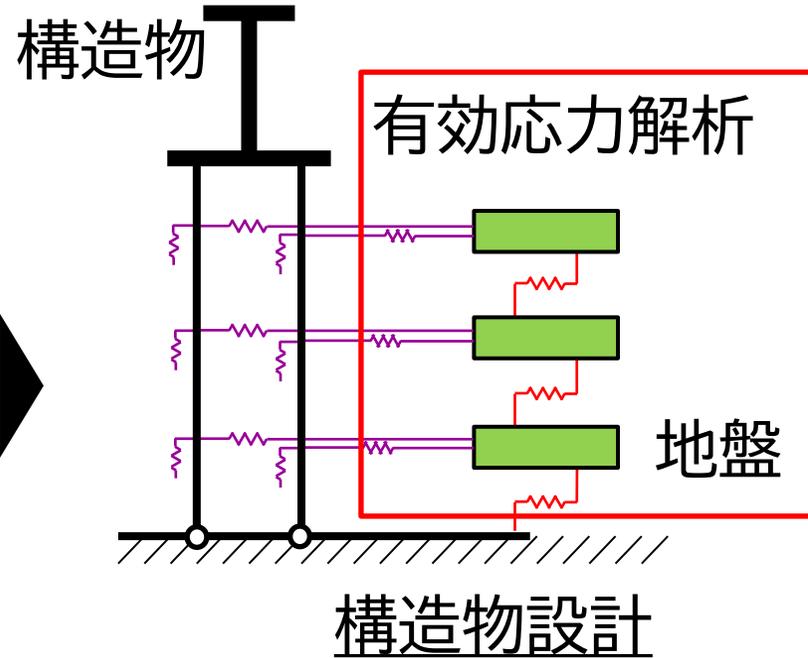
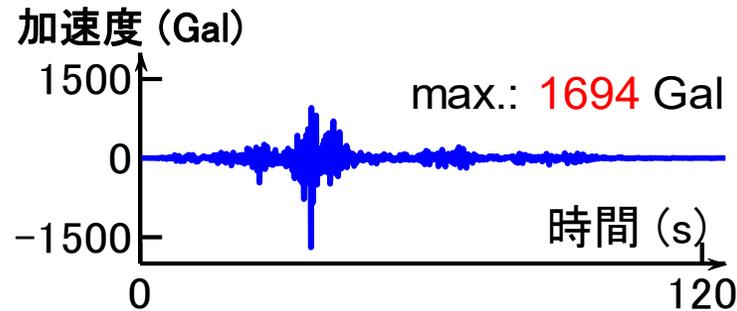
巨大地震時の 地盤の液状化挙動評価手法

鉄道地震工学研究センター 地震動力学研究室
研究員 小野寺 智哉

背景・目的

非常に大きな地震動に
対する耐震設計の必要性

例：南海トラフ地震



巨大地震時の地盤挙動

- 密な地盤の液状化
- 大変形(ひずみ数10%)
→ 定常化現象 等

目的

- 地盤の大変形時の定常化挙動のメカニズムを把握する
- 大変形時の定常化挙動を再現できる解析モデルを開発する

1. 巨大地震に対する耐震設計
2. 地盤の定常化
3. 室内試験による定常化の把握
4. 有効応力解析モデルの開発
5. まとめと成果の活用

1. 巨大地震に対する耐震設計 ①設計地震動

L2地震動 設計地点で考えられる最大級の強さを持つ地震動

実務的手法

予め設定されている**標準L2地震動**を使用
ただし、

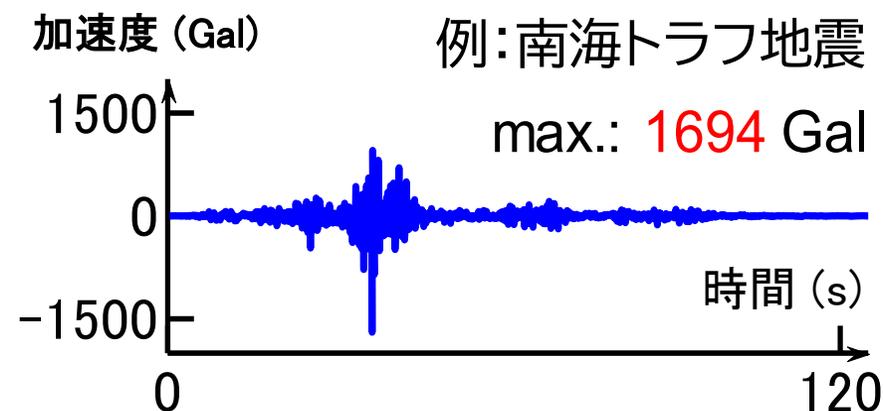
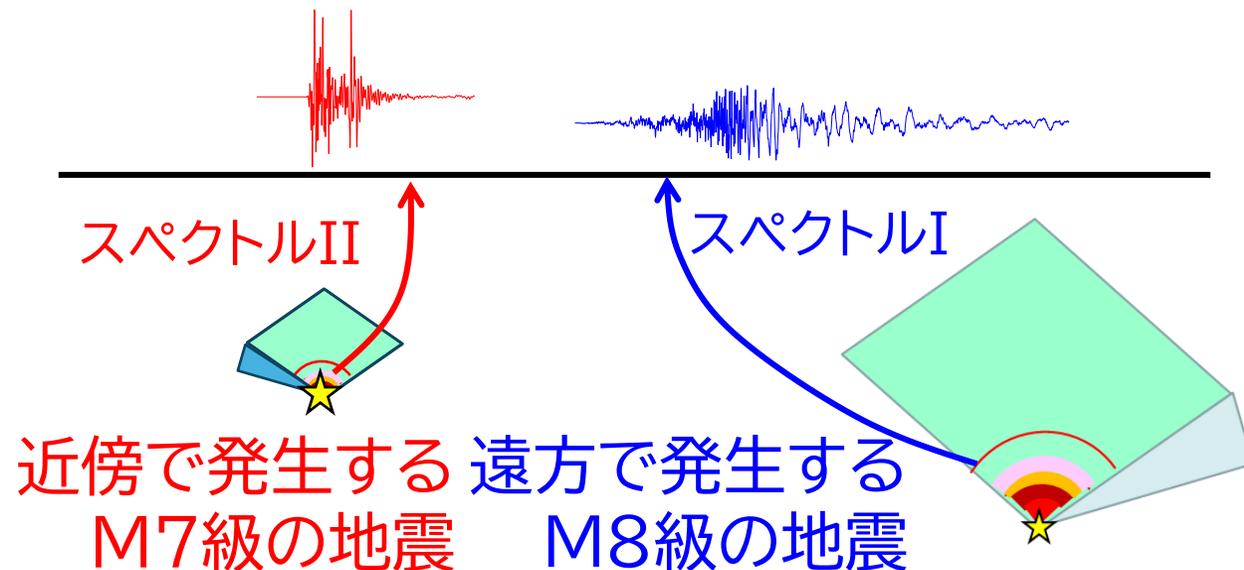
- M7以上の震源域が近傍に存在
- 基盤面以深の著しい増幅が想定される



推奨法

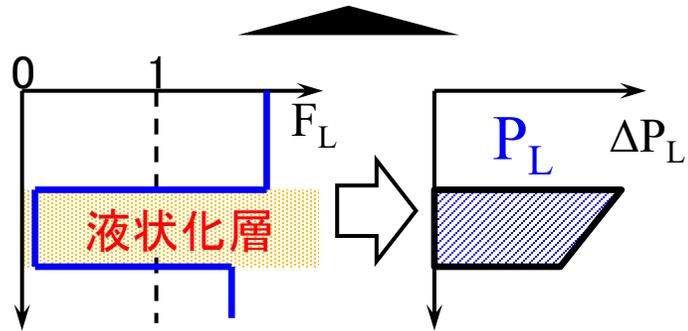
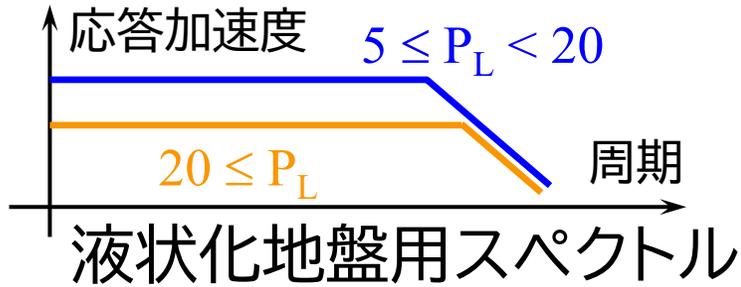
強震動予測により各地点個別に**サイト波**を作成

標準地震動よりも厳しい条件を想定するため
非常に大きな地震動が算定される場合がある

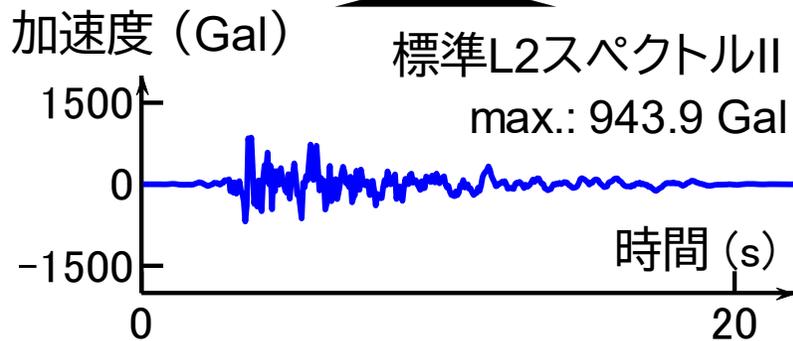


1. 巨大地震に対する耐震設計 ②液状化設計

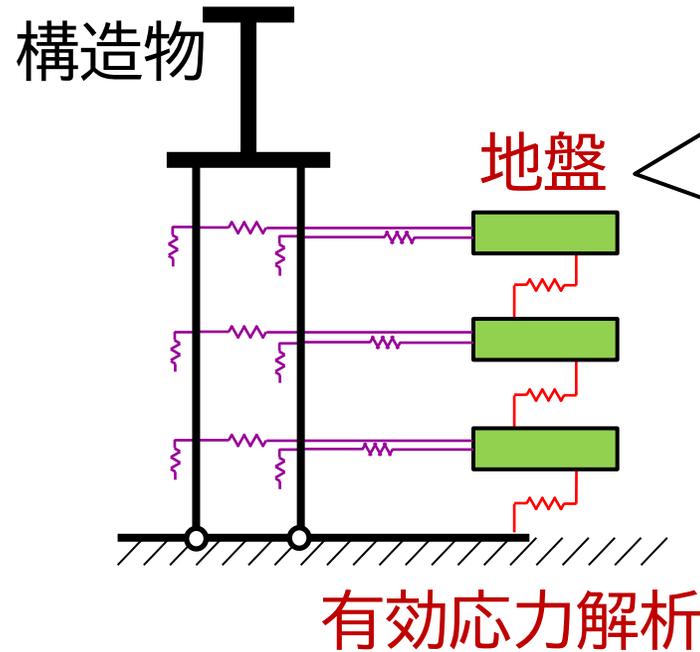
□ 標準L2地震動



液状化判定



□ サイト波 → 液状化地盤用スペクトルが用意されていない



巨大地震時の地盤挙動

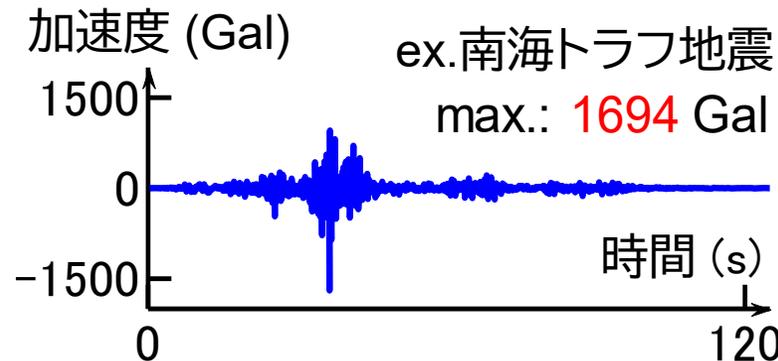
- 密な地盤の液状化
- 大変形(ひずみ数10%)
→ **定常化現象**

等の発生懸念



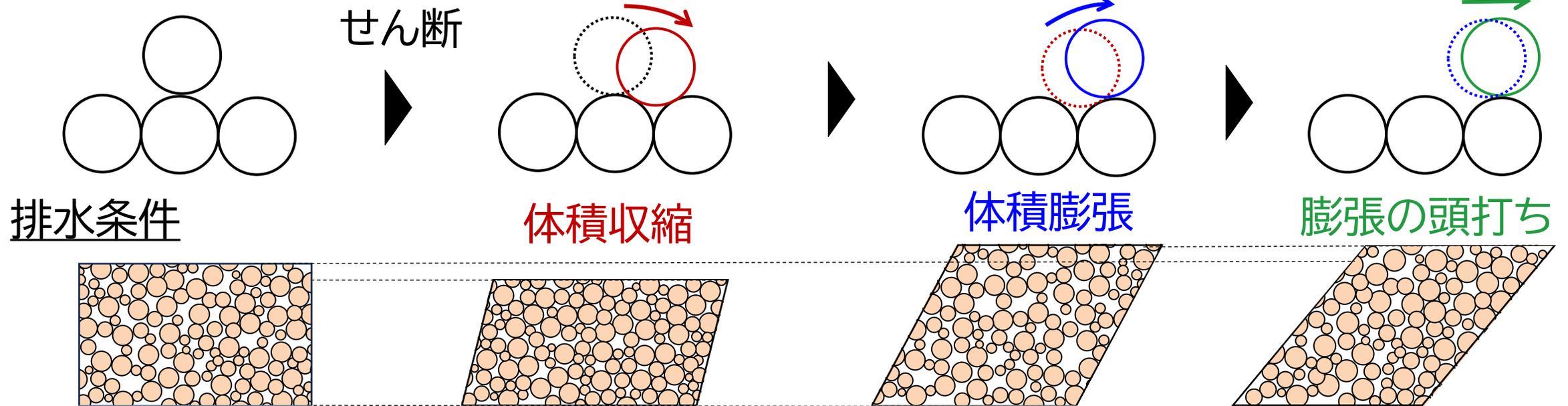
目的

- 定常化**メカニズム**の把握
- 定常化を再現できる**解析モデル**の開発

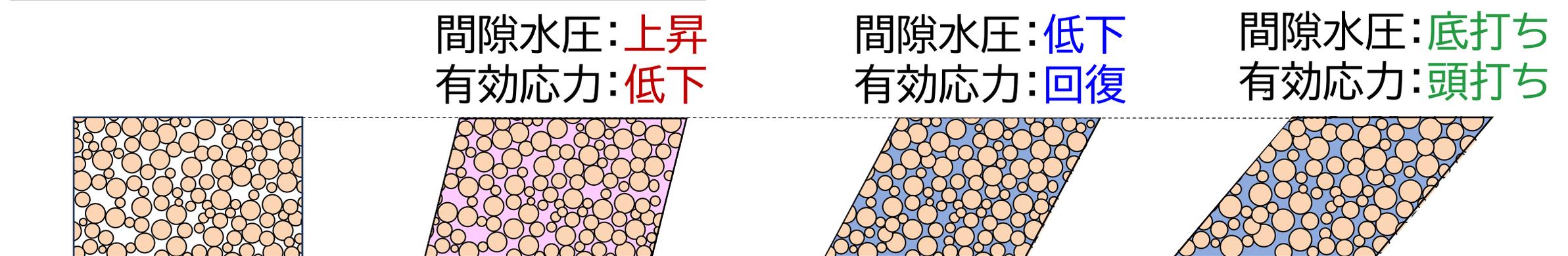


2. 地盤の定常化

土粒子の動き

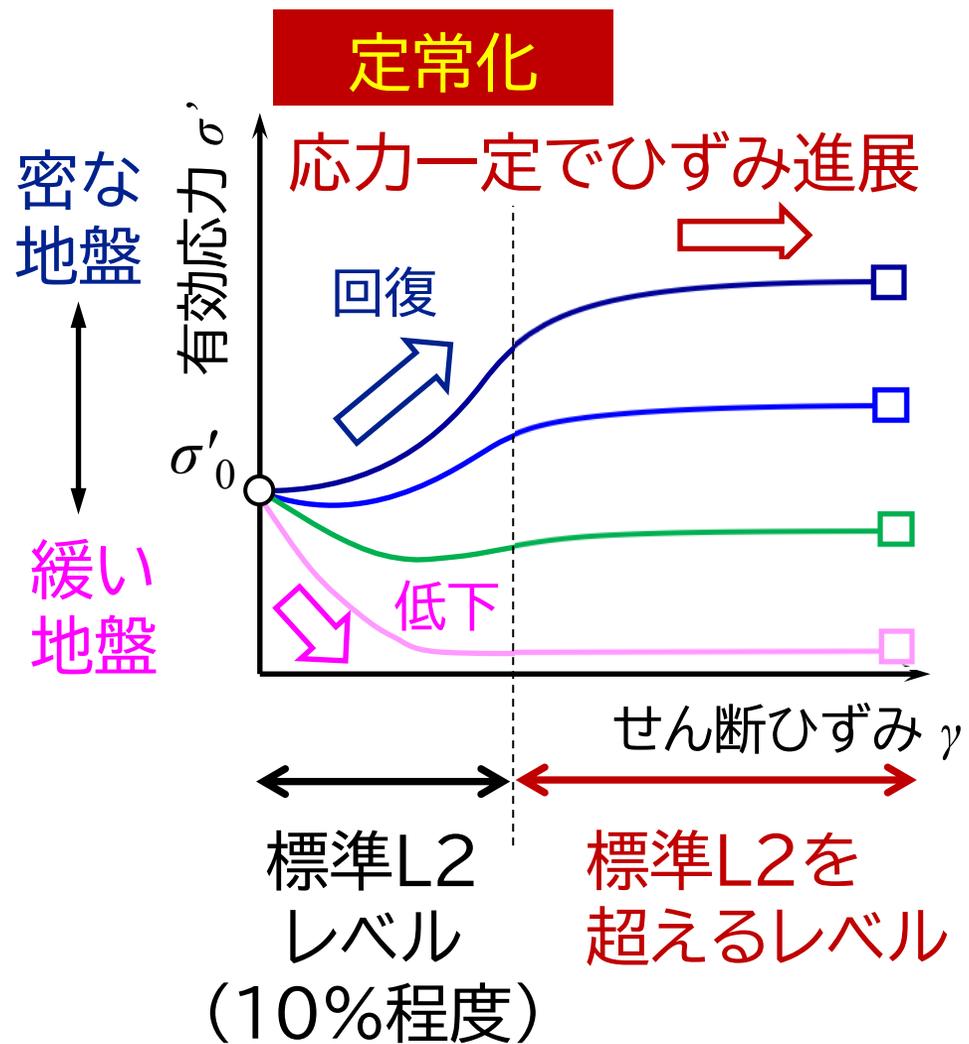


非排水条件(体積一定): 地震時に対応

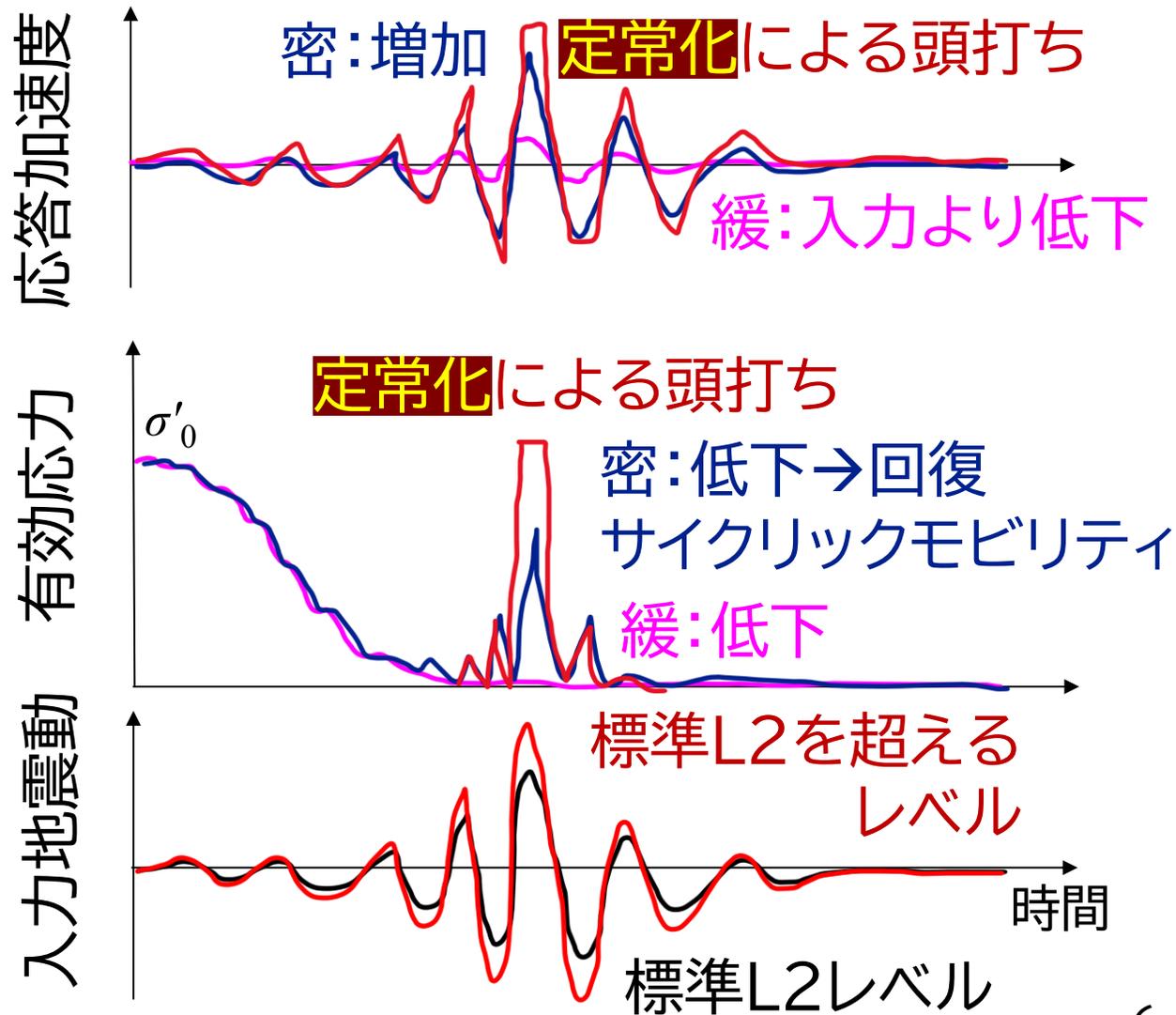


2. 地盤の定常化

□ 非排水条件のせん断挙動(地震時など)

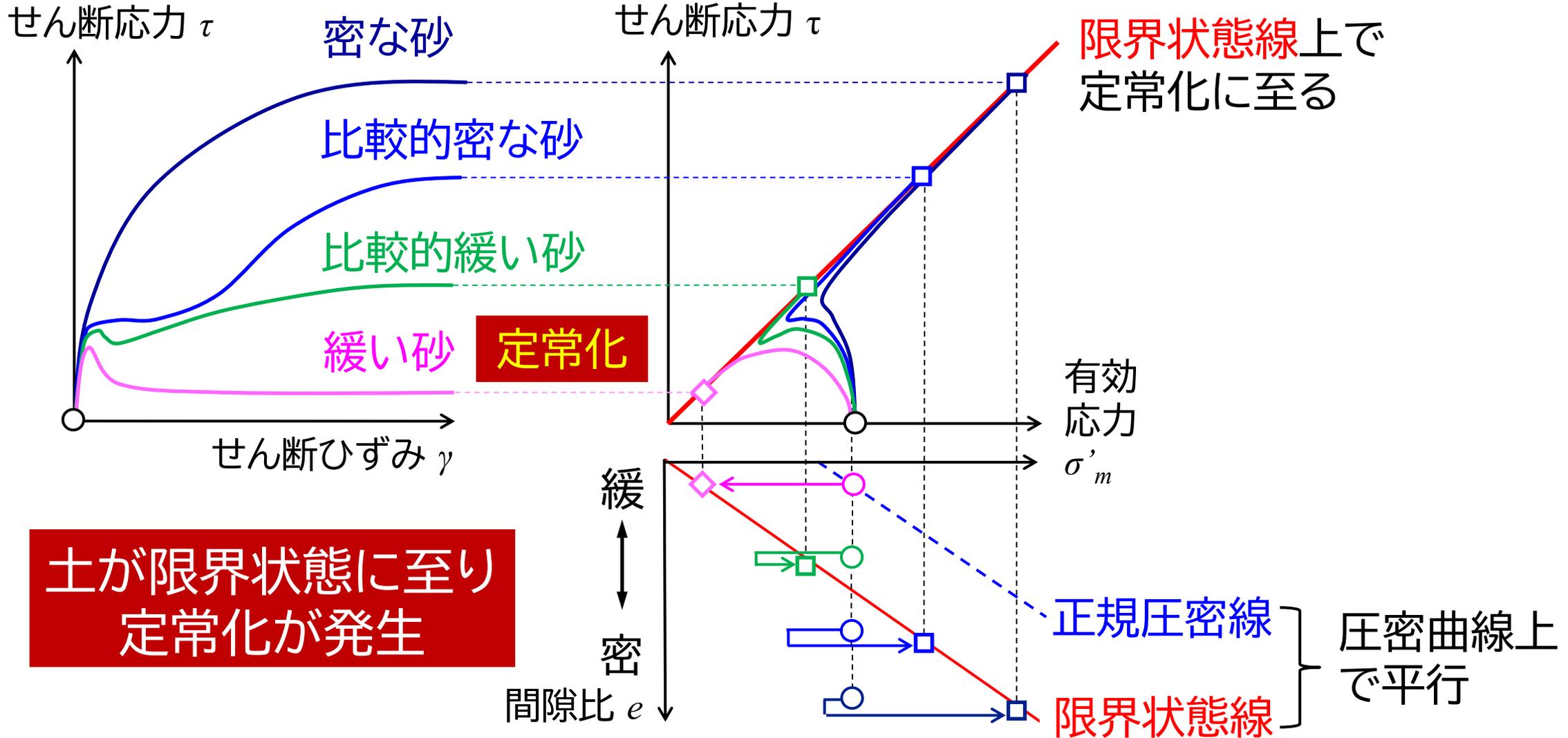


□ 地盤の液状化



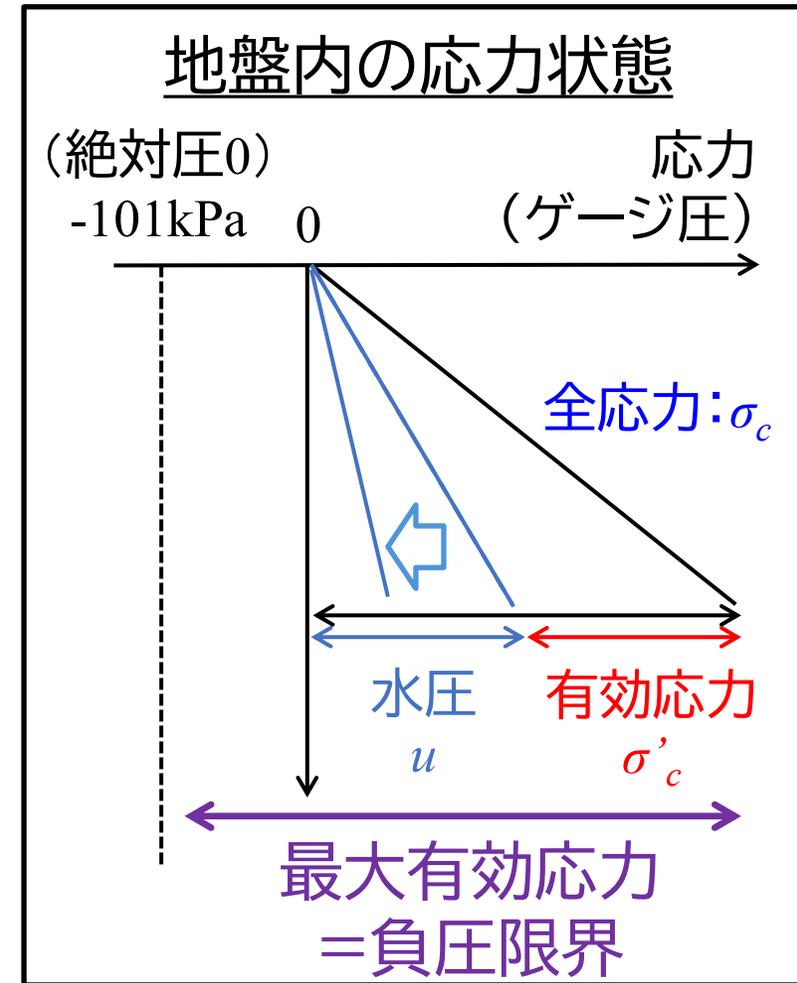
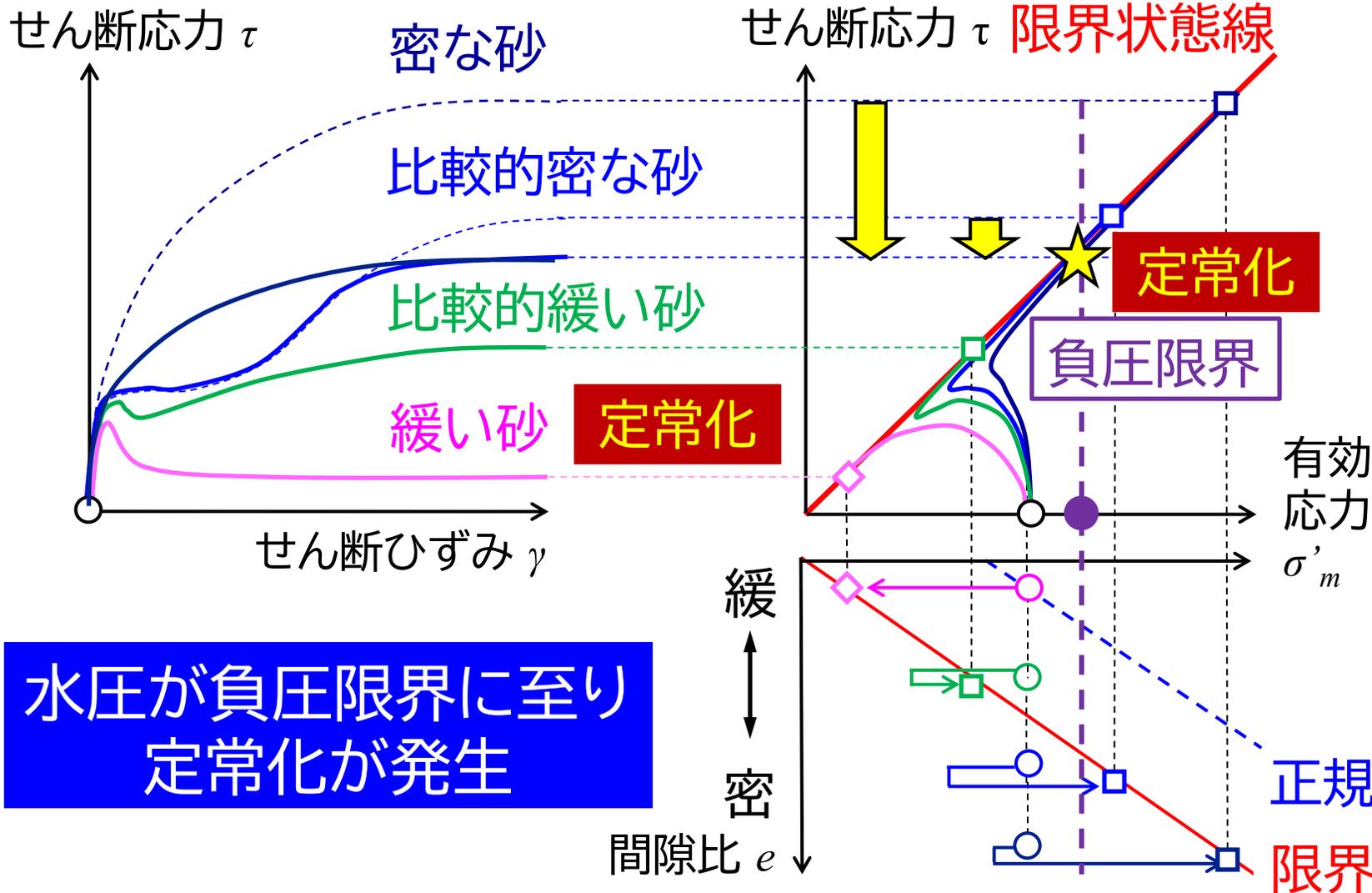
2. 地盤の定常化 ①土の限界状態による定常化

□ 非排水条件のせん断挙動(地震時など)



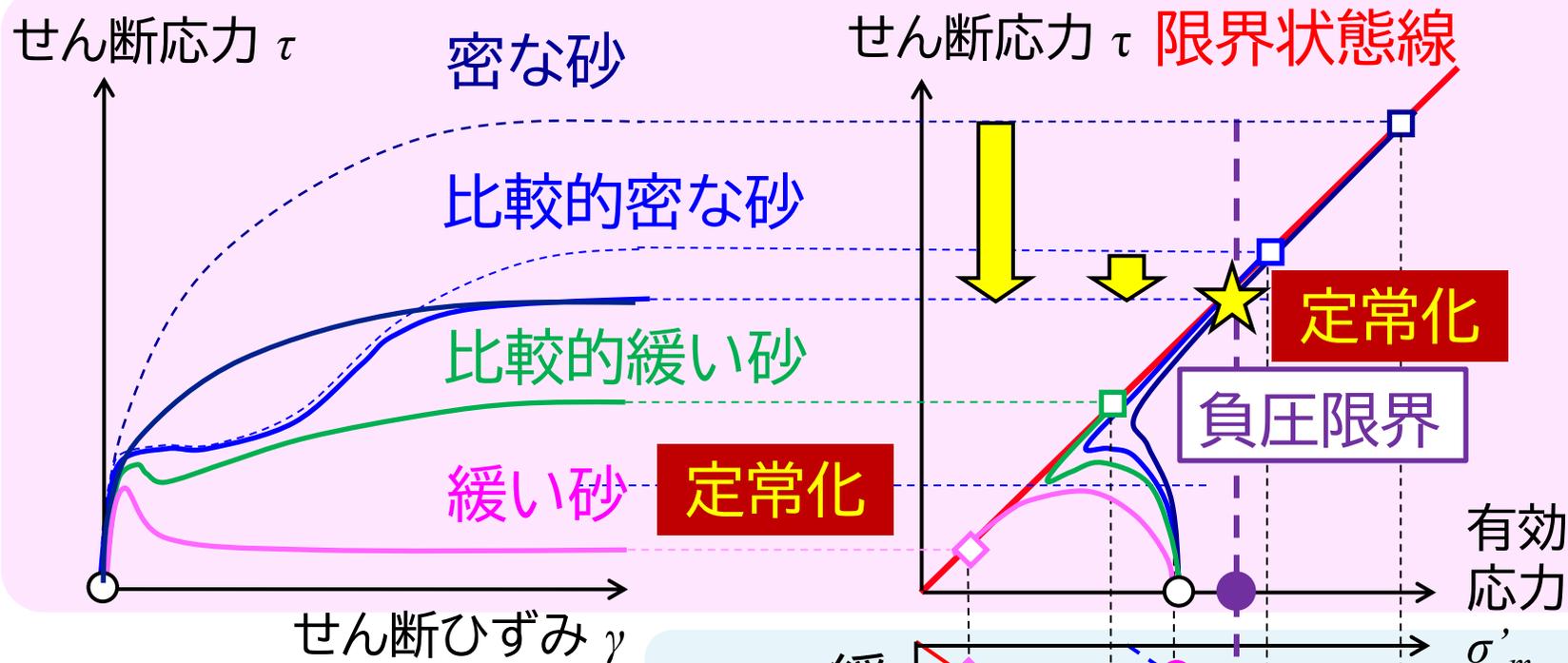
2. 地盤の定常化 ②負圧限界による定常化

□ 非排水条件のせん断挙動(地震時など)



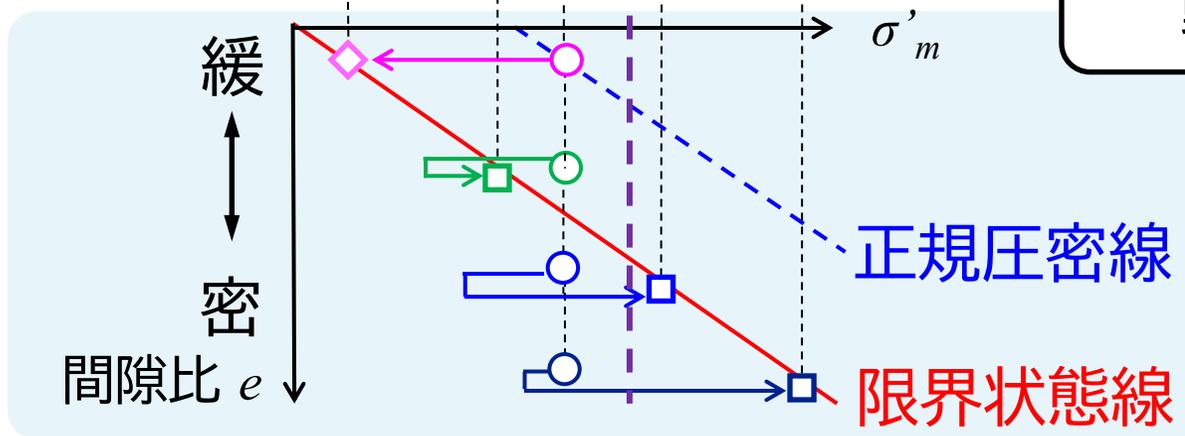
3. 室内試験による定常化の把握

□ 非排水条件のせん断挙動(地震時など)



① 非排水せん断試験
2パターンでの
負圧限界を設定
(640kPa, 340kPa)

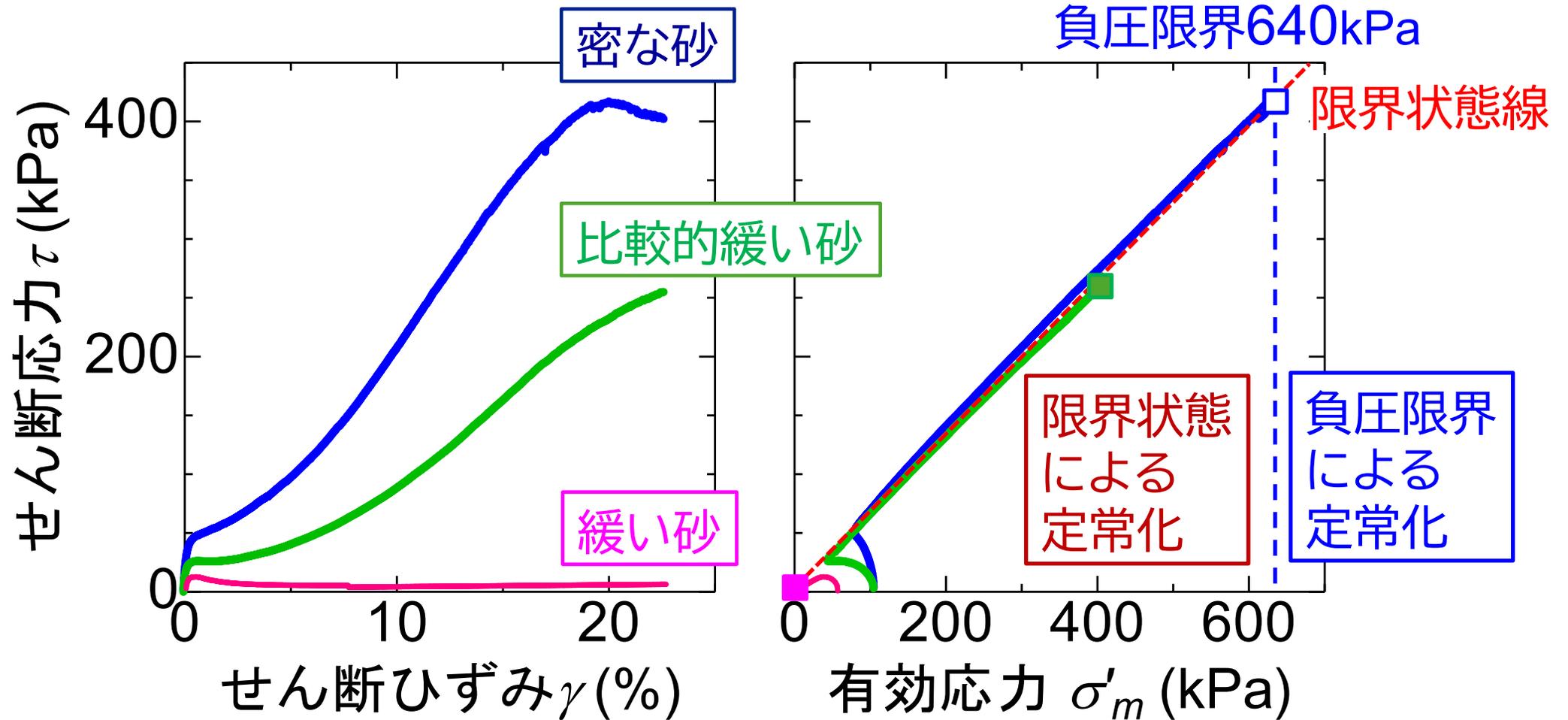
③ ハイブリッド
地盤応答試験
動的応答を把握



② 圧密試験
限界状態線
を把握

3.室内試験による定常化の把握 ①非排水せん断試験

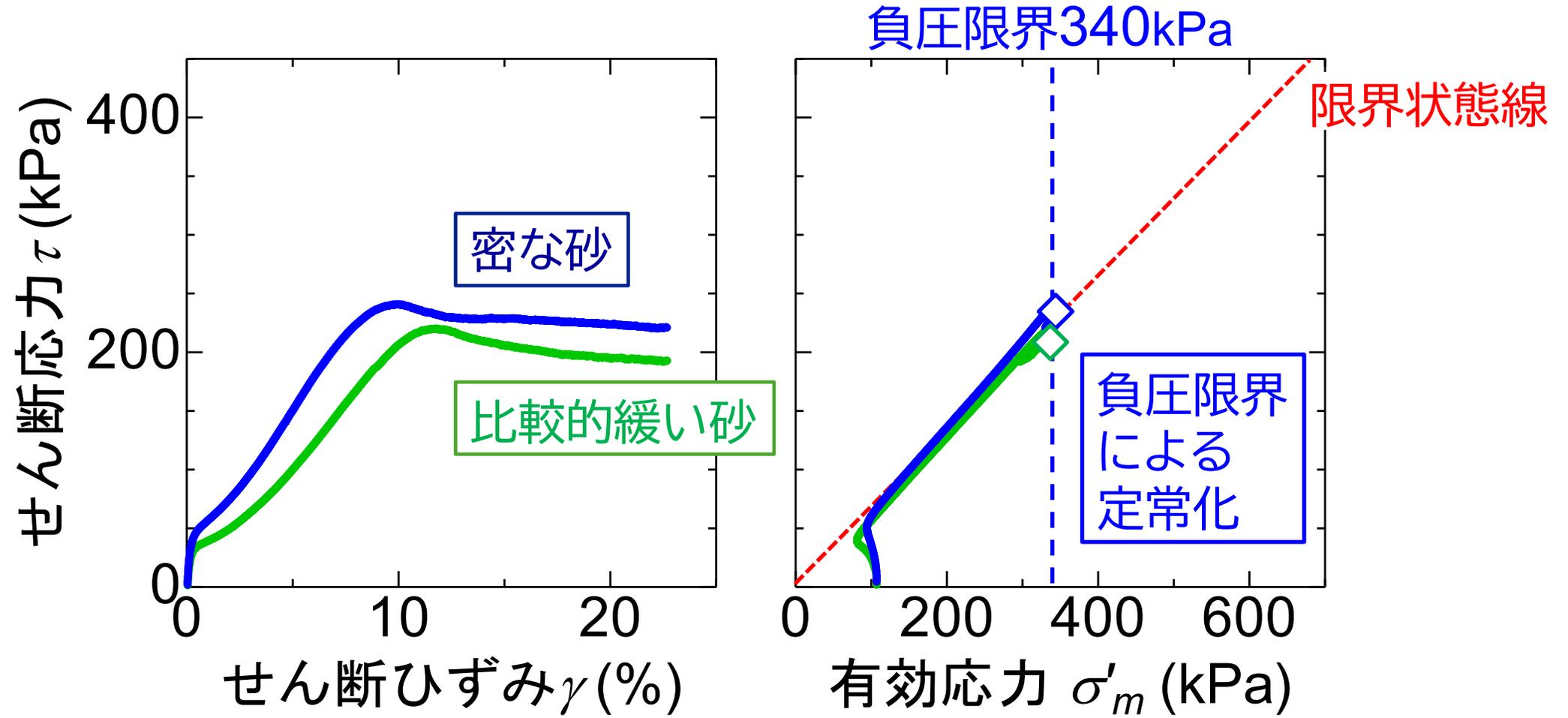
□ 負圧限界640kPaに設定した非排水せん断試験



密な砂では負圧限界、その他の条件では土の限界状態により定常化

3.室内試験による定常化の把握 ①非排水せん断試験

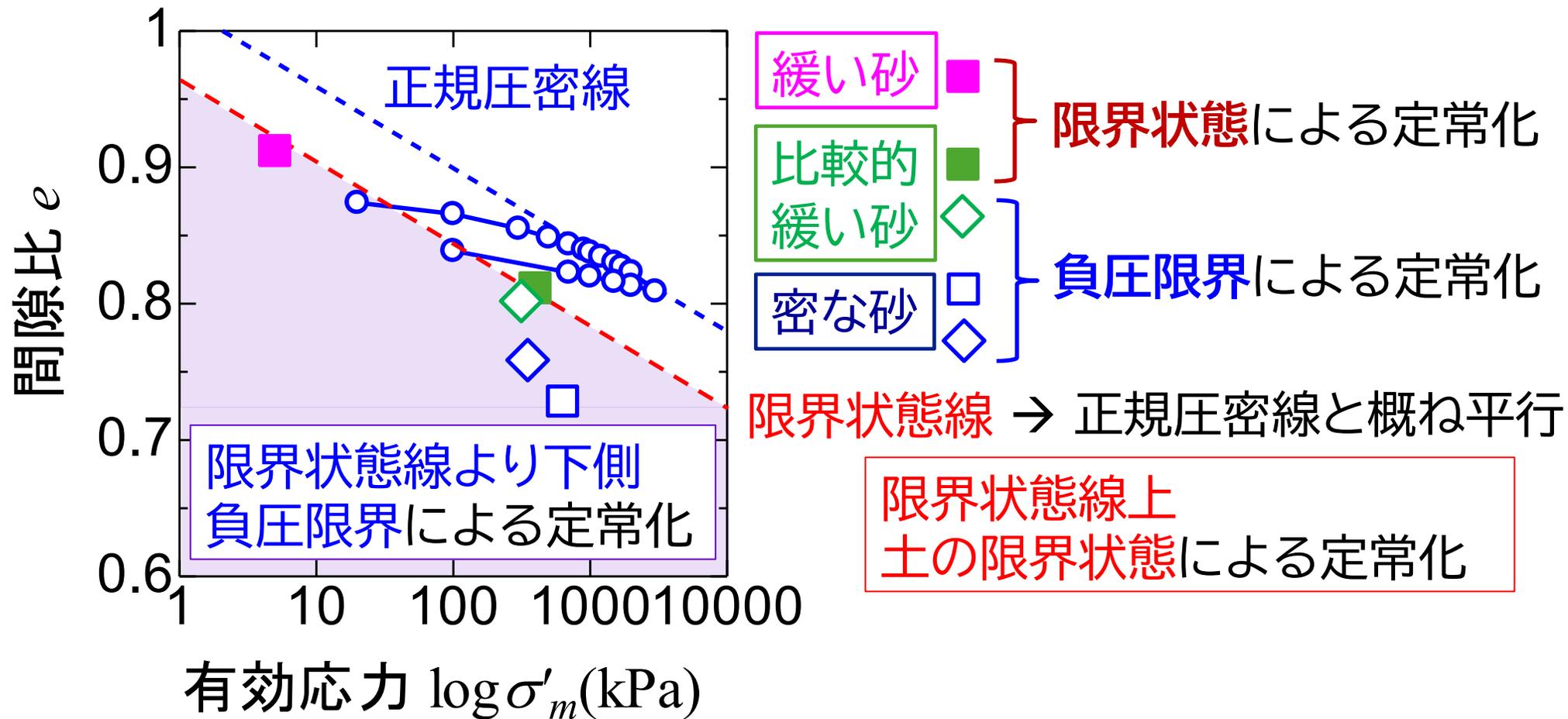
□ 負圧限界340kPaに設定した非排水せん断試験



いずれの密度でも負圧限界により定常化

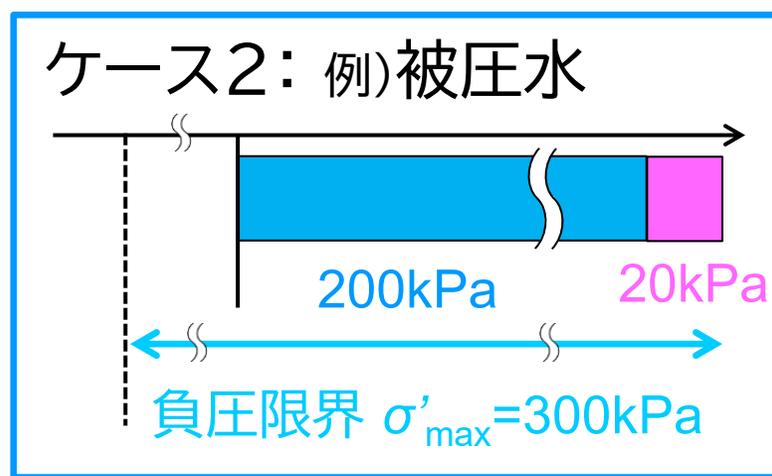
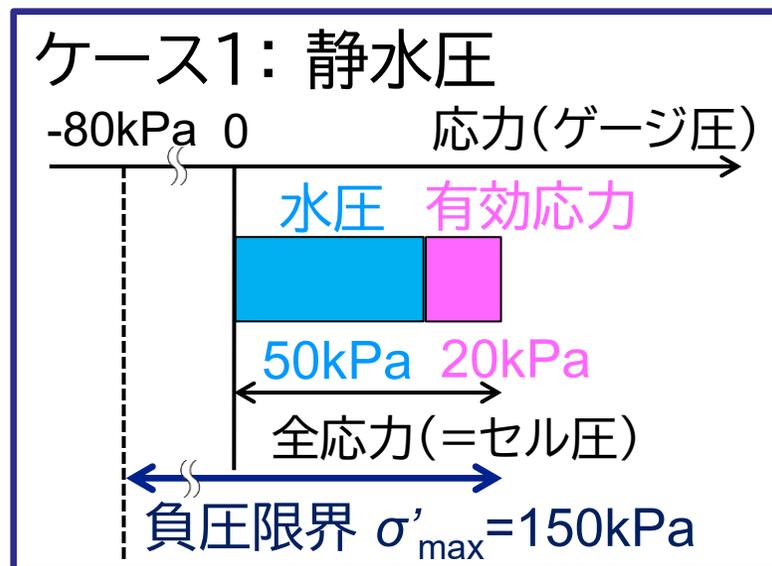
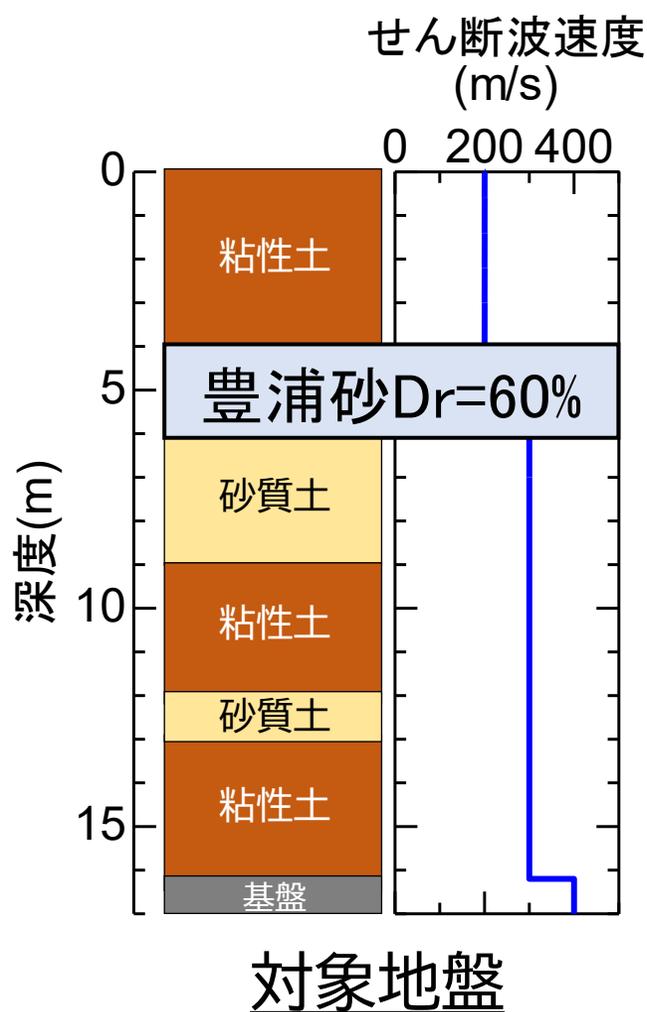
3. 室内試験による定常化の把握 ②圧密試験

豊浦砂の圧密試験結果



理論通りの挙動を示すことを確認

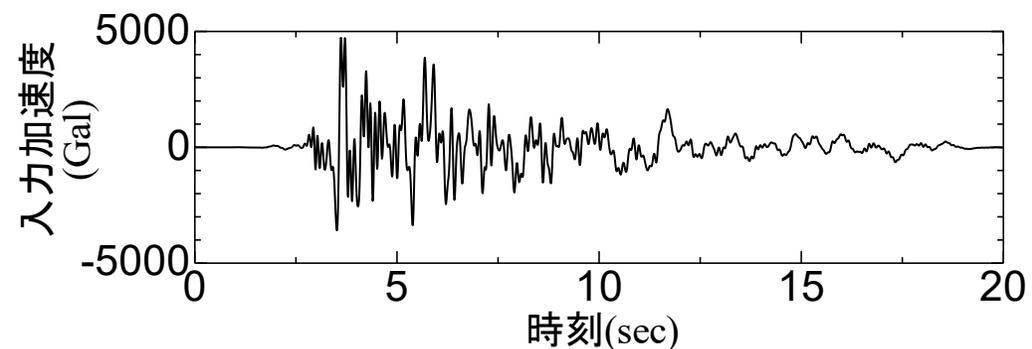
3. 室内試験による定常化の把握 ③ハイブリッド試験



ケース1: **負圧限界 150kPa**
深度5mの静水圧相当
(地表面水位)

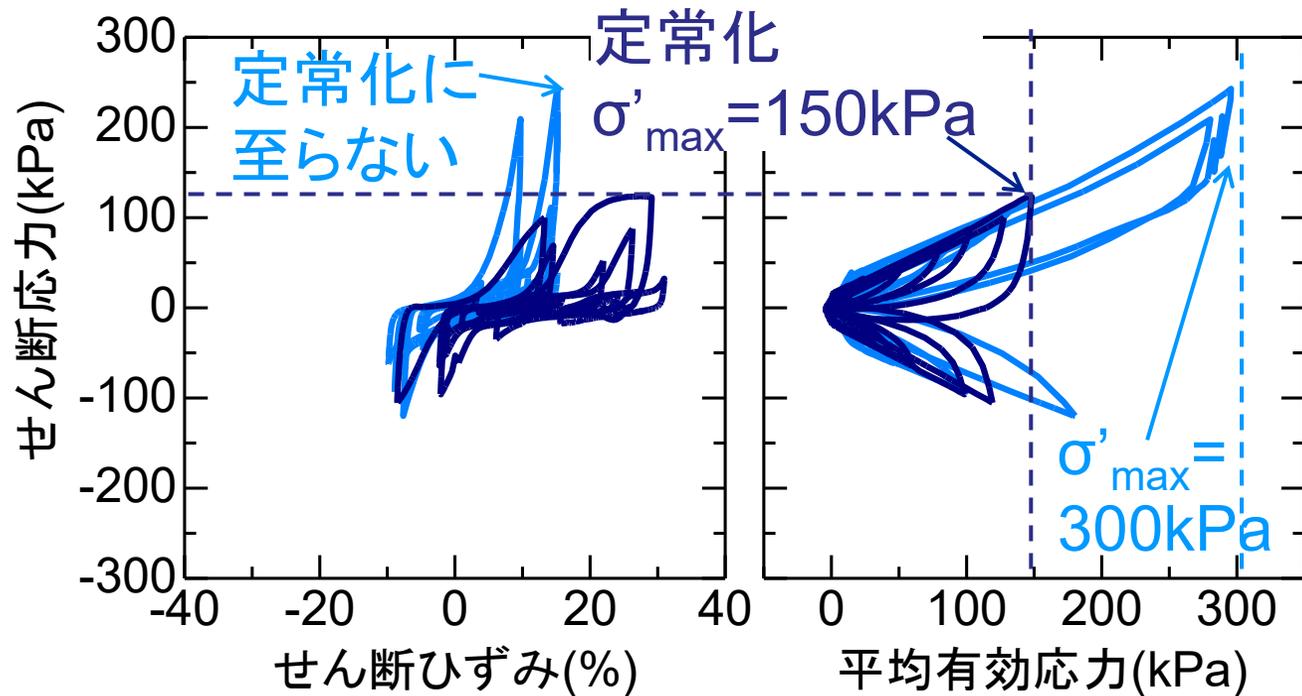
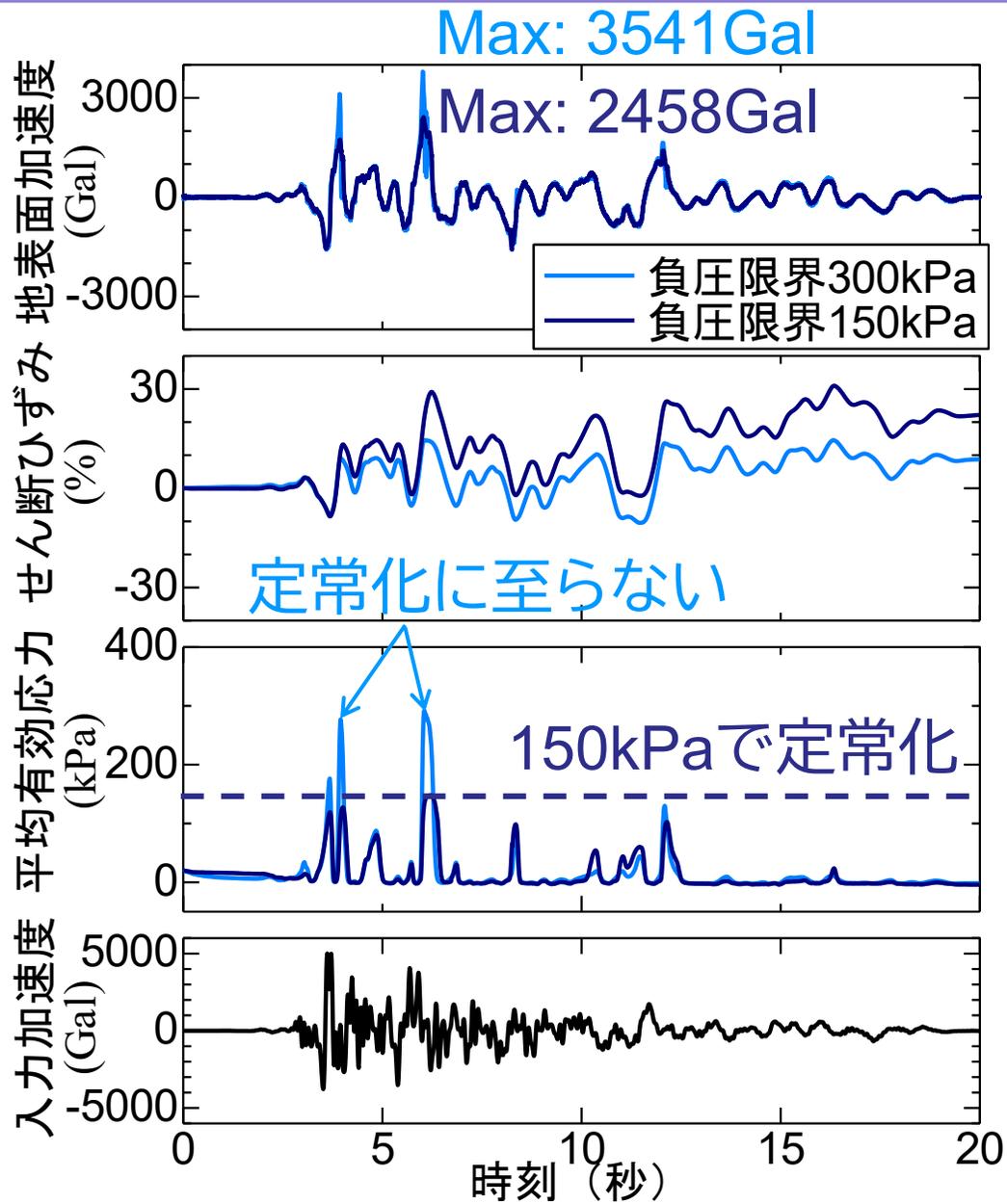
ケース2: **負圧限界 300kPa**
一般的な要素試験

⇒ いずれも**負圧限界**で定常化
すると推定



入力: 極端に大きい地震動
標準L2地震動スペクトルⅡ
最大加速度5,000Galに調整

3. 室内試験による定常化の把握 ③ハイブリッド試験



試験対象層の応答

両ケースとも**負圧限界**による定常化を想定

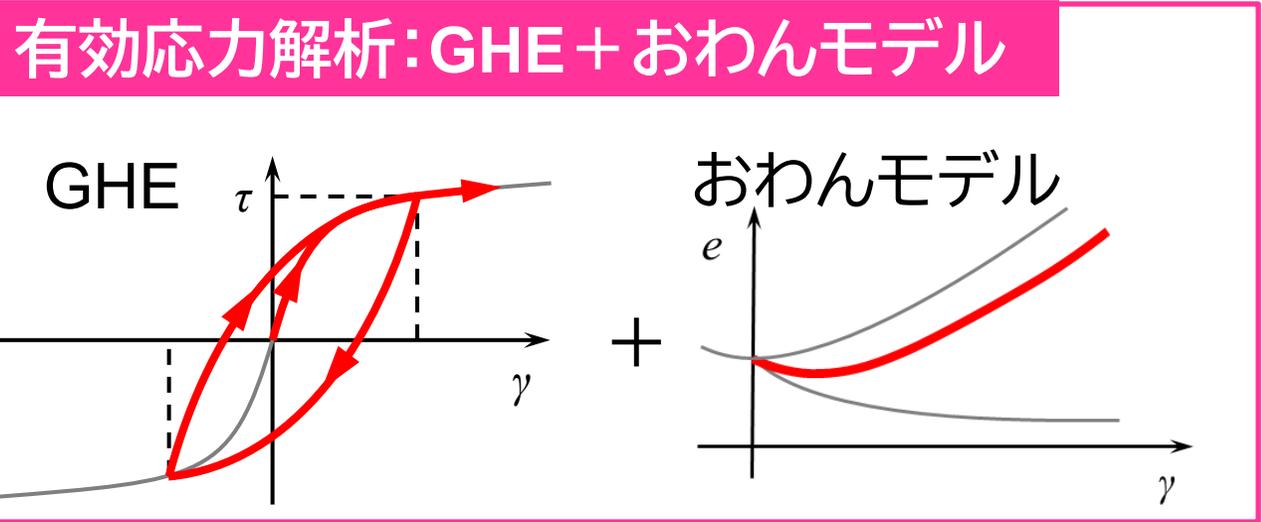
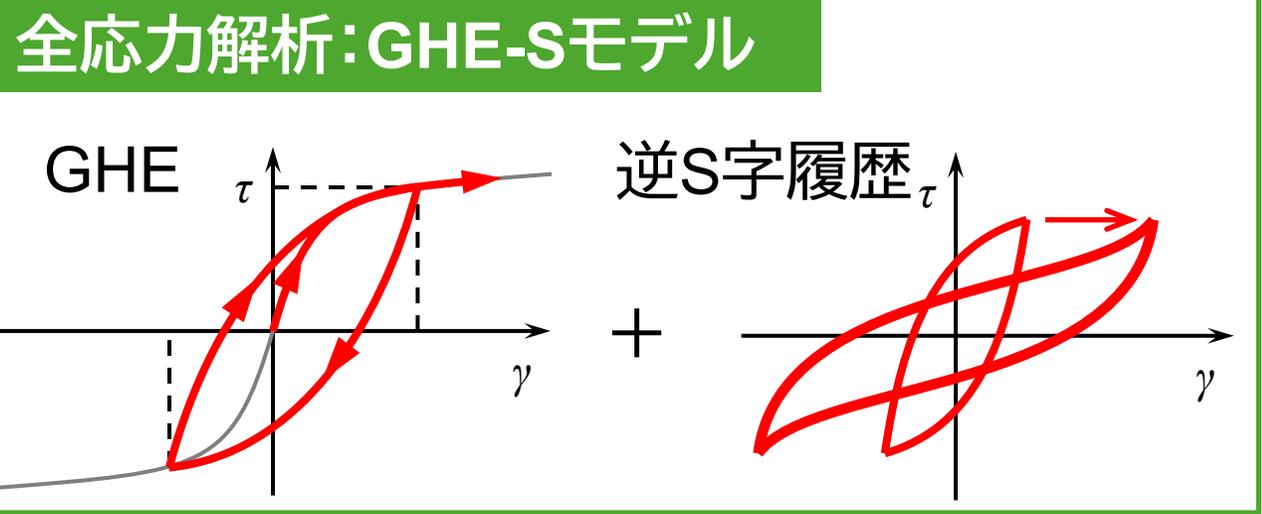
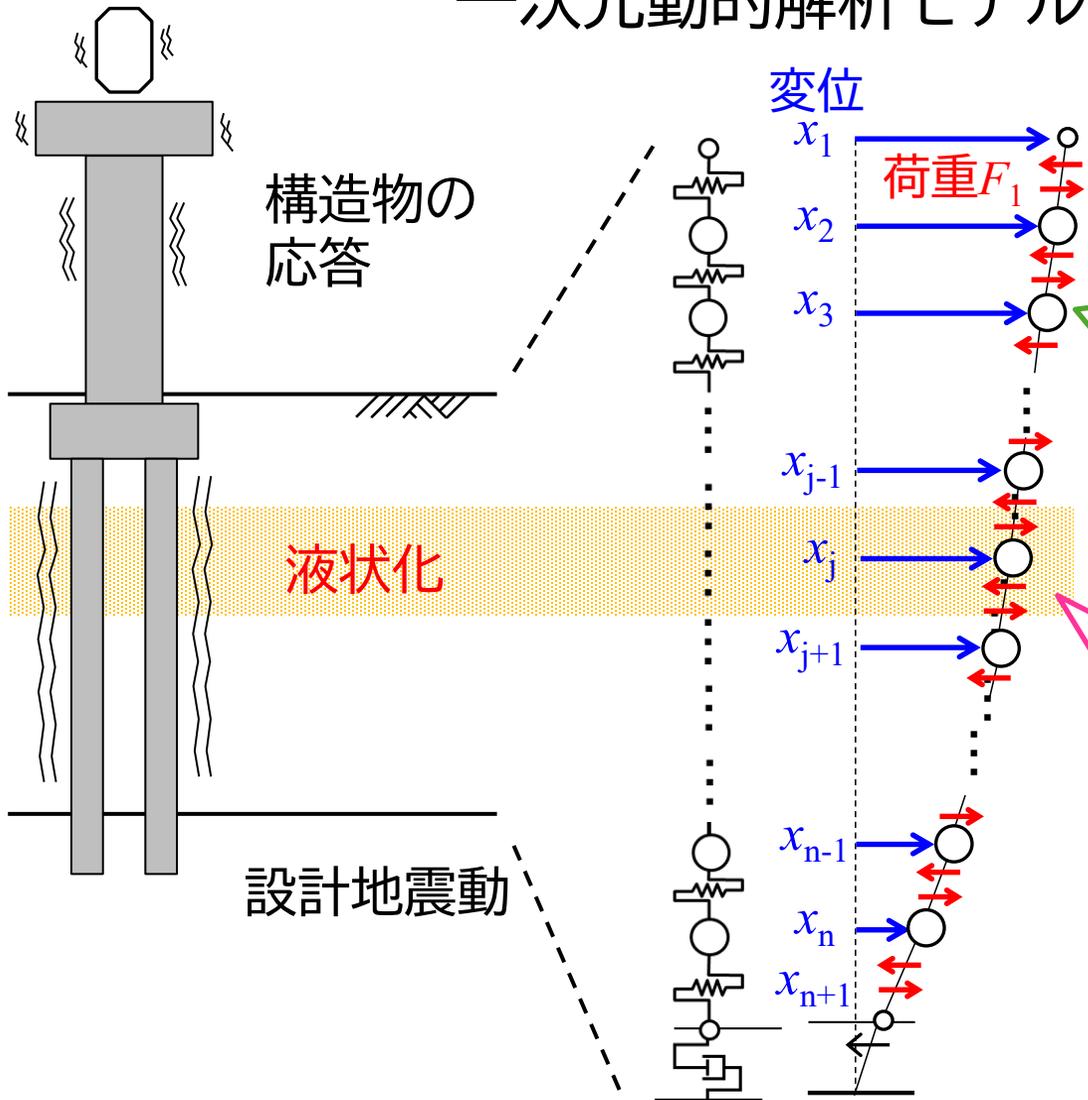
- 地表面加速度の最大値: 約**1.4倍**

- 残留せん断ひずみ : 約**1/2倍**

⇒ 応答評価では有効応力の評価が重要

4. 有効応力解析モデル ①おわんモデル

一次元動的解析モデル

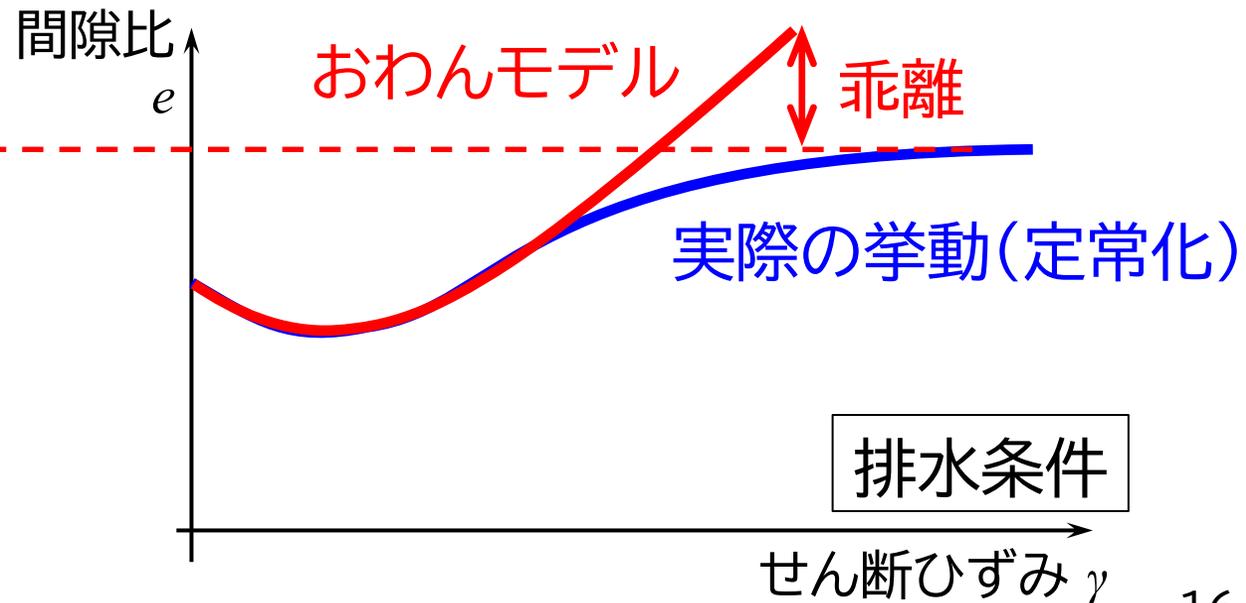
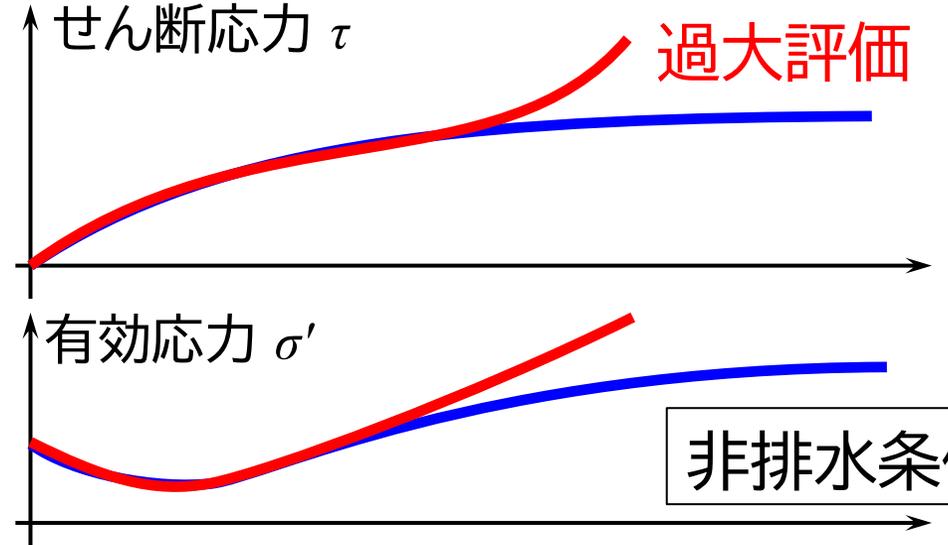
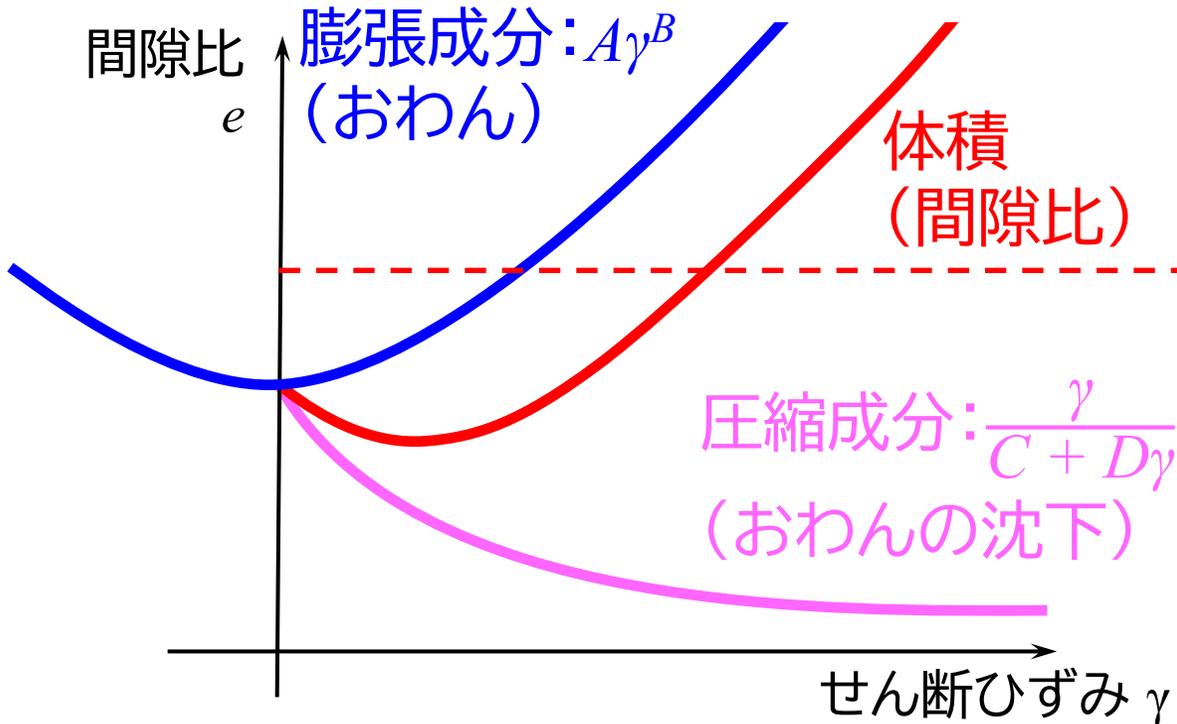


4. 有効応力解析モデル ①おわんモデル

おわんモデル: せん断変形～体積(間隙比)関係

膨張成分と圧縮成分 の和 = 体積(間隙比)

$$A\gamma^B + \frac{\gamma}{C+D\gamma} = e$$

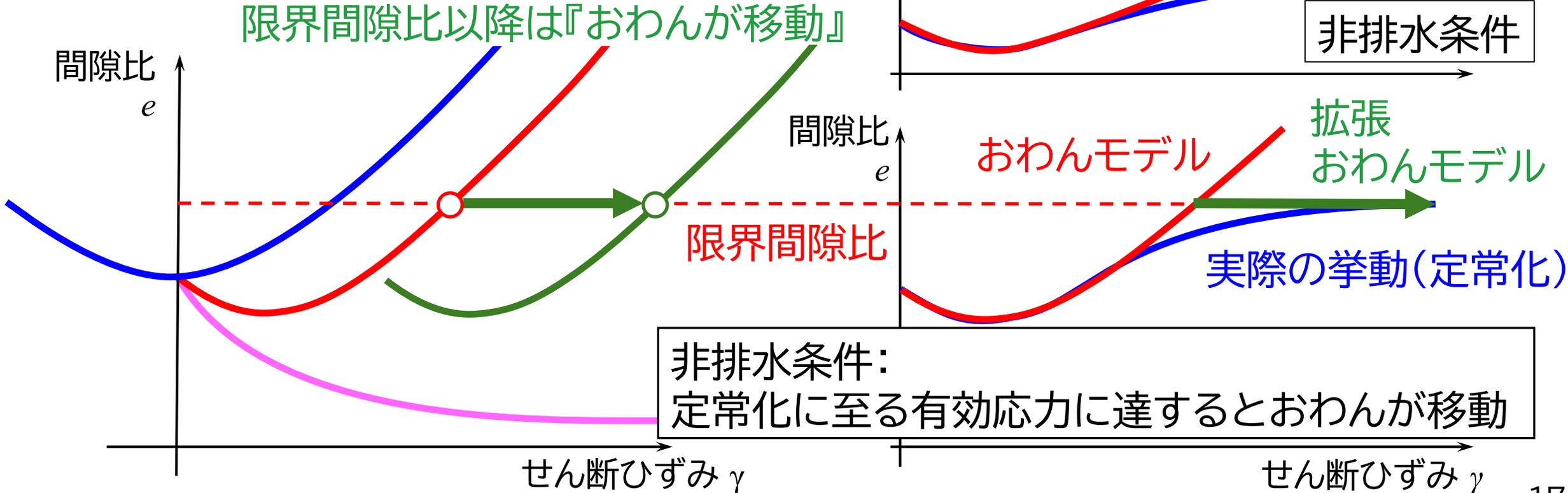
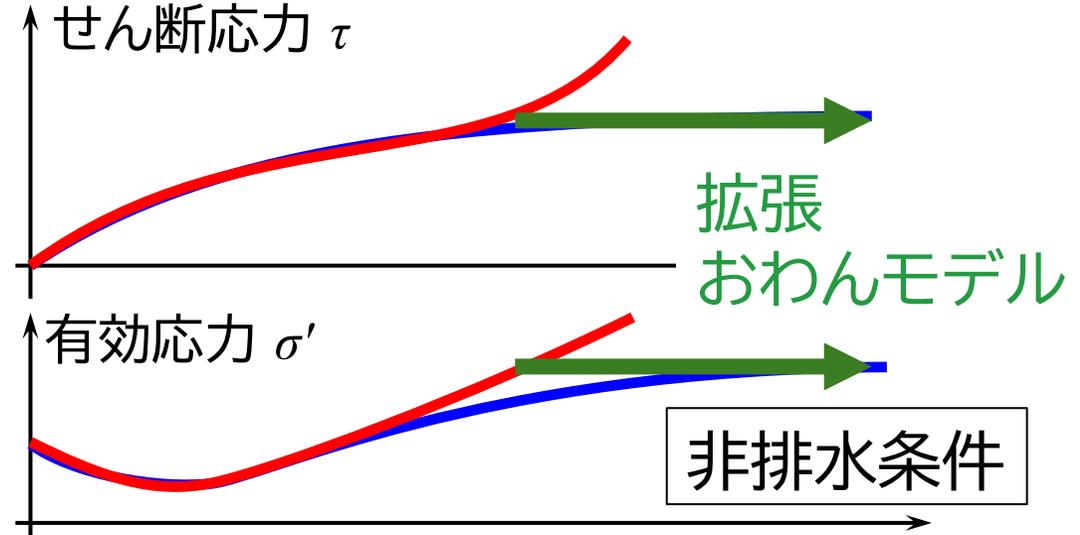


4. 有効応力解析モデル ②拡張おわんモデル

おわんモデル: せん断変形～体積(間隙比)関係

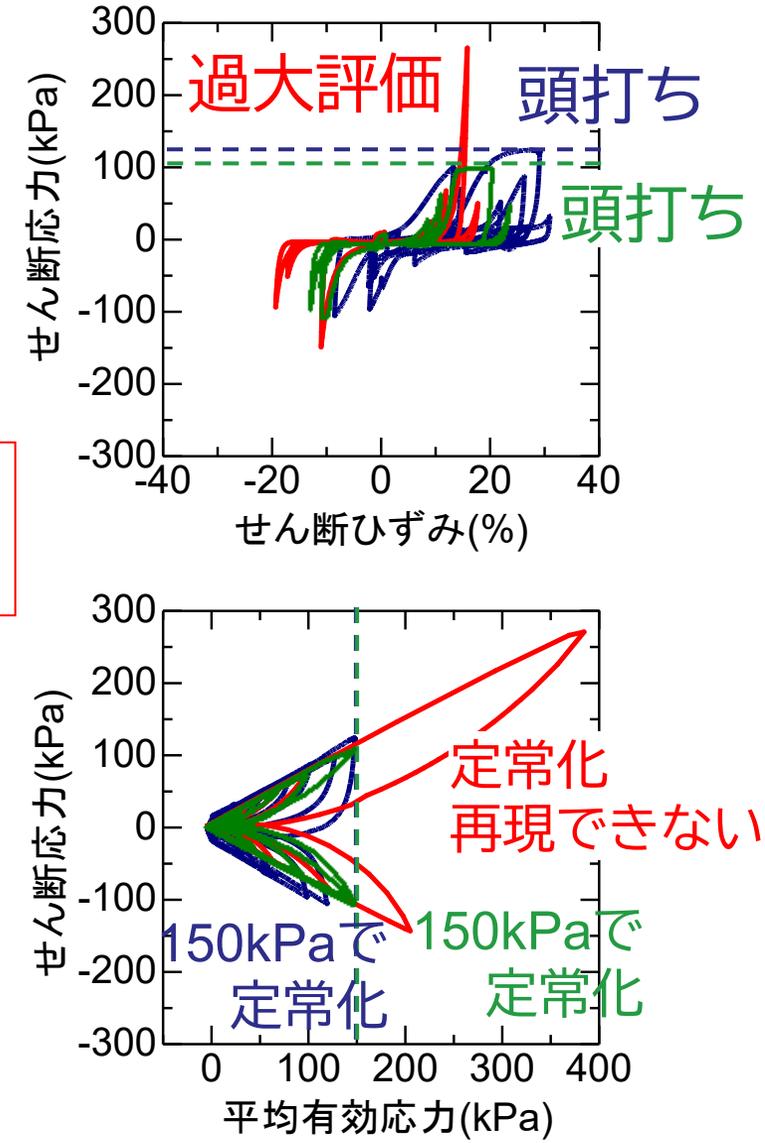
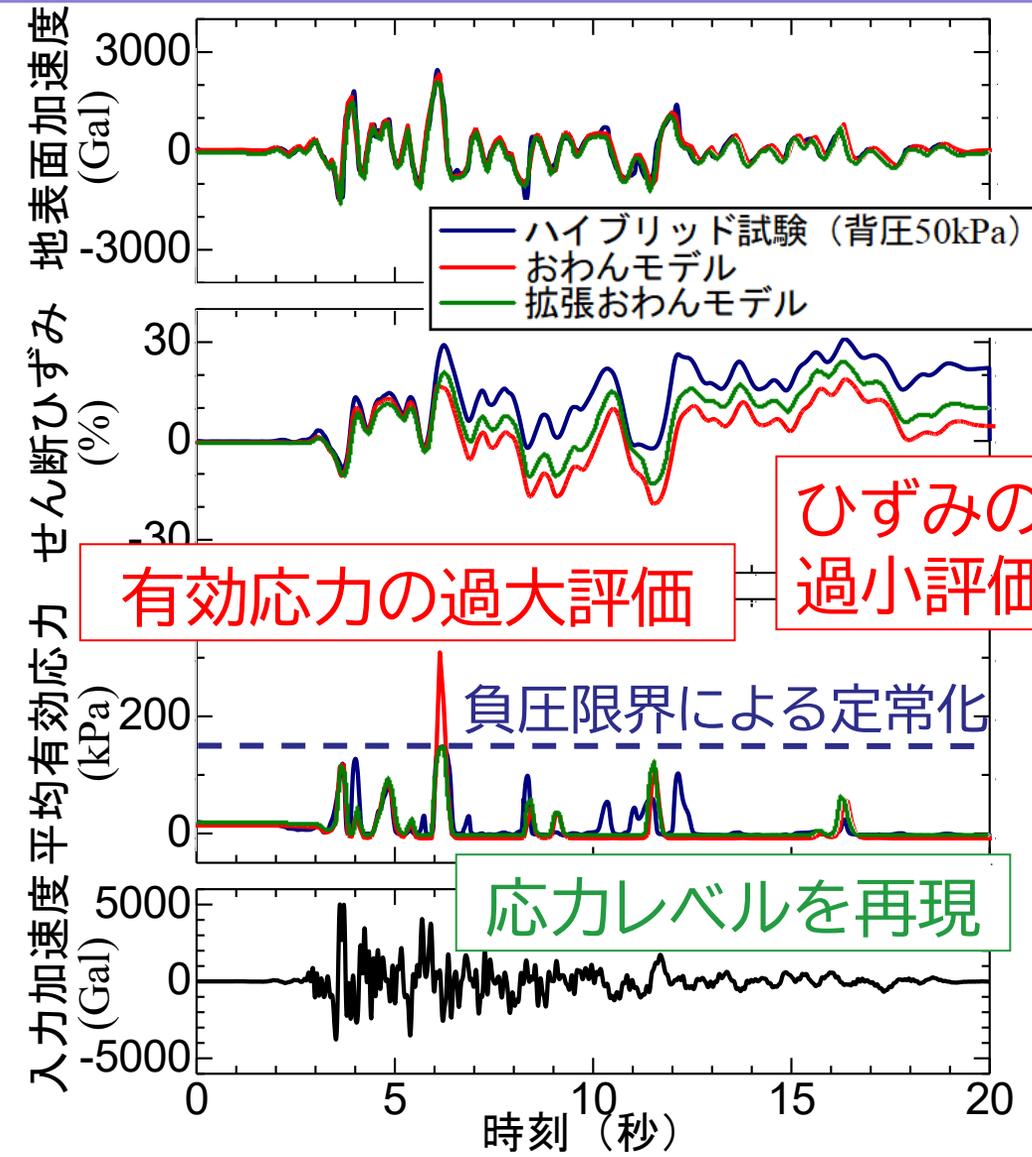
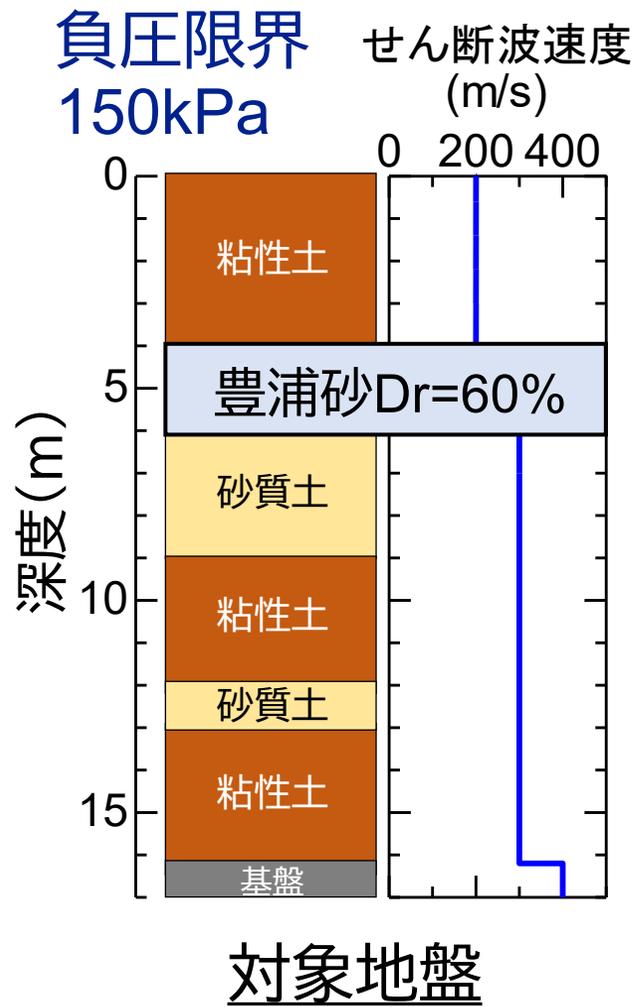
膨張成分と圧縮成分 の和 = 体積(間隙比)

$$A\gamma^B + \frac{\gamma}{C+D\gamma} = e$$



4. 有効応力解析モデル ③ハイブリッド試験の再現解析

Railway Technical Research Institute



拡張おわんモデルによりせん断応力・加速度の頭打ち等の地盤応答を再現可能

5. まとめ

- 室内試験により砂の定常化現象の発生メカニズムを解明し、定常化に至る有効応力レベルを設定可能とした
 - 定常状態に至るまでの砂地盤の挙動を再現可能な有効応力解析モデルとして、拡張おわんモデルを開発した
 - 拡張おわんモデルによる解析により、要素試験・ハイブリッド地盤応答試験の結果を良好に再現できることを確認した
- ※ 細粒分の影響など、土質による定常化挙動の違いについては今後の課題

5. 成果の活用

- 南海トラフ等の巨大地震に対する設計や耐震性能評価等に活用する
⇒地盤挙動の評価に関する受託・コンサルティング
- 液状化地盤用スペクトルの設定や側方流動の検討に活用する
⇒次期耐震標準改訂に向けて、検討を進める予定

小野寺智哉, 伊吹竜一, 井澤淳, 福武毅芳, 桐山貴俊, 馬淵倉一, 児玉剛: 巨大地震による砂地盤の定常化挙動に関する実験的検討, 第44回地震工学研究発表会, 2024

伊吹竜一, 井澤淳, 小野寺智哉, 福武毅芳, 桐山貴俊, 馬淵倉一, 児玉剛: 砂地盤の定常化に与える水圧条件に関するハイブリッド地盤応答試験, 第59回地盤工学研究発表会, 2024

小野寺智哉, 井澤淳, 伊吹竜一, 山本昌徳, 福武毅芳, 桐山貴俊, 馬淵倉一, 児玉剛: 地盤の定常化を考慮した拡張おわんモデルによる有効応力解析手法の提案と妥当性評価, 第26回橋梁等の耐震設計シンポジウム, 2023