

## 性能設計に対応した繰返しせん断試験検討小委員会

委員長	吉田 望	東北学院大学
副委員長	渦岡 良介	京都大学
幹事	三上 武子	前田建設工業(株)
委員	飛田 善雄	東北学院大学
	一井 康二	広島大学大学院
	大矢 陽介	港湾空港技術研究所
	矢部 正明	(株)長大
	塩見 忠彦	(株)マインド
	上田 恭平	京都大学
	仙頭 紀明	日本大学
	市川 卓也	東電設計
	兵頭 順一	東電設計
	金田 一広	竹中工務店

- 活動期間: 2017.4~2019.3(年4回)
  - 2019.4~ 渦岡委員長に交代

## 小委員会の目的

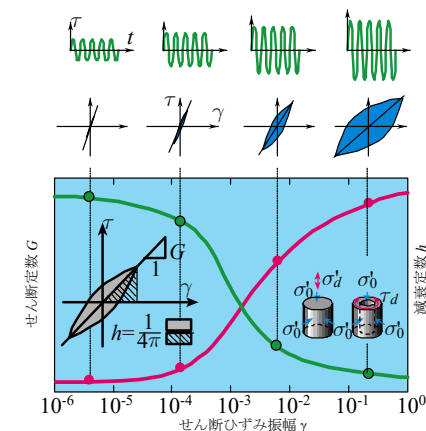
- 現在の土の繰返しせん断試験法
  - SHAKEのための試験法
  - 液状化強度を求めるための試験法
- 性能設計のための必要条件
  - 逐次積分に基づく非線形解析
  - 液状化時の変位を求める解析

## 何が問題か？

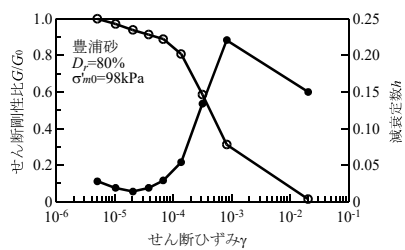
- 繰返しせん断試験
  - 10回目の履歴曲線のみを出力
  - 非排水といいつながら排水
  - 0.1%を少し超える程度までしか実験できない
    - ▶ 1%以上を計測する事例もあるか....
- 液状化強度試験
  - $\gamma = 3.75\%$ , PWP=95%で液状化判定
- 0.1+ $\alpha\%$ ~3.75%の間は？
- 流動時だと数10%以上のひずみも
- これらに適した試験法は？

## 繰返しせん断試験

- 応力制御, ひずみ制御
- 応力振幅, ひずみ振幅
- 排水, 非排水
- ステージ・フレッシュテスト
- 三軸, 中空ねじり
- 繰返し数
  - 11サイクル载荷
  - 10サイクル目
- $G-\gamma$ ,  $h-\gamma$ 表現

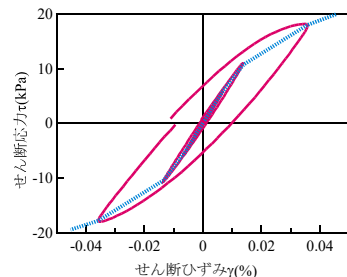
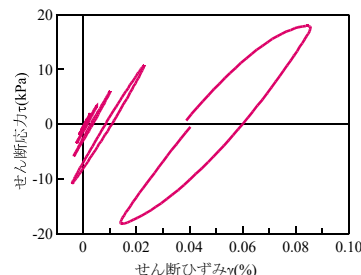


## G-γとτ-γ関係 (1)

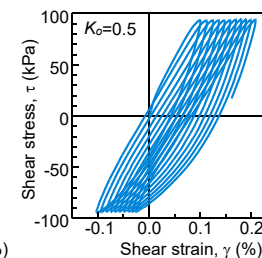
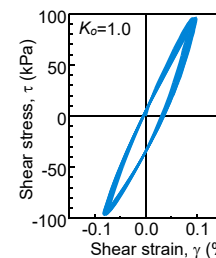
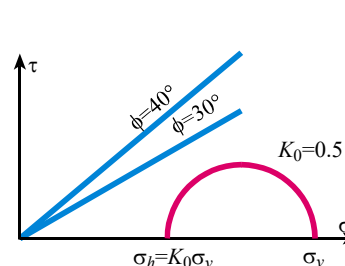
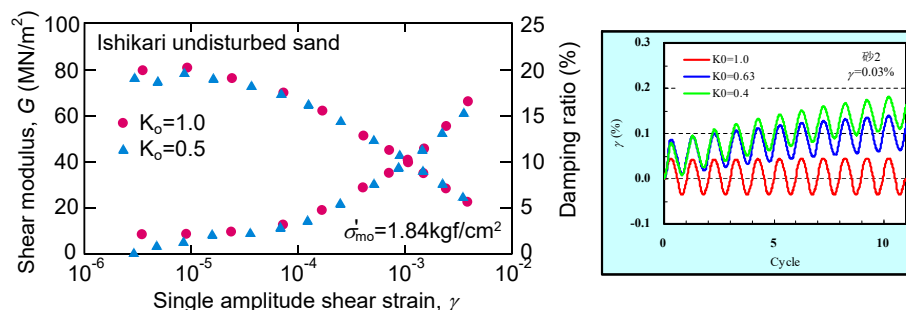


三軸試験

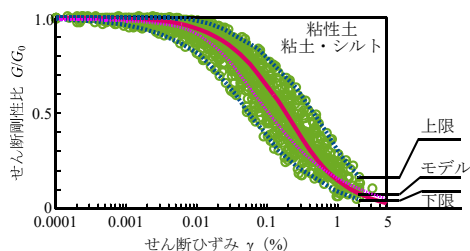
- 絶対位置は？
- 静的変位と動的変位
  - SHAKEではよかった
  - ▶ SHAKEに期待しすぎ！



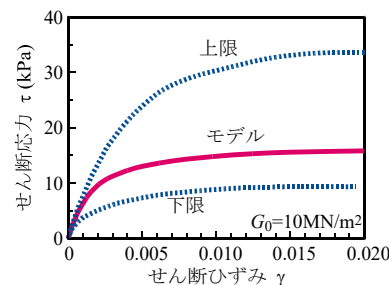
## G-γとτ-γ関係 (2)



## G-γとτ-γ関係 (3)



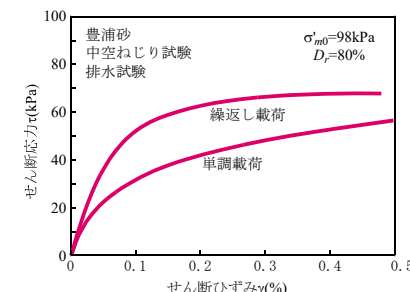
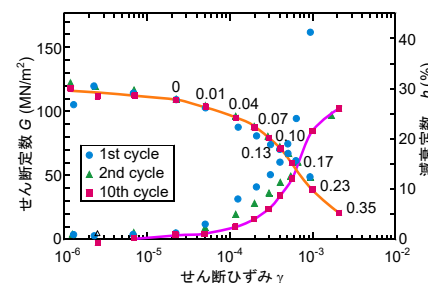
古山田ら, 2003



- G-γ関係=応力-ひずみ関係のはず
- 土の動的な世界では応力-ひずみ関係は見ない

## 10サイクルの载荷

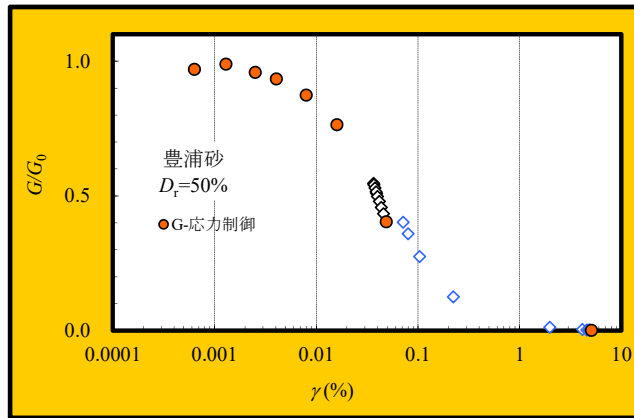
- なぜ10サイクルか？
  - 履歴曲線が安定する
- 解析で重要なのは何サイクル目か？



## ■ 試験者によって異なる結果

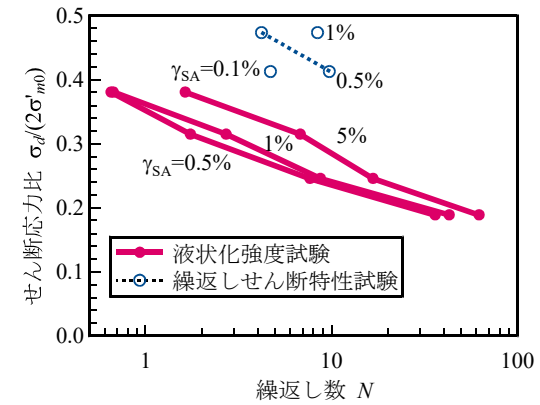
- 次のステージではひずみ2倍を目標

## ■ 最大値は最初の载荷時に起こる



三上, 2016

## ステージ間排水の影響



## ■ 排水のため試料は密になっている

## ステージ間の排水

### ■ 排水

- 各ステージで同じ応力状態から出発
- ステージごとに密になる
  - ▶ 違う材料の実験をしている
- 排水の影響を考慮した構成モデルは？

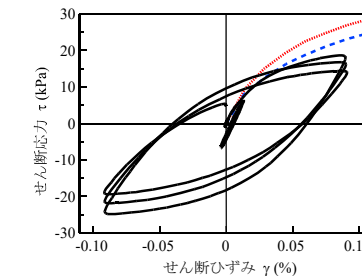
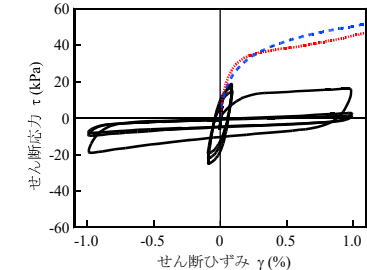
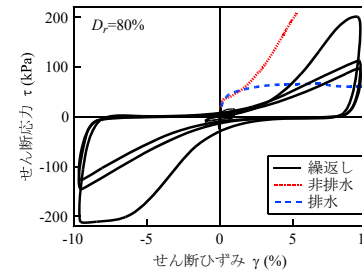
### ■ 非排水

- 初期応力状態が異なる
- 一連の履歴がはっきりしている

### ■ 履歴の影響の表し方

- 過剰間隙水圧
  - ▶ 体積ひずみ vs 過剰間隙水圧

## 単調载荷の結果には戻らない



### ■ 履歴の影響

- 過剰間隙水圧の発生
- 密実化

### ■ ほとんどの構成モデルがこのことを無視

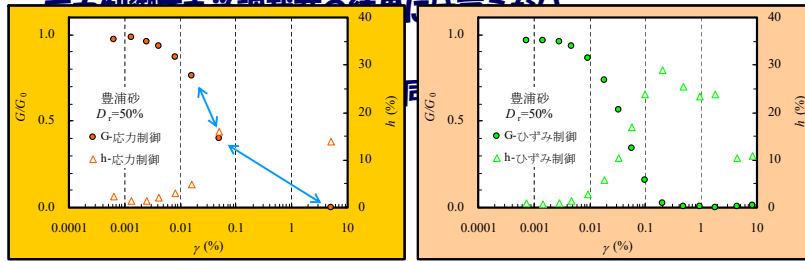
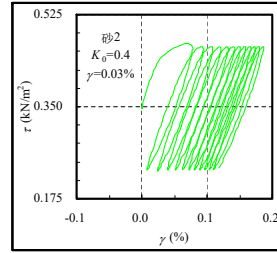
# 応力振幅 vs ひずみ振幅

## ■ 応力振幅の問題

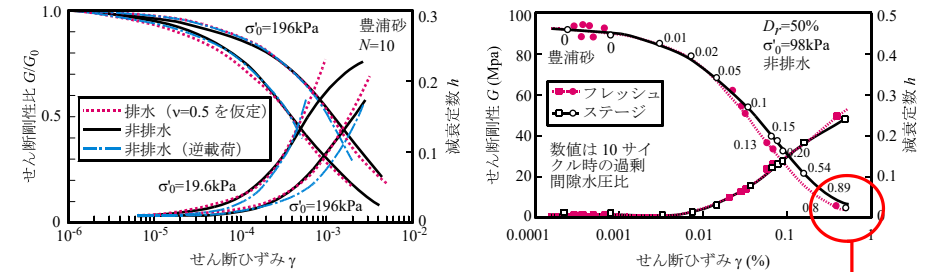
- ひずみがそろわない
- 試験者によって差が発生する
- ドリフトに対応できない

## ■ ひずみ振幅の問題

- 履歴曲線の縮小 = 骨格曲線ではない



# ステージテストとフレッシュテスト

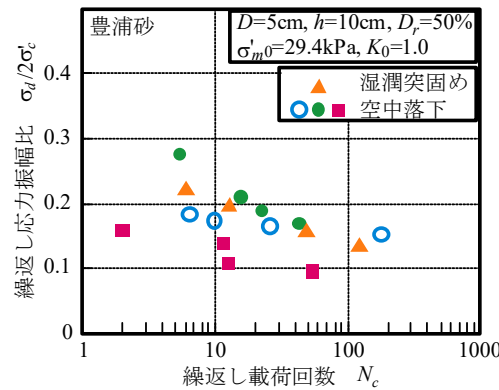
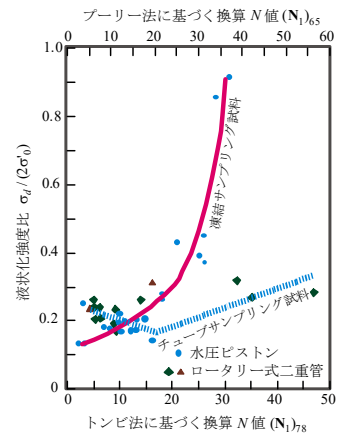


## ■ 大ひずみ時の挙動を見る際の注意

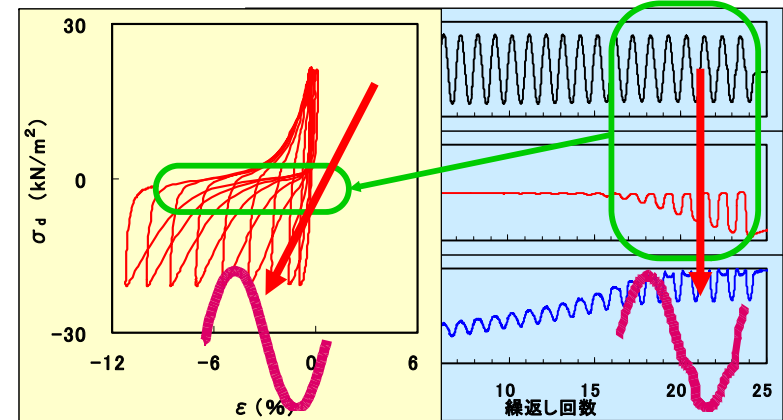
- 差は2倍近くある

# 液状化強度試験

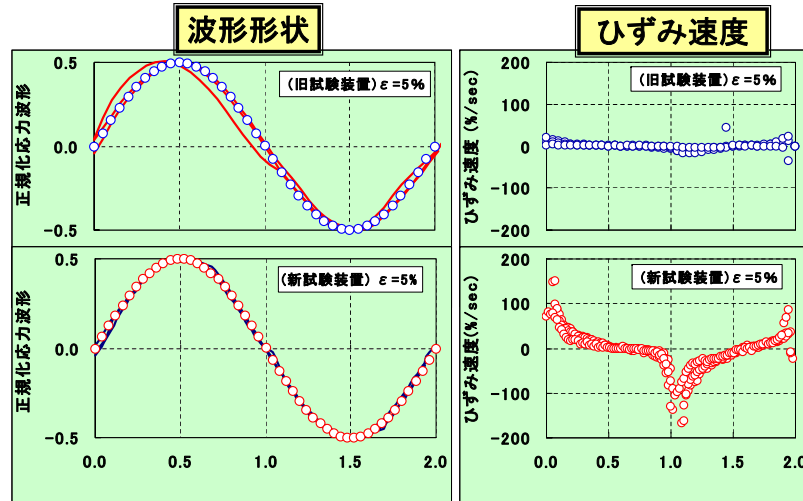
## ■ 試料採取と試験者(試験機)



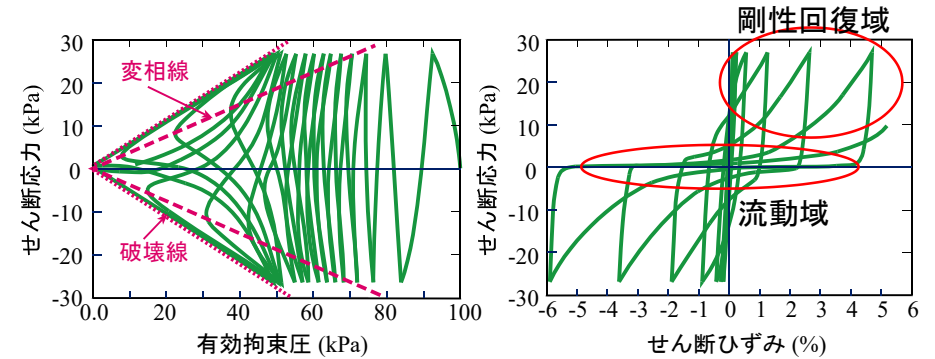
# 試験装置の载荷能力



# 新旧試験装置の比較



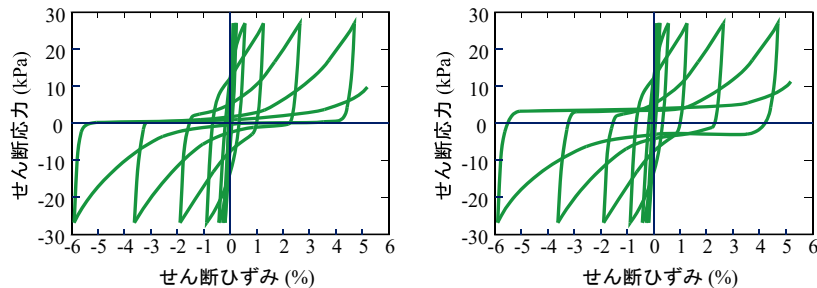
# 液状化試験における挙動



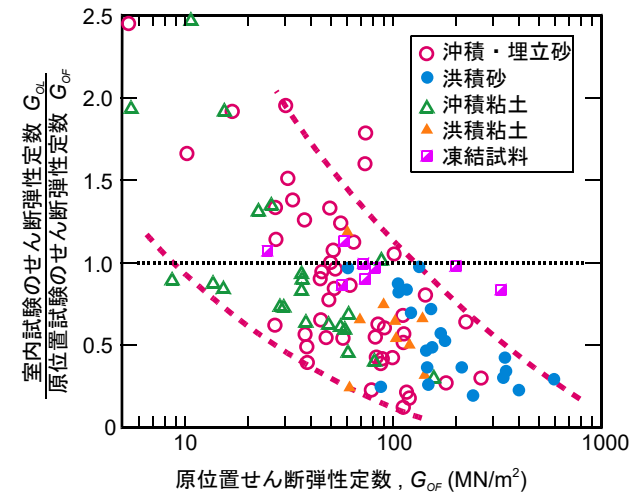
- 流動域
  - 応力が0でひずみが増加する領域
- 剛性回復域
  - サイクリックモビリティにより剛性が回復←新しい骨格構造

# 流動の挙動はとらえられない

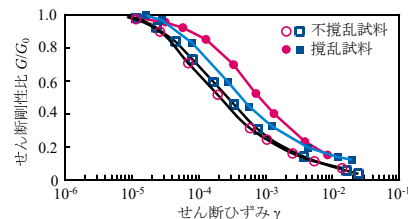
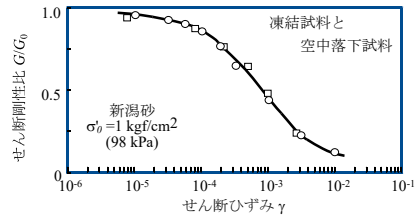
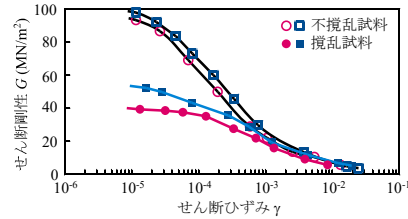
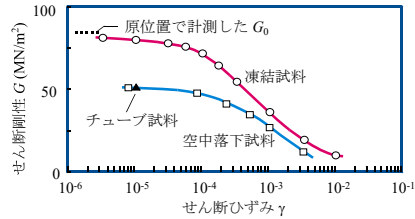
- 液体、固体を行き来する物体の解析は可能か？
- 液状化後の挙動を求める方法は
  - 慣性力の作用がない状態で変位が進行
- 液状化強度試験では求められない



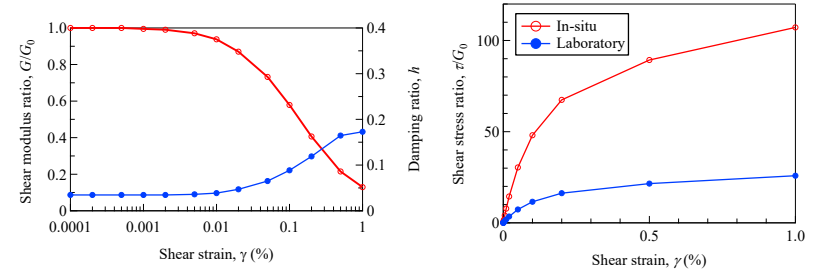
# 原位置試験と室内試験



## 繰返しせん断特性の補正



## 室内試験→原位置

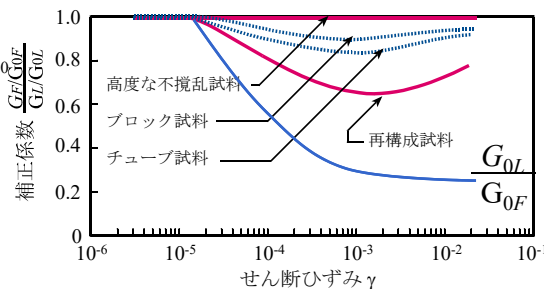
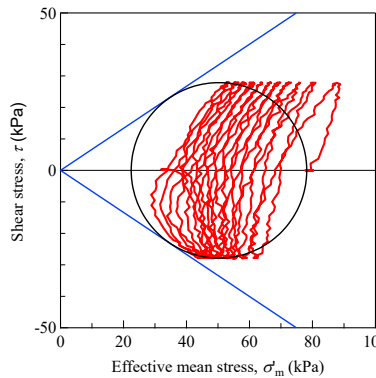


### ■ 有楽町上部(完新統)砂州堆積物 ( $M$ 値14)

■  $G_{0L} = 19.97 \text{ MN/m}^2$ ,  $G_{0F} = 84.22 \text{ M/m}^2$

●  $V_s = 220 \text{ m/s}$ ,  $G_{0L}/G_{0F} = 0.237$

## 11ステージ(最終)の応力状態



## 提案する試験法

### ■ ステージ間の排水なし

- 载荷の履歴が明瞭
- 0.1%程度までは既往の方法と整合する

### ■ ひずみ振幅制御, 3サイクル

- どうせ骨格曲線は得られない
- ほかの構造試験でも多用

### ■ 応力制御とひずみ制御の併用

- 小ひずみと大ひずみで制御を変える
- それほど能力のない試験器でも

### ■ (なるべく良い試料を採取する)

- GP, GSサンプリングなど

### ■ 成果は論文集に投稿予定

## 解析との関係

### ■ 従来

- 繰返しせん断試験 = 全応力解析
- 液状化強度試験 = 液状化解析
- 全応力解析と液状化解析は連続していない

### ■ 現状

- 多様な構成モデル
  - ▶ 共通となる試験法を提案
    - ◆ テータの蓄積, 材料特性のイメージの共通認識
  - ▶ 構成モデル特有のパラメータ
- 試験法と解析法が1:1対応しているとは限らない
  - ▶ 試験結果を解析にどのように使っていくかは, 解析者の判断
    - ◆ 過剰間隙水圧が発生しているのに全応力解析?