

透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験

—その1 システム概要—

Substructure Pseudo Dynamic Test Considering Permeability

-Part 1 System Overview-

○粉谷拓実¹, 山田雅一², 道明裕毅², 井上健太³*Takumi Sogitani¹, Masaichi Yamada², Yuki Domyo², Kenta Inoue³

Abstract: In this study, in order to investigate the influence of permeability on liquefaction behavior, we developed substructure pseudo dynamic test considering permeability. In particular, the shear stress - shear strain relation of sand when reaching near liquefaction shows nonlinearity. Substructure pseudo dynamic test, which is a system that can investigate the behavior at the time of earthquake without modeling its restoring force characteristics, is suitable for the purpose of this study. We made the test a substructure and introduced permeability equations, in order to investigate the permeability phenomenon in stratigraphy of multilayered ground. In this paper, we report the developed system outline.

1. はじめに

地盤の液状化特性を室内の要素試験を用いて定量的に評価する際、地震動の継続時間は比較的短いことから間隙水の移動(以下、透水と称す)が無いものとみなし、非排水条件の下で繰返しせん断試験を行って液状化強度を把握する。一方、地盤の表層付近において飽和砂層の液状化の可能性を検討する場合や透水性の高い砂層が直近に存在する場合には、地震動の継続時間中においても透水が起こるものと考えられる¹⁾。また、液状化強度の高い砂層においても下部砂層の液状化による過剰間隙水圧の伝搬で液状化近くまで至る可能性も示唆されている²⁾。

本研究では、地盤の液状化特性をより詳細に把握するため、原地盤に近い応力・変形状態を再現できる中空ねじりせん断試験機を用い、透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムを開発した。本報その1では、開発したシステムの概要について報告する。

2. 透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験

2.1 概要

オンライン地震応答実験(以下、オンライン実験と称す)は、復元力特性など非常に複雑でモデル化が困難な要素に対して、要素試験から直接取り込むことでモデル化を行うことなく解析を進めていく手法として片田・伯野によって提案された³⁾。オンライン実験はそのシステムの特性上、復元力特性が非常に複雑な地盤の応答解析に適している。一方で、多層から成る地盤の全てにオンライン実験を行うことは、システムが高度

で高価になるばかりでなく実験も複雑化するため、実用化が困難である。

そこで、多層から成る地盤の中でも複雑な復元力特性を示す可能性のある土層にのみオンライン実験を適用し、その他の層には数値解析を用いる手法としてオンライン実験をサブストラクチャ化したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験が日下部により提案された⁴⁾。これにより多層地盤の応答を比較的容易に評価することが可能となる。

地盤系サブストラクチャ・オンライン地震応答実験は、対象とする地盤を質点系にモデル化し、微小時間間隔で地震動を入力し、コンピュータにより数値積分法を用いて、振動方程式を解くことで得られた応答変位に相当するせん断ひずみを求める。実験層では供試体にせん断ひずみを与えて、供試体からせん断応力を計測し、解析層では数式モデルを用いて、せん断ひずみからせん断応力を求める。せん断応力を復元力として次のステップの応答変位を計算する。この過程を順次繰り返すことで地震時の挙動を再現する。

2.2 システムの構成

本システムの構成概略図を Fig.1 に示す。また、サブストラクチャ・オンライン地震応答実験フローを Fig.2 に示す。オンライン実験において、実験から直接得られる復元力を用いた応答解析の信頼性は試験方法に大きく依存すると考えられる。そこで、本システムでは、原地盤の土要素の応力・変形状態を比較的忠実に再現できる中空ねじりせん断試験機を用いる。また、中空ねじりせん断試験機では、高精度なひずみ制御試験を行うために電動ジャッキにより全自動でアクチュエー

1 : 日大理工・学部・建築 2 : 日大理工・教員・建築 3 : 日大理工・院(前)・建築

タを制御している。

本システムでは、大ひずみ域に至っても精度よく実験を行うことが可能な接線剛性による誤差補正方法⁵⁾を用いた。

透水現象の制御には圧力制御による水圧制御装置を使用し、供試体内部と水圧制御装置の間につないだ水槽内部との圧力差によって透水現象を再現する。なお、目標と実測の過剰間隙水圧の許容誤差は圧力制御装置の制御精度より $\pm 0.5 \text{ kN/m}^2$ としている。また解析層については、透水を考慮するために、過剰間隙水圧モデルとして GMP モデル^{6,7)}を用いた。

これら機器の制御および各センサーからのデータの取得、数値解析などはすべて PC によって操作・処理する。なお、プログラムには LabVIEW を用いた。

サブストラクチャ・オンライン地震応答実験の応答解析における数値積分法には、1 ステップ目に線形加速度法、2 ステップ目以降に衝撃加速度法を用い、解析層の復元力については、任意の応力-ひずみモデルを用いる。

2. 3 透水方程式

本システムでは、地盤内の間隙水の移動にはダルシー則が成り立つものとし一次元のダルシー則を基に透水現象を過剰間隙水圧の変化として評価する。透水方程式の詳細は文献 8) を参照されたい。

2. 4 過剰間隙水圧モデル

本システムで透水現象を考慮する際、各層の過剰間隙水圧の圧力差が重要となる。そこで、解析層には過剰間隙水圧モデルとして改良 GMP モデル^{6,7)}を導入した。

2. 5 誤差補正方法

オンライン実験では、n ステップの応答計算で得られた応答変位に相当するせん断ひずみ γ_{cn} (計算値)を目標値として供試体にせん断ひずみを与える。つまり、目標値である γ_{cn} と実際に供試体に与えたせん断ひずみの実測値 γ_{mn} を等しくしなければならない。

本実験では、アンダーシュートとオーバーシュートの両方の誤差に対して復元力の補正を各解析ステップで行った。詳細は文献 5) を参照されたい。

3. まとめ

本研究では、地震動の継続時間が液状化挙動に与える影響について検討することを目的とし、本報告では開発した透水を考慮したサブストラクチャ・オンライン地震応答実験システムについて示した。

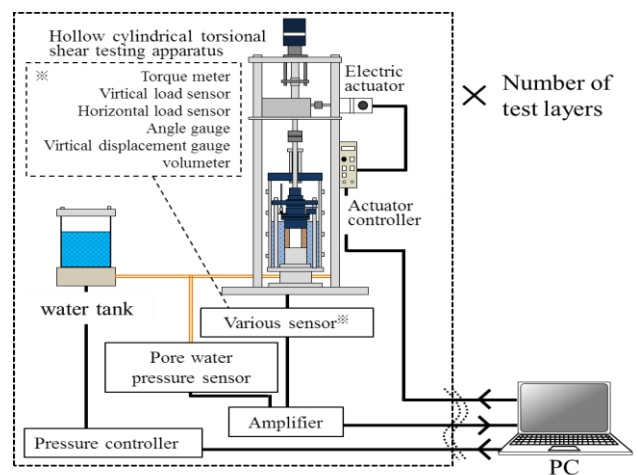


Fig.1. Schematic diagram of the development system

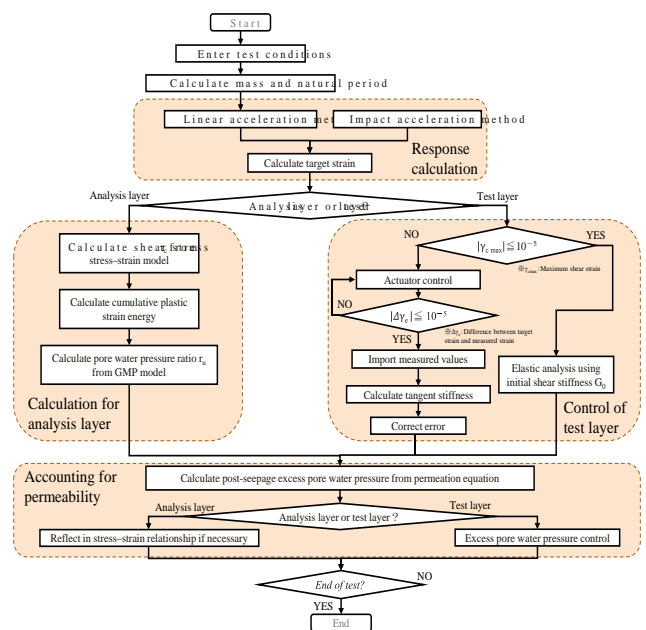


Fig.2. Flow of development system

【参考文献】

- 1) 梅原靖文 他：排水効果を考慮した飽和砂の液状化強度，港湾空港技術研究所報告，Vol.20, No.1, 1981.3.
- 2) 小林恒一 他：液状化が上部非液状化層に及ぼす影響，第 41 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.2045-2046, 2006.7.
- 3) 片田敏行 他：オンライン実験による液状化地盤の非線形振動解析，土木学会論文集，第 318 号，pp.21-28, 1982.
- 4) 日下部伸：オンライン地震応答実験による地盤の動的挙動に関する研究，山口大学大学院社会建築工学科博士論文，1996.
- 5) 寺木亨 他：地盤系オンライン地震応答実験システムにおける誤差補正方法の違いが応答結果に及ぼす影響，平成 27 年度日本大学理工学部学術講演会予稿集，pp.143-144, 2015.
- 6) Green, R. A. et al. : An energy-based excess pore-water pressure generation model for cohesionless soils. Proc., John Booker Memorial Symp. Developments in Theoretical Geomechanics, D. W. Smith and J. P. Carter, eds., Balkema, Rotterdam, Netherlands, pp.383-390, 2000.
- 7) 小林亮太 他：損失エネルギーに基づく過剰間隙水圧モデルの検討，第 53 回地盤工学研究発表会発表講演集，pp.485-486, 2018.
- 8) 寺木亨：透水を考慮した多質点系オンライン地震応答実験による地盤の液状化挙動に関する研究：日本大学大学院理工学研究科建築学専攻修士論文梗概集，2016.