

地震波再現装置を用いた液状化実験の技術修得

メタデータ	<p>言語: jpn</p> <p>出版者:</p> <p>公開日: 2019-06-20</p> <p>キーワード (Ja):</p> <p>キーワード (En):</p> <p>作成者: 伊藤, 雅基, 内山, 裕二, 戸澤, 理詞, 安藤, 誠</p> <p>メールアドレス:</p> <p>所属:</p>
URL	<p>http://hdl.handle.net/10098/10651</p>

地震波再現装置を用いた液状化実験の技術修得

伊藤 雅基** 内山 裕二* 戸澤 理詞** 安藤 誠**

1. はじめに

近年、日本では大規模地震が至る所で発生し、その強振動の作用に起因した地盤構造物の深刻な被害が頻発している。特に高度成長期以降、大規模な土地開発が行われ、湿田地帯や海岸、河口付近を埋め立てた盛土造成地では、軟弱地盤に起因する被害が多くみられ、基本的な生活空間である宅地が潜在的な危険性を抱えていることが明らかになってきた。特に盛土地盤は、周辺の切土地盤と比較して地震時の応答加速度の増幅が大きくなることから、被害程度も大きくなるといわれている。これらを受けて、斜面の宅地開発の制限や災害対策に関する法律がつくられ改正されてきた。しかし、これらは新設の宅地を対象にしたものであり、その強制力は十分ではないことに加えて、既存の宅地に対してはその効力は及ばず、危険性を抱えたまま放置されているケースが多く存在している。地震活動が活発となり、異常気象が目立つようになってきている現在の状況を考えると、造成地における危険な地盤の地下構造を把握し、起こりうる被害を予測して適切な対策を行うことが重要である。その中でも盛土地盤の液状化現象は、建物の傾斜や沈下、道路のひび割れ、マンホールの浮き上がり、水道、ガス、電気などライフラインの損傷・破壊など甚大な被害をもたらしており、大学においても液状化現象に関する実験や研究が数多く行われてきている。

そこで本研修では、液状化実験に必要な地震波再現装置の操作方法の修得、住宅模型・水槽の製作及び再現実験を通じて液状化現象の基礎知識の修得を図る。住宅模型は液状化の対策工法についても検討するため、べた基礎（杭無し）及び杭基礎（杭有り）の2種類を製作し、加振時の振動特性を比較・検討する。また、住宅模型と地盤内に加速度計及び間隙水圧計を設置し、液状化のメカニズムの理解に必要な基礎データを収集する。



写真1 液状化によるマンホール浮き上がり¹⁾

2. 研修内容

2.1 液状化現象のメカニズムについて

液状化は、地下水が存在する砂の多い地盤において強い地震動が発生すると、液体状になった砂が、地表面に噴き出す現象である（写真1参照）。そのメカニズムは、以下の通りである（図1参照）。①地震の無い通常の状態では、土粒子や間隙水、空気がバランスよく混ざり合っている、②地震による強い振動が加わると砂層内が密になり、間隙水が急激に上昇して砂と混ざり合い液体状になる、③液体状の砂は地表面の軟弱な個所に噴き出す。また、砂が液状化すると比重も増すため、道路やマンホール、水道管など、構造物が浮き上がったりする現象が発生することから、2次災害の原因にもなっている。

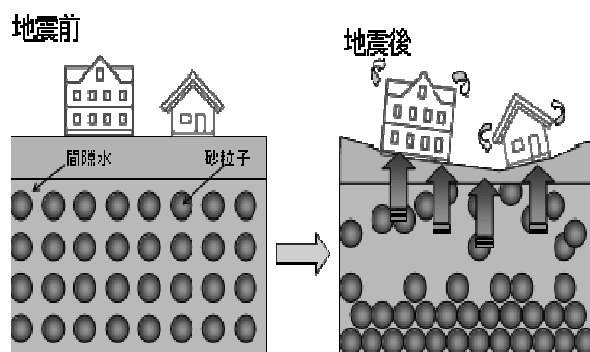


図1 液状化のメカニズム

* 第1技術室 機器開発・試作班

** 第2技術室 物理計測班

2.2 研修の流れ

本研修は週1回2時間程度、先端科学技術育成センターで行った。液状化に必要な知識の理解や講義、実験模型の設計・製作は第二ゼミ室で、液状化の再現実験は建築建設工学科内の振動台実験室で行った。本研修の日程を表1に示す。

表1 研修日程

実施日	研修内容
7/27	研修内容打合せ
8/3	地震工学の基礎知識の理解
8/24,8/31	液状化現象のメカニズムについて
9/7,9/14	模型実験の設計・製作 (1)
9/21,9/28	模型実験の設計・製作 (2)
10/5,10/12	3Dプリンタによる模型製作 (1)
10/19,10/26	3Dプリンタによる模型製作 (2)
11/2,11/9	地震波再現装置の操作方法修得
11/16,11/30	地震波の波形データ作成
12/7,12/14	液状化再現実験
1/18,1/25	実験結果のデータ整理
2/8,2/15	発表内容、報告集原稿の検討

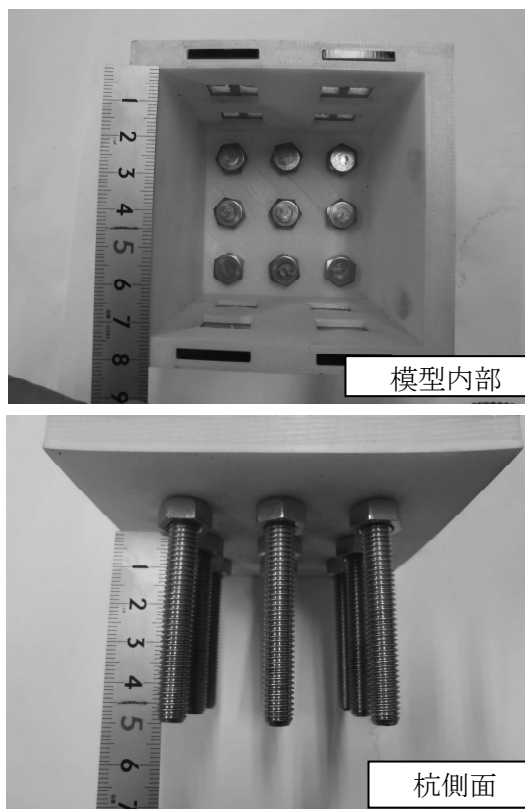


写真3 杭基礎の外観

2.3 実験模型の設計・製作

実験に用いた住宅模型は、3Dプリンタ(XYZprinting社製ダヴィンチ2.0duo)を用いて作製した。プリンタの仕様としては熱溶解積層方式で、造形サイズ15×15×20cmまで出力できる。また積層ピッチは0.1-0.4mmで変更することができる。出力樹脂としてはABS樹脂を使用した。写真2～3は、液状化実験で使用する①杭基礎、②べた基礎の住宅模型である。住宅模型の寸法は、①と②ともに平均高さ10cm×幅9cm×奥行9cmとし、①は杭基礎を再現するため、φ8mm、根入れ深さ約5cmのステンレス製ボルトを9本、等間隔に設置した。



写真2 杭基礎とべた基礎の住宅模型

2.4 地盤材料の物理特性

模型地盤内の土質材料は、珪砂7号を使用した。表2に土粒子密度試験及び一面せん断試験より得られた試験結果を示す。図2は粒度試験から得られた珪砂7号の粒径加積曲線を示す。図2より粒径が0.1～0.25mmの砂質土が80%以上を占めており、液状化しやすい粒径範囲0.03mm～0.5mmを満たしていることが確認できた。

表2 珪砂7号の物理特性

土質材料	密度 (g/cm ³)	粘着力 (kN/m ²)	内部摩擦角 φ (deg.)
珪砂7号	2.65	0	36

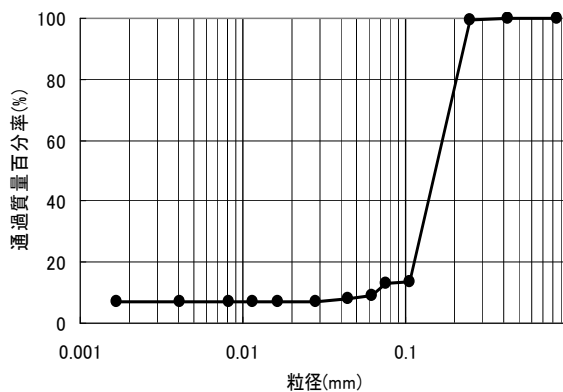


図2 粒径加積曲線

2.5 地震波再現装置について

地震波再現装置（写真4参照）は、振動台上にセットされた供試体に様々な振動を与え、その動的特性を観測・検討するものである。例えば、制振システムの性能確認では、振動台上にセットされた制振装置付きの建築模型に、実際に観測された地震動などを作用させ、模型の各所に配置された加速度、変位などの計測センサーにより、模型の応答を観測し、耐震性の適否などを判定することができる。表3に地震波再現装置の仕様を示す。本研修で用いた地震動は、兵庫県南部地震（1995年、マグニチュード7.3、最大震度7）の地震波形を再現し、加振実験を行った（図3参照）。地震波再現装置によって制御されている振動台の上に実験土層を設置し、土層内に模型地盤を作製して、所定の地震波を与え、地盤内に設置した計測機器によって、地盤内の挙動や住宅模型の耐震性について把握・検討を行う。



写真4 地震波再現装置の外観

表3 地震波再現装置の諸元

振動台テーブル		加振装置		
加振方向	水平・垂直	加振力	水平	±80kN
テーブル寸法	1.5m×1.5m		垂直	±40kN
搭載能力	20kN	最大振幅	水平	±75mm
支持方向	静圧軸受け		垂直	±80mm
転倒モーメント	15kN	周波数特性		0.1～50Hz

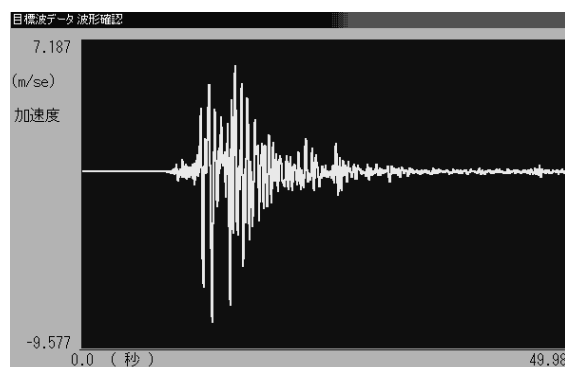


図3 兵庫県南部地震の入力地震動

3. 液状化実験

3.1 液状化実験の手順

以下に地震波再現装置を用いた液状化の再現実験の手順を示す（写真5参照）。

- ① アクリル製土層内に間隙水圧計を設置し、土層内に水を半分ほど入れる（H=13cm）
- ② ふるい（2mm 径）を用いて珪砂7号を均一なるように静かに投入し、水中落下法により埋立地による砂地盤を形成する
- ③ 砂を水槽の半分の高さまで投入後、表層に溜まった水をスポンジで吸い取る
- ④ 表層に乾いた砂をスコップでまぶしながら投入し、表面が均一になるように砂地盤を形成する

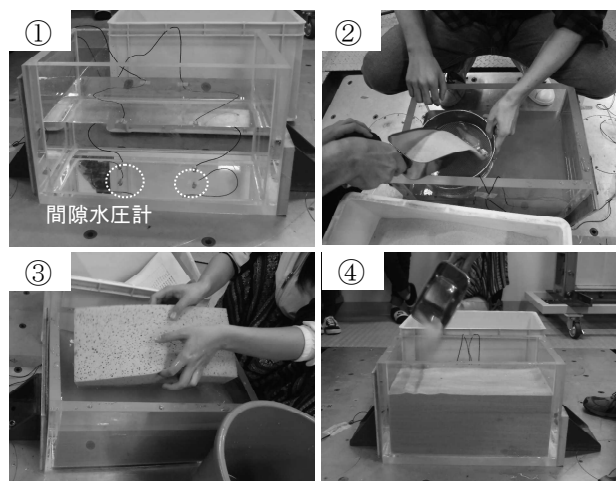


写真5 液状化実験の手順

3.2 実験概要とデータ計測方法

写真6は、3.1節より液状化を再現できるような埋立地盤を作製し、表層に2.3節において作製した住宅模型を設置し、液状化実験前の地震動の無い状態を示す。本実験における測定項目としては、埋立地盤内の間隙水圧の変化を調べるため、水槽底面に間隙水圧計を2箇所（その内1箇所は予備）設置した。さらに、住宅模型の固有周期を求めるため、住宅模型①（杭無し）と住宅模型②（杭有り）の躯体上部に加速度計を設置した。入力地震動は、図3に示す波形を地震波再現装置によって再現した。波形の特徴としては、振動開始約10秒後から振動が大きくなり、その後、約20秒の主要動が続き、実験開始から約30秒後には振動がほとんど見られない。また、住宅模型②は、ボルト設置分の質量が増加するため、住宅模型①の躯体内部に砂を投入して両模型の重さを同一にした。

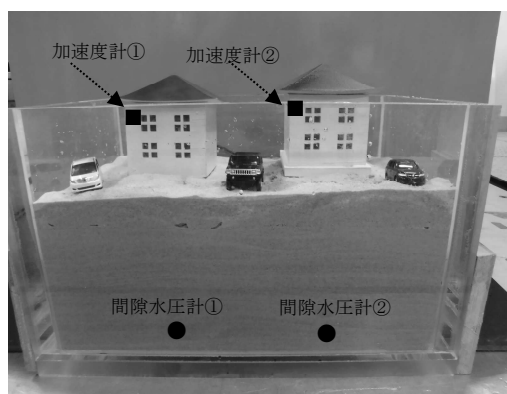


写真6 液状化実験前

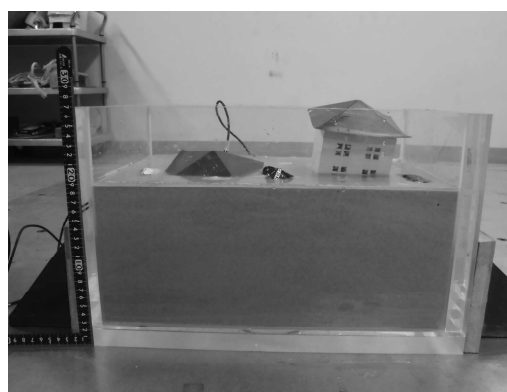


写真7 液状化実験後

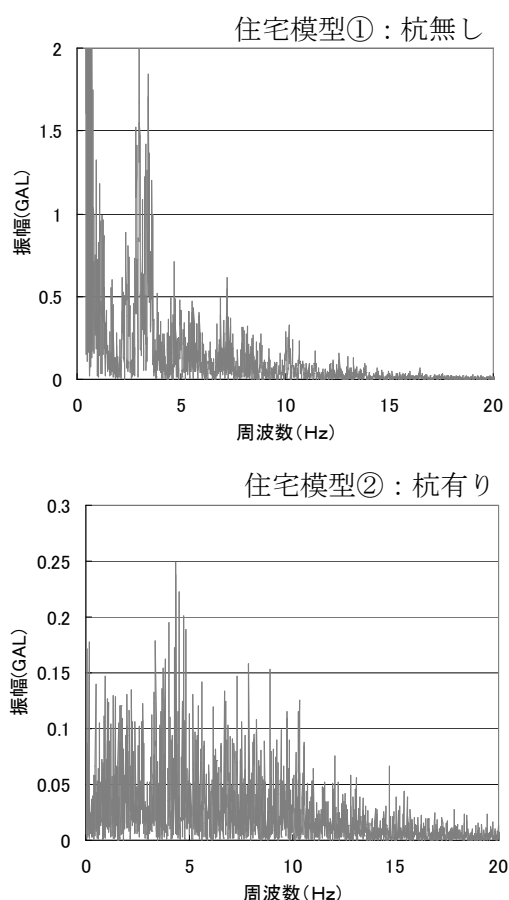


図4 住宅模型の振動特性

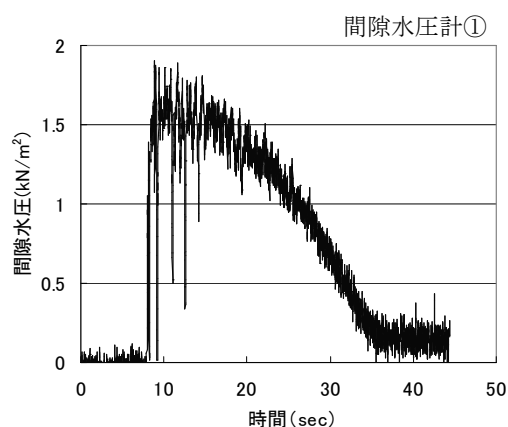


図5 地盤内の間隙水圧の経時変化

3.3 実験結果

写真7は、埋立地盤に地震動を与えて加振し、液状化が発生した直後の状態を示す。設置した住宅模型は、杭無しの①で沈下量が約10cmとなり、三角屋根の高さまで躯体の90%以上が沈下した。一方の杭有り②は、沈下量が3cm程度と躯体の20%程度が沈下した。図4は、住宅模型に設置した加速度計からフーリエ変換を行って周波数成分毎に分類した周波数スペクトルである。同図において振幅が最大になる周波数は、住宅模型が最も揺れやすい周波数と見なすことができるため、その固有周波数を求めた。①では1.2~3Hz (0.3~0.8秒)付近で振幅が1.5~2.0を示し、②では5Hz (0.25秒)付近で振幅が0.25を示し、①と比較し小さいことが確認できる。図5は、埋立地盤内に設置した間隙水圧計①の経時変化を示す。間隙水圧は、主要動が発生する約10秒後に1.5~1.8kN/m²まで10秒間ほど増加し、その後、振動の減少に伴って低下していることが確認できる。以上の結果より、地盤内の間隙水圧の増加が土粒子を液状化させるが、住宅模型に杭を設置することによって①の杭無し模型と比較して、沈下量が20%程度と小さいことや図4の結果より振幅を抑え、模型の振動が低減できる効果があることなどが分かった。

4. まとめ

本研修では、地震波再現装置の操作方法の理解や3Dプリンタによる住宅模型の設計・製作、液状化実験に必要な基礎知識を修得することができた。今後は、本研修の成果を地震防災の研究に役立てていく予定である。

5. 参考文献等

- [1] 災害写真データベース,
http://www.saigaichousa-db-isad.jp/drsdb_photo/photoSearchResult.do