# 未改良部が混在する改良地盤の地震時挙動に関する実験的考察

九州大学工学部　学生会員○占部　昇芳　　九州大学大学院　フェロー会員　善　功企
九州大学大学院　　正会員　陳　光斉　　九州大学大学院　　正会員　笠間 清伸

## 1. 背景および目的

事前混合処理工法や浸透固化処理工法により、液状化対策がなされた改良地盤では、対象地盤の土質の不均質性や、固化材の混合の不均一性、薬液の浸透特性などの原因により、液状化強度の空間的なばらつきが生じることが報告されている [1)]。このばらつきを考慮して、安全側の設計がなされているのが現状であり、強度のばらつきが地震時の改良地盤全体の挙動に与える影響は、未だに解明されていない点が多い。

そこで、本文では、模型地盤を用いて振動台実験を行い、実験結果より、液状化強度のばらつきが、改良地盤の地震時の間隙水圧挙動および沈下性状に与える影響について考察した。

## 2. 内容

### 2.1. 実験概要

本実験で使用した模型土槽を図-1 に、実験ケースを表-1 に示す。地盤は 75mm のメッシュに分割して作製し，地盤要素の鉛直方向の列を、図-1 に示すように、line1～line9 とよぶものとする。強度のばらつきを有する改良地盤を表現するために、液状化しやすい要素(未改良部)と液状化しない要素(改良部)の 2 つに単純化して、モデル化した。未改良部では、5 号硅砂を使用し、水中落下により相対密度 60%になるように調整した。改良部には、アルミのパイプに砂と薬液を封入したモデル改良体を使用した。各 Case の改良パターンを図-2 に示す。改良パターンは、乱数を発生させて無作為に決定した。ここでは改良率を、地盤全体積に対する改良部の体積の比率とした。振動台の加振は、重力場において、3Hz の正弦波を 10 波ずつ 100Gal～400Gal まで 100Gal 単位で増加させるステップ載荷で行った。模型土槽には、間隙水圧計および加速度計を設置し、line1～line9 では地表面の沈下量を測定した。間隙水圧計の設置位置は、line3、line5、line7 の地盤要素の図心とし、地表面からの深度は 112.5、262.5、412.5、562.5mm である。加速度計の設置位置は、line1～line9 の最上部の要素の図心とし、深度は全て 37.5mm である。

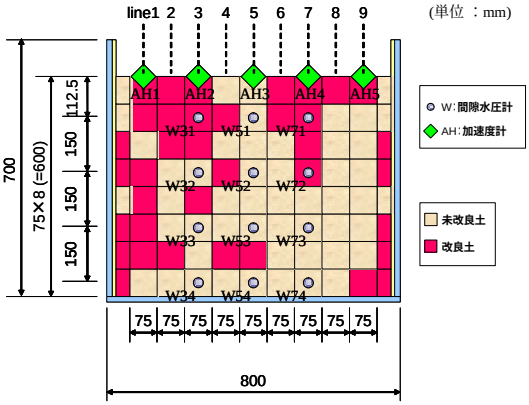



図-1　模型土槽(Case2-2)

表-1　実験ケース

| Case | 改良率(%) | 入力加速度 |
|---|---|---|
| 1 | 0 | 100→400Gal 100Gal毎のステップ載荷 |
| 2-1 | 40 | |
| 2-2 | | |
| 2-3 | | |
| 3-1 | 60 | |
| 3-2 | | |
| 3-3 | | |
| 4-1 | 80 | |
| 4-2 | | |
| 4-3 | | |

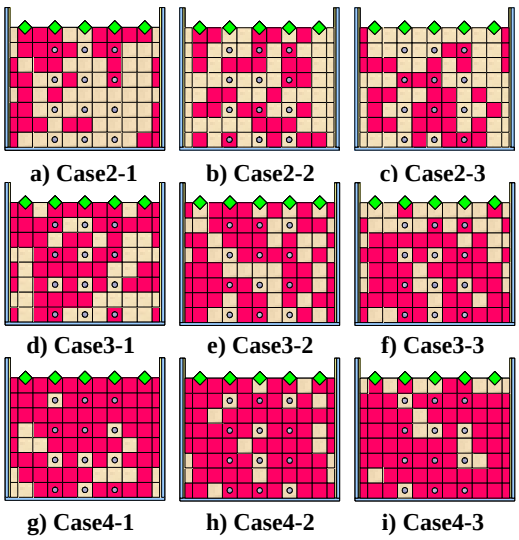


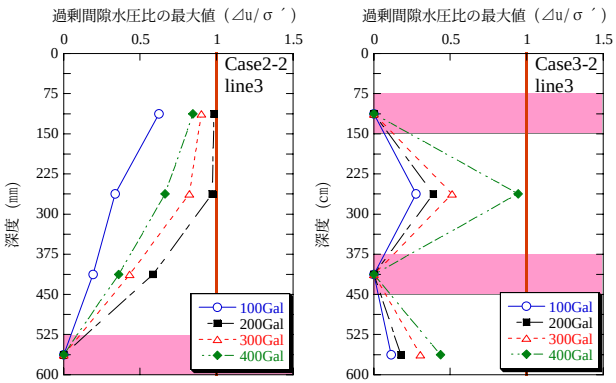

図-2　改良パターン

### 2.2. 実験結果および考察

Case2-2(40%改良)、Case3-2(60%改良)の line3 における最大過剰間隙水圧比の深度分布図を、図-3 に示す。なお、グラフにおいて、改良部の範囲は色を付けて示しており、間隙水圧は上昇しないため、便宜上 0 とした。図-3.a)より、200Gal 加振時に着目すると、Case2-2(40%改良)の W32(深度 262.5mm)において、最大過剰間隙水圧比はほぼ 1.0 となった。一方、図-3.b)によると、60%改良の W32 における最大過剰間隙水圧比は、40%改良の 2/5 程度まで抑えられており、これは、同一深度であるにも関わらず、液状化の程度に差異が生じていることを示している。ここで、図-2.b)、e)

に着目すると、40%改良での W32 を設置した要素付近では、未改良部が広い範囲で連結しているのに対して、60%改良では未改良部のつながりは比較的小さい。以上より、未改良部の連結する範囲が小さいと、改良部の拘束効果によって未改良部の変形が抑制され、その結果、過剰間隙水圧比の上昇は抑えられると考えられる。

Case2-2(40%改良)の各 line の地表面沈下量を、図-4 に示す。図-4 によると、40%改良では、200Gal 加振後で大幅な沈下が発生し、300Gal 加振後でさらに沈下が生じた。また、それぞれの line ごとに沈下量の差が生じたが、これは各 line において、改良した体積や改良位置が鉛直方向で異なることの影響、つまり、鉛直方向の改良パターンの影響を受けて、各 line の沈下量に差異が生じたと考えられる。ここで、line2、line4 に着目すると、図-2.b)より、改良した体積は同じであるが、地表面付近が改良されている line2 のほうが line3 よりも沈下が小さい。よって、同じ体積を改良した場合であれば、地表面に近い部分を改良したほうが、沈下が小さいと考えられる。




a) Case2-2　　b) Case3-2

**図-3　最大過剰間隙水圧比の深度分布図**

図-5 に、改良率と沈下量の標準偏差の関係を示す。沈下量の標準偏差は、line1～line9 で計測した沈下量の平均である平均沈下量を用いて算出しており、これは不等沈下の程度を示す指標となる。なお、100Gal 加振では沈下が生じなかったため、200Gal 以上について示している。図-5 によると、40%改良では沈下量の標準偏差が大きくなるが、改良率が大きくなるにしたがって小さくなり、80%改良では、不等沈下は比較的小さく抑えられている。

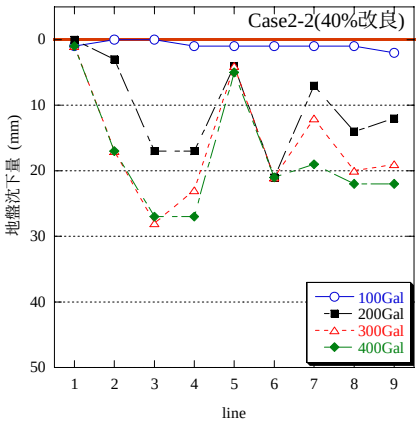



**図-4　地表面沈下量(Case2-2)**

ここで、未改良地盤の平均沈下量に対する、改良地盤の平均沈下量の比を、平均沈下率【=改良地盤の平均沈下量 / 未改良地盤(Case1)の平均沈下量×100 (%)】と定義する。図-6 に、改良率と平均沈下率の関係を示す。なお、図-5 と同様、200Gal 以上について示している。ここで、改良部は剛体と考えられ変形しないため、未改良部の体積と沈下のみに着目する。図-6 によると、改良率 40%では、60%が未改良部であるが、平均沈下率は約 50%に抑えられている。また、改良率 60%では、40%が未改良部で、平均沈下率は約 25%であり、80%改良では平均沈下率は 5%程度である。このことより、改良地盤の中に混在する未改良部は全体が未改良の地盤(Case1)に比べて、ひずみ量が小さくなるといえる。

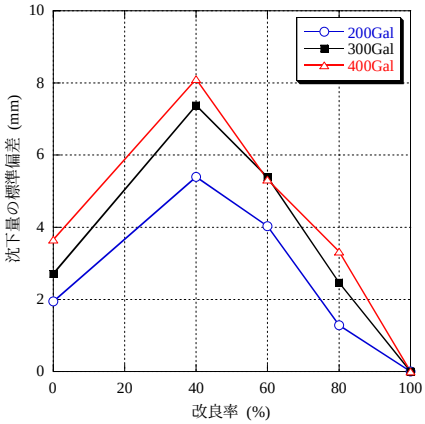



**図-5　改良率と沈下量の標準偏差**

## 3．まとめ

(1)改良率を高くするほど間隙水圧の上昇は抑えられ、改良部が連続して存在するとその効果は高くなる。(2)同じ体積を改良する場合、地表面付近を改良するほうが沈下が小さい。(3)不等沈下を表す標準偏差は、改良率が高くなると小さくなり、80%改良では比較的小さく抑えられる。(4)平均沈下率はいずれの改良率においても未改良率を下回っており、改良地盤中の未改良部は全体が未改良の地盤よりひずみが小さくなる。

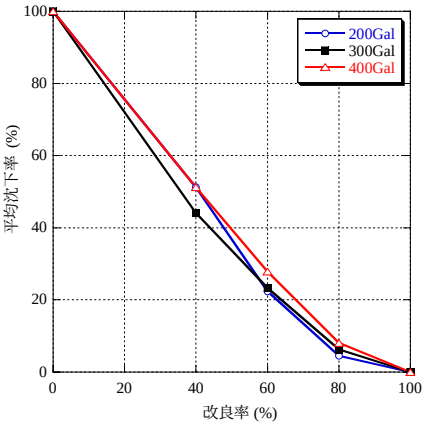



**図-6　改良率と平均沈下率**

**<参考文献>**1)日本建築センター:改訂版建築物のための改良地盤の設計及び品質管理指針-セメント系固化材を用いた深層・浅層混合処理工法-、2006.