

液状化による住宅基礎の不同沈下に関する振動台模型実験

建設工学課程 B4 山口勇気

1. はじめに

中越、中越沖地震では砂丘と砂丘間低地（砂丘後背地）および三角州などの地層境界での被害が拡大した。本研究では、地層境界付近での液状化による戸建て住宅の不同沈下のメカニズムを明らかにし、戸建て住宅に適した液状化対策工を検討、提案することを目的とする。

また、新潟県内を流れる信濃川は現在より川幅が広く、幾度となく氾濫を繰返しており、治水のために幾度となく埋め立て工事が行われてきているため、中越沖地震で見られた柏崎市松波 2 丁目、山本団地、刈羽村での宅地地盤の大規模な液状化による戸建て住宅の不同沈下は、今後発生が心配される長岡平野西縁断層帯を震央とした地震で大規模に発生する可能性が高く、本研究の社会的意義は非常に高く、特に中越地域での役割は大きい。

2. 液状化被害の概要

図 2-1 に松波 2 丁目の平面図と宅地応急危険度判定の結果を示す。同地区では東・中央部を中心に液状化による噴砂が確認され、不同沈下による建物被害が広範に発生した。要注意宅地（黄）が全域に分布するのに対して危険宅地（赤）は同地区北東から南西にかけて帯状に分布する傾向が見られる。新潟地盤図によると、同地区は北西部が砂丘、南東部が三角州により構成されており、地層境界に沿って危険宅地が分布することが分かる。

同地区において図 2-1 に示す測線（M-1：南北方向、M-2：東西方向）にて表面波探査試験、●の位置にてスウェーデン式サウンディング試験（SWS）を実施した。図 2-2 に表面波探査試験、SWS の結果を合わせて示す。図より、深度 5 m 以浅は S 波速度が 120～150 m/s でやや緩んだ砂質土、5 m 以深は 150～200 m/s で締まった砂質土であることが分かる。宅地被害の大きい地点は砂丘と三角州の地層境界であり、締まった砂質土（砂丘）が傾斜している上に緩い砂質土（三角州）が堆積していることが分かる。これは緩い砂質土の層厚変化や締まった砂質土の傾斜が影響している。測線 M-1 では地層境界で被害が著しいのに対して、M-2 では顕著な被害が見られない。両測線の標高を測定すると、M-1 では地層境界にて地形的な高低差があるのに対して、M-2 では高低差のないことが確認されており、地層構成の他に地形が被害の大きさに影響した可能性がある。そこで、本研究では、刈羽村で採取した砂試料を用い、液状化による住宅基礎の不同沈下・傾斜方向と地層傾斜、住宅重心位置、液状化層厚と非液状化層厚の比の関係を重力場振動台模型実験により検討した。

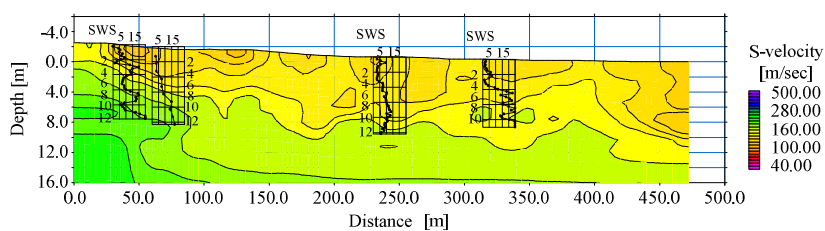
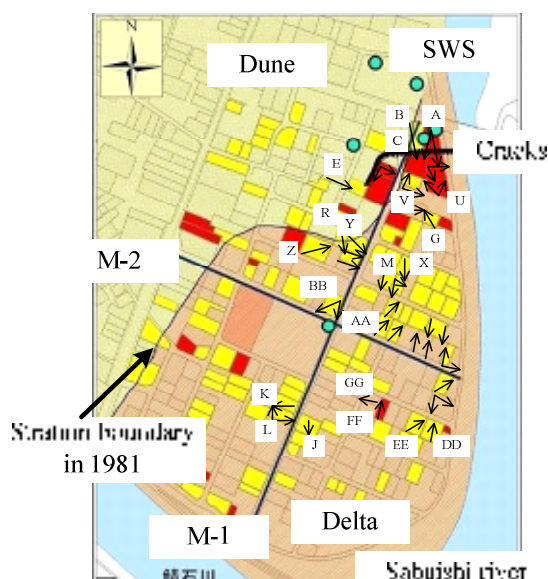


図 2-2(a) 表面波探査および SWS 結果（M-1 測線）

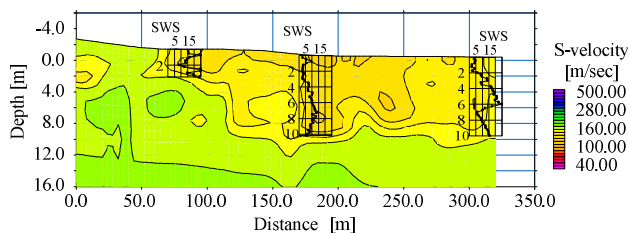


図 2-2(b) 表面波探査および SWS 結果（M-2 測線）

図 2-1 松波 2 丁目の平面図と宅地応急危険度判定の結果

3. 実験概要

刈羽村より採取された砂を用いて、実験土槽に相対密度 100%の非液状化地盤を水中落下法により作製した。そして相対密度 30%、含水比 10%の液状化地盤を締め固め法により作成した。実モデルの 1/40 を想定し、模型地盤、家屋模型を作製。8Hz 32 波の正弦波、中越沖地震相当の 600gal を加振した。表 3-1 に実験ケース、表 3-2 に試料土物理特性、図 3-1 に模型概要図、を示す。

表 3-1 実験ケース

| | case2 | | case3 | | case4 | | case5 | | case6 | | case8 | |
|---------------|----------|-----|----------|-----|----------|-----|----------|-----|--------|--------|--------|--------|
| | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b | a | b |
| 液状化層厚 [mm] | 100 | 200 | 50 | 150 | 0 | 150 | 0 | 150 | 0 | 150 | 0 | 150 |
| 水位地表面から[mm] | 15 | | 17 | | 15 | | 15 | | 15 | | 15 | |
| 入力波の大きさ [gal] | 350 | | 280 | 530 | 265 | 817 | 444 | 784 | 573 | 609 | 517 | 507 |
| 上載せ荷重 [kN] | ML MC MR | | ML MC MR | | ML MC MR | | ML MC MR | | ML MC | MR | ML MC | MR |
| | 8.3E03 | | 7.8E03 | | 7.8E03 | | 7.8E03 | | 7.8E03 | 9.8E03 | 7.8E03 | 9.8E03 |
| 接地圧 [kPa] | 0.38 | | 0.36 | | 0.36 | | 0.36 | | 0.36 | 0.44 | 0.36 | 0.44 |

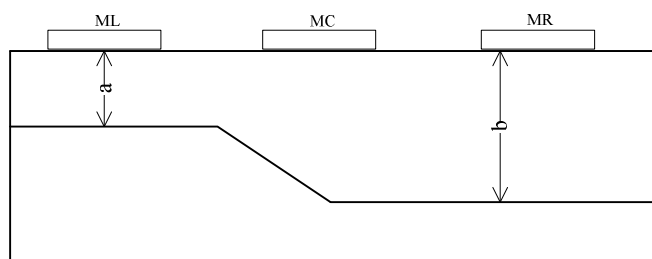


図 3-1 模型概要図

表 3-2 試料土物理特性

| | |
|------------------------|-------|
| 最大乾燥密度 $\rho_{d \max}$ | 1.723 |
| 最小乾燥密度 $\rho_{d \min}$ | 1.395 |
| 土粒子の密度 ρ_s | 2.735 |
| 最大間隙比 e_{\max} | 0.588 |
| 最小間隙比 e_{\min} | 0.961 |

4. 実験結果および考察

全体の傾向を示すために図 4-1 に Case3 の模型概要を、図 4-2 に Case3 の結果を示す。

- 図 4-2 (a) には垂直変位の結果を示している。各家屋模型の一方向の変位をとり傾斜角、傾斜方向調べている。Case3 では MC, MR で大きな違いは見られないが全体の傾向では MR は同沈下する傾向がみられ、MC は不同沈下する傾向がみられた。このことから不同沈下に地盤傾斜が影響していることが考えられる。加振加速度が大きくなると家屋模型の沈下量が多くなった。MR に偏心荷重をかけた実験は偏心荷重がかかった方に家屋模型が傾斜する傾向がみられた。非液状化層上（相対密度 100%）の家屋模型は、ほぼ沈下が見られなかった。
- 図 4-2 (b) には家屋模型直下とその間の間隙水圧計の結果を示している。間隙水圧は液状化層の層厚に比例した。上載圧のかかっていない地点では、上載圧のかかっている地点より水圧上昇は大きくなかった。家屋模型が傾斜する瞬間、家屋模型の左右で、水圧の上昇の仕方に変化がみられた。地表面から 100mm 下の地点では目立った間隙水圧の上昇はみられなかった。このことから液状化現象は表層の 25mm~50mm の層のみで発生していたと考えられる。
- 図 4-2 (c) には家屋模型の加速度を示した。液状化が発生すると同時に家屋模型の加速度は、入力波に対して減衰する傾向がみられた。これは地盤内の水圧上昇にともない地盤が液状化したため家屋模型にせん断力が直接伝わらなくなったため加速度が減衰したと考えられる。しかし家屋模型の直下の加速度は入力波に対して増幅する傾向がみられた。これは地盤内でせん断破壊等が発生し、加速度計が初期の状態より拘束されなくなったため共振し始めたために増幅したと考えられる。非液状化層上（相対密度 100%）の家屋模型では、入力波に対して大幅に増幅する傾向がみられた。

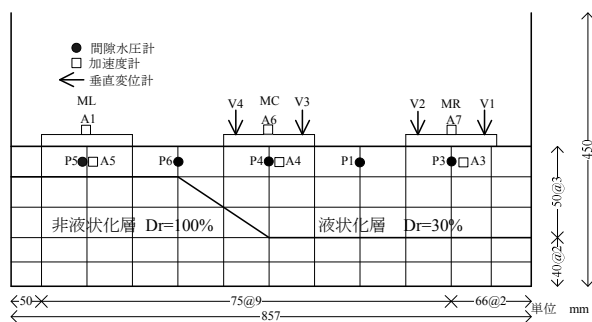


図 4-1 模型概要

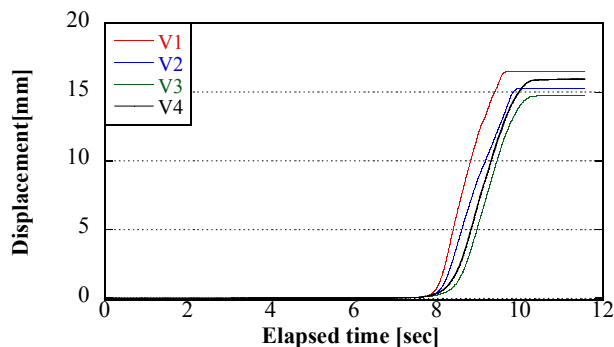


図 4-2(a) Case3 垂直変位

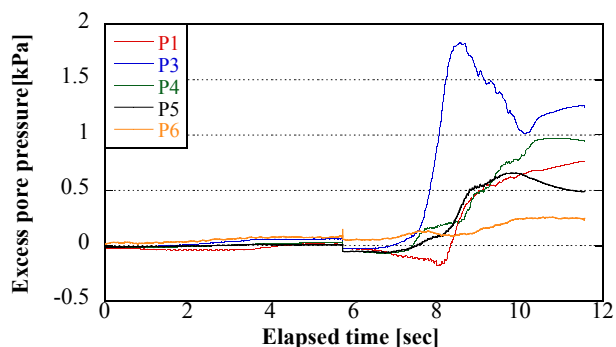


図 4-2(b) Case3 間隙水圧

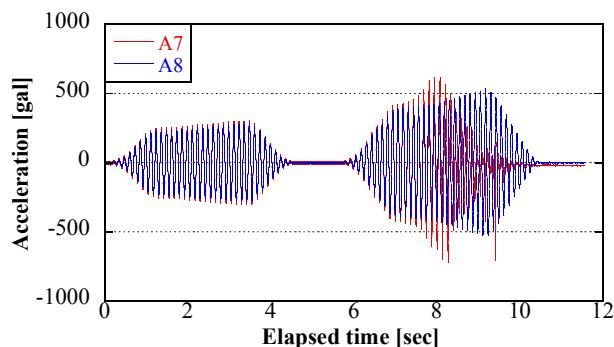


図 4-2(c) Case3 加速度計

図 4-3 に全 Case の MC, MR の傾斜角, 最終沈下量の比較を示す。

- 図 4-3(a) の全 Case の MC, MR の傾斜角比較では傾斜地盤上の MC の方が傾斜量が大きくなっている。傾斜地盤が家屋模型の不同沈下に大きな影響を与えていると考えられる。また MR では全体的に傾斜角が小さいことから非液状化層が平面であることによって家屋模型が同沈下したと考えられる。
- 図 4-3(b) の全 Case の MC, MR の最終沈下量比較では MC, MR とともに最終沈下量に差はみられない。沈下量自体には地層構造より、加速度や家屋の自重が関係していると考えられる。

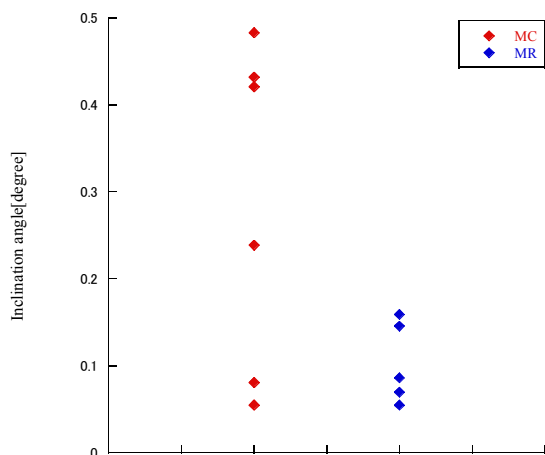


図 4-3(a) 全 Case の MC, MR の傾斜角比較

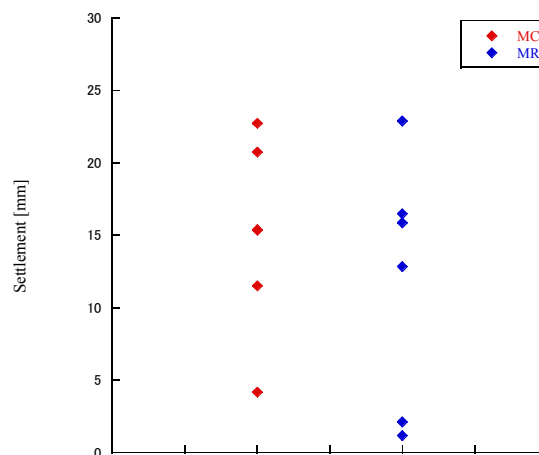


図 4-3(b) 全 Case の MC, MR の最終沈下量比較

図 4-4 に Case5 の模型概要を、図 4-5 に Case5 の結果を示す

MC は最終的に V4 側が沈下した。しかし初期の段階では P1 の水圧が高く、V3 側の沈下が大きい。二回目の加振時にも P1 側の水圧が高いにもかかわらず V4 側が沈下した。これは沈下量が限られたために V3 側では沈下が止まり、沈下量が多い V4 側が沈下していったと考えられる。住宅基礎の不同沈下と地層構造は関係性があると考えられる。

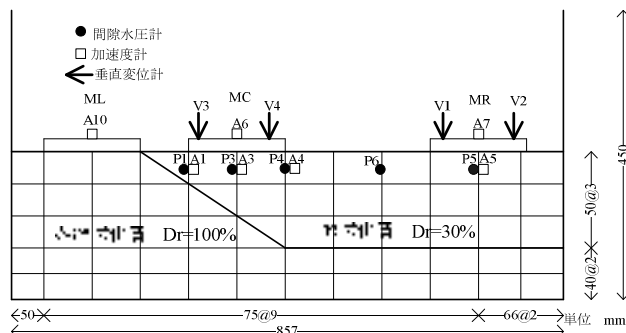


図 4-4 全 Case の MC, MR の傾斜角比較

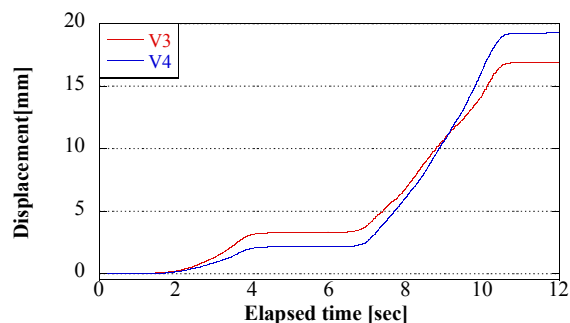


図 4-5(a) Case5 垂直変位

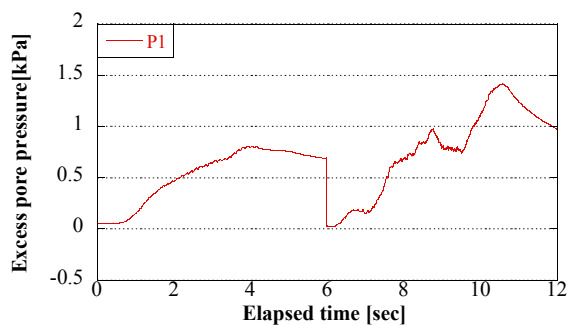


図 4-5(b) Case5 間隙水圧

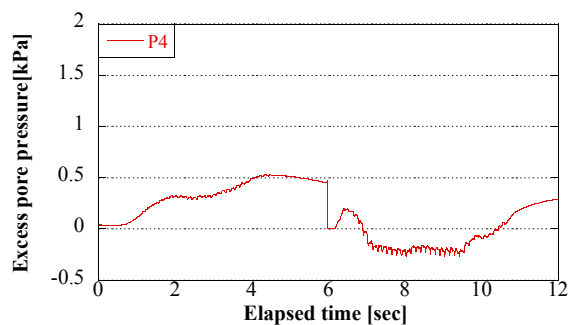


図 4-5(b) Case5 間隙水圧

5. まとめ

- ・水位の高いゆるい砂地盤を加振することによって地盤のせん断抵抗力が低下し、地盤が液状化する。
- ・液状化した地盤上の家屋模型は減衰する。
- ・相対密度 $Dr = 100\%$ の地盤の上の模型は液状化による沈下現象は発生しないが、応答加速度の増幅が著しい。このような場合には宅地地盤の変状よりも家屋自体の強度を上げることが必要となる。
- ・家屋模型の上載圧がかかっている地盤中では、加振中に間隙水圧が一瞬低下する傾向がある。
- ・家屋模型と傾斜している非液状化層の相対的距離が不同沈下に影響をあたえている。
- ・家屋模型と非液状化層が平行になっていれば家屋模型は相対的に不同沈下する。
- ・家屋模型に偏心荷重がかかっている際、家屋模型の傾斜する方向に偏心荷重が影響する。

6. 課題

- ・パラメータを統一した実験を複数回行い定量的に比較ができるようにする。
- ・土槽の壁からの振動波の反射を防ぐ実験システム（せん断土槽の作製）を開発する。
- ・刈羽村稲場地区での被害事例の再現を目的に、砂丘斜面を有する模型地盤で振動台模型実験を行う。
- ・静的・動的非排水三軸圧縮試験を実施し、模型地盤材料である刈羽砂の強度特性、液状化強度を把握する。

参考文献

- 1) 2007 年新潟県中越沖地震災害調査委員会：2007 年新潟県中越沖地震災害調査委員会報告集，2009。