

風力発電施設支持地盤を想定した締固め砂杭による液状化対策工の改良範囲について

九州工業大学 学生会員 ○西本 尚平 非会員 里 直樹
九州工業大学 正会員 廣岡 明彦 永瀬 英生
サクラ工業(有) 非会員 五木田 義秋

1. はじめに

地球温暖化が問題にされている近年，新エネルギーとして二酸化炭素を排出しない風力発電が注目されており，我が国では1990年後半から風力発電施設が急速に増加している¹⁾．このような中で，沿岸部や海上への風力発電施設の立地並びに立地計画も少なくなく，地震国である我が国では地震に伴う液状化に対する対策を施す必要に迫られることも十分想定される事態である．液状化対策を施すにあたって，改良範囲の決定は建設費用に大きな影響を及ぼすため，安全性からも経済性からも重大な問題である．本研究では，締固め砂杭による液状化対策工で軟弱地盤を締固めたときに構造物が液状化の被害を受けない改良範囲について振動台実験の結果より検討することを目的としている．

2. 実験概要

実験は，幅:140cm×高さ:70cm×奥行き:45cmのせん断土槽を用いて行い，試料には豊浦標準砂を使用した．模型地盤及び計測器の配置を図-1に示す．模型地盤は，まず，土槽底部に10cmの基盤部を作製し，所定の位置に外径39mmのパイプを設置した．次に，相対密度 $D_r=40\%$ となるように試料を空中落下させ，30cmの液状化層を作製した．砂杭の作製は，設置してあるパイプ内に所定量の試料を投入し，パイプを5cm引上げた状態で突き固め棒により突き固めて行った．この工程を繰り返し，砂杭を所定数打設し相対密度 $D_r=80\%$ の改良地盤を作製した．また，砂杭は施工間隔120mmの正方形配置とし，図-2には各実験ケースの砂杭配置平面図を示す．地盤の作製終了後，地盤全体を飽和させ，構造物を設置し3cmの表層地盤を作製した後に振動台を加振させた．実験は締固めを行わないケース「未改良」，締固めを行うケース「直下改良」，「広域改良」の3ケースについて行った．入力波は入力加速度振幅を200galに設定した波数30波の正弦波を用い，周波数18.8Hz，加振時間は約1.60秒とする．

3. 実験結果及び考察

3-1 応答加速度

「未改良」と「広域改良」での構造物の並進運動と重心まわりの回転運動の加速度応答を図-3に示す．ここで，構造物頂上と重心の応答加速度の差をもって回転運動とする．「未改良」では重心の応答加速度が時刻0.4秒辺りで急激に減衰しているが，「広域改良」では応答加速度の減衰が見られなかった．また，「広域改良」では構造物の回転が殆ど見られないのに対して「未改良」では応答加速度の減衰後，時間を追うごとに構造物の回転が増大していることが確認できる．このことから，「未改良」では時刻0.4秒辺りで液状化が発生し，地盤の支持力を失ったために構造物への水平振動は伝達され難くなるが，ロッキングが大きくな

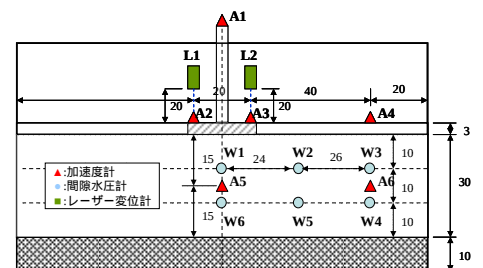


図-1 模型地盤及び計測器配置図 (単位:mm)

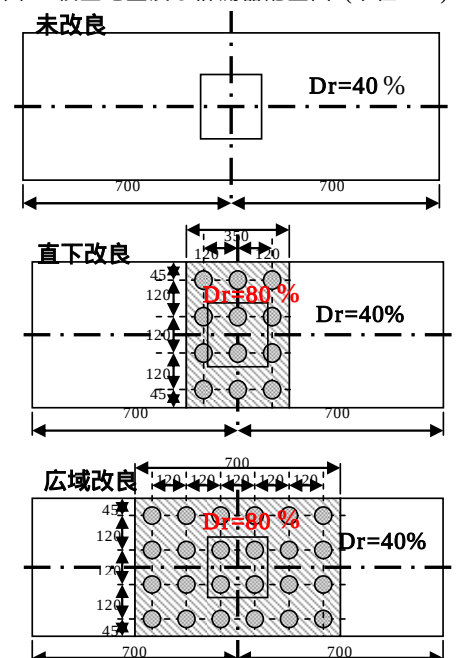


図-2 砂杭配置平面図 (単位:mm)

キーワード：液状化，風力発電施設，サンドコンパクションパイル工法

〒804-8550 福岡県北九州市戸畑区仙水町 1-1 九州工業大学工学部建設社会工学科 TEL 093-884-3000

り、「広域改良」では液状化に至らず、構造物の応答に大きな変化が表れなかったと考えられる。

3-2 過剰間隙水圧比

各測点における過剰間隙水圧比の最大値を図-4に示す。構造物近傍において「未改良」ではW1が0.93、W6が0.87と1.0に近い値を示した。このことから液状化が発生したと考えられる。「広域改良」ではW1が0.51、W6が0.68となり間隙水圧の上昇が少なく地盤改良の効果が確認できた。「直下改良」ではW6が0.69と小さい値を示すのに対し、地盤改良したにもかかわらずW1が0.81と1.0に近い値を示した。また、図には示していないが、「直下改良」でも「未改良」と同じように構造物重心で時刻0.4秒辺りに応答加速度の減衰が見られたことから「直下改良」においては、地表面付近で液状化が発生したと考えられる。図-4からも改良した地盤では過剰間隙比が上昇しにくく、その抑制効果は改良域中心に向かうにつれ大きくなることが分かる。

3-3 模型構造物と模型地盤の鉛直変位

図-5に示すように振動終了時の模型構造物鉛直変位は「未改良」で11.4mm、「直下改良」で7.1mm、「広域改良」で1.6mmとなる。また、「広域改良」では振動終了後に沈下が見られなかったが、「未改良」で2.3mm、「直下改良」で0.7mmの沈下が生じた。無改良と改良したケースの最終沈下量を比較すると「未改良」に対し、「直下改良」は約0.6倍、「広域改良」は約0.12倍の沈下となり、地盤改良



図-4 最大過剰間隙水圧比

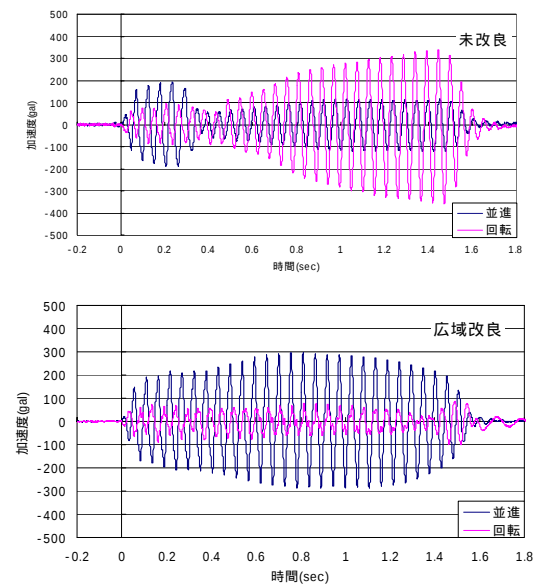


図-3 模型構造物重心での並進と回転

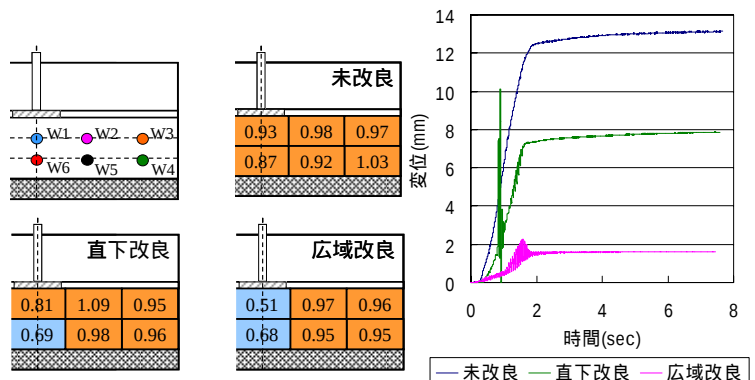


図-5 模型構造物の鉛直変位

範囲が広がるほど沈下量は大幅に抑制されることが分かる。図-6で示されるとおり、「未改良」は模型構造物近傍での地盤沈下量が周辺地盤に較べて大きく、模型構造物の自重により構造物直下から周辺に向かって地盤の流動が生じたことが窺える。一方「広域改良」では模型構造物近傍でも改良していない周辺地盤よりも沈下量が小さくなる傾向があるが、「直下改良」では構造物近傍での沈下が少なくない。

4. まとめ

- ・ 液状化が発生した地盤では、地盤の支持力が失われ構造物への水平振動は伝達され難くなるがロッキングが大きくなる。
- ・ 地盤改良域においても、未改良域に隣接する場所では、浸透による過剰間隙比の上昇により地盤剛性が低下する可能性がある。液状化対策として地盤改良を施す際は、風力発電施設のようなトップヘビー構造物に対して構造物直下だけでなく、その周辺地盤においても地盤改良を施す必要があると考えられる。

5. 参考文献

- 1) 古木守靖:風力発電設備支持物構造設計指針・同解説, 土木学会, 2007

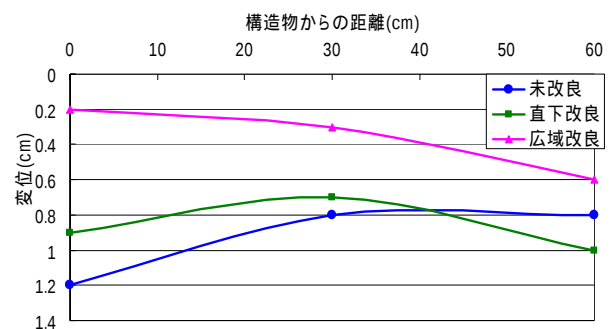


図-6 模型地盤の鉛直変位