

重錘落下締固め工法による改良埋立て地盤の液状化特性

山口大学工学部

正員 兵動正幸

中電技術コンサルタント(株)

正員 〇古川 智

中国電力(株) 土木部

正員 平岡順次、澄川 健

1. まえがき

兵庫県南部地震においては、近年の大地震の地盤災害で顕著な埋立て地の液状化による被害が広範囲にわたり、極めて甚大であった。このような状況から、埋立て地盤におけるより合理的で適切な液状化対策が望まれている。

中国電力(株)三隅発電所建設用地は、浜田市街地から南西約15kmの三隅町沖の海面を埋立て造成した地盤であり、海底浚渫砂を投入した範囲では緩く堆積した飽和砂地盤が地震によって液状化する危険性が高いと考えられた。このため、液状化対策工法として重錘落下締固め工法を採用し、発電所用地の地盤改良を実施した。重錘落下締固め工法は、重さ数十トンの重錘を高所から繰返し落下させ地盤を締固める工法であり、既に多くの施工実績がある。改良効果の判定は、施工後に標準貫入試験などにより効果を確認する方法が一般的で、液状化強度の増加はN値等からの間接的評価としている。これまで、室内試験においては、同工法を要素試験により再現し、液状化強度の増加を直接的に調べた研究¹⁾があるが、現場において直接的に調べた事例はあまり見当たらない。

本文は、三隅発電所建設用地において実施した重錘落下締固め工法による地盤改良施工前後にサンプリングした不攪乱試料を用いて非排水繰返し三軸試験を行ない、改良効果を確認すると共に液状化の詳細判定を実施した結果を報告するものである。

2. 試料および実験方法

浚渫砂で埋立てられた地盤では、N値は改良前6程度であった。これに重錘落下締固め工法により、重さ25tの重錘を25mの高さから各打撃点で16回繰返し落下させて締固めた。重錘による打撃は5mピッチで行ない、試料の採取は各打撃地点の中間点の深度3～5mにおいて実施した。改良前の試料もほぼ同じ地点のものである。試料の物性は $G_s=2.721$, $e_{max}=1.364$, $e_{max}=0.810$, $U_c=1.781$ であった。改良前後の試料の粒度分布を豊浦砂との比較で図-1に示した。

試料は、豊浦砂よりも平均粒径が小さく、15%程度の細粒分を含んだものであった。改良前後の試料に対し、非排水繰返し三軸試験を60kPaの有効拘束圧のもとで、0.1Hzの正弦波軸荷重を載荷することにより行った。

3. 実験結果

非排水繰返し三軸試験により得られた、改良前後の試料に対する軸差応力・軸ひずみ関係の一例を図-2に改良前、図-3に改良後について示す。改良前後の軸差応力・軸ひずみ関係を比較すると、改良前においては圧縮、伸張両側に変形が広がっているが、改良後は特に圧縮側の変形が抑止されており、より大きな軸差応力の載荷であるにも係わらず変形を生じるのに多くの繰返し回数を要していることが観察される。これらの図から、重錘落下締固めにより特に圧縮方向に強い構造が形成されたことが判明し、明らかな改良効果が認められる。

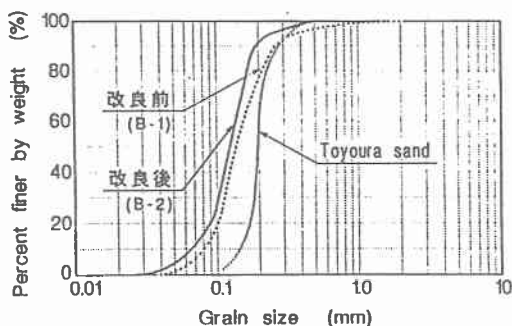


図-1 粒径加積曲線

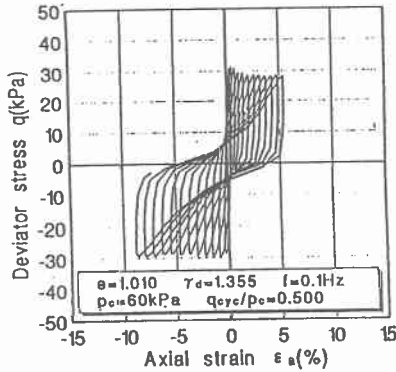


図-2 軸差応力・軸ひずみ関係 (改良前)

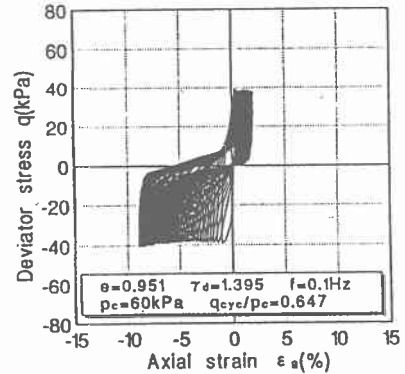


図-3 軸差応力・軸ひずみ関係 (改良後)

軸ひずみ振幅 $\varepsilon_{DA}=5\%$ を液状化破壊と定義し、液状化に至るに必要な応力比 $\sigma_d/2\sigma_c$ と繰返し回数 N の関係を図-4に描いた。図中には、改良前後の試料に対するそれぞれの液状化強度曲線と、比較のために豊浦砂 $Dr=70\%$ と $Dr=90\%$ の結果も示した。用いた試料には細粒分が混入していたため、改良前においても豊浦砂の $Dr=70\%$ 程度の液状化強度があったが、改良後には豊浦砂の $Dr=90\%$ を上回る液状化強度となっており、かなりの改良効果があったと評価される。

兵庫県南部地震のような直下型地震では、非常に大きな外力が少ない繰返し回数で作用することが想定されるが、改良土の液状化強度は特に繰返し回数10回以下で急増する傾向を示しており、有効な改良効果を得ているものと判断される。

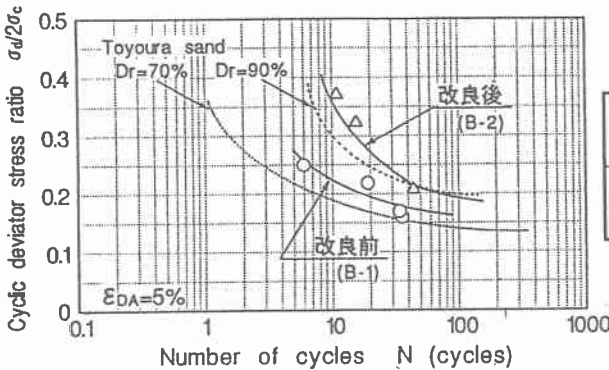


図-4 改良前後の試料の液状化強度曲線

表-1 液状化の詳細判定結果

試料種別	改良前	改良後
液状化安全率 F_L	0.91	1.29

4. 液状化の詳細判定結果

地震応答解析 (SHAKE) によって求めた地震時の地中の繰返しせん断応力と図-4に示した液状化強度を比較することにより改良前後の液状化発生の有無を予測した。なお、地震応答解析で想定した地震動は、基盤で100galの最大加速度とした。また、繰返しせん断応力と液状化強度の地震時における実際の地盤内の値への補正法は岩崎らの方法³⁾によった。改良前後の液状化安全率 F_L の値を表-1に示すが、改良前に $F_L < 1.0$ であったものが改良後 $F_L > 1.0$ となり液状化しないと判定された。

参考文献

- 1) 丸山浩史・兵動正幸・四宮圭三・村田秀一・安福規之：瞬発載荷履歴を受けた砂の液状化強度特性，第23回土質工学研究発表会講演集，pp757-760，1992。
- 2) 岩崎敏男・龍岡文夫・常田賢一・安田進：砂質地盤の地震時流動化の簡易判定法と適用例，第5回日本地震工学シンポジウム講演集，pp641-648，1978。