

建設機械の転倒を想定した繰返し載荷による地盤支持特性の変化

繰返し載荷 地盤支持力 沈下

香川高等専門学校専攻科 学生会員 ○六車佳仁

香川高等専門学校 正 会 員 小竹 望

1. はじめに

建設施工現場における移動式クレーンの転倒事故の主な原因の1つとして、支持地盤の破壊が知られている。クレーン稼働時の支持地盤への荷重は、ブームの回転によって変化し、支持地盤に対して繰返し荷重として作用する。本研究では支持地盤に対する繰返し荷重が地盤支持力を低下させると予想し、混合土模型斜面に載荷実験を行い、繰返し荷重が極限支持力に与える影響について評価した。

2. 実験方法

2.1 土質試料

土質試料として硅砂8号90%とNSFカオリン粘土10%の混合土を使用した。この混合土の締固め試験結果を表1に示す。

2.2 斜面模型の作製

最適含水比 $w_{opt}=12.5\%$ に調整した試料を用いて二次元土槽(幅380mm×高さ250mm×奥行170mm)に図1に示す高さ200mm、勾配1:0.5の寸法で斜面模型を作製した。締固め度 $D=100\%$ を目標に1層50mmごとにバイブレータで締固めた。4層200mmまで作製後、法面をヘラで図1のように整形した(図2a)。作製した斜面模型4ケースの物性値を表2に示す。模型斜面4ケース全てにおいて締固め度 $D=99.6\%$ 以上で目標値に近く、含水比 $w=12.5\pm0.3\%$ で最適含水比 w_{opt} に近い値が得られた。このことから、作製した模型斜面は目標値をほぼ達成できていると考えられる。

2.3 載荷方法

模型斜面天端の法肩から20mmの位置に鋼製載荷板(幅50mm×奥行170mm×厚さ5mm)を設置し、万能試験機(SHIMADU AUTOGRAPH AG-X)を用いて鉛直荷重を載荷した。まず単調載荷実験から模型斜面の極限荷重を評価した。繰返し載荷実験は単調載荷実験によって得られた極限荷重の95%を上限荷重、その50%を下限荷重として行った。また、載荷時に発生する滑り面について発生段階と様子についても観察、記録した。

表1 混合土試料の締固め試験結果

最大乾燥密度 ρ_{dmax} (g/cm ³)	1.639
最適含水比 w_{opt} (%)	12.5
湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	1.844

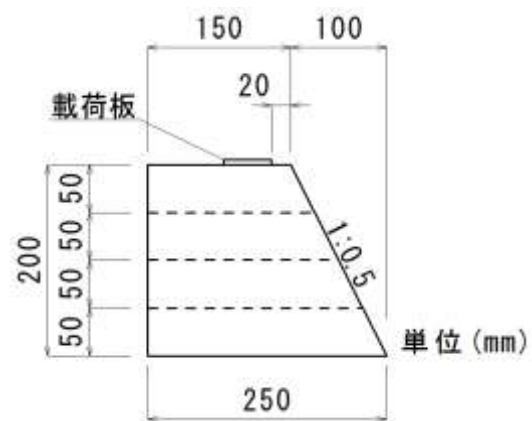


図1 斜面模型断面図



a) 載荷前

b) 破壊後

図2 斜面模型

表2 斜面模型の物性値

載荷方法	No.	湿潤密度 ρ_t (g/cm ³)	乾燥密度 ρ_d (g/cm ³)	含水比 w (%)	締固め度 D (%)
単調載荷	1	1.837	1.632	12.6	99.6
	2	1.839	1.633	12.6	99.6
繰返し載荷	1	1.838	1.637	12.3	99.8
	2	1.833	1.633	12.2	99.6

3. 実験結果

2 回実施した単調載荷実験による極限荷重の平均値 ($P_{\max}=1281\text{N}$) から繰返し載荷の上限荷重を 1200N 、下限荷重を 600N に設定し、載荷-除荷-再載荷を 30 回繰返した後、極限状態が現れ破壊に至るまで単調載荷を行った。破壊後の斜面の状態を図 2b に示す。また、繰返し載荷段階では滑り破壊面は観察されず、極限荷重を超えた残留域で滑り破壊面が徐々に観察され始め、荷重が一定になった段階で明瞭な滑り破壊面が観察された。単調載荷実験と繰返し載荷実験で得られた斜面モデルの荷重-沈下量関係を図 3 に示す。また、繰返し載荷 No.1 の繰返し載荷段階の拡大図を図 4 に示す。ここで繰返し回数 2, 10, 20, 30 回目を着色している。繰返し載荷に伴って変化する沈下量と地盤反力係数について図 5 に示す。ここで S_i は載荷 i 回による沈下量を表す。繰返し載荷 i 回目の地盤反力係数 K_i は式(1)によって求めた。

$$K_i = \frac{P}{s_i A} \quad (1)$$

ここで、

P : 繰返し荷重(下限から上限まで) $P=600\text{N}$

s_i : i 回目の再載荷開始~終了までの沈下量 (m)

A : 載荷板面積 (m^2)

4. 考察

単調載荷実験の極限荷重は $P_{\max}=1250\sim1300\text{N}$ となったが、繰返し載荷を行うことで $P_{\max}=2200\text{N}\sim2800\text{N}$ まで増加した。また、ピーク時の沈下量は、単調載荷実験で $S_f=2.8\sim3.5\text{mm}$ であったが、繰返し載荷実験では $S_f=4.3\sim4.6\text{mm}$ になり、 $1\sim1.5\text{mm}$ 沈下量が増加した。図 5 から、載荷回数が多くなるにつれて載荷 1 回あたりの沈下量は徐々に減少しながら累積していき、地盤反力係数は徐々に増加することが確認された。これらは繰返し載荷によって地盤が強化されたものと推定される。

5. 結論

本研究は繰返し載荷が地盤支持力を低下させると予想して進めてきたが、繰返し載荷を行うことでその後の単調載荷の極限荷重は大きく増加し、地盤が強化されていることが確認された。その原因に更なる検討を要する。地盤の強化に伴って、載荷 1 回あたりの沈下量は徐々に減少しながら累積していき、地盤反力係数は増加することも確認された。本実験で確認された現象が実際のクレーン支持地盤でも同様に生じるならば、移動式クレーン転倒事故の要因として、繰返し載荷による地盤支持力の影響は小さく、累積する沈下量が重要になると考えられる。

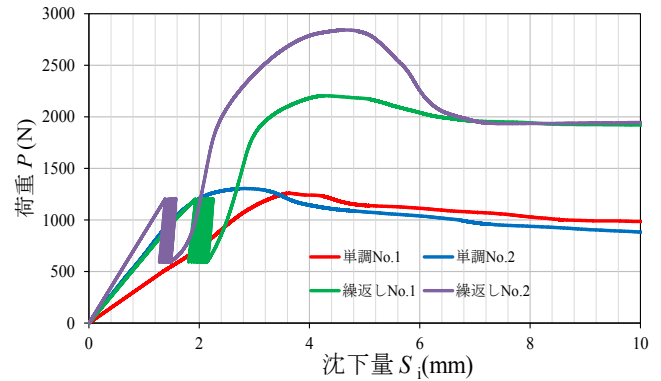


図 3 載荷実験で得られた荷重-沈下量関係

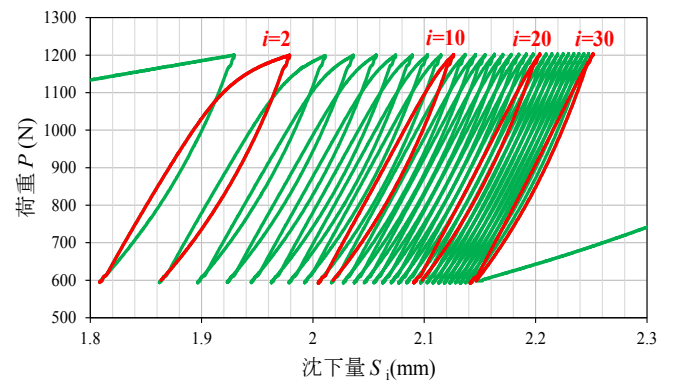


図 4 繰返し載荷段階の荷重-沈下量関係(No.1)

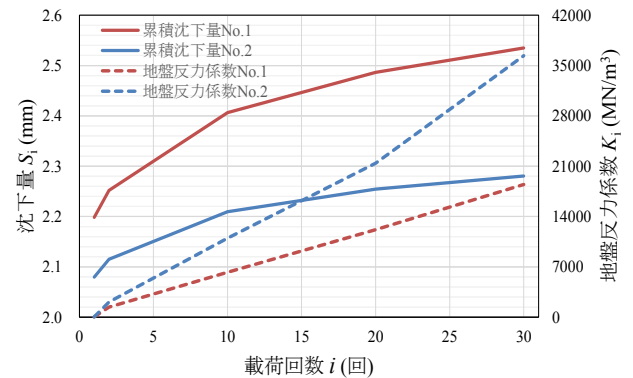


図 5 載荷回数 i と沈下量 S_i 、地盤反力係数 K_i