

アウトリガ基礎にスクリー状短杭を与えた移動式クレーンの安定性に関する実験的考察

(独)産業安全研究所 玉手 聡, 有木高明
 ライト工業株式会社 ○見明啓吾
 武蔵工業大学工学部 片田敏行, 末政晃昇

1. はじめに

移動式クレーンの転倒には、機体を支えるアウトリガの沈下による原因が多く見られる。本研究ではアウトリガフーチングにスクリー状短杭を与えた基礎（以下、合成基礎と呼ぶ）の変位抑止による転倒防止効果を実験的に検討した。本報告では、得られた知見を述べる。

2. 合成基礎の支持力実験と引抜き実験

合成基礎の概要を図1に示す。合成基礎は、直径30mmの円形のフーチングに外径16mm、内径12mmのスクリー杭を取り付けたものであり、杭長は50mm、100mmの2種類である。フーチングの大きさは実機に対して約1/20である。

2.1 実験方法：最適含水比の関東ロームを静的に締固めて模型地盤を作製した。なお、作製においては、層厚が5cm毎に締固めを実施し、これを3回行って模型地盤に15cmの層厚を与えた。表1に地盤条件と実験条件を示す。合成基礎には、59Nの一定鉛直荷重を与えると同時に、6rpmで回転させながら模型地盤に貫入設置した。鉛直荷重はクレーン車の自重を縮尺換算した値である。回転速度は、貫入時にスリップの発生が少ない条件を調査した結果得られた実験値である。合成基礎を貫入設置した後に、支持力実験と引抜き実験を実施した。実験時に与えた変位速度は2mm/minである。

表1 支持力, 引抜き実験条件

Case	file	载荷 方向	模型地盤の状態		杭形状(mm)		極限支持力 q_{ub} 最大引抜き抵抗 q_{ep} (N)
			締固め圧 (kPa)	含水比 (%)	杭長	杭径	
Cs1	c15b	押	147	105	直接基礎	16	208
	s15b	押			50		279
	L15b	押			100		461
	s15p	引			50		98
	L15p	引			100		278
Cs2	c30b	押	294	105	直接基礎	16	370
	s30b	押			50		387
	L30b	押			100		621
	s30p	引			50		118
	L30p	引			100		382
Cs3	c05b	押	49	105	直接基礎	16	93
	s05b	押			50		124
	L05b	押			100		260
	s05p	引			50		36
	L05p	引			100		108

2.2 実験結果：図2はCs1の実験で得られた荷重(q)と沈下比(s/D)の関係を示す。負の荷重値は引抜き抵抗力である。沈下比(s/D)とは、合成基礎の沈下量(s)をフーチング径(D)で除した値である。支持力実験の $q-s/D$ より、同一 s/D に対する q の値は、直接基礎に比べ合成基礎の方が高い。また、杭長の増加により支持力には、増加が見られる。L15b と s15b での極限支持力 q_{ub} ($s/D=0.1$ における第2限界抵抗力¹⁾) の差は約180Nである。合成基礎に対する引抜き実験においても杭長の違いにより最大引抜き抵抗力(q_{ep})に差が見られる。L15p と

s15pの差は約180Nであり、L15b と s15b の差にほぼ等しい。従って、杭長が異なる合成基礎の変位抑止力の差は杭周囲の面積の差による、摩擦力の合計の差と考えられる。

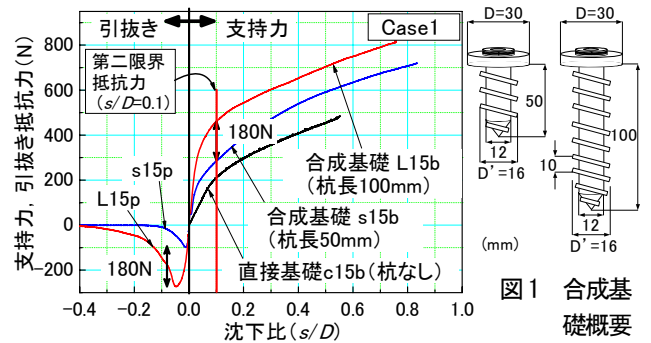


図2 Case1の支持力, 引抜き抵抗力

3. 支持力と引抜きの理論解析

3.1 解析方法：合成基礎の貫入設置時には、杭周囲の地盤が締固められる。従って、支持力と引抜き抵抗力の評価では、杭周囲の摩擦力増加を考慮する必要がある。理論解析では、Vesicが示した空洞膨張理論²⁾ならびに、その応用例として、安福らが示したテーパ杭の周面摩擦力の考え方³⁾を用いた。杭の周面摩擦力の検討では、その効果を図3に示す3つの部分に分けて考えた。L₁は杭下端のテーパ一部であり、深さ方向に対する半径の違いを考慮して周面摩擦力を計算し、その合計を求めた。L₂部は円柱部であり、L₁における周面摩擦力の最大値に面積を乗じて摩擦力を求めた。L₃部は周面摩擦力の発揮を無視した。その理由は、実験において貫入設置した合成基礎のL₃相当部に、土の締固まりが見られなかったためである。杭の周面摩擦力(f)は、式(1)で表される。

$$f = c + p_{uc} \tan \phi \quad (1)$$

ここで、 c :土の粘着力、 ϕ :土の内部摩擦角、 p_{uc} :杭を貫入する際に地盤を押し広げる膨張圧力を考慮した水平応力である。なお正規圧密状態では、式(1)の関係が式(2)の関係で近似できることを一面せん断試験によって確認している。

$$f = p_{uc} \tan \phi \quad (2) \quad p_{uc} = K \sigma_v \quad (3)$$

ここで σ_v は有効鉛直応力であり、本解析では σ_v は模型地盤作製時に与えた締固め圧力とした。 K は水平土圧係数であり、空洞膨張理論の解析法により求められる値である。なお、詳細は文献³⁾に譲る。支持力の解析値は、杭周囲の摩擦力の合計とフーチング部の支持力の和によって求めた。引抜き抵抗力の解析値は、杭周囲の摩擦力の合計である。

3.2 解析結果：極限支持力と最大引抜き抵抗力の解析値(q_a)と実験値(q_e)の比較を図5、図6に示す。なお、周面摩擦力の

効果を無視する L_3 部分の長さは、12mmとした。その理由は、 $L_3=12\text{mm}$ ，すなわち、杭の内径程度の場合に、 q_a が q_e に最も良く一致するとともに、実験時の杭における土の付着状況にも類似が見られたためである。（図4参照）極限支持力の実験値(q_{eb})と解析値(q_{ab})の比較を図5に示す。実験は、合成基礎の杭長に50mmと100mmの異なる長さを与えると共に、地盤の締め固め圧力が異なる条件を与えた。比較した条件では、 q_{eb} と q_{ab} に良い一致が見られる。また、同様に最大引抜き抵抗力の実験値(q_{ep})と解析値(q_{ap})の比較を図6に示すが、こちらにも良い一致が見られる。以上の検討より、杭上部に発生する周面摩擦力の非有効長 L_3 を適切に考慮することによって得られる解析値は、実験値にほぼ一致することがわかった。

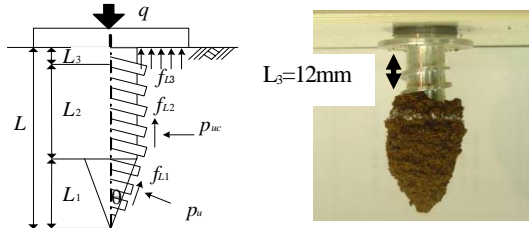


図3 支持力時の応力状態

図4 貫入後の土の締めまり

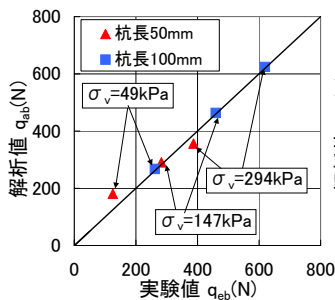


図5 支持力の解析結果

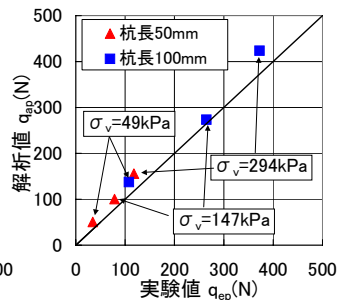


図6 引抜き力の解析結果

トリガの沈下は若干ではあるが抑止され、機体傾斜の発生が減少したことを意味する。さらに、転倒時のジブ起伏角と機体傾斜角の関係は、静的安定限界を超えた位置にあり、合成基礎は転倒抑止効果を有することがわかる。転倒時のジブ起伏角は、 θ_j にほぼ等しい。

図8は、遠心模型実験におけるジブ起伏角と安定度(S_f)の関係を示す。 S_f とは、安定モーメント(M_s)を転倒モーメント(M_d)で除した値であり、ジブの起伏角の減少により発生した機体傾斜角を考慮した値である。 S_f の値の減少がクレーンの不安定化を意味する。CT1は、ジブ起伏角52度の時に $S_f < 1$ となり転倒している。CT2, CT3の曲線はCT1に比べ、上方に位置する。CT2ではジブ起伏角42度の時に $S_f < 1$ となり転倒した。CT3ではCT2よりも全般的に S_f の値が大きい。ジブ起伏角39度の時に S_f が1付近になり、転倒した。以上の結果より、合成基礎は機体傾斜角の発生抑止効果が覆工板に比べて低いものの、後側アウトリガの引抜き力の発生により、覆工板と同等あるいはそれ以上の安定維持効果を発揮させることがわかった。

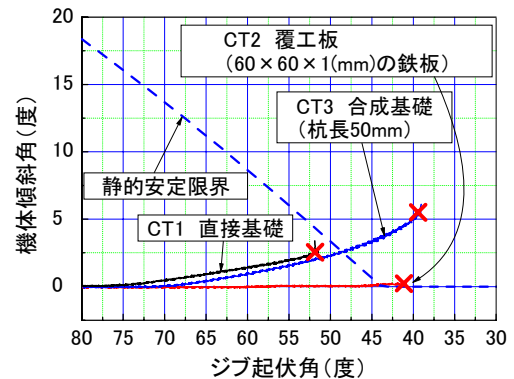


図7 静的安定限界と転倒時のジブ起伏角の関係

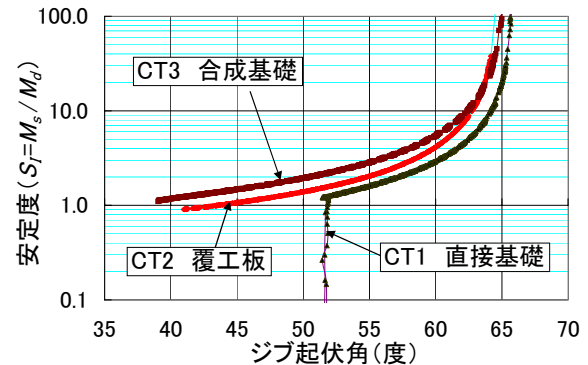


図8 クレーンの安定度

4. 遠心模型実験によるクレーン転倒実験

4.1 実験方法：1/20スケールの模型クレーンを用いて転倒実験を行った。本実験の目的は、異なるアウトリガ基礎が与えられたクレーンの転倒挙動と安定度を比較することである。

CT1は、アウトリガを地盤に直接設置したケースである。CT2は、地盤に覆工板模型を設置したケースである。CT3は、アウトリガに合成基礎を与えたケースである。クレーンに与えた吊り荷の質量は、ジブ起伏角が45度の時に、アウトリガの沈下なしで転倒する1660gである。このジブ起伏角を安定限界ジブ起伏角(θ)と呼ぶ。遠心加速度は16gに設定し、ジブ起伏角を80度から減少させることにより、転倒モーメントを増加させた。

4.2 実験結果：図7はクレーンの機体傾斜角とジブの起伏角の関係を示す。図中に示す点線は静的安定限界であり、アウトリガの沈下を考慮した安定限界の解析値である。CT1では、ジブ起伏角の減少に伴う機体傾斜角の増加が見られ、転倒は静的安定限界近傍で発生している。また、転倒時のジブ起伏角は、比較した3ケース中で最も大きい。すなわち、小さな転倒モーメントにより転倒している。覆工板を与えたCT2では、ジブ起伏角の減少に伴う機体傾斜角の発生は見られない。転倒は、ジブ起伏角がほぼ θ_j に達した時に発生している。CT3の曲線は、CT1の下方に位置するが、ほぼ一致した軌跡を示している。これは、合成基礎を与えることにより、前側アウ

5. まとめ

- ①合成基礎の支持力は、直接基礎よりも高くなることを確認した。また杭長の増加に伴い、支持力と引抜き抵抗力は共に増加することがわかった。
- ②空洞膨張理論を用いて、合成基礎の抵抗力を解析した結果、その解析値は実験値と良い一致が見られた。
- ③転倒実験より、合成基礎を与えたクレーンでは、覆工板と同等以上の転倒抑止効果が確認された。

参考文献：1)社団法人地盤工学会：杭の鉛直載荷試験方法・同解説，pp39-46，2002。
2)Vesic, A. S. : Expansion of cavities in infinite soil mass, J. Soil Mech. Fdn. Engng ASCE 98, SM3, pp.265-290, 1972. 3)安福規之，落合英俊，大嶺聖，馬場崎宗之助：地盤の圧縮性を考慮したテーパー状押し広げ杭の鉛直支持力の評価，第49回地盤工学シンポジウム，pp.133-140, 2004。