

(III-26) 地盤破壊が移動式クレーンの安定性に及ぼす影響

武蔵工業大学 学生員 呉屋圭俊

武蔵工業大学 正会員 末政直晃

労働省産業安全研究所 正会員 玉手 聡

1. はじめに

移動式クレーンは下部に走行体、上部に旋回体を有するつり荷機械である。つり荷作業時は通常、機体の四隅に備わるアウトリガーを張り出して機体を安定させる。しかしながら、アウトリガーが地盤にめり込むことに起因する転倒災害が多く発生している。そのため筆者らはアウトリガーの地盤へのめり込みが、クレーンの安定性に与える影響について検討を行っている。アウトリガーの沈下挙動（速度と沈下量）がクレーンの安定性に与える影響を理論的に解析した結果¹⁾、アウトリガーが急激に沈下する場合はゆっくりと沈下する場合に比べて大きく不安定化することがわかった。そのため実験的にアウトリガーの沈下挙動とクレーン機体の不安定化を検証するための模型クレーンを製作した²⁾。クレーン模型は遠心力载荷装置に搭載して実験を行う。転倒はクレーンのブーム角度を減少させることによって転倒モーメントを増加させて再現する^{3), 4)}。

本報告ではロームからなる一様な地盤とローム地盤の上部に固い表層が存在する2層地盤の2種類の地盤における転倒実験の結果を述べる。

2. ローム試料とセメント混合土の強度

実験に使用した土試料は関東ロームである。最適含水比(103%)に調整した試料を静的に締め固めて供試体を作製し、一軸圧縮試験を行った⁵⁾。その結果、ロームの圧縮強さは締め固め圧力に対してほぼ比例関係がみられ強度増加率(c_u/p)は0.21であった。2層地盤の表層部分はロームが固結乾燥して固くなった状態を想定しており、この強度はロームの一軸圧縮強さに対して7~8倍を目標とした。図1にロームに対するセメントの混合割合と一軸圧縮強さの関係を示す。使用したセメントは超早強セメントであり、

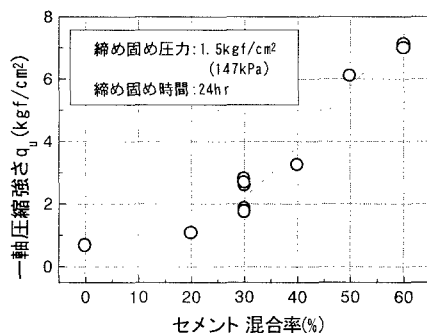


図1 ロームに対するセメント混合割合と一軸圧縮強さの関係

混合割合は最適含水比のロームと乾燥セメントの重量比である。一軸供試体はモールド内で1.5kgf/cm² (147kPa)で24時間静的に圧縮して締め固めて作製した。セメント混合割合に対する一軸圧縮強さは混合割合が30~50%において大きく強度が増加するが、0~30%では混合割合に対する強度増加は少ない傾向を示す。転倒実験にはロームの強度に比べて約9倍の強度を示す50%のセメント混合割合を使用した。

3. 転倒シミュレーション

3.1 模型地盤の作製

転倒実験に使用した土槽容器は上部開口部（縦×横）360×360mm、深さ210mmである。ローム地盤は試料を層厚5cm毎に分けて静的に1時間圧縮して締め固め、さらに全層で24時間圧縮した。出来上がりの地盤は厚さが15cmである。一方、2層地盤は層厚13.5cmのローム地盤を同様にして作製した後に、セメント混合土を投入して締め固め1.5cm厚の表層を設けた。この表層の厚さ(i)は模型のアウトリガーフロート(D)の直径3cmに対しての*i*/D=0.5である。

3.2 模型クレーンの準備

模型クレーンはつり上げ能力が20トン級のホイールクレーンの約1/20スケールであり、つり荷を除く模型重量は4.6kgf (45.08N)である(写真1)。機体を地盤上に支持するアウトリガーは機体の4隅に20cmの間隔で配置し(アウトリガー張り出し幅)、アウトリガーフロートを介して接地圧を伝達する。

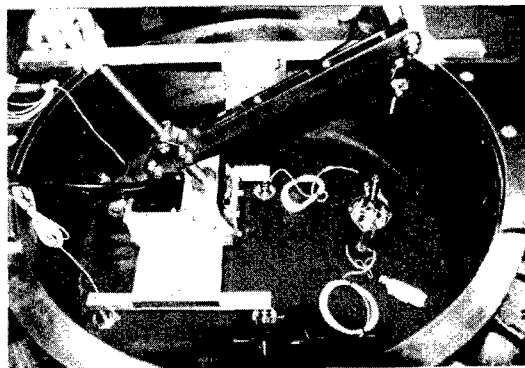


写真1 模型クレーンを土槽に設置する様子

この接地圧は20gの遠心力場において実機とほぼ同じレベルになる。荷を吊る腕の部分(ブーム)は100Wのサーボモータによって可動し、転倒はブーム角度を減少させることによって転倒モーメントを増加させて再現する。また、土槽にはCCDカメラを取り付けて、模型クレーンが転倒する様子を撮影する。また、遠心装置の回

移動式クレーン、地盤破壊、転倒、遠心模型実験、〒58-0087 東京都世田谷区玉堤 1-28-1 武蔵工業大学工学部 土木工学科地盤工学研究室 TEL&FAX 03-5707-2202

転によって発生する風が模型に与える影響を防止するために、アクリル製の風防を土槽上部に取り付けて実験を行う。

転倒実験はまずクレーン機体の幾何学的な条件(アウトリガーの張り出し幅、ブーム長等)を決定し、静的に吊ることができるブームの限界角度(限界ブーム角)とこの時のつり荷の質量(安定限界荷重)の関係を決定する。次に4つのアウトリガーに作用する荷重が平衡となるまでブーム角度を増加させる。この状態を転倒開始前の模型の初期状態とする。そして、模型を地盤に設置して計測機器を取り付けた後に遠心装置に搭載して所定の加速度まで上昇させる。一定の遠心力場において、遠隔操作によってブーム角度を減少させて転倒モーメントを発生させ、クレーンが転倒に至る動態挙動とこの時のアウトリガーに作用する荷重と沈下の挙動を調べる。

4. 実験結果の比較と考察

一様地盤と2層地盤について行ったCase 1とCase 2の転倒実験の条件を表1に示す。転倒モーメントの増加中に地盤が破壊する接地圧力を発生させるために、実験時の遠心加速度はそれぞれ異なり一様地盤では20g、2層地盤では30gとした。

図2は転倒の支点となるアウトリガーにおける荷重と沈下の様子を示す。荷重はフロートの面積で除して表し、沈下量はフロートの直径で除して無次元化した。実線で示す一様地盤の曲線は s/D が0~0.01の範囲で高い勾配を示すが、曲線の後半部は、載荷圧力の増分に対する沈下割合も増加し、緩やかな曲線を示す。遠心加速度が20gに到達した時のアウトリガーの荷重状態は緩やかな曲線上にあり、沈下量は約1.5mm($s/D=0.05$)である。ブームが下降して転倒モーメントが増加すると、アウトリガーに発生する荷重は増加し、沈下量も増大する。一方、2層地盤では固い表層の影響により曲線は上方に移動しており、同一沈下量における載荷圧力は大き

表1 クレーン模型の実験条件と結果

	Case 1(一様地盤)	Case 2(二層地盤)
ブーム長(cm)	50	60
つり荷の質量(g)	1560	980
限界ブーム角(度)	30	30
初期ブーム角(度)	65	65
転倒時ブーム角(度)	37.5	42.5
アウトリガー沈下量(mm)	13	25
地盤に対するブーム仰角	33.8	35.4

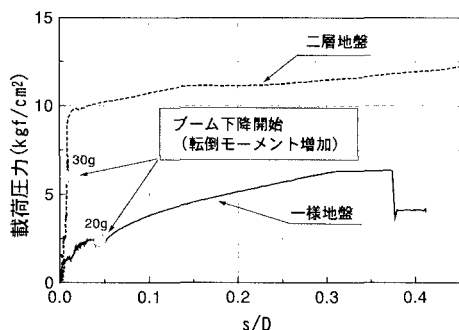


図2 一様地盤と2層地盤におけるアウトリガーの荷重と沈下の関係

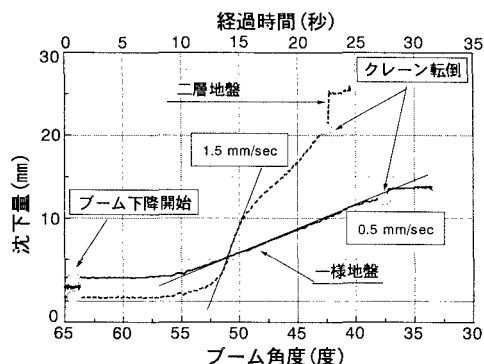


図3 ブーム角減少(転倒モーメント増加)時のアウトリガーの沈下挙動

くなっている。遠心加速度が30gに到達した時のアウトリガーの荷重状態は、曲線の初期の高い勾配上に位置しており、沈下はほとんど発生していない。ブームの下降に伴う作用荷重の増大によって地盤は降伏し荷重増分に対する沈下割合は増大する。

図3は模型クレーンが転倒に至るまでの沈下挙動を示す。上側の横軸に経過時間、下側はブームの角度を示す。ブーム角は初期状態である65度からほぼ一定速度で減少する。実線で示す一様地盤の沈下はブーム角が58度付近から沈下が発生している様子が分かる。一方、破線で示す2層地盤の沈下は、ブーム下降開始から約10秒後の55度付近から発生し、一様地盤のそれに比べてほぼ3倍の速度である。転倒時のブーム角度はCase 1が37.5度、Case 2が42.5度であり、2層地盤の方がより安定側のブーム角度で転倒した。しかしながら、この時のアウトリガー沈下量はCase 1に比べてCase 2の場合の方が多く、地盤に対する相対的なブーム仰角は両者ともほぼ同じとなった。そのため、今回の実験では、目的とした急激な沈下によって発生する慣性力が回転運動を引き起こして転倒する現象は確認することができなかった。今後、2層地盤の表層の厚さとセメント混合割合を変えた条件での実験を試みてさらに転倒する現象を調査する予定である。

<参考文献>

- 1) 高野裕亮, 末政直見, 片田敏行, 玉手 聡, 堀井宣幸, 石田直子: 地盤破壊による移動式クレーンの転倒に関する一考察, 地盤工学会第32回研究発表会講演集, pp. 2241~2242, 1997.
- 2) S. Tamate, N. Horii, Y. Toyosawa, N. Suemasa & Y. Takano: "Simulating the Overturning of Mobile Cranes due to Penetration of Outriggers", Proceeding of Centrifuge 98, pp. 901~906, 1998
- 3) 玉手 聡, 堀井宣幸, 豊澤康男, 末政直見, 片田敏行, 麓信太郎: 地盤破壊による移動式クレーンの転倒シミュレーション実験装置, 地盤工学会第33研究発表会講演集, pp. 1559~1560, 1998.
- 4) 川又健時, 玉手 聡, 末政直見: 遠心模型装置を用いた移動式クレーンの転倒実験, 地盤工学会第33研究発表会講演集, pp. 1561~1562, 1998.
- 5) 石田直子: 移動式クレーンの車の転倒事故防止に関する基礎的研究, 平成8年度武蔵工業大学卒業論文, pp. 91~100, 1997.