

Ⅲ-A459 基礎の沈下による移動式クレーンの転倒シミュレーション

労働省産業安全研究所 正会員○玉手 聡, 堀井宣幸, 豊澤康男
武蔵工業大学工学部 正会員 末政直晃, 片田敏行
武蔵工業大学工学部 学生員 呉屋圭俊

1. はじめに

移動式クレーンはつり荷作業時に機体の四隅に備わるアウトリガー(基礎)を張り出して安定させる。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。そのためアウトリガーの沈下(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調べている。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、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分かった¹⁾。そのためアウトリガーの沈下挙動とクレーン機体の不安定化を実験的に検証するための模型クレーンを製作し、遠心力载荷装置に搭載して実験を行っている²⁾。転倒はクレーンのブーム起伏角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⁾。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⁴⁾におけるクレーンの転倒挙動を述べる。

2. 模型地盤の作製

実験に使用した土試料は関東ロームである。上部開口部(縦×横 360×360mm、深さ 210mm)を有する土槽容器に最適含水比(103%)に調整したローム試料を層厚 5cm 毎に分けて 1.5kgf/cm²(147kPa)で静的に圧縮して締め固め、模型地盤を作製した。出来上がりの地盤層厚は 15cm である。一方、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た。固結乾燥した表層はロームとセメントの混合試料によって再現することを試みた⁵⁾。使用したセメントは超早強セメントであり、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 50%とし、1.5cm あるいは 3.0cm 厚の表層を設けた。この表層厚(t)は模型のアウトリガーフROOT(D)の直径 3cm に対しての t/D=0.5 及び 1.0 となる。一軸圧縮試験を行って調べた 1.5kgf/cm²(147kPa)で締め固めた供試体の圧縮強さ(q_u)は、ロームが 0.68kgf/cm²(67kPa)でありセメント混合土は 6.1kgf/cm²(598kPa)である。

3. 模型クレーンによる転倒シミュレーション

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 スケールである。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)、直径 3cm のアウトリガーフROOTを介して荷重を地盤に伝達する。

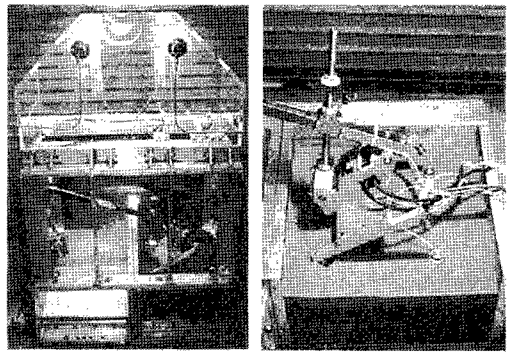


写真1 実験土槽に搭載した模型クレーン及び基礎(アウトリガー)が地盤にめり込んで転倒した模型の様子

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。ブーム(荷を吊る腕の部分)は 100W のサーボモータによって可動し、転倒はブーム起伏角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(写真1)。クレーン模型の実験条件は以下の通りである。ブーム長は 60cm であり、ブーム起伏角が 30 度における最大つり荷重量(限界荷重)9.6N(980g)を実験時のつり荷重量とした。転倒実験は初期のブーム起伏角を 65 度増加させて 4 箇所のアウトリガーに作用する荷重を平衡させる。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する。一定の遠心力場において、ブーム起伏角を減少させて転倒モーメントを発生させて転倒をシミュレートする。

Keywords ; 移動式クレーン, アウトリガー(基礎)の沈下, 転倒シミュレーション, 遠心模型実験
〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 Tel 0424(91)4512, Fax 0424(91)7846

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3ケースの実験条件を表1に示す。ブーム起伏角の減少中(転倒モーメントの増加中)に、転倒支点となるアウトリガーの接地圧が地盤の降伏点を越えさせるために、実験時の遠心加速度はそれぞれ異なる。

表 1 クレーン模型の実験条件と結果

地盤構成	Case 1	Case 2	Case 3
遠心加速度(g)	17	38	52
固結表層厚/フーチング径	0	0.5	1.0
転倒時ブーム起伏角(度)	37.5	44.0	46.5
アウトリガー沈下量(mm)	7	18	19
(上転倒時、下:最終)	10	21	54
最大沈下速度(mm/sec)	0.2	4.5	43.3
最大傾斜角速度(度/sec)	0.06	1.30	12.31
転倒時の機体傾斜角(度)	2.0	5.2	5.4
転倒時の地盤に対するブーム仰角(度)	35.5	38.8	41.1

図1は模型クレーンが転倒に至るまでの機体傾斜角とブーム起伏角の関係を示す。機体傾斜角はアウトリガーの張り出し幅に対する沈下量の関係から求めた。上側の横軸に経過時間、下側はブーム起伏角を示す。図中に示す○印はブーム起伏角の減少開始時を示す。△印は転倒支点と反対側のアウトリガー接地荷重がゼロの時を示し、この時を仮想転倒と定義する。また、◎印はクレーンの転倒挙動の停止時を示す。Case1 の一様地盤におけるアウトリガーの沈下はブーム起伏角の減少とともにアウトリガーが沈下し機体は傾斜した。転倒時の沈下量は7mm($s/D=0.35$)であり、機体傾斜角は2.0度である。沈下速度は約0.2mm/secでほぼ一定である。転倒時のブーム起伏角は37.5度であり静的な限界ブーム起伏角30度に比べて7.5度大きい。アウトリガーの沈下による機体の傾斜を考慮して算出したブームと地盤の相対角度は35.5度であり、実験結果は静的転倒条件である30度に比べて安定な条件で転倒したことを示す。一方、Case2 においては、ブーム下降開始から約16秒後の55度付近においてアウトリガーの沈下が発生し、その速度は一様地盤に比べて約22倍を示す。また、Case3 では約26秒後のブーム起伏角47度において急激に50mmの沈下を生じ、機体は5.4度傾斜し転倒に至った。急激な沈下を示すCase3 は19mmの沈下時点で仮想転倒しており、この時のブーム起伏角は46.5度である。ブームと地盤の相対角度は41.1度あり、Case1 の35.5度に比べてさらに大きい。

図中に示す静的安定限界と動的安定限界は理論解析によって求めた転倒に必要な機体傾斜角とブーム起伏角の関係を示す。静的安定限界はクレーンの静的な釣り合いから転倒に必要なアウトリガー沈下量を算出し、ブーム起伏角と機体傾斜角の関係で整理した。一方、動的安定限界は、つり荷側

アウトリガーの急激な沈下によるクレーンの転倒を衝突の理論によって解析した。急激なアウトリガーの沈下は自由落下を仮定し、落下による位置エネルギーが運動エネルギーに変換され、さらに沈下したアウトリガーを支点とする回転運動のエネルギーに変換されると仮定した。解析法の詳細は既報²⁾に譲り、解析結果と実験結果を比較する。図中に示す静的安定限界と動的安定限界を比較すると転倒に必要な機体傾斜角には約4倍の差異がある。Case1 及び Case2 の仮想転倒時の機体傾斜角(Δ 印)は静的安定限界の近傍に位置し、両者は静的な不安定化によって転倒に至ったことがわかる。一方、Case3 の仮想転倒はCase1 及び Case2 に比べてより下方に位置し、静的な転倒に必要な機体傾斜角に比べて少ない角度で転倒したことを示す。よってCase3 では、クレーンは静的な不安定化に加えて動的な不安定化によって転倒したと考えられる。加えて、急激な沈下の発生によってクレーンは既に仮想転倒以前に転倒条件を満たす状態にあった可能性がある。地盤破壊によるアウトリガーの沈下挙動の違いによって、クレーンは動的に不安定化する可能性があることが実験的に確認できた。

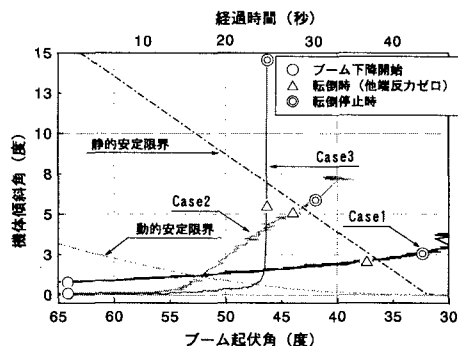


図 1 アウトリガーの沈下による模型クレーン転倒時のブーム起伏角と機体傾斜角の関係

<参考文献>

- 1) 玉手 聡, 堀井宜幸, 豊澤康男, 末政直見, 片田敏行, 高野裕亮: 支持地盤の不安定性が移動式クレーンの転倒に及ぼす影響, 土木学会論文集 No.596/Ⅲ-43, pp.163~174, 1998.
- 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, 堀井宜幸, 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) 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.
- 5) 玉手 聡, 堀井宜幸, 豊澤康男, 末政直見, 片田敏行, 呉屋圭俊: 急激な基礎の沈下による移動式クレーンの転倒実験(投稿中), 地盤工学会第34研究発表会講演集, 1999