

移動式クレーンの地盤工学的転倒危険度の評価法に関する実験的考察

独立行政法人産業安全研究所 正会員 ○玉手 聡
武蔵工業大学工学部 正会員 末政直見, 片田敏行

1. はじめに

ホイールクレーンやトラッククレーンなどの移動式クレーンはアウトリガによって作業中の機体を安定させる。しかし、アウトリガが支持地盤に沈下することによる転倒災害が多く発生している¹⁾。クレーン等安全規則では、支持地盤が水平堅固であることを前提とし、考慮されている安全率は主に機体側の安定性に関するものである。そのため、支持地盤の不安定要因に起因した転倒災害を防止するためには、あらかじめ調査された地盤の荷重-沈下特性とクレーンの機体条件及び作業条件を考慮して転倒危険性を評価し、対策を講ずる必要がある。本報告は、これまでに筆者らが実施した遠心模型実験による移動式クレーンの転倒シミュレーション²⁾により得られた結果をもとに、転倒危険度の事前評価法を検討したので、その結果を述べる。

2. 遠心模型実験による転倒シミュレーションの概要

移動式クレーンの転倒に及ぼす地盤工学的な不安定要因の解明を目的に、遠心模型実験を行った(図-1)。本実験では、強度と沈下特性が異なる模型地盤に、1/20スケールのクレーン模型を設置して転倒を再現した(写真-1)。また転倒実験は、クレーン模型のジブ長、ジブ起伏角並びにつり荷の重さの組み合わせを変えることにより、異なるモーメント条件においても実施された。実験より得られた移動式クレーンの運動学的安定限界時のアウトリガ沈下量(s_r)と理論解析的に得られた静的安定限界時の沈下量(s_s)の比により不安定指標($I_r = s_r/s_s$)を定義した。この I_r の値は通常0から1の間に分布し、その値が小さいほどクレーンは動的に不安定化したことを意味する。調査の結果、モーメント条件の違いが I_r におよぼす影響は、非常に少ないことが分かった。しかし、支持地盤の沈下挙動の違いは I_r の値を大きく左右することが分かった。つまり、支持地盤の脆性的な破壊は急激なアウトリガの沈下を発生させ、移動式クレーンを大きく不安定化させたのである。そのため、破壊性状が脆性的な支持地盤は、それが延性的な地盤に比べて高い転倒危険性を有することが分かった。



写真-1 実験容器に搭載されたクレーン模型(左)とアウトリガが地盤に沈下して転倒した模型の様子(右)

3. 転倒危険度の検討

移動式クレーンの転倒危険性は、支持地盤への載荷圧力条件と沈下条件の2つを考慮して評価される必要がある。載荷圧力条件は地盤破壊危険度(r_p)³⁾により表すことができる。 r_p は作業中の移動式クレーンが地盤に載荷する最大圧力(p_a)と支持地盤の降伏支持力(p_y)の関係により表され、その関係を式(1)に示す。

$$r_p = \frac{p_a}{p_y} \quad (1)$$

ここで、 r_p は1を越えると転倒の危険性が高い。

次に、支持地盤の沈下条件に関する危険度を検討する。静的沈下危険度(r_s)を、載荷圧力 p_a に対する沈下量 s_a と静的安定限界の沈下量 s_s の関係により定義し、その関係は式(2)によって表される。

$$r_s = \frac{s_a}{s_s} \quad (2)$$

移動式クレーンの転倒危険度(D)は、地盤破壊危険度(r_p)と静的沈下危険度(r_s)の最大値に依存するものと定義し、その関係は式(3)によって表される。

$$D = \max(r_p, r_s) \quad (3)$$

しかしながら、支持地盤が脆性的に破壊してアウトリガが急激に沈下すると、移動式クレーンは動的に不安定化することが、実験的解析により確認された。そのため沈下条件は、運動学的安定限界を考慮して評価される必要がある。そこで、運動学的沈下危険度⁴⁾(r_s')を導入した。 r_s' は、 s_a と運動学的安定限界の沈下量(s_r)の関係で定義し、その関係を式(4)に示す。

$$r_s' = \frac{s_a}{s_r} \quad (4)$$

$$= \frac{r_s}{I_r}$$

ここで、 I_r は不安定指標である。

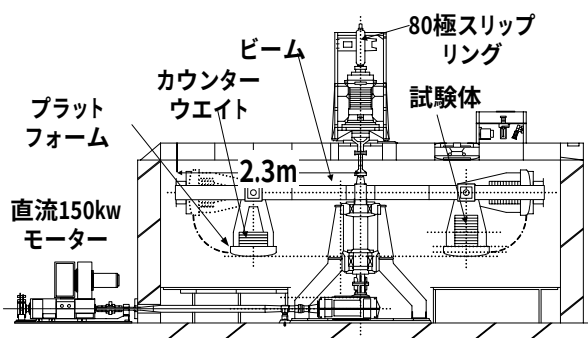


図-1 遠心模型実験装置の概要

Keywords ; 移動式クレーン, 転倒事故, アウトリガ (基礎) の沈下, 転倒危険度の評価法

〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 Tel 0424(91)4512, Fax 0424(91)7846

従って、移動式クレーンの転倒危険度(D)は、式(3)の r_s を r_s' に置き換えて、式(5)によって表される。

$$D = \max(r_p, r_s') \quad (5)$$

ここで $r_s' > r_p$ の条件の時、 r_p と r_s の比を整理すると、式(6)の関係が得られる。

$$\begin{aligned} \frac{r_p}{r_s} &= \frac{p_a/p_y}{s_a/s_s} \\ &= K_0 \times \frac{s_s}{p_y} \end{aligned} \quad (6)$$

ただし、 p_a は $p_a < p_y$ の条件であり、この時の p_a/s_a は初期接線勾配(K_0)に等しいと仮定する。

式(6)を式(4)に代入すると、 r_s' は式(7)で表される。

$$r_s' = f \times r_p \quad (7)$$

ただし、

$$f = \frac{K_s}{I_r K_0} \quad (8)$$

$$K_s = \frac{p_y}{s_s} \quad (9)$$

である。

よって $f > 1$ の時は、 r_s' が D を左右する。

4. 実験結果による転倒危険度の検討事例

支持地盤の脆性的な破壊によるアウトリガの沈下挙動と不安定指標(I_r)の関係を検討する。支持地盤の沈下特性を表す指標として、式(10)に示す脆性沈下指標(R_E)を定義した。

$$R_E = \frac{K_0}{K_y} \quad (10)$$

ここで、 K_y は降伏後の接線勾配である。

実験より得られた R_E と I_r の関係を図-2に示す。常用対数で表した R_E と不安定指標(I_r)の関係には、 $R_E > 20$ の範囲において、 I_r はほぼ直線的に減少する傾向が見られ、その関係は式(11)によって近似することができた。

$$I_r = a \log R_E + b \quad (11)$$

ここで、 a と b は任意の係数であり、本実験では $a = -0.31$ 、 $b = 1.43$ と計算された。 a と b の値は、移動式クレーンの種類や規模及び地盤条件に依存する固有のものと考えられる。今回参考とした移動式クレーンに関する転倒危険度(D)を検討する。 $K_s = K_0$ を仮定すると、 $I_r \leq 1$ の場合は、 $r_s' \geq r_p$ となる。よって、 D が r_s' に依存する場合は、式(12)によってその関係が表される。

$$\begin{aligned} D &= r_s' \\ &= f \times r_p \\ &= \frac{r_p}{-0.31 \log R_E + 1.43} \end{aligned} \quad (12)$$

図-3は、式(1)に示した r_p が $2/3$ と $1/3$ の場合の D と R_E の関係を示す。載荷圧力が降伏支持力の $2/3$ 程度の場合は、 R_E が約 300 以上で D が 1 を上回り危険となる結果を示す。一方、 r_p が $1/3$ の場合は、 D がほぼ全般的に 1 以下であり、 D に及ぼす沈下条件の影響は低いことがわかる。

$D > 1$ の場合は転倒を防止するための対策が必要となる。その対策の一つとしては、アウトリガの接地面積

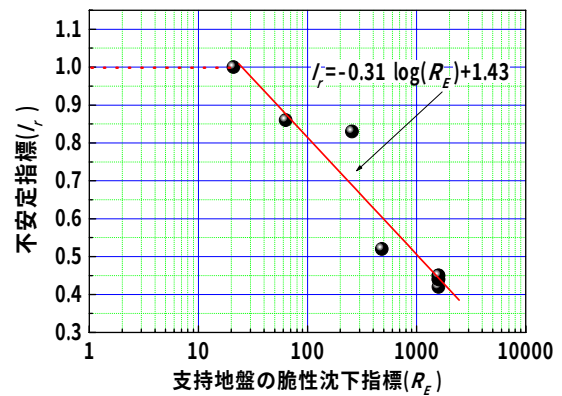


図-2 移動式クレーンの不安定指標(I_r)と脆性沈下指標(R_E)の関係

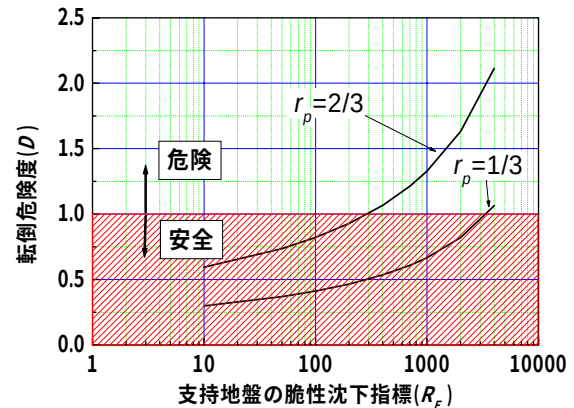


図-3 転倒危険度(D)と脆性沈下指標(R_E)の関係に及ぼす地盤破壊危険度(r_p)の影響

を増大させて載荷圧力を減少させる方法が考えられる。その理由は、 r_p の低下により r_s' が式(7)の関係から低下され、式(5)に示す D が 1 以下にできるためである。他の対策としては、 $D < 1$ の条件となるように、定格荷重を下方修正することが考えられる。つり上げ作業の制限により、アウトリガに作用する最大荷重は減少し、 r_p を同様に低下できる。これらの対策の結果、支持地盤の不安定化による転倒は防止されると考えられる。

5. 結論

転倒実験から得られた地盤の荷重沈下特性から脆性沈下指標(R_E)を定義して、 R_E と不安定指標(I_r)の関係を調査した。その結果、 $R_E > 20$ の範囲において R_E の常用対数と I_r の間には、ほぼ直線関係が得られた。移動式クレーンの転倒危険度(D)を、地盤破壊危険度(r_p)と運動学的沈下危険度(r_s')の最大値によって評価することを提案した。 D が 1 以上の場合には、支持地盤の強度不足あるいは沈下性状に起因した転倒危険性が高いため、何らかの転倒防止対策を行う必要があると考えられる。

<参考文献>

- 1) 玉手 聡, 堀井宣幸, 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) 玉手 聡, 堀井宣幸, 豊澤康男, 末政直見, 片田敏行: 支持地盤のめり込み破壊による移動式クレーン転倒メカニズムの実験的解析, 安全工学 Vol.40, No.3, pp.178~186, 2001.
- 3) 深川良一, 室 達朗, 加藤祐理, 森田悠紀雄: 地盤破壊を考慮したクレーン車の転倒条件, 土木学会論文集, 第504号/VI-25, pp.61~70, 1994.
- 4) 玉手 聡, 末政直見, 片田敏行: 支持地盤の脆性的破壊沈下による移動式クレーンの転倒危険性, 土木学会論文集 No.729/III-62, pp.131~144, 2003.