

移動式クレーン等の安定設置に必要な地耐力条件

(独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 正会員 ○玉手 聡, 堀 智仁

1. はじめに

現場に移動式クレーンや大型建設機械を直接設置する場合には、まず、地盤が載荷圧力に対して支持可能な「強さ」を有しているか確認することが必要である。これに加えて、載荷に伴って発生する沈下が安定性を左右する重要な条件となるため「沈下量」についても確認する必要がある。これは、張り出したアウトリガー相互で異なった沈下(不同沈下)が生じると機体が傾斜するためである。機体傾斜は転倒モーメントを増加させると同時に安定モーメントも減少させることから機体を不安定化させる。したがって、移動式クレーン等を安定設置するためには「強さ」に関する地盤支持力のみを照査するだけでなく、発生する「沈下量」も許容値内に収まっているか照査する必要がある。この「強さ」と「沈下量」の両方を考慮した指標が地耐力であり、本稿では転倒防止に必要な地耐力について考察する^{1),2)}。

2. 移動式クレーンの安定要件

図1はアウトリガーフロート部の載荷圧力-沈下量関係が異なる模型地盤において、移動式クレーンの転倒を再現する実験³⁾から得られた地盤破壊危険度 r_p と沈下比 r_s の関係を示す。 r_p は式(1)のように載荷圧力 p_a を極限支持力 q_d で除した値であり、後述する支持力安全率 F_s の逆数である。 r_s は式(2)のように沈下量 S を静的安定限界におけるアウトリガー沈下量の解析値 S_s で除した値である。

$$r_p = \frac{p_a}{q_d} \quad (1) \quad r_s = \frac{S}{S_s} \quad (2)$$

$r_p < 1$, すなわち屈曲前の部分では r_s が0.01程度と非常に小さく、この範囲では r_p の差によって発生する沈下量の差は非常に小さい。したがって、アウトリガーの接地圧力が $r_p < 1$ を満足するようコントロールすることによって機体傾斜は十分小さく収められる。しかしながら、 $r_p > 1$ では r_s に増加が生じ、さらに r_p 増分に対する r_s 増加は3つの曲線で大きく異なって再現されている。この差は土の強さと地盤構造の違いより発生したもののだが沈下の照査ではこの差を考慮する必要がある。

CT_1(一様ローム地盤)では、屈曲後の傾きが3つの

中で最も大きい。 $r_p > 1$ では r_p 増加に対する r_s 増加が見られ、緩慢な沈下によって機体は静的に不安定化した。逆解析して求めた運動学的安定限界(図中の◎)は静的安定限界($r_s=1$)とほぼ一致している。一方、CT_3(表層固結地盤)では屈曲後の曲線はほぼ水平となって r_s は増加しており、アウトリガーは急激に沈下して転倒に至っている。これは支持地盤が降伏した直後にアウトリガーは急激に沈下しており、それによって回転運動エネルギーが急増して転倒したことを意味する。この時の沈下速度の実測値から求めた運動学的安定限界(◎)の値は約0.45であった。この模型地盤は軟弱な土の上部に硬い層が堆積した2層地盤であるが、このような地盤は表層が乾燥固結した場合やセメント安定処理された現場で見られる条件である。そのため、急激な沈下も

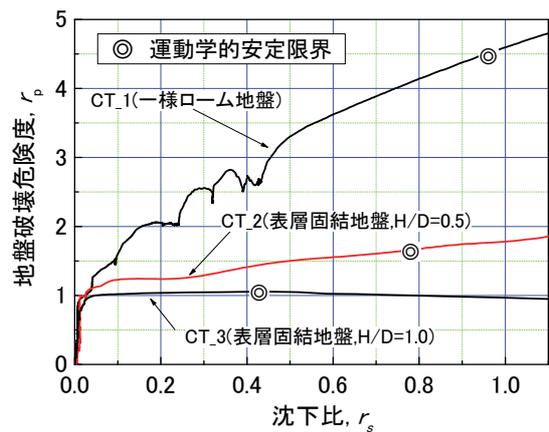


図1 異なる設置地盤での転倒実験から得られた地盤破壊危険度(r_p)と沈下比(r_s)の関係

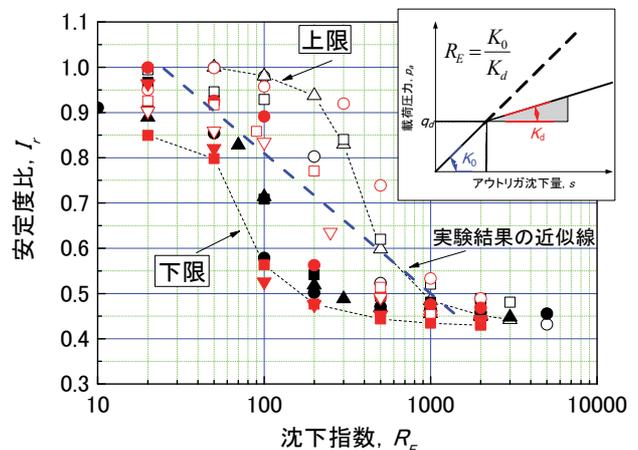


図2 数値解析と遠心場転倒実験による I_r と R_f の関係

キーワード 転倒事故, 地耐力, 移動式クレーン, 建設機械

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園 1-4-6 (独)労働者健康安全機構 労働安全衛生総合研究所 TEL 042-424-4512(代)

起こりうる現象と考えられる。したがって、屈曲後の r_p - r_s 関係は移動式クレーンの安定を大きく左右するものであり、特に、急激な沈下が発生する地盤では限界沈下量が減少することから注意が必要である。

3. 沈下の急激さを考慮した支持力安全率

急激な沈下が生じる地盤では緩慢な沈下の地盤に比べて転倒危険性は高くなることから、支持地盤の沈下特性を表す指標として式(3)の沈下指数(R_E)と式(4)の I_r を定義し両パラメータの関係を調査した。

$$R_E = \frac{K_0}{K_d} \quad (3) \quad I_r = \frac{\theta_t}{\theta_s} \quad (4)$$

ここで、 K_0 は図 2 中に示すようにアウトリガーの載荷圧力-沈下比関係に表れる屈曲点の前の接線勾配であり、 K_d は屈曲後の接線勾配である。 θ_t は静的安定限界の時の機体傾斜角であり、 θ_s は運動学的に転倒を満足した時の機体傾斜角である。

図 2 は転倒実験と数値解析から求めた安定度比 I_r と沈下指数 R_E の関係を示し、 I_r の値が小さいほど動的に不安定化したことを意味する。同図中に示した直線は遠心模型実験³⁾で確認した転倒限界の近似線である。 $R_E > 20$ の範囲において、 I_r はほぼ直線的に減少する傾向を示す。プロットした数値解析の結果からも、 I_r は R_E に対して減少する傾向が共通して現れている。数値解析の詳細は既報³⁾に譲るが、解析の条件は地盤条件とクレーン条件を種々に組み合わせたものである。地盤条件には K_0 、 K_d ならびに q_d をパラメータとし、クレーン条件にはジブ長さやつり荷の質量などを変えている。特に、クレーン条件では異なる転倒モーメントとジブ起伏角の関係も異なるように組み合わせた条件も調査した。各解析結果から $R_E > 1000$ では I_r が約 0.45 に収束することが示され、この値は転倒実験の最小値とほぼ一致している。したがって、移動式クレーンの安定度比 I_r の下限値は地盤条件とクレーン条件によらず約 0.45 と考えられる。一方、 I_r の減少が顕著となる R_E の値は地盤条件とクレーン条件によって差が見られ、 $R_E = 20$ では I_r が 0.85 から 1 に分布する。同一 R_E に対して異なった I_r が導かれた理由は K_0 が小さい条件では移動式クレーンが初期傾斜するために沈下増加する前に機体はわずかに不安定化したためである。

以上のことから、 I_r の値はアウトリガーの限界沈下量比として置き換えて考えることができ、急激にアウトリガーが沈下する地盤では、静的限界の 0.45 倍程度の

少ない沈下で転倒条件を満足する。このような地盤では限界沈下量の減少を考慮して支持力安全率 F_s の閾値 SR を調整する必要がある。

F_s は式(5)で定義され、設置地盤に働く載荷圧力 p_a に対する極限支持力 q_d の比で表される。そして、 F_s は SR との比較から式(6)のように照査するが、安全の余裕はこの値を変えることによって調整できる。

$$F_s = \frac{q_d}{p_a} \quad (5) \quad F_s > SR \quad (6)$$

工事マニュアル等⁴⁾では移動式クレーン等の設置に際し、 F_s を照査する SR の値は 1.5 とするものが多い。しかしながら、この値は緩慢な沈下を前提とした静的転倒に対する安全の余裕とみられることから、急激な沈下が生じる地盤に対しても静的沈下時と同レベルの安全の余裕を確保するためには SR 値を増加させる必要がある。この点に関して、急激な沈下による転倒では I_r の値が 0.45 程度まで減少することが解析的に明らかとなったことから、これを式(7)のように計算するとその修正値である SR' は約 3 となる。この安全率の値「3」は構造物の基礎設計における長期的な安全率の値や道路橋示方書の設計値と同じである。

$$SR' = \frac{SR}{I_r} = \frac{1.5}{0.45} \doteq 3 \quad (7)$$

4. まとめ

移動式クレーンの転倒防止のためには、まず地盤の「強さ」と「沈下量」の両方を含めた指標である地耐力を確認することが大切であり、この地耐力は支持力安全率 F_s によって定量的に確かめることが必要である。さらに、機体の安定性は「沈下量」のみでなく「沈下のしかた」すなわち発生する沈下が緩慢なのか急激なのかその「沈下速度」に左右される。したがって、設置前の調査から緩慢な沈下が予想される場合は $F_s > 1.5$ によって照査してよいが急激な沈下の可能性がある場合や沈下速度が不明な場合は $F_s > 3.0$ にすべきと考えられる。

参考文献

- 1) 玉手聡：移動式クレーンの安定設置に必要な地盤の支持力要件，産業安全研究所安全資料，NIIS-SD-NO.22(2006)，2006。
- 2) 玉手聡，堀智仁：大型建設機械の不安定性と転倒防止のための安全要件，労働安全衛生総合研究所安全資料，JNIOOSH-SD-NO.28(2010)，2011。
- 3) 玉手聡，末政直晃，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。
- 4) (一社)日本建設機械化協会：移動式クレーン，杭打機等の支持地盤養生マニュアル，pp.23-27，2000。