ジャッキや杭打機の転倒事故原因について
－構造安定問題の観点から－

北海学園大学名誉教授　　フェロー　○当麻　庄司

１．目的

ジャッキ，杭打機およびクレーン等の転倒事故に関して，著者は先にその原因に構造安定問題が関係している可能性を指摘した[1)]．しかし，その後も同種の事故が多く発生しているため，ここでは改めてこの問題を取り上げ，事故防止のために関係者の注意を喚起することにする．構造安定問題の代表例は柱や梁の座屈であり，これらはわが国の大学の専門教育課程に組み込まれ，技術者はよく理解していると思われる．しかし，特に土木系では骨組みや剛体-ばね系の不安定問題を系統立てて取り上げている大学は多くなく，また道路橋示方書等の設計基準においてもこの点に関する規則や解説が少なく，わが国の技術者の盲点になっていることが事故の背景にあるとの疑念がある．米国の大学院では「Structural Stability」が構造系の１科目として設けられ構造安定問題を系統的に学んでいるが，日本の大学では土木系と建築系の構造教育が分かれて場合が多く，この分野の教育の弱点となっている．

構造不安定から生じる事故は，ほとんどの場合何の予知もなく突然に構造物が転倒または崩壊するため，重大な損害結果を伴う．これまでの転倒事故の原因分析では，転倒モーメントが抵抗モーメントを上回った場合に生じるとして，なぜそのような転倒モーメントが生じたのかについて多くの検討が進められてきた．しかし，構造不安定問題では，たとえ転倒モーメントが全くゼロであっても荷重が限界値に到達すると転倒するということである．この点に技術者の認識が届いて施工計画を立てない限り，同様な事故は繰り返されることが懸念される．

２．剛体-ばね系の限界荷重

構造安定問題として扱うとき，その構造モデルは図１に示すように考えられる．ジャッキ，杭打機およびクレーン等の機械類は剛体とみなし，その剛体が地盤上または台座上に設置されている，すなわち，その支持形式は回転ばねとみなすことができる．この剛体-ばね系の構造モデルでは，不安定となる限界荷重が存在し，それは次式で与えられる[2)]．

$$P_{cr} = \frac{K_S}{L} \qquad (1)$$

ここに，P_{cr}＝限界荷重，K_s＝回転ばね定数，

L＝ばね支持から荷重までの高さ

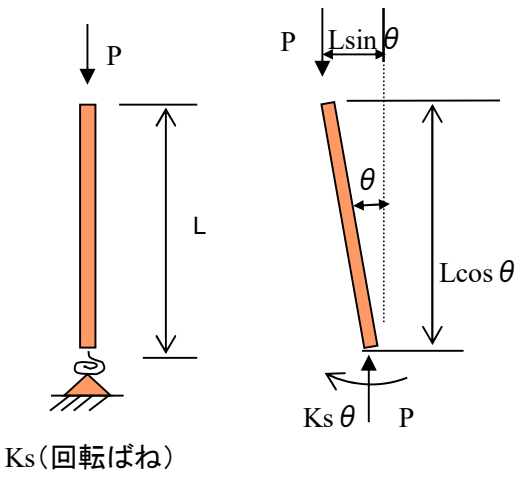

図１　剛体 - ばね系の構造モデル

式（１）から，当然ながら転倒に大きく影響する要素として地盤や台座の剛性（K_s）があるが，さらに荷重の作用高さ（L）も関係しており，これらのことから杭打機などの重心の高い構造物は転倒しやすいことが容易に理解できる．ここで注目すべきことは，この限界荷重式（１）において通常転倒するために必要と思われる水平力や転倒モーメントの作用とは関係がないという点である．一般に，構造物が転倒するという事故の原因として，水平力や偏心による転倒モーメントが働いたはずだという思い込みがある．しかし，この種の構造不安定は，たとえ完全に直立の剛体が鉛直に荷重を受けたとしても，すなわち転倒モーメントが作用していなくても生じるのである．すなわち，いかに構造物を直立に保持していようが式（１）の限界荷重において不安定状態に陥り，もはや制御不可能になる．

キーワード：転倒事故，ジャッキの転倒，杭打機の転倒，クレーンの転倒，構造安定，構造不安定
連絡先　　：〒064-0914　札幌市中央区南 14 条西 5 丁目 1-30-1201　　TEL 011-531-6390

３．ジャッキの転倒事故に対する考察

橋梁建設時に，橋けたを支持するジャッキが転倒する事故はこれまで何回か起きている．代表的な例としては，1997 年に起きた道央道千歳ジャンクションの手延べ桁落下事故や最近では 2015 年に北海道木古内で発生したやはり仮設桁の落下事故がある．これらの仮設桁は複数のジャッキで支えられ，これらの間で同期をとりながらジャッキアップあるいはダウンを行う．昔は複数のジャッキ間で機械的に同期をとることが難しく，荷重の偏りによる転倒防止のために横方向に倒れ止めの支えを設けていた．しかし，最近ではジャッキのコンピューター制御が発達して荷重制御や変位制御による同期操作が可能になってきたため，横方向の支持装置を設けないケースが出てきたことも背景にあると思われる．

ジャッキは通常Ｈ鋼等による鋼材組で構成された台座の上に置かれ，複数機で上部にある橋桁等を支える．その点からこの問題は骨組みの安定問題に類せられる．構造上，桁を支持するジャッキの上部はヒンジであり，下部は回転ばね支持である．そして，支えられている桁が横方向に支持されておらず自由であれば，この構造系は各ジャッキ１本ずつ独立と考えることができ，すなわち図１で示す剛体-ばね系のモデルと等価であるとみなすことができる．台座の支持が固定支持であれば当然転倒は生じないが，ジャッキの支持能力は非常に大きいため，この台座は強固に見えても実際は回転ばね支持でしかありえない．また，ジャッキの下部は比較的面積が小さいため固定支持にすることは難しい．そして，ジャッキの高さと相まって式（１）を満足した時に，転倒モーメントはゼロであっても転倒は予兆なしに突然起こる．この種の事故を防ぐには，あらかじめ転倒することを予想して，横方向に転倒防止の支持装置の設置が必須である．

４．杭打機・クレーンの転倒事故に対する考察

杭打機やクレーンの転倒事故の原因については，大抵の場合，①過大な張り出しや吊り荷重のために転倒モーメントが抵抗モーメントを上回ったとすることや，②地盤が弱くて傾いた，としている．このうち，①のケースは原因究明として比較的簡単であるが，ここで問題とするのは②のケースであり，実際事故状況の写真を見るとアウトリガーが地面にめり込んだりして軟弱地盤を示すことも多い．軟弱地盤の場合，当然式（１）における回転ばね定数 Ks の値は小さく，転倒する限界荷重も小さくなる．特に，杭打機は重心が高く，これは式（１）における荷重高さ L が大きいことを意味する．

問題は，この時転倒に至る傾きの始まりが限界荷重に達している（構造不安定状態）ためか，あるいは地盤の支持に偏りができたためか，判りにくいことである．この見極めは難しくどちらともいえないのが実態であろうが，構造不安定によるという可能性も十分に考えられる．この構造不安定の場合，杭打機やクレーンがたとえまっすぐに立っていたとしても自然に傾いていくという現象が生じる．したがって，担当者はいくら細心の注意を払って機械の直立を保持していても傾き始めるのである．担当者はこのことを意識の中に入れて対処していかなければならない．

６．結語

これまで，ジャッキや杭打機の転倒が起こる度に，筆者は構造安定問題が絡んでいるのではないかという疑念をもってきた．しかし，筆者は残念ながらこれらの事故の詳細なデータをもち得ないがために具体的に数量的な検討ができておらず，ここでの持論は推測の域でしかない．しかし，これまでの事故関連の記事や報告をみる限り，構造安定問題をこれらの転倒事故原因から排除できるだけの根拠に対する説明がなされていなく，むしろ想定外におかれているのではないかと思われる．

参考文献

１）当麻庄司：移動式クレーン等の転倒事故原因に関する一考察，平成 13 年度土木学会北海道支部論文報告集第 58 号，pp.62-65.

２）W.F. Chen and E.M. Lui: Structural Stability, Theory and Implementation, Chapter 1 General Principles, Elsevier, 1987.