

ジャッキ等の転倒事故の素因について

大起コンサルタント（株）フェロー 當麻 庄司

1. 目的

筆者はこれまで移動式クレーン、杭打機およびジャッキの転倒事故は、構造不安定問題の観点から幅広く検討する必要があると提唱してきた^{1) 2)}。相継ぐこれらの転倒事故の原因には、共通して構造不安定問題が背景にあると考えられる。構造物の転倒原因は（１）転倒モーメント＞抵抗モーメントの場合、（２）座屈等による構造的な不安定、の二つに分類される。（２）の場合、極論すれば転倒モーメントがゼロでも不安定となり得る、すなわち構造的に転倒する限界荷重（固有値）が存在する。これまでの事故原因調査では主として（１）に重点が置かれ、（２）の観点からの考察はあまりしてこられなかった。

一般に、事故には根本的な原因となる素因ときっかけ（トリガー）となる誘因とがある。これまでの事故原因の究明では、上記（１）の視点から水平力等による転倒モーメントの解明に努めてきた。しかし、1991年に発生した広島新交通システム橋桁落下事故は、H鋼を縦組みしたことによる（２）の構造不安定が素因であると周知されている。構造不安定現象として柱、梁、板等の座屈はよく知られているが、骨組み等の構造不安定現象は幅が広く複雑である。広島新交通システムの事故は柱の座屈問題と解釈されているが、実際には剛体であるジャッキとH鋼組みの柱に支持された門型フレームの不安定問題と考えた方が合理的である。

ここでは、2015年6月に起こった函館江差自動車道の木古内町大坪沢川橋のジャッキ転倒事故を例にとって、構造不安定が素因であるとして捉え考察する。また、そのことによって他のクレーンや杭打機の転倒事故にも共通の素因であることの可能性を示すことにする。

2. 仮設桁の支持構造モデルー門型フレームー

大坪沢川橋の事故当時、ジャッキが架設桁を支えていた状況を図1に示す³⁾。これを単純な構造モデルで示すと、図2のような門型フレームと考えられる。すなわち、ジャッキは剛体とみなし、その剛体が地盤上または台座上に設置され、その支持形式は回転ばねとみなすことができる。この門型フレームが横方向に拘束されていないとすれば、この時の限界荷重は図3の剛体-ばね系の簡単な柱モデルで与えられる。

3. 剛体-ばね系の限界荷重

図3に示した剛体-ばね系の構造には、柱の弾性座屈と同様に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⁴⁾。

$$P_{cr} = \frac{K_s}{L} \quad (1)$$

ここに、 P_{cr} =限界荷重、 K_s =回転ばね定数、 L =荷重の作用高さ

式（１）は弾性柱のオイラー荷重と同様な限界荷重である。式（１）によれば、ジャッキが不安定になる限界荷重はジャッキの長さ（荷重高さ） L と支持基盤（回転ばね）の剛性 K_s の2要素から決まる。すなわち、橋桁を持ち上げるためにジャッキを伸ばすほど転倒の危険度が増し、支持基盤の回転ばね剛性が小さいほど転倒しやすくなる。より厳密な原因究明には、弾塑性域での回転ばね剛性の検討が必要であろう。

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、橋梁事故、構造不安定

連絡先：〒064-0810 札幌市中央区南10条西6丁目4-7-2 TEL 011-312-2299

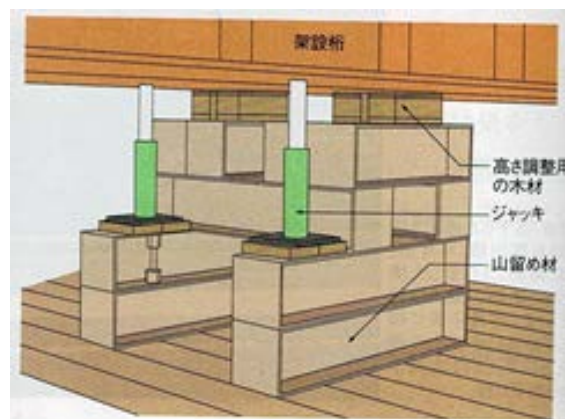


図1 ジャッキの架設桁支持状態³⁾

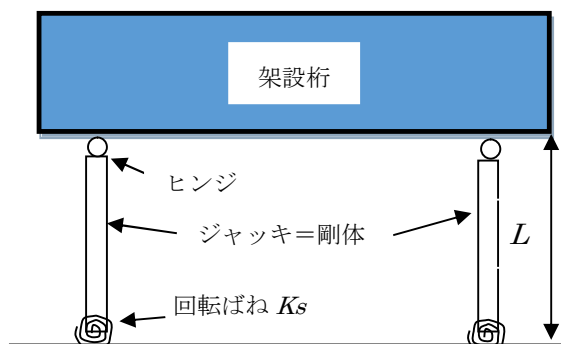


図2 全体構造モデルー門型フレームー

4. ジャッキの転倒原因に対する考察

文献³⁾によれば、事故当時ジャッキは架設桁を持ち上げるためストロークを伸ばした状態にあり、荷重の作用高さは大きかったと思われる。また、事故原因については特に決定的な要因は認められなかったが、いくつかの関連する要因、例えば門構台車上で架設桁の固定が緩かった等が挙げられている。そして、図1の支持基盤からみれば回転ばねの剛性はあらゆる方向に固定に近いとはいえない、架設桁は変位拘束のない不安定な状態にあったようである。これらのことから、仮設桁は橋軸方向にも橋軸直角方向にも図2のような横拘束のない門型フレーム構造であったと考えられる。

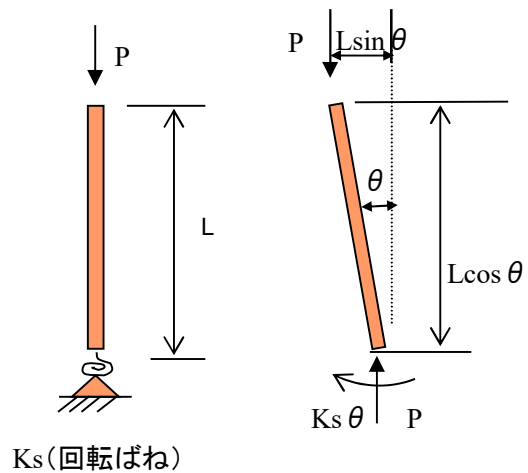


図3 剛体 - ばね系の構造モデル

当初、何らかの水平力あるいは不安定現象により橋軸方向にジャッキは傾いた。修正後、再度ジャッキアップしたときに変位モードが変わり、最終的には横拘束の最も弱い橋軸直角方向にジャッキは転倒したと考えることができる。ジャッキが転倒した後、支持基盤であった H 鋼による山留材が激しく倒壊していることはこの支持基盤部が不安定であり、ジャッキの支持が回転ばねであったことの形跡であるようにも思われる。

このように事故原因を分析すると、同様なジャッキの転倒による橋桁落下事故の広島新交通システム（1991）、道央道千歳ジャンクション（1997）、そして新名神で相次いだ有馬川橋と余野川橋（2016）等においても類似な現象が見られる。より精確な構造モデルとしては、ジャッキの剛体部分と H 鋼組み部との複合柱から成る門型フレームと考えることができる。その場合、H 鋼組の柱部分を単純化して剛体とみなした式（1）の限界荷重は、危険側の値ではあるが十分信頼性のある耐荷力の指標となる。

5. その他一杭打機・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、大抵の場合転倒モーメント > 抵抗モーメントの観点から、①過大な張出しと吊り荷重のため、②地盤が弱かった、等としている。このうち、①のケースは原因究明として比較的単純であるが、ここで問題とするのは②のケースである。軟弱地盤の場合、式（1）における回転ばね定数 K_s の値が小さく、また特に杭打機は荷重高さ L が大きいことから構造的に不安定な状態にある。この種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（転倒モーメントがゼロ）としても自然に傾いていくという現象が生じる可能性がある。いくら細心の注意を払い機械の直立を保持していても傾き始めるのである。現在の杭打機やクレーンの安全基準には、上記①と②の要因内で転倒モーメントしか考慮されていないのではないかとと思われる。事故の素因をなくすためには、少なくともこれら重機の転倒安全率の中に、構造不安定の知見からくる作用荷重（重心）の高さの要素を取り入れなければならないと考える。

6. 結語

これまで、ジャッキや杭打機・クレーン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^{1) 2)}。しかし、転倒事故関連の記事や報告をみる限り、転倒モーメントの源となる水平力等の解明に主眼を置いており、ここで述べたような座屈と同じ構造不安定問題は想定外におかれているように思われる。相継ぐこの種の転倒事故をなくすためには、構造不安定の要素も転倒の根本的な素因になり得るという観点も考慮に入れて原因究明を行う必要があると考える。

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) 当麻庄司：ジャッキや杭打機の転倒事故原因について一構造安定問題の観点から一平成 28 年度土木学会全国大会講演概要集，I-525。 3) 日経コンストラクション：事故事例（1）架設桁落下，ジャッキが傾きバランス崩す，2016. 10. 10，pp. 40-43。 4) W.F. Chen and E.M. Lui: Structural Stability, Theory and Implementation, Chapter 1 General Principles, Elsevier, 1987。