

フロアクライミング型タワークレーンの地震時共振回避策の検討

産業安全研究所 正会員 吉見 雅行

1. はじめに

フロアクライミング型タワークレーン（図1）は中・高層建物の工事に使用されるクレーンであり，自力でフロアクライミングすることを特徴とする．通常，建物上部の梁にマスト基部を固定して使用されるため，地震時には建物により増幅された地震動を受ける．クレーンと建物の固有周期が重なると，共振によって被害を受ける可能性が高い．建物の固有周期は建設工事の進捗にしたがい変化するので，共振を回避するためには，建設工事の進捗にあわせた対策が必要である．

2. 検討する共振回避策の考え方¹⁾

当該クレーンのマスト高さは可変であるという特性を利用し，構造物の特性に合わせて，マスト高さを変えて共振を回避する．作業性の観点から，マストは高い方がよいため，初期状態ではマスト高さは最大自立高さであるとする．建物の固有周期が近接したときに，マスト高さを 倍（ < 1 ）に変更し，クレーンの基部転倒モーメントを小さく抑えることを考える．

建物の地震時応答が調和振動であるとするれば，建物最上部での加速度応答は次のようになる．

$$\ddot{y} = ae^{i(2\pi t/T_s + \phi)}$$

このとき，クレーンの応答加速度は，

$$A_a = aH(T_c/T_s) \quad \text{ただし, } H(T_c/T_s) = \frac{\sqrt{1+4h^2(T_c/T_s)^2}}{\sqrt{\{1-(T_c/T_s)^2\}^2 + 4h^2(T_c/T_s)^2}}$$

となる．ここで，クレーンの基部転倒モーメントを基準としてマスト高さの変更時期を決定することを考える．最適対策時にはマスト高さ変更前後の基部転倒モーメントが等しい，すなわち

$$A_a(T_{c0}/T_{sc})LW = A_a(\alpha^{3/2}T_{c0}/T_{sc})\alpha LW$$

とすると，最適対策時建物固有周期 T_{sc} は，

$$T_{sc} = T_{c0} \sqrt{\frac{\alpha^3 + \alpha}{\alpha + 1}}$$

となる．ただし， $\alpha^{1.5}T_c < T_{sc} < T_c$ であるものとする．また，クレーンは片持ち梁（質量なし）上に質点が載る1自由度系であるとした（固有周期は L_c の1.5乗に比例）．

3. 計算方法

高層建物（60階建て，完成時固有周期4秒）の建設過程の各段階におけるクレーンの地震応答を考える．建物は剪断弾性モデルとする．建物完成時の最上層と最下層との剛性比は10，全層が同じ床質量を持つとし，減衰定数はすべてのモードに対し0.02の一定値とする．モード応答を最大で8次モードまで重ね合わせ，建物の応答を求める．建物の建設階数とモード固有周期（1～3次）との関係を図2に示す．クレーンは片持ち梁上に質点が載る1自由度系とする．建設途上の各段階で，建物最上部にクレーンを設置するものとして，クレーンの地震応答を計算する．クレーンの質量は建物のそれに比べて小さいことから，建物最上部の地震応答振動がクレーンへの入力振動であるとする．

考察対象のクレーンは，最大自立高さ36m（1本6mの部材6本で構成），最大自立時の固有周期3.0秒^{2,3)}とする．作業性を考慮し，マスト高さは18m未満にはしないものとする．表1にマスト高さおよび固有周期，最適対策時建物固有周期 T_{sc} を示す．

キーワード クレーン，地震応答，共振

連絡先 〒204-0024 東京都清瀬市梅園1-4-6（独）産業安全研究所機械システム研究安全G TEL 0424-91-4512

4. 時刻歴解析結果および考察

建物の1次固有周期が T_{sc} となるときにマスト高さを低くするものとする。建物モデルへの入力地震動は、道路橋示方書のレベル1地震動の加速度応答スペクトルに適合する模擬地震動とする。図3に模擬地震動波形および加速度応答スペクトルを示す。図4にマスト高さ36mで一定の場合、および、マスト高さをそれぞれ18m, 24m, 30mに変更する場合の、クレーン基部転倒モーメントと建物の階数との関係を示す。図4より、建物階数が増すにしたがい、基部転倒モーメントは急激に増大する傾向がある。マスト高さ36mの場合には階数40-50の範囲で基部転倒モーメントが共振により増大する。この共振を回避するためには、マスト高さを24mに変更するのが有効であることがわかる。18mに変更する場合には、階数45で建物の2次モードと共振する。24mマストでは、階数55以上では2次モードによる共振の影響がみられる。この傾向は、他の模擬地震動に対しても共通していた。したがって、建物の高次モードの影響も取り入れる必要があるが、本手法はおおむね有効であるといえる。高次モードの影響が大きいのは、クレーン設置位置を最上階と仮定したことも原因である。

平坦なスペクトルの地震動を考慮する限りは、この手法で共振を避けることができると考えられる。しかし、実際の地震動は表層地盤の影響や震源過程・伝播経路の影響を受け、特定の周期帯が増幅したものとなるので注意が必要である。

参考文献

- 1) 吉見雅行(2003), フロアクライミングクレーンの耐震性能向上手法の一検討, 第6回地震時保有耐力法に基づく橋梁等構造の耐震設計に関するシンポジウム講演論文集, pp.359-362
- 2) 高梨成次ら(2000), 実機建設用タワークレーンの振動特性, 産業安全研究所特別研究報告, pp.17-25
- 3) 大幡勝利ら(2000), タワークレーン模型の振動実験, 産業安全研究所特別研究報告, pp. 27-32

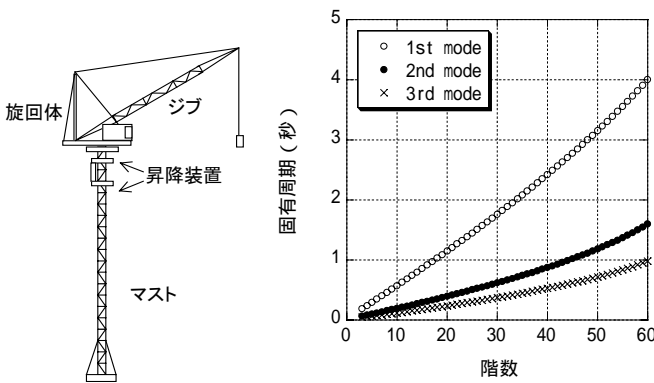


図1 クレーン概略図 図2 建物階数とモード固有周期

表1 マスト高さ, 固有周期, 最適対策時建物固有周期

マスト高さ L (m)	18	24	30	36
高さ比	0.50	0.67	0.83	1.0
固有周期 (秒)	1.06	1.63	2.28	3.0
マスト高変更周期 T_{sc} (秒)	1.94	2.28	2.63	-

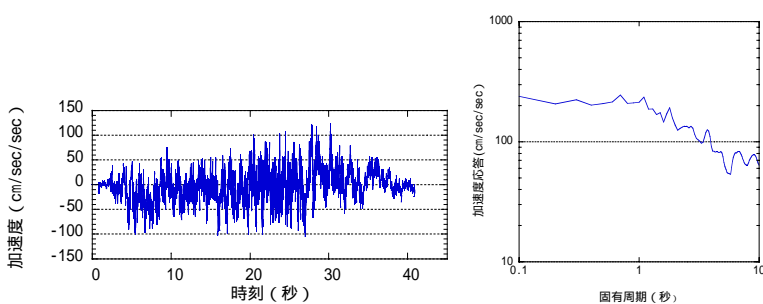


図3 模擬地震動波形および加速度応答スペクトル

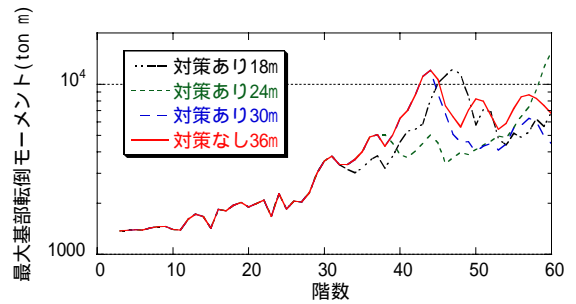


図4 基部転倒モーメントと階数との関係