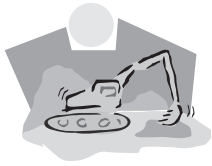


## 建設紀行



# スカイツリー 未知の高さへの挑戦

## 超高層建設工事における揚重機械の安全への取り組み

椎名 肖一

国内では、300 m を超す超高層建設は未知の高さでの施工となり、新タワー建設が決まってからは未知の環境下での揚重計画のリスクを想定し、現場でいかに安全に作業ができ、生産性を向上させ、安心して使用できる揚重装置を提供すべく検討を重ねてきた。ここでは東京スカイツリー®を例にタワークレーン作業に関する各装置を紹介する。

キーワード：超高層建設、タワークレーン、旋回アシスト、ジブ煽り防止、スカイジャスター

### 1. はじめに

東京スカイツリー®建設は、国内初の300 m を超える建設物で、未知の環境下での作業には、仮設計画、揚重計画においても様々な問題が発生する。リスクとしては、主に高さ、風、地震の3つの要素が大きく影響する。500 m 超に設置されるタワークレーン（以下、TC）は、現行のクレーン構造規格（以下、ク規格）を満たすだけでは安全が確保されたとは言い難く、実環境での風、地震の影響をできるだけ正確に再現し、TCの強度を検証する必要がある。

今回は、実際の施工に大いに貢献した各種安全装置について紹介する。

### 2. 高さへの挑戦

TCを設置するにあたり、高さに対して有利なフロアクライミング方式を採用した。しかしながらタワーの塔体は高くなるほど細くなるので、TCを設置できるのは限られたスペースで、台数は第一展望台が完成するまでは3台がベストな選択であった。第一展望台完成後は、375 m の展望台屋上に1台追加して、荷揚げ専用機2台、375 m 以上の鉄骨建て方用2台の計4台で施工することとした。

375 m までのTCは、限られたスペース内をフロアクライミングするため、通常の台座では大きすぎるのでクライミング空間形状に合わせた特殊台座が必要となり、耐風、地震強度を考慮した特殊台座を製作し使用してきた。

375 m の第一展望台までの建て方で活躍したTCは揚程420 m の能力を有し、30 t の吊り荷を10分程度で400 m 揚重する。巻きドラムウインチには、吊り荷を絶対に落とさない思想から、二重三重の非常ブレーキを備え、安全を期した。

375 m 以上の建て方で、先に述べたように2台の荷揚げ専用機と2台の建て方用専用機のペアで作業を行うのは、1台のTCで500 m を揚重する非効率な作業を回避し、TC仕様を必要以上に過大装備せずすむためである。

2台の建て方用TCはタワー塔内に設置できないため、375 m 展望台屋上からマストクライミング方式により約120 m の高さを塔体からの水平控えに支えられて背を伸ばしてゆく。

幅40 cm、長さ約13 m の支えはクレーン運転士の通勤路でもある。最上部では地上500 m 付近のこの細い支えの上を渡って運転室へと登って行く。TCを訪れる技術屋にとっては、スリルを味わい、度胸を試される一瞬である。

### 3. 風への備え

地上500 m でのTCの耐風安全性は、ク規格での風荷重に風洞実験による風力係数の割増と数値解析手法による超高層構造物の影響係数を加味して検討した。これらの結果により今回対策すべき課題が見えてきた。

ク規格では、地上で55 m/sec の風速は地上500 m では85 m/sec に相当する。過去の観察記録では、富

士山頂で最大瞬間風速 91 m/sec が記録されているが、実際の TC でそこまでの対応はできないまでも、500 m 高所で作業中に突然発生する突風には十分な対策が必要である。

### (1) 作業時煽り防止装置

作業時に TC が空荷の状態でも正面から突風を受けるとジブは煽られて大変危険である。この現象が発生すると大型フックが大きく揺られ、周辺鉄骨、資材、作業員への接触、更にジブ折損、倒壊に至る重大な災害へと直結する。地上 500 m での突風と構造物にあたって回り込む風の影響を加味すると、ジブを破損させる恐れのある突風の発生が予想される。地上高さが高いほどその出現頻度が上がり、なおかつ作業時間帯に大きな突風の発生する確率が高い。このため作業時におけるジブの煽り防止のための安全対策が必要と判断した。

この課題を解決するには、作業時も常にジブをワイヤーで緊張し、張力を調整しながらジブが煽られるのを防ぐ装置を取り付けた。ジブを伏せている時は低張力で、起こしての作業時は高張力で管理できるようにした。

この煽り防止機構により複雑な形状の超高層建築特有な風に対して TC 作業時の安全を確保できた。オペレータからも揚重作業が安心してできるとの声を聞くことができた。写真一 1 に煽り防止機構を示す。



写真一 1 煽り防止装置

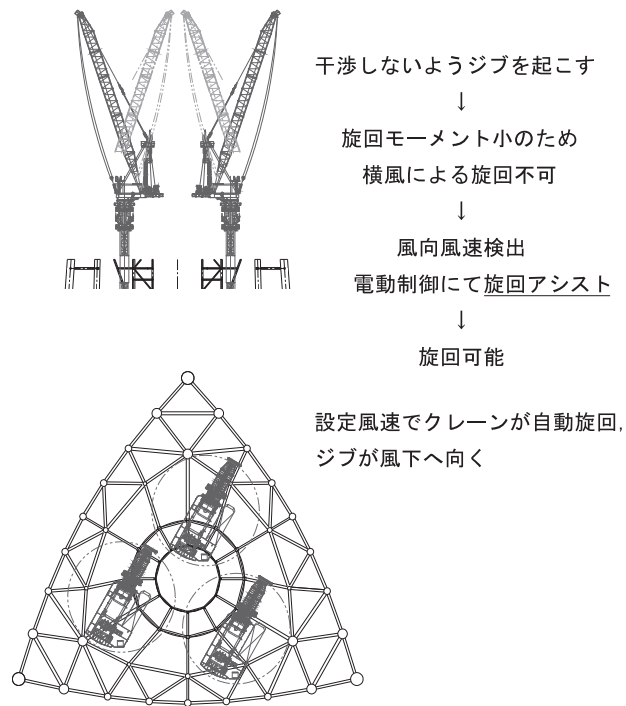
### (2) 暴風時への備え ～旋回アシスト装置～

TC の強風対策、台風対策は一般的にジブを伏せて旋回ブレーキを開放し、暴風が吹いた時に風見鶏のようにジブが風下に向くように待機する。TC が風下に向けて旋回するのは、ジブを伏せることで横風による TC 本体の回転モーメントが大きく生ずることに起因

する。

ところが東京スカイツリーのように TC 同士が近接して配置されていたり、既存構造物が近接している場合はジブを伏せて旋回することはできず、暴風時の養生対策は、人と時間を掛ける大掛かりなものとなる。

東京スカイツリーでは、375 m の建て方までは図一 1 に示すように 3 台の TC が密集して配置されている。強風・台風時にジブを伏せてしまうとお互いの TC ジブが衝突しジブの折損が生じる。3 台のジブが衝突しないようにジブを起こすと、回転モーメントが小さくなりジブが風下を向かなくなるだけでなく、ジブが風に煽られて、損傷、倒壊の恐れが生じる。台風の年間平均上陸回数は 2～3 個、接近回数は 10 回程度と言われている。東京スカイツリー建設中 TC は 2 年近く設置されているため、数回の台風直撃は避けられないと想定した。



図一 1 暴風対応

また、クレーン作業は平均風速 10 m/sec 以上で中止としなければならないが、地上 500 m 以上では風速 30～40 m/sec の強風の出現回数もかなりの頻度が予想され、作業を中断し待機せざるを得ない日数が多くなると予想された。

これらの状況を踏まえ、3 台のジブが旋回しても接触せず、ジブを起こした状態でも風下を向く機構が必要と考えた。なおかつ養生作業が簡単で、少人数で、短時間で安全に対応できる装置が望まれる。

この課題を解決すべく「旋回アシスト装置」を開発

し実用化した。暴風が予想される際に待機する場合、ジブを風下に向けて旋回アシスト装置を作動させると運転室屋根上に設置した風向風速計によって風向きを検知し、一定の風速以上で風向きが変わるとTCのジブが風下に向かい自動旋回するという装置である。この装置によりジブの起伏角度に関わらずTCの旋回が可能となる。強風・台風対策が簡易となり、一般の高層建築、狭小現場、近接工事等々の揚重配置計画の自由度を実現し、ジブ損傷の発生を妨げるものである。

劇場型建設現場として世間の注目を集める東京スカイツリーでは、TCのジブが全てそろって同じ方向を向いて待機している姿が話題となっていた。時々でジブがそろって向く方角は異なるにしても、全てのTCが同じ方向を向いていることが、TVのクイズ番組の問題にだされたりもした。一般の方々も細かい所に気がつくものだと感心させられた。現場周辺の道を歩いていると常に大勢の見学者がおられて、これだけ注目されていることを目の当たりにすると施工会社の一員としてうれしくもこの事業の偉大さ、その責任の重さを感じる次第である。

### (3) 吊り荷揚重作業の安全、作業効率向上への挑戦 ～スカイジャスターの開発～

高性能吊荷方向制御装置「スカイジャスター」(以下、SJ)は、近年、建築物の超高層化や鉄骨重量の増加に伴い大型TCの採用が増加している中で、当社で保有するジャイロ原理を利用した吊荷方向制御装置の要素技術を用い、大型TCで使用可能な高性能高能力の装置を開発する目的から生まれた装置である。この装置がまさに東京スカイツリーの鉄骨建て方、展望台軒天パネルの取り付け作業等、超高層環境下での吊り荷の風対策、高精度位置決め作業に大いに役立つものとして、2台の装置を投入した。

東京スカイツリーの建設では、複雑な形状の塔体を回り込んだ風の影響を受けやすく、高さが高くなれば強風が発生しやすい。ユニット化された荷や、足場やネットを張った鉄骨は、突風に吹かれると空中でぐるぐる回りだし重量の重いものは止まりにくい。揚重された30tの荷が取り付け位置で回転していると人の手で止めることはできず、危険でどうすることもできない。200mを超える頃からは、強風により作業のできない日が増加すると予想され、作業可能な日の作業効率の向上が現場の生産性向上に大きく関わってくる。

SJは高速回転するフライホイールをジンバルモータにより左右に傾転させることで発生するジャイロモーメントによりフライホイールが水平方向に回転す



写真-2 SJ-125型

る力を得ることを利用し、空中で吊り荷を自在に水平回転させることができる装置である(写真-2)。

今回現場で活躍したSJ-125型は、吊り荷の慣性モーメント $125\text{ t}\cdot\text{m}^2$ まで対応し、約30tの吊り荷が揚重中に風により回転しだし人の手では止めることのできない状況でも安全に回転を止め、取り付けべき吊り荷の方向を制御し、高度な位置決めを可能とした。

TCのオペレータの腕も超一級であることに加え、SJにより超高層での作業の安全性、作業効率の向上が図られ、現場作業の生産性向上に大きく寄与したものである。弋職人やオペレータからの意見を反映し改善しながら作り上げたものが高い評価を得ることができた。

## 4. 地震への備え

地震に対する備えは誰しも一番の関心を示す重大な課題である。鉄骨塔体の地上375mにベースを据え、特異な設置条件下で作業を行うTCについて従来のク規格のみの検討にとどめず、設置条件を考慮した検討を重ねた。

### (1) 検討方針

一般的な仮設計画の際に使用される地震時の水平力は0.2G(約200gal)である。ク規格においても地震時には同値の規定が定められている。風荷重と同様にク規格では600m級の人口構造物の上にクレーンが設置されていることは想定されていない。応答解析によるクレーン耐震設計指針が検討され始めたが、概案が公表された程度にすぎない。

東京スカイツリーでは、本体鉄骨との連成挙動を含めた詳細な地震時挙動を把握するため、過去の地震波

による応答解析に基づいた検討を行った。

## (2) 解析結果

応答解析の結果から TC の各クライミング STEP 検討毎の最も安全な自立高さを決定した。しかしながらジブ端部の最大加速度応答値、マスト基部あるいはステー位置での最大層剪断力係数は比較的大きく、ク規格の静的 0.2 G と比較して過大な値であった。

このことから TC の自立高さの調整を行ってもマストの強度が不足することが判明し、この強度を満足するために従来にはない断面性能を向上させた強化マストを採用した。

また、マストクライミング機の最終レベル（運転室高さ 500 m レベル）では、クレーン旋回体上部の振動エネルギーを半減させるオイルダンパーを取り付けた。動作計測値を検証することで、これらの対策の有効性と今後の活用の有効な資料となり、現場施工に役立ててゆくものである。

## 5. おわりに

今回、東京スカイツリーという高さ世界一の自立式電波塔建設に携わる機会を得たことは、幸運であり、貴重な時間を得ることができたと感じている。

施工計画の段階から過去にない環境下での大プロジェクトにいかにか安全で安心できる揚重設備を提供できるか、無事故無災害で工事を遂行するための機械装置を提供できるかを念頭に検討を重ねてきた。

建設業においてクレーン・重機事故は重大な災害に直結するため、クレーン等関連災害を未然に防止することが重要な課題で、クレーン等に関する安全安心を確保するための努力は今後も一層重要性を増してくる。

今回は、超高層建設物の施工に際し超高層特有の問題がいろいろ提起された。耐風、耐震、高揚程等々の課題解決策を検討する中で、TC に関しここで紹介した装置以外にも今後水平展開が可能な技術が開発され実証された。

これらの技術は、今後の建設工事において揚重作業の工期安定化と安全性向上へ大いに貢献するだろう。

東京スカイツリーは 2011 年 12 月竣工を迎える予定であるが、最後まで全社一丸となり各課題をクリアし完成を目指すものである。

今後これらの技術が数多くの現場で成果を収め、生産性、安全性の向上に役立てば幸いである。

JICMA

### 【筆者紹介】

椎名 肖一（しいな しょういち）  
 ㈱大林組  
 機械部  
 技術第三課長

