

超高層建設における 大型タワークレーンの特殊装置

超高層建設への揚重技術のアプローチと展望

矢田 和也・椎名 肖一

300 m を超す超高層建設は未知の高さでの施工となり、仮設計画、揚重技術においても様々な問題が発生する。600 m 超に設置される仮設設備、タワークレーンなどは現行の設計基準を満たすだけで安全が確保されたとは言い難い。600 m 超の高所における揚重作業を安全に効率よく進めるために、新たな機能をタワークレーンに設ける必要があった。本事例では東京スカイツリー®を例にタワークレーン設置に関してのアプローチと要素技術の今後の展開について述べる。

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

1. はじめに

東京スカイツリー®建設に代表される超高層建築物は未知の高さでの施工となり、仮設計画、揚重技術においても様々な問題が発生する。600 m 超に設置される仮設設備、タワークレーン（以下、TC）などは現行の設計基準およびクレーン構造規格（以下、ク規格）を満たすだけで安全が確保されたとは言い難い。超高層建設における耐震・耐風に関する問題も統括して解決する必要がある。

本事例では、超高層建設における TC 設置に関してのアプローチと要素技術の今後の展開について述べる。また、吊荷方向制御装置「ジャピタス」の要素技術を基に、現在の技術で新たに開発した「スカイジャスター」について紹介する。

2. 技術概要

(1) 耐風対策

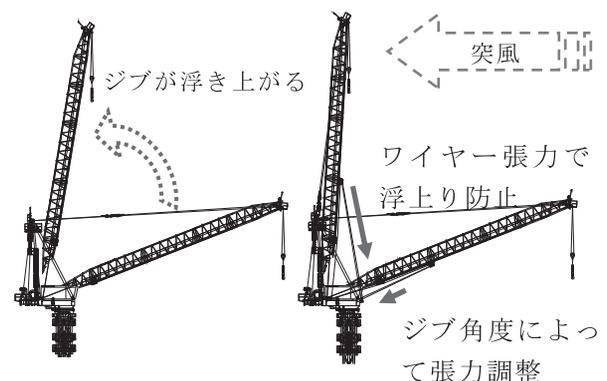
TC の耐風安全性は、風洞実験による風力係数（ク規格を下回る部位はク規格を採用）と、数値解析的手法による超高層構造物の影響係数を加味した、ク規格の風荷重算定法に従って確認することとした。これらの結果を用いて、TC に作用する風荷重が解明されると同時に、多くの問題が見えてきた。

①作業時対策 ～あおり防止装置～

作業時にクレーンが荷を吊らない状態で突風を受けるとジブがあおられることが判明した。この現象が発生すると、大型フックが大きく揺られ、周辺資材、鉄骨、

作業員への接触、そしてブームが折損、倒壊に至る重大災害へと直結する。地上 500 m での突風と構造物自体の影響による風速割増を加味するとブームを破損させる恐れのある突風の発生が予想される。また、地上高さが高くなるにつれその出現頻度が上がるため、作業時における安全対策を確保することが必須条件となった。

作業時のブームのあおりが発生する難題に対し、ブームを常時ワイヤーで引張りあおりを防止する機構を開発した。ブームの角度（作業半径）によって、必要な張力を変えるため、トルクモータへの電流値を制御する方式を採用した。これにより、ブーム伏時は低張力で、起こし時は高張力で管理することが可能になった。この、あおり防止機構によって、超高層特有の作業時の風に対して TC の安全性を確保できる。図一および写真一にあおり防止機構を示す。



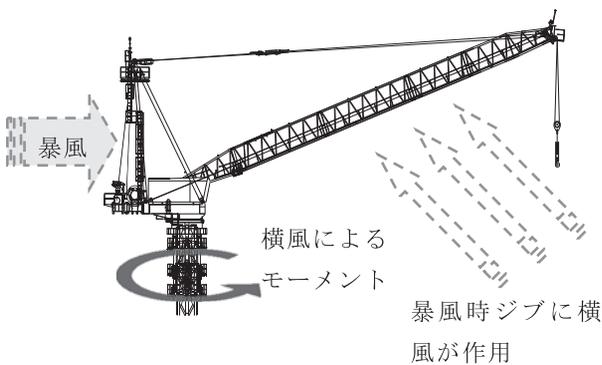
図一 ジブのあおり（浮上り）防止機構



写真-1 あおり防止装置

②暴風時対策 ～旋回アシスト～

一般に TC の台風対策はジブを伏せて旋回ブレーキを解放し、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（図-2）。クレーンが旋回するのはジブを伏せることで横風によるクレーン本体の回転モーメントが大きく生じることに起因する。



横風がジブに作用し、本体を旋回させるモーメントが発生。旋回ブレーキを解放するため、ジブが風下へ向く

図-2 一般的なクレーンの暴風時待機姿勢

一方、スカイツリー®の TC の配置は塔体形状の狭さから図-3 に示すように3台のクレーンが密集した配置となる。台風通過時にジブを伏せて待機してしまうとお互いのクレーンが衝突しジブの折損が生じてしまう。3台のジブが衝突しないように、ジブを起こすと本体の回転モーメントが小さくなり、ジブが風下に向かなくなるだけでなく、ジブがあおられて損傷してしまう危険が加わる。台風の年間平均上陸個数は2～3個、接近個数は10個程度と言われている。スカイツリー®建設中に TC は2年近く設置されるため、数回の台風直撃は避けられない状況にある。

これらの状況を鑑みて、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

■スカイツリー®暴風時の問題点

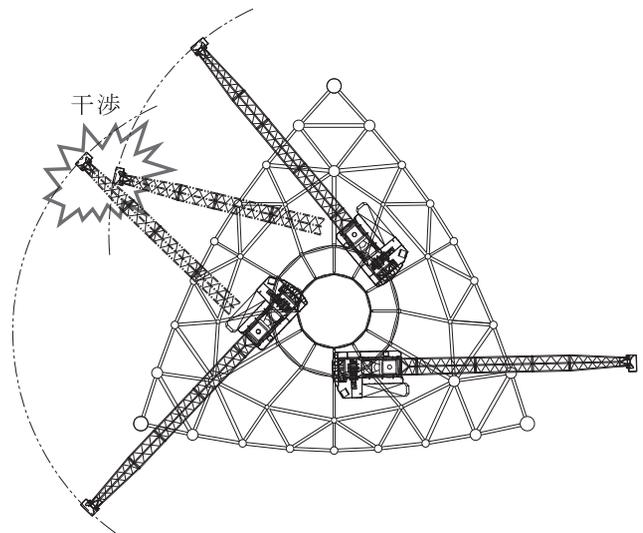
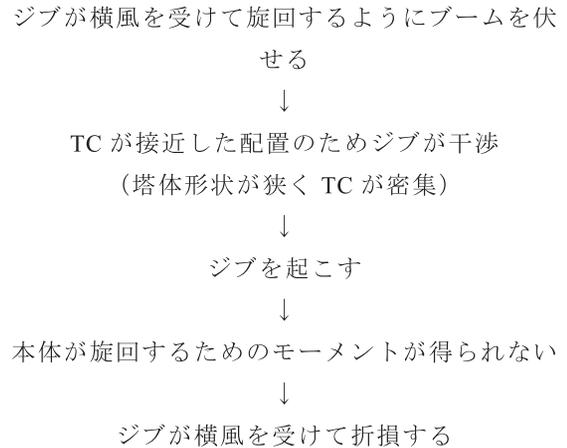


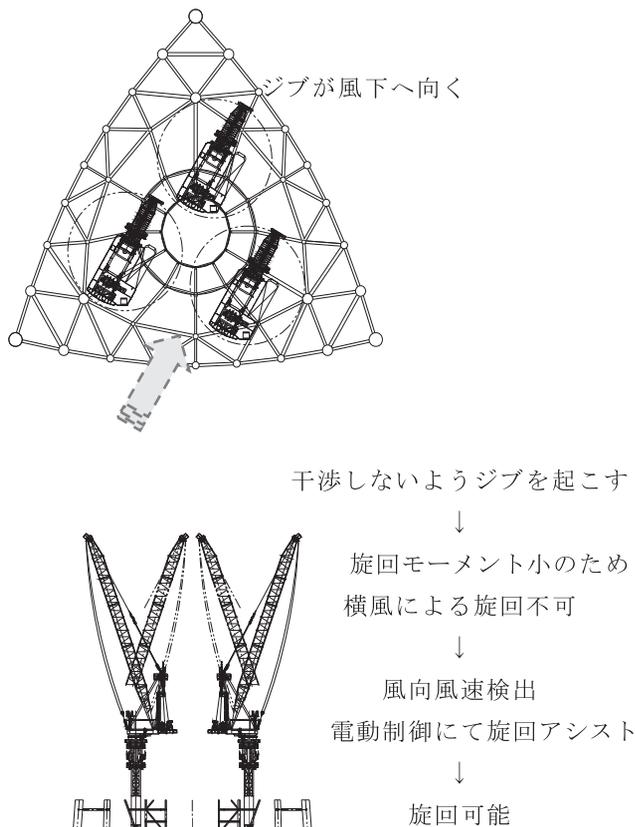
図-3 暴風時の問題点と塔体平面図

要となる。これを解決すべく「旋回アシスト」を開発した。暴風が予想される際の待機姿勢時に、運転室上部に設置した風向風速計によって風向きを検知し、一定の風速以上になるとクレーンが旋回モータによって旋回するシステムである。ジブの起伏角度を問わずクレーンが旋回可能となる。台風対策に左右されない、一般の高層建築、狭小現場、近接工事以上の揚重機配置計画の自由度を実現し、ジブ損傷の発生確率を大幅に低減できる。図-4 にその概要を示す。

(2) 耐震対策

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の施行時には600m級の人工構造物の上にクレーンが設置されることは想定されていない。応答解析によるク



図一4 暴風時の改善点：「旋回アシスト」

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®の場合、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、地震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、各施工段階における塔体の高さやクレーンの自立高さが敏感に反応することから、クレーンのSTEP図作成段階で塔体高さとクレーン自立高さの考慮がなされたが、ジブ端部（運転室レベル）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せん断力係数は比較的大きく、ク規格の静的0.2Gと比較して過大な値である。

クレーンの自立高さの増減を行ってもマストの強度が不足することが判明した。この強度を満足するため、強化マスト「M2000 H」を開発した。

これら塔体高さとクレーン自立高さの調整、強化マストの採用によって600m級の構造物上での耐震安全性を実現している。

(3) スカイジャスター ～吊荷方向制御装置の開発～

①開発経緯

近年、建築物の超高層化や鉄骨重量の増加に伴い、

大型タワークレーンの採用が増加している。超高層建築物建設における高所への吊り上げ重作業において、風に備えて作業の安全性・生産性を向上させる技術として、吊荷方向制御装置「スカイジャスター」を開発した。

スカイジャスター（以下、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により発生するジャイロモーメントを利用して空中で吊荷を自在に水平回転させることができる装置である（写真一2）。



回転制御能力：1225kN・m² (WL²/12)

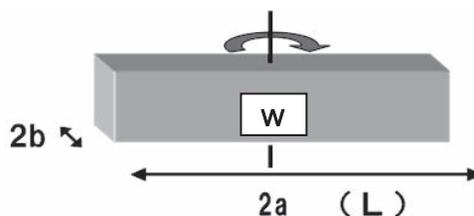
写真一2 SJ外観

またSJは従来同系機種の子ピタスに代わる高性能吊荷方向制御装置として位置づけられ、能力は従来機種の5倍にあたる最大吊荷慣性モーメント1225kN・m² (WL²/12)を発揮する。

SJでは設計段階から回転運動エネルギーも考慮し、風速10m/sの条件下で吊荷を1回転静止させるためのエネルギーを発する性能を有している。能動的に吊荷を回転した際、SJの持つエネルギーは640N・mであり、子ピタスの130N・mに比較し5倍近くのエネルギー増である。

スカイジャスターの特徴

- ・大きな慣性モーメント1225kN・m²に対応
- ※吊荷の慣性モーメントについて



$$I=1/3W(a^2+b^2) \quad 9.8\text{kN} \cdot \text{m}^2$$

$$\text{簡易式} \quad I=1/12 \times WL^2$$

EX.

$$I=1/12 \times 28 \times 9.8 \times 7.3^2 = 1218\text{kN} \cdot \text{m}^2$$

重さ28t、長さ7.3mの吊荷を姿勢制御可能

- ・能動的な吊荷回転
吊荷に回転を与え、所定の向きにする
- ・風による荷の回転制御
人力で押さえきれない回転を停止させる
- ・吊荷姿勢の保持
吊荷に対し外力が作用し続ける環境下でも吊荷回転が生じない
- ・外力に対しフリーの状態とする
吊荷が外力に応じ回転可能
- ・バッテリー消費量を抑えた設計
一番電力を必要とする起動時は商用電源による起動が可能

ユニット化により、バッテリー交換が可能。昼夜勤の現場にも対応可能

②現場使用状況

SJを用いた鉄骨建方状況を写真—3、4に示す。柱の建方ではトラス構造のブレースが下層より立上るため、柱を回転しながら納める必要があるためSJの能動的回転の応答性の良さ、位置決め精度の高さから弋工、TCオベ共に高い評価を得た。揚重中に回転したALC付ユニットも容易に所定の位置へ吊荷を回転できるので、柱建方同様に介錯ロープや作業員が吊荷を直接掴んで、荷を回転することが無い。このため風の影響による作業効率低下、安全性の改善を見込め、鉄骨工事の安定化への貢献が期待できる。



写真—3 柱建方状況



写真—4 ALC付ユニットの建方

3. おわりに

クレーン・重機事故が頻発し、報道へと直結する昨今、超高層建設物の施工に際し、超高層特有の問題が多く提起された。耐震、耐風に関し、これら難題の解明と解決策を講じてきた。その過程でタワークレーンに関して今後水平展開が必要な多くの技術が開発された。『旋回アシスト』は台風時のブーム折損事故を低減し、狭小現場、近接工事での台風対策を容易にする。『スカイジャスター』はこれまでのジャピタスのイメージを一新し、吊荷方向制御装置の常識を覆し、揚重作業の工期安定化と安全性向上へと貢献するだろう。

弊社では東京スカイツリー®においては、未だ施工半ばで未知の高さでの施工中であるため、これら技術の成果を慎重に見極め、更に改善して行く必要がある。

最後に、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。

JCMMA

[筆者紹介]

矢田 和也 (やだ かずや)
 (株)大林組
 機械部
 主任



椎名 肖一 (しいな しょういち)
 (株)大林組
 機械部
 課長

