

3D クレーンブーム位置監視システムの実用化

近接工事における立体的なクレーン作業範囲の監視

三 上 博・千 葉 史 隆・伊 達 峰 司

既存構造物、道路、鉄道や高圧送電線に近接する建設工事の安全対策として、衛星測位（GNSS）を応用したクレーンブーム位置監視システムを新たに開発した。監視範囲を複雑な3次元空間として定義することが可能であり、作業領域の有効活用と安全性向上の両面で効果的である。さらに、視覚性を向上する3次元バーチャル空間でのリアルタイム表示機能を付加した。本報告では、システムの概要を示すとともに、営業線近接工事および送電線近接工事の二つの適用事例を紹介する。

キーワード：GNSS、近接施工、送電線、鉄道、報知機、タブレット端末、3次元、橋梁工事

1. はじめに

建設工事におけるクレーン作業では、作業範囲に関する制限を伴う事例が多くなっている。工事区域に近接して、鉄道や道路などの供用中の路線がある場合などは、厳しい接近制限が設けられる。また、作業区域の上空に高圧送電線が横断する場合には、電圧に応じて離隔距離が設定される。従来、作業の安全対策として様々な手法が講じられてきた。建設工事における安全対策の基本は“人間の眼”による確かな判断であることは従来より変わらない。しかしながら、そこには常にヒューマンエラーのリスクが存在する。そこで、筆者らはICT（情報通信技術）を活用することにより、人間の判断を補う技術の研究開発に取り組んでいる。本報告で取り上げる3Dクレーンブーム位置監視システムは、GNSS（全地球測位システム）と通信技術を建設工事の安全対策に活用したものである。以下に、技術の概要と適用事例を報告する。

2. 技術の概要

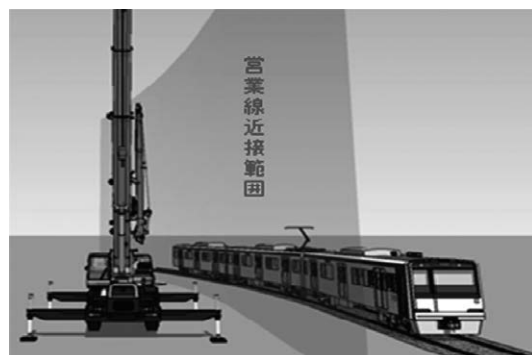
(1) 技術の背景

建設工事においては、施工の過程で、周辺環境に応じた様々な安全対策が求められる。クレーン作業においては、制限区域への侵入防止が極めて重要であり、この対策が不十分であると、大きな事故に繋がる危険性がある。制限区域の例としては、工事区域に隣接した道路、鉄道や住宅・商業施設など多岐にわたっている。さらに、工事区域の上空にある送電線への安全離

隔を求められる事例も多く、平面的な制限だけでなく、高さ方向を含めた制限が設定されるケースがある。

従来より、様々なクレーン作業の安全対策が行われており、安全監視員の配置や、注意喚起標識設置など、人間の目視による確認手法が多く用いられている。さらに、クレーン本体に作業範囲制限装置を設置して、ブームの旋回角度や高さの上限を設定する仕組みもある。また、レーザースキャナー等を用いて、制限範囲との境界にバリアを設定し、クレーンのブームや吊荷などが侵入した場合に警報を行うシステムなども用いられている。

しかしながら、実際の制限範囲の境界は、単純な直線や平面で設定されるものだけではなく、道路や鉄道などでは、カーブ区間も多く、これに伴って制限範囲の境界も曲面で設定されることが望ましいケースがある（図—1）。また、送電線への近接では、鉄塔間での電線の自重によるたわみによって、地上からの離隔距離は、位置によって異なる。さらには、側面からの

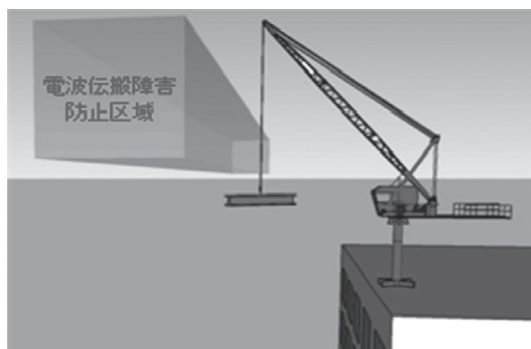


図—1 営業線近接工事の例

送電線への接近に対する警戒も同時に必要である（図一2）。高層ビルの工事においては、工事区域に近接して、マイクロ波通信に対する電波伝搬障害防止区域が設定される場合がある（図一3）。目に見えない高所空間への侵入制限となり、このような範囲への警戒は従来技術では容易ではない。



図一2 送電線近接工事の例



図一3 電波伝搬障害防止を必要とする例

3D クレーンブーム位置監視システムは、警戒範囲を様々な形状の3次元の空間として設定できることを特徴としており、従来設定が容易でなかった複雑な領域の設定を可能とするものである。これにより、実状に沿った綿密な制限範囲を設定して、有効な作業範囲確保と安全性確保を向上することを目指している。

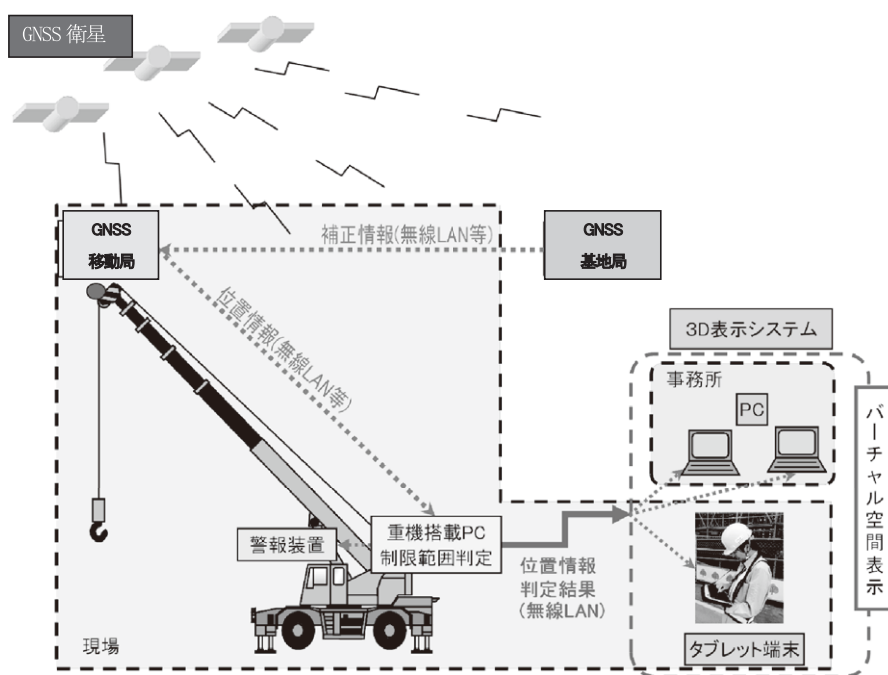
(2) システムの原理と構成

本システムは、クレーンブームトップにGNSS受信機のアンテナを設置して、常にその位置を即時的に監視することを基本としたものである。あらかじめ設定した警戒範囲に、クレーントップが侵入すると警戒を行う。

システムの基本構成を図一4に示す。GNSS基地局は、衛星測位の精度を向上する目的で、現場毎に設置する。あらかじめ座標が正確にわかる既知点に1台のGNSS受信機を設置し、無線（無線LAN、デジタル簡易無線等）を介して補正データを、クレーン側のGNSS受信機（移動局）に送信する。

クレーントップ位置のGNSS測位データは、運転席のパソコンに無線LAN等で転送され、あらかじめ設定した制限範囲との位置関係が直ちに計算される。制限範囲への侵入が判定された場合には、運転席の表示灯や、スピーカーによって報知を行うものである。さらに同時に3D表示システムにおいて同時に監視が可能である。

使用するGNSS機器は、使用目的や要求精度に応じて、RTK-GPS方式（cm級精度）およびDGPS方式（1m級精度）を使い分けている。



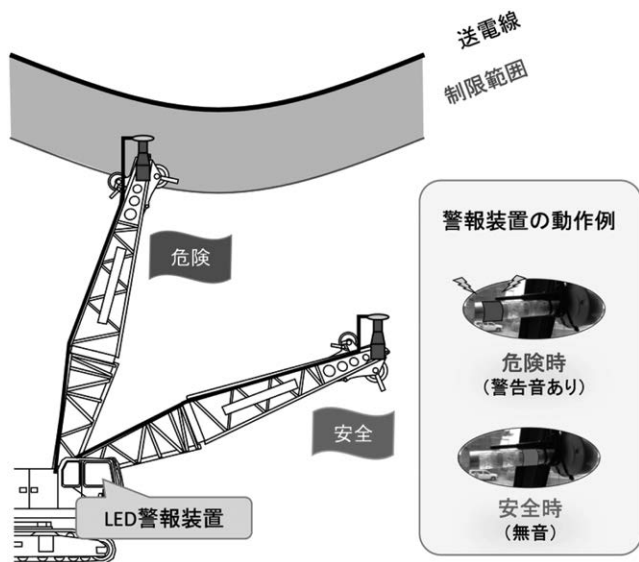
図一4 システムの基本構成

(3) 警報判定と報知の仕組み

警戒監視を行う制限範囲は、直方体や六面体の3次元空間として定義する。GNSS アンテナ位置 (x, y, z) と定義を行った空間の位置関係を、常にパソコンの解析プログラムで計算し、毎秒1回の頻度で警報あるいは非警報の判定を行っている。制限範囲は、世界測地系、日本測地系、ローカル座標など任意の測地系座標で設定が可能である。

制限範囲の設定においては、複数の空間を同時に組み合わせることが可能であり、これによって複雑な形状の定義も容易に行える。また、使用するGNSS受信機の精度に伴う測位誤差や、安全余裕しを考慮して、監視するクレーントップ位置を一定の大きさを持った仮想球体として扱う機能を有している。この機能を用いると、実際に制限範囲内にブームトップが入る直前の接近状態（仮想球半径距離）において警報を作動させることができる。

警報は、パソコンに接続された三色のLED 積層信号灯を用いる。ブーム位置が安全領域にある場合「青」、要注意範囲にある場合「黄色」、制限範囲に入った場合に「赤色」の表示を行う（図—5）。GNSSによる測位が良好に行えないなど、システムが正常に作動していない場合には、LEDの点滅によって注意喚起を行う。



図—5 警報判定と報知のしくみ

(4) 機器のクレーンへの設置

本システムのクレーンへの設置については、電源の供給方法およびブームに沿った配線の有無等により、有線方式と無線方式の2種の方式を使い分けている。

有線方式は、クレーンブーム長が固定された、クローラークレーンやタワークレーンなどで用いる。GNSS

アンテナのみをクレーントップに設置して、GNSS 受信機本体およびパソコンなどは運転席内などに設置する。クレーンブームに沿っては、アンテナ同軸ケーブルの配線を行う。本方式では、ブームに沿った配線の手間にかかるが、機器電源が全て運転席内で常時供給されるため、メンテナンスフリーとなる利点がある。ただし、ブームの伸縮への対応は難しい問題がある。

無線方式は、トラッククレーンなどのブームが伸縮するクレーンなどで用いる。クレーンブームトップにはGNSS アンテナ、GNSS 受信機本体、デジタル簡易無線、無線LAN装置およびバッテリーが設置される。機器は防水ボックスに収められ、治具によりクレーンに設置される。GNSS 受信機による測位データは、無線LANにより、運転席等の地上のパソコンに送られる。本方式は、ブームに沿った配線作業が全く必要ないため、有線方式に比べて極めて短時間での設置が可能である。ただし、バッテリーの交換・充電などの日々のメンテナンスが必要となる。

GNSS 他の機器材は、有線式および無線式ともに、専用の治具を用いてクレーンブームに設置する。設置治具には、クレーンブームへの傾斜角度に応じて、自由に回転する機構を有しており、GNSS アンテナが常に天頂を向くような仕組みとなっている（写真—1, 2）。



写真—1 トラッククレーンへの機器設置



写真—2 クローラークレーンへのGNSSアンテナ設置

(5) 3次元バーチャル空間でのリアルタイム表示

システムの付加機能として、建設現場内の既存構造物や近接構造物等（送電線、道路等）および制限範囲を3次元モデル化し、クレーントップ位置との位置関係をバーチャルな空間上でリアルタイム表示するシステムを構築した。

現場職員が携帯するタブレットパソコンや現場事務所のパソコンに表示システムを導入しておき、クレーンブームトップ位置のGNSS測位結果および、警報判定結果を現場内無線LANを用いて転送した。クレーントップ位置と近接物および制限範囲の関係が、3次元的にリアルタイムに表示される。画面表示の視点位置を任意に設定・変更することが可能であるため、近接監視対象物とクレーンブームトップの位置関係を視覚的に容易に判断できる利点がある（図—6）。例えば、高所の送電線へのクレーンブームへの接近監視の事例では、地上から見上げる人間の視点では、両者の位置関係の把握が難しい問題がある。本機能を用いると、高所の送電線位置からの視点で、接近状況を表示できるため、視覚的な状況判断が容易となる。本表示システムは、現場内で共用できるため、作業場近傍だけでなく、遠隔地の事務所においても、クレーンの作業状況を同時にモニタリングすることができる。



図—6 バーチャル空間でのリアルタイム表示例

3. 建設工事での適用事例

GNSSを用いたクレーンブーム位置監視システムは、2次元監視版を含め、これまで国内7現場での適用事例がある。以下に、最新の二つの事例を紹介する。

(1) 営業線近接工事への適用事例

本事例では、既設の営業線に近接した狭隘な作業空間において、極めて精度の高いクレーンの安全対策が求められた。本技術を各種のクレーンにて活用した。

工事名：つくばエクスプレス線、車両基地入出庫線複線化工事

発注者：鉄道建設・運輸施設整備支援機構 東京支社

工事場所：茨城県守谷市

施工者：三井住友・名工・佐田特定建設工事共同企業体

実施期間：2013年12月～2014年10月

本工事は、営業中のつくばエクスプレス線本線と車両基地入出庫線（いずれも高架橋）の間に、新たな車両基地入出庫線の高架橋を構築するものである。新設される高架橋の基礎工事の際に、クレーンの営業線への接近警報を目的として、本システムを導入した（写真—3）。



写真—3 営業線に近接工事したクレーン作業

監視対象区間の高架橋は、カーブ区間であり、従来式の監視技術では、制限範囲の設定が容易ではなかった。3Dクレーンブーム位置監視システムでは、高架橋のカーブ線形の座標に基づいて、精細にモデル化した3次元の制限範囲を設定し、工事の安全管理に用いた。基礎工事の進捗に応じて、クレーンが移動した場合でも、制限範囲は工事区域全体の座標に基づいて設定されているため、日々の再設定は不要である。極めて限られた作業空間を有効に活用するため、GNSS受信機は、二周波RTK-GPS方式を用いて、cm級精度での管理を行った。工事の最盛期においては、最大5台のクレーン監視を同時に行った。

クレーン作業の安全面で極めて慎重を要する工事であったが、本システムの活用により、作業範囲の有効活用と安全管理を効果的に実施し、当該近接工事を無事に完了した。

(2) 高圧送電線近接工事への適用事例

3次元バーチャル空間でのリアルタイム表示を含めた、最新機能のシステムを、下記の工事において初適

用を行った。

工事名：平成 25 年度 東海環状上切高架橋 PC 上部
工事

発注者：国土交通省 中部地方整備局

工事場所：岐阜県関市

施工者：三井住友建設(株)

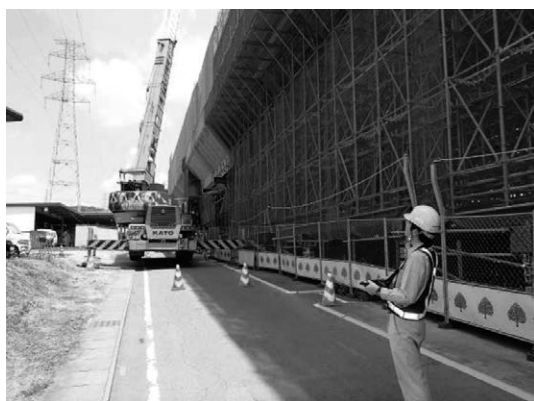
実施期間：2014 年 5 月～2015 年 1 月

本工事は、現在供用中の一期線の高架橋と並行して、二期線の高架橋を構築する橋梁工事である。工事区域内に近接して高圧送電線が存在し、施工位置に応じた離隔距離確保が求められた。

対象重機は、トラッククレーンを主としたが、コンクリート打設時に用いるコンクリートポンプ車にも適用を行った。ポンプ車への機材設置においては、マグネット式の取付治具を新たに開発し、極めて短時間での機材着脱を可能とした。

現場内および現場事務所間に無線 LAN を構築し、前述の 3 次元バーチャル空間でのリアルタイム表示システムを、タブレットパソコンおよび現場事務所内のパソコンで利用した（写真－4,5）。GNSS 受信機は、二周波 RTK-GPS 方式を使用し、cm 級の精度を確保した。

高圧送電線下において、作業安全性の確保が極めて重要な工事であったが、本技術の導入により、安全の見える化を促進し、確実に円滑な管理を行うことができた。



写真－4 タブレットパソコンによる監視状況



写真－5 事務所での監視状況

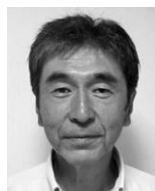
4. おわりに

現在、建設分野においては、施工管理への ICT 活用とともに、設計から施工段階を含めた、BIM/CIM などの推進により地形や構造物の 3D モデリングが積極的に進められるようになっている。これらの 3 次元データと本報で紹介した 3D クレーンブーム位置監視システムは、親和性の高いものである。今後、これらのシステムの連携により、3D モデルの有効利用が可能となるものと考ええる。さらなる技術の開発・改善を行い、建設工事の安全性向上に引き続き取り組んで行く所存である。

JICMA

【筆者紹介】

三上 博（みかみ ひろし）
三井住友建設(株)
技術本部 第三技術部
情報ソリューショングループ



千葉 史隆（ちば ふみたか）
三井住友建設(株)
技術本部 第三技術部
情報ソリューショングループ



伊達 峰司（だて たかし）
三井住友建設(株)
土木本部 土木技術部 基礎地盤・環境技術グループ
課長

