

ICT を活用した建設機械災害防止への取り組み

GPS を利用したマシンモニタリングシステムの開発

嘉 本 敬 樹・洗 光 範・陳 雨 青

近年、建設機械災害が頻繁にマスコミ報道され、建設業への信頼は損なわれつつある。また建設業では低い生産性の改善が課題となっている。このような背景をうけて、建設機械の災害を予防し、かつ高効率な生産を実現する技術「マシンモニタリングシステム」を新たに開発した。本システムは、建設機械に取り付けた位置検出器（GPS）などからの情報を、3次元モデルデータで構築したバーチャルリアリティ（virtual reality, VR）空間に反映させることを特徴とする。現実とシームレスに連動するVR空間では、建設機械の指定範囲外への越境、構造物・他の建機との干渉をリアルタイムに監視しており、その検知結果は表示装置・警報装置を介してオペレータへ伝達される。本システムを解体工事に適用し、安全性、生産性向上に寄与できる可能性を確認できたため報告する。

キーワード：建設機械災害防止、ICT、GPS、バーチャルリアリティ空間

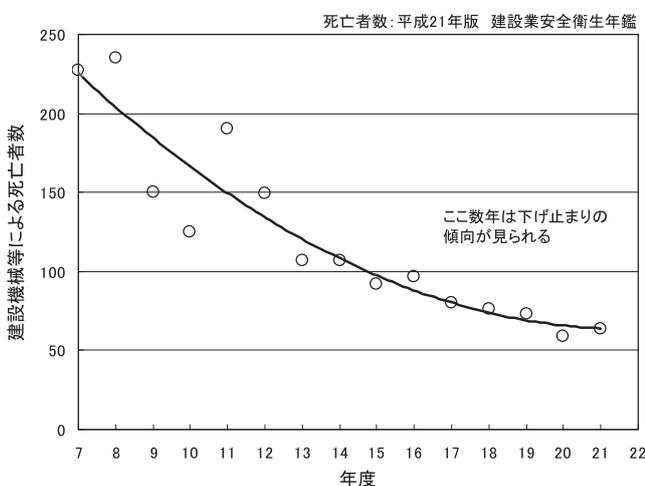
1. はじめに

近年、建築現場における機械災害が頻繁にマスコミ報道され、建設業への信頼は損なわれつつある。建築現場は市街地に位置することが多いことから、近隣住民へあたえる不安は大きい。また、建設機械に起因する死亡災害件数は年々減少傾向¹⁾にあるが、そろそろ現在の対策では限界にきているのではないかと推測できる（図—1）。したがって、建設業の信頼回復とさらなる災害低減のためには新たな視点をもって取り組む必要があると考える。

他方、建設業では低い労働生産性の改善が課題と

なっている。90年代に製造業の生産性が一貫して上昇したのとは対照的に、建設業の生産性は大幅に低下、近年は概ね横ばいに近い動きとなっている²⁾。製造業では、3次元設計したデータを使い工作機械を制御することで、低コストで高品質な製品を作り出すことが可能であり、これが高い生産性を実現できる一つの理由であると考えられる。これに対し建設業では、大半の部材を現地で組立てる必要があり、生産設備を固定できないことから、設計データを3次元化しても、すぐに施工に活かすことができないという違いがある。しかしながら近年、測量機器、通信機器、コンピュータなどの情報通信技術（ICT：Information and Communication Technology）が発達したことにより、従来はできなかったリアルタイムの位置計測が可能となってきた。このICTを活用し、建築現場で使用する生産設備の正確な位置と設計データがあれば、製造業のように効率的で高品質な施工を実現できる可能性がでてきている。

このような背景から、建築生産の代表的な生産設備である移動式クレーン、解体重機などの建設機械を対象を絞り込み、建築現場の安全・安心を確立し、労働生産性を向上させるための研究に着手した。その第一段として、建機オペレータの状況認知・判断能力の不足を補う装置「マシンモニタリングシステム」を新たに開発した。以下では、開発システムの概要および解体工事への適用事例について報告する。

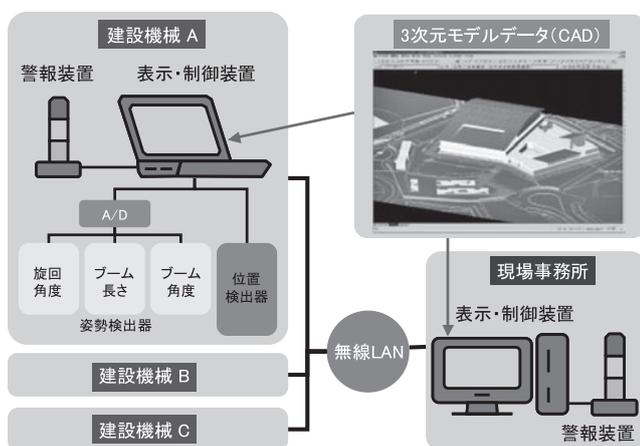


図—1 建設機械等による死亡災害件数の推移

2. マシンモニタリングシステムの概要

(1) 全体システム構成

図一2に「マシンモニタリングシステム」の基本構成を示す。本システムは、建設機械に取り付けた位置検出器 (RTK-GPS)、可動部に取り付けた角度、長さなどの姿勢検出器からの情報を、3次元モデルデータで構築したVR空間に反映させることを特徴とする。現実とシームレスに連動するVR空間では、建設機械の指定範囲外への越境、構造物・他の建設機械との干渉をリアルタイムに監視しており、その検知結果は表示装置・警報装置を介してオペレータへ伝達される。また同じ情報を、無線LANを介して現場事務所などに送信することで、遠隔地からも建設機械の稼動状況を監視することが可能である。



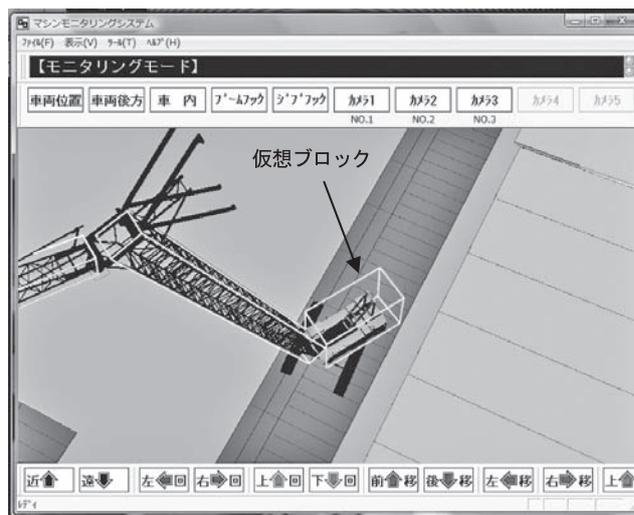
図一2 システム基本構成

(2) 安全管理機能

① モニタ表示と越境・接触判定

建設機械を操作する際に、運転室から肉眼で直視できない死角は、数多く存在する。このため従来は、カメラを設置したり、合図者の指示に従って操作を行ってきた。本システムでは、運転室に設けた表示装置(PCモニター)にVR空間を映し出すことで、実機と建物、あるいは他機との相対的な位置関係をあらゆる視点から客観的に認識することが可能である。したがって安全性はもとより、作業効率の向上も期待できると考える。

越境あるいは接触を事前に防止する手段として、建設機械を構成する稼動部位毎に仮想ブロック（実際の機械寸法+GPS測位精度+限界管理値）を割り付け、この仮想ブロックを用いて越境・接触判定を行っている（図一3）。測位精度はGPSの出力データに含まれる平均二乗誤差（rms値）である。限界管理値は安全



図一3 モニタ表示例

しろであり、オペレータの技量などを考慮して任意に設定することで、制御装置が安全側に動作するようにしている。判定の結果、危険性がある場合には注意メッセージを、また機器の接続不良などの場合にはエラーメッセージを画面に出力する。

② 警報装置（パトライト）による警告

オペレータが作業に集中している場合、モニタ画面を見落とすなどのヒューマンエラーの発生は否めない。したがって、ブザー付きのパトライトを搭載することで、安全性を強化した。警報は設定した離隔距離（仮想ブロックと対象物との距離）に応じて3段階設定し、通常状態を緑色、注意状態を黄色、警告状態を赤色としている。また、注意、警告の状態ではブザーの断続、連続音にて注意喚起を促す。

3. 解体工事での適用事例

(1) 工事概要

本工事は、昭和33年に建造されたホール、事務所・ホテル（地上13階、SRC造）からなる高層建物の解体工事である。建物は大阪の中心である中之島に位置し、周辺道路は交通量が非常に多い（写真一1）。そのため工事は衆目を集めることから、常に第三者を意識した作業を心がけ、安全を最優先とした施工を行う必要があった。また、解体後予定している新築工事の工期短縮を図るためにも、早期に解体工事を完了させる必要があった。

施工計画は敷地条件、建物高さの制約から、事務所・ホテル棟は解体重機の階上作業（揚重解体工法）にて解体する工法を選定した。また全面床補強を計画していた原計画を、綿密な計画に基づいて見直し、重機の

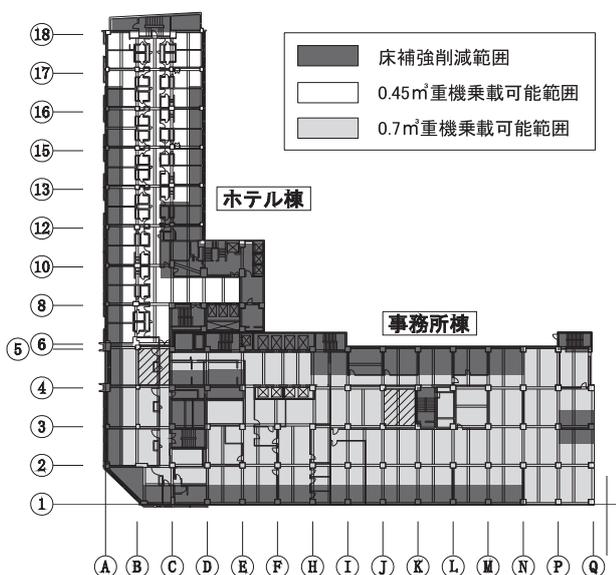
作業エリアを限定，サポートによる床補強範囲（写真一2）を最小限とすることで，床補強工事期間の短縮をねらった（図一4）。具体的には，建物外周部は外壁引き倒し工法を採用することから，重機が直接乗載しないことを条件に床補強をなくした。さらに一般的な階上作業で用いる 0.45 m^3 級のバックホウの他に，



写真一1 解体建物全景



写真一2 床補強用サポート設置状況



図一4 床補強範囲図

0.7 m^3 級のバックホウ（作業エリアを限定して使用）を併用することで，大幅な施工効率向上を目指した。

(2) プロジェクトの課題

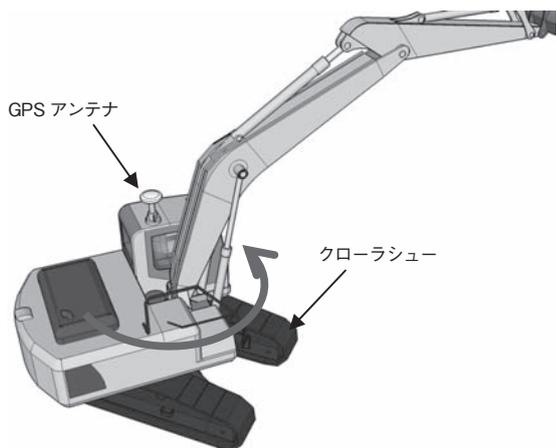
躯体補強範囲を限定することは，工期短縮，コスト低減に大きな効果をもたらすが，安全管理はより重要性を増す。作業中のオペレータが自機の位置および複雑な乗載可能範囲（床補強範囲）を認識することは事実上困難（写真一3）であり，この範囲からの逸走による重機災害が発生することが懸念される。解体工事では工法の手順上，作業床上に解体したガラが堆積していくことから，床の上のマーキングは役にたたなくなり，バリケードやロープによるエリア制限も，作業時には邪魔になり，また破損してしまう可能性もある。そこで，監視員による誘導指示およびオペレータへの乗載可能範囲図の配布，各通り芯上の柱にマーキングを行うなどの対策も検討したが，作業効率の低下は避けられない状況となることが予想された。



写真一3 階上解体作業状況

(3) 開発システムの適用

前述の課題を解決するため，マシンモニタリングシステムの採用を決定した。モニタリングする部位はバックホウのクローラシューであり，この部位が乗載可能範囲に対してどこに位置するかを平面（2次元）的に把握し，VR空間内で越境判定を行うものとした。乗載可能範囲は複雑に入り組んでおり，かつ境界ぎりぎりの作業が発生することから，高い越境判定精度が求められる。揚重解体工法では，重機は常に建物の最上階（天空率 $85 \sim 95\%$ 程度）で作業することから，位置検出器としてVRSデータを用いたネットワーク型RTK-GPS（測位精度 1 cm ）を採用することとした。GPSアンテナを設置する場所は，遮蔽・マルチパスの影響を受けにくく，損傷の危険性が少ないことなどを考慮し，運転室上としている（図一5）。なお旋回角等の姿勢検出器は費用対効果の面から採用を見合わせた。



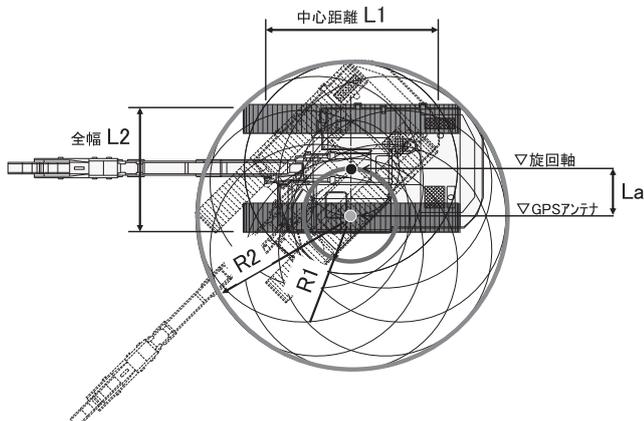
図一5 GPS アンテナ設置場所

次に VR 空間内に投影する重機(クローラシュー部)をモデル化の際に考慮したことは、GPS アンテナを取り付けた運転室は、回転軸を中心としてクローラシューに対し回転するという点である。GPS アンテナは回転中心に対して偏芯した位置に設置していることから、GPS の出力座標をそのままクローラシューの位置座標として利用できない。したがって、図一6のように GPS アンテナ設置位置を中心とする2重の同心円を仮想ブロックとして設定した。内側の半径 R1 の円は、回転動作を考慮した上で回転軸があると想定される範囲を示す。外側の半径 R2 の円は、クローラシューがあると想定される範囲を示す。これらの円の半径は、下式により決定した。なお、今回の設定値としては、R1 = 0.8 m, R2 = 3.0 m としている。

$$R1 = La + \text{GPS 測位精度} + \text{限界管理値}$$

$$R2 = R1 + \sqrt{(L1/2)^2 + (L2/2)^2}$$

次に建物モデルデータは各階平面の CAD データに、レイヤ名を指定して乗載可能範囲を追記し、制御装置(開発ソフト)にインポートした。重機をモデル化した2重の円が、乗載可能範囲の境界線と交差して

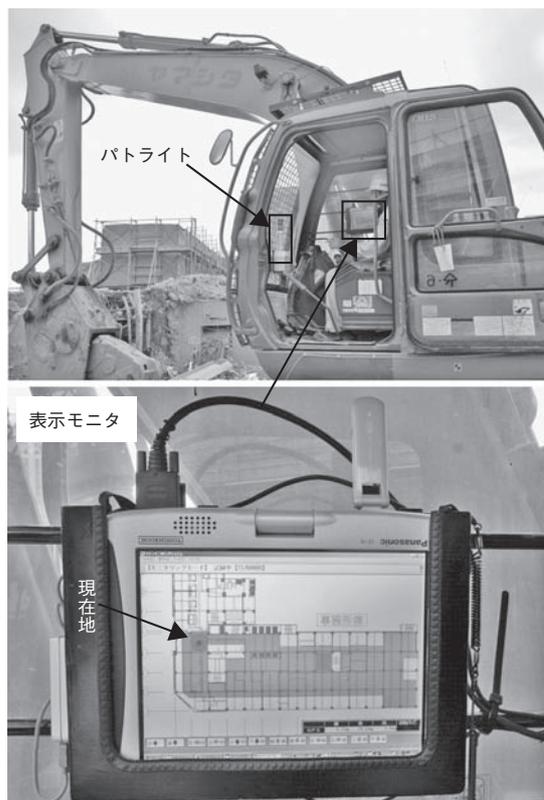


図一6 解体重機のモデル化

いるか、あるいは要素の内にあるか否かを判定することで、越境判定を行った。なお、外側の円のみが範囲外に出た場合(交差含む)を「注意」、内側の円が範囲外に出た場合(交差含む)を「警告」として定義付けし、モニタのメッセージ表示および警報装置(パトライト)を連動させている。

(4) システム適用結果

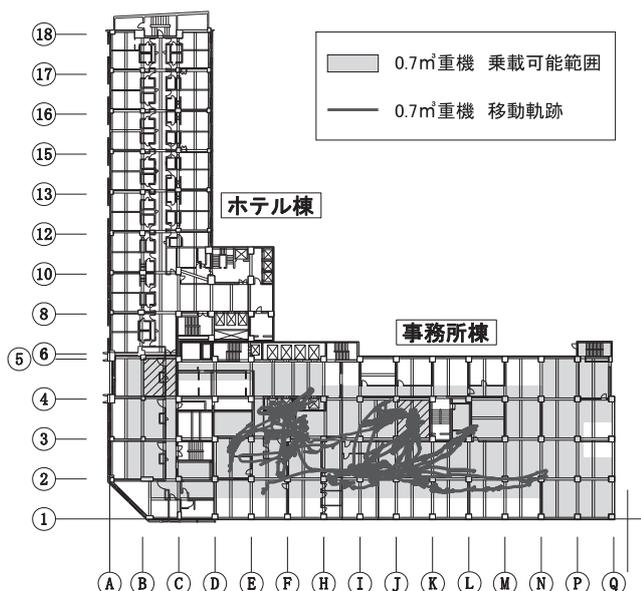
システム適用期間は、11階から6階躯体解体までの約2ヶ月間であった。作業状況を写真一4に示す。



写真一4 作業状況

解体作業中は、アーム先端の動きに視線が集中することが予想されたため、表示モニタは運転室側面に取り付け補助的に利用し、パトライトを前面に設けている。重機オペレータからは、表示精度、リアルタイム性に関しては満足できるという意見を得た。しかし時間帯、作業場所によっては、GPS 測位不能状態を示すエラーメッセージが発生し、システムが有効に機能しないこともあった。これはGPS衛星の配置・遮蔽、VRSデータの通信不良が原因であると考えられ、都心部でGPSを利用する際の課題であるといえる。

次に記録したログデータファイルをもとに移動軌跡を作成、床補強範囲図に重ねることで、システム適用の効果について検証した(図一7)。この図から、重機の床補強範囲外への逸走は防止され、安全作業を確



図一七 解体重機の移動軌跡

保できていると確認できる。

当初の地上解体工事の工程は7ヶ月であったのに対して、1.3ヶ月の工期短縮を達成し、無事故・無災害で工事を完了することができた。床補強費は当初の予算に対し、約30%を削減することができたことから、システム導入費を考えたとしても、十分にコスト効果があったといえる。

4. おわりに

本稿では、建設機械災害を予防する技術「マシンモニタリングシステム」の概要および解体工事での適用

事例を報告した。安全が重要視される時代に変化している中で、ICTを活用することで、複雑・煩雑な安全管理をシステム化（自動化）し、信頼性を確保しつつも安全設備、管理工数を低減できるという可能性を示した。また都心部におけるGPS測位は、遮蔽、マルチパスなどの影響を受けやすく、システムが誤動作しないような2重、3重のフェールセーフ機構を盛り込んでいくことが今後の課題である。

JCMA

《参考文献》

- 1) 「建設業安全衛生年鑑 平成21年版」建設業労働災害防止協会
- 2) 「建設業ハンドブック 2009」(株)日本建設業連合

【筆者紹介】



嘉本 敬樹 (かもと けいじゅ)
 (株)竹中工務店
 技術研究所



洗 光範 (あらい みつのり)
 (株)竹中工務店
 技術研究所



陳 雨青 (ちん うせい)
 (株)竹中工務店
 大阪本店作業所