

JCMA 報告

平成 27 年度 日本建設機械施工大賞 受賞業績 (その 3)



優秀賞



全自動ブレード制御機能搭載中小型 ICT ブルドーザの開発

コマツ

ICT ブルドーザ「D61EXi/PXi-23」は都市土木向け中型ブルドーザとして、従来の情報化施工でも可能であった整地の仕上げ作業時だけでなく、掘削作業時を含む全てのブレードコントロールを自動化した世界初の全自動ブレード制御機能を搭載し、作業効率の大幅な向上を実現した。

また、従来の情報化施工キットを後付けしたブルドーザではブレードに装着していた主要 ICT コンポーネントを車体に移設し、工場装着する事で、車両としての高い信頼性を確保した。

この構成を採用する事により、特に GNSS アンテナをブレード上からキャブ上に移設した事で、走行地面の位置・高さをブレード姿勢に関わりなく、足回りの座標から取得する事が可能となり、刻々と変化する現況地形の正確な把握を実現した。

今後、幅広い現場への情報化施工導入を実現するとともに、国土交通省が主導する「情報化施工推進戦略」により将来的には広く一般に活用が見込まれている情報化施工の更なる普及拡大を担う主力商品となっていく技術として貢献するものとする。

また、建設現場が抱える様々な課題を解決し、「未来の現場」を実現させていくためのソリューションとして、安全で生産性の高い現場を実現するとともに、災害復旧にも役立つ技術として期待している。

業績内容の概要

GNSS 測位技術と車体の制御技術を融合させる事により、施工効率の向上、すなわちユーザのコストメリットを大幅に改善する次世代のブルドーザを開発した。

近年、情報通信技術 (ICT) を利用したマシンコントロール (MC) ブルドーザの広がりにより、丁張を大幅に削減した施工全体の効率改善が進んでいるが、従来システムでは仕上げ整地など限定的な作業にのみ適用可能であった。

そこで、車体制御技術と GNSS 測位技術を融合させることで、作業機の負荷を自動調整する機能を中心に新機能を付加し、掘削・運土から整地までの一連のブルドーザ作業に対し自動制御の適用範囲を拡大した事で更なる施工効率の向上を可能にした。これにより作業時のオペレータの

疲労軽減や、経験の浅いオペレータでも熟練オペレータに匹敵する作業が可能になった。

以下に主なユーザーメリットを記す。

(1)～(5)は従来機のメリットを踏襲した項目、(6)～(10)は本開発によるものである。

- (1) 工期短縮：丁張大幅削減、検測回数の低減、やり直し低減
- (2) 省資源化：高精度化による土砂材料の無駄削減、やり直し低減による燃料消費の低減
- (3) 人件費削減：丁張作業削減、検測回数低減による測量工数の低減
- (4) 安全性向上：オペの疲労軽減、車両周辺の検測作業員の不要化
- (5) 人材不足の解消：熟練オペ不足の解消
- (6) 施工効率の更なる向上：自動制御の適用範囲の拡大
- (7) 作業機上の GNSS アンテナマストやケーブル類の廃止による視界性の向上。
- (8) 車体外部に露出したケーブルの廃止により作業中の破損がなくなり、信頼性が向上。
- (9) 盗難防止の為に毎日の GNSS アンテナを着脱していたが、これが不要となり、安全性が向上。
- (10) 履帯下の位置測量が可能となり、走行しながらリアルタイムで現況地形の把握が可能。

業績内容

a. 業績の行われた背景

GNSS 測位技術を利用したブルドーザの作業機自動制御システムは、丁張を大幅に削減しかつ経験年数の少ないオペレータでも熟練者並みの仕上げ施工を可能とすることで施工全体の効率を大幅に改善した。

しかしながら作業機への過大な負荷が掛かった場合にはオペレータが手動操作により作業機負荷を調整する必要があるため、作業機の自動制御は整地などの軽負荷作業にのみ適用可能であった。

そこで、従来から培ってきた油圧ポンプ・モータ等の車体コンポーネント制御技術と GNSS 測位技術を融合させることで、従来のマシンコントロールブルドーザ(以下 従来機)

に対し、各種コンポーネントを車体に内蔵し（Integrated）、作業機の負荷を自動調整する機能を付加（Intelligent）することで、掘削・運土作業から整地作業まで、MC 作業の適用範囲を拡大した革新的な（Innovative）中小型 ICT ブルドーザを開発した。

b. 業績の詳細な技術説明

1. システム構成と主なコンポーネントの機能

本システムは、作業機刃先位置を算出する GNSS 測位部分と作業機の自動制御を担う部分とに大別される（図—1）。

- (1) GNSS アンテナ：アンテナ位置を世界座標系で測位する。
- (2) GNSS 受信機：GNSS 測位座標、IMU 出力、シリンダストロークから現場座標系における作業機刃先座標を算出する。
- (3) コントロールボックス：情報化施工のインタフェースとして設計面データ、作業機刃先～設計面の偏差、など各種情報を表示し、タッチパネル画面による操作パネル機能を兼ねる。
- (4) 高精度慣性センサ（IMU+）：車体の姿勢角（ピッチ、ロール、ヨー）を検出する。
- (5) ストロークセンシングシリンダ：車体に対する作業機刃先の相対位置を検出する。
- (6) センサコントローラ：作業機の自動制御（作業機バルブの EPC に指令電流を出力する）。
- (7) 作業機コントロールレバー：自動制御 ON / OFF 切替え操作、作業機のマニュアル操作。
- (8) 電子制御作業機バルブ：コントローラからの指令電流を受けて油圧シリンダを動かす。

2. 作業機の自動制御

本機の最大の特徴は、従来の MC ブルドーザの作業適

用範囲が軽負荷での主に仕上げの整地のみであったのに対し、仕上げ面まである程度の掘削深さがある場合でも、作業機の負荷を最適に制御することで掘削・運土作業も自動化したことである。

また作業が進行して仕上げ面に近づくに従い、自動的に掘削制御から整地制御に切替えることで、仕上げ面へのダメージを気にせずシームレスな自動施工を可能とした。

(1) 整地制御

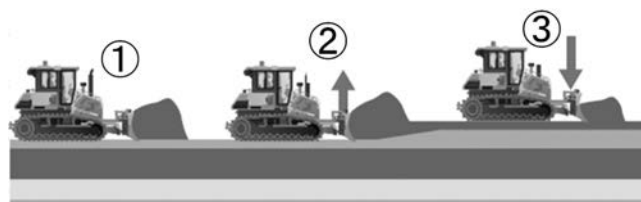
作業機刃先座標が、施工現場の設計面データによって決まる目標座標に一致するように油圧シリンダを制御する（従来機と同一機能）。

(2) 負荷制御

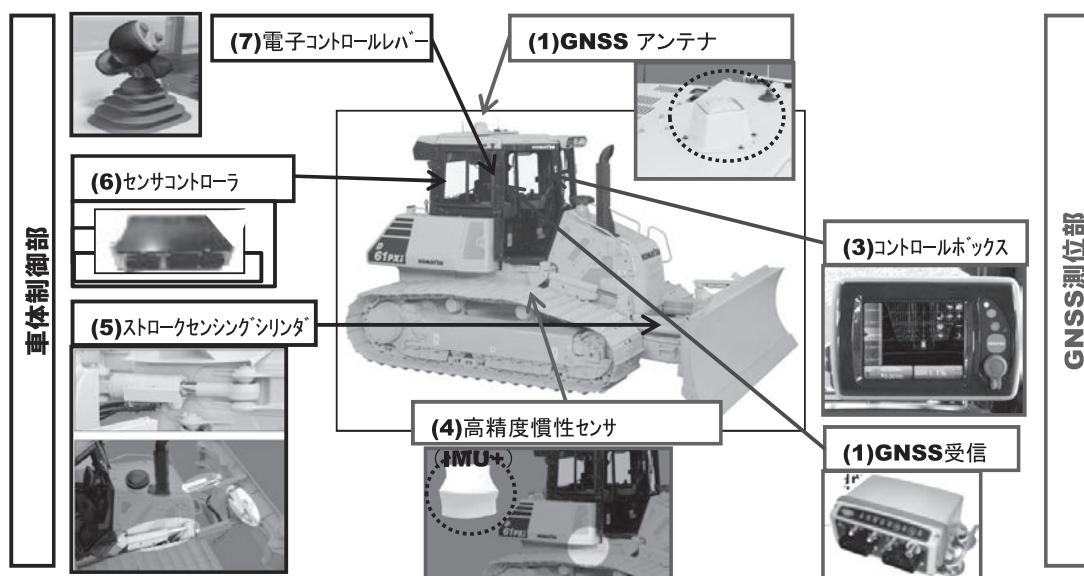
作業機にかかる負荷が、コントローラにあらかじめ設定された目標の負荷に一致するように油圧シリンダを動作させて、作業機刃先の高さを制御する（図—2）。

また、本機のパワートレインには静流体駆動式トランスミッション（以下 HST）を採用しているため、左右のスプロケットに搭載された油圧モータの回路圧と容量から車体の牽引力が算出可能である。作業機の負荷はこの牽引力を基に補正項加味して算出している。

- ①作業機の負荷が増大。
- ②シユースリップが発生しないように自動的に作業機を上げて負荷を調整する。



図—2 負荷制御



図—1 コンボ構成

③常に作業機の負荷が一致となるように作業機高さを調整する。

(3) シュースリップコントロール

機械の本体に搭載したGNSSアンテナからリアルタイムに計測される位置情報により、機械の移動体速度が得られる。一方、スプロケット回転数から理論車速が得られる。

この両者の比率から履帯のスリップを検出している。作業中に一定量のスリップを検出すると、自動的に作業機を上げることで作業機負荷を下げ、スリップを回避する。

(4) 掘削モードの選択機能

作業内容に応じてオペレータが選択可能な4つのモードを設定した(図-3~6)。

①運土 モード

掘削深さが浅く、長い距離を掘削・運土する作業に適する。作業機に掛る負荷が下がった場合でも刃先高さを下げないことで滑らかな掘削跡となり、長い距離での作業でも疲れない。



図-3 運土 モード

②切り土 モード

掘削深さがある程度深く、短い距離を掘削する作業に適する。作業機に掛る負荷を常に目標値に保つことで、最大効率での作業を行い、時間当たり土量の効率が良い。



図-4 切り土 モード

③敷き均し モード

ダンプトラックが排土したような置土を、撤き出し・敷き均しする作業に適する。置土への突込み時、急激な負荷変動があっても、一時的に目標負荷を上げる事で負荷抜けを防止。

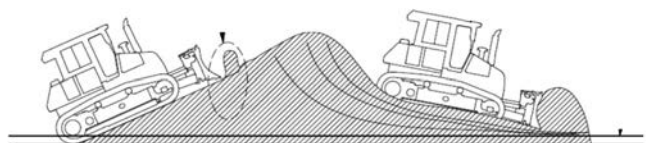


図-5 敷き均し モード

④仕上げ整地 モード

掘削制御を有しない、整地制御のみのモードであり、仕上げ整地や変曲点を縦断する作業に適する。設計面への作



図-6 仕上げ整地 モード

業機の追従のみを行う。

(5) 作業機負荷の選択機能

掘削制御の作業機負荷の目標値は土質や作業の内容に応じて3つのモードから選択可能とした。

- ①ライトモード 軽負荷作業に適する
- ②ノーマルモード 一般作業に適する
- ③ヘヴィモード 重掘削作業に適する

c. 技術的効果

1. コンポーネントの信頼性、作業者の安全性向上

従来のMC機能を搭載したブルドーザでは、GNSSアンテナおよび慣性センサユニット(以下IMU+)のセンサ類を作業機に搭載し、直接的に作業機の刃先位置を計測していたが、車体前方の直接土砂とぶつかる作業機上に精密機械であるセンサを搭載することとなり、信頼性等に問題があった。それに対し本機では、GNSSアンテナをキャンビンの天板上に、またIMU+を車体フレーム内に内蔵した(図-7)ことにより、従来機(図-8)に対して次の優位性を獲得した。

- ①作業機上のGNSSアンテナマストやケーブル類の廃止による視界性の向上。
- ②車体外部に露出したケーブルの廃止により作業中の破損がなくなり、信頼性が向上。



図-7 中型 ICT ブルドーザの外観



図-8 従来機の外観イメージ

- ③盗難防止の為に毎日のGNSSアンテナを着脱したいが、これが不要となり、安全性が向上。
- ④履帯下の位置測量が可能となり、走行しながらリアルタイムで現況地形の把握が可能。

2. ブルドーザ施工の容易化 (図-9)

整地作業だけでも習得するのに3年必要と言われる程、ブルドーザの運転には高い技量が必要とされているが、これまでに述べてきた作業機の自動制御システムの支援により、掘削・運土や整地まで内容を選ばずに、経験の浅いオペレータでも熟練オペレータに匹敵する作業が可能となっ

た。

3. 施工効率の向上

従来の情報化施工で丁張りの大幅削減、検測回数の低減、やり直し低減等による、工期短縮（場合によっては半減）のメリットを踏襲しつつ、本開発では更なる施工時間の短縮を実現した。

d. 経済的効果

GNSS測位技術と車体の自動制御を融合させる事で、施工効率の向上、すなわちユーザのコストメリットを大幅に改善した。

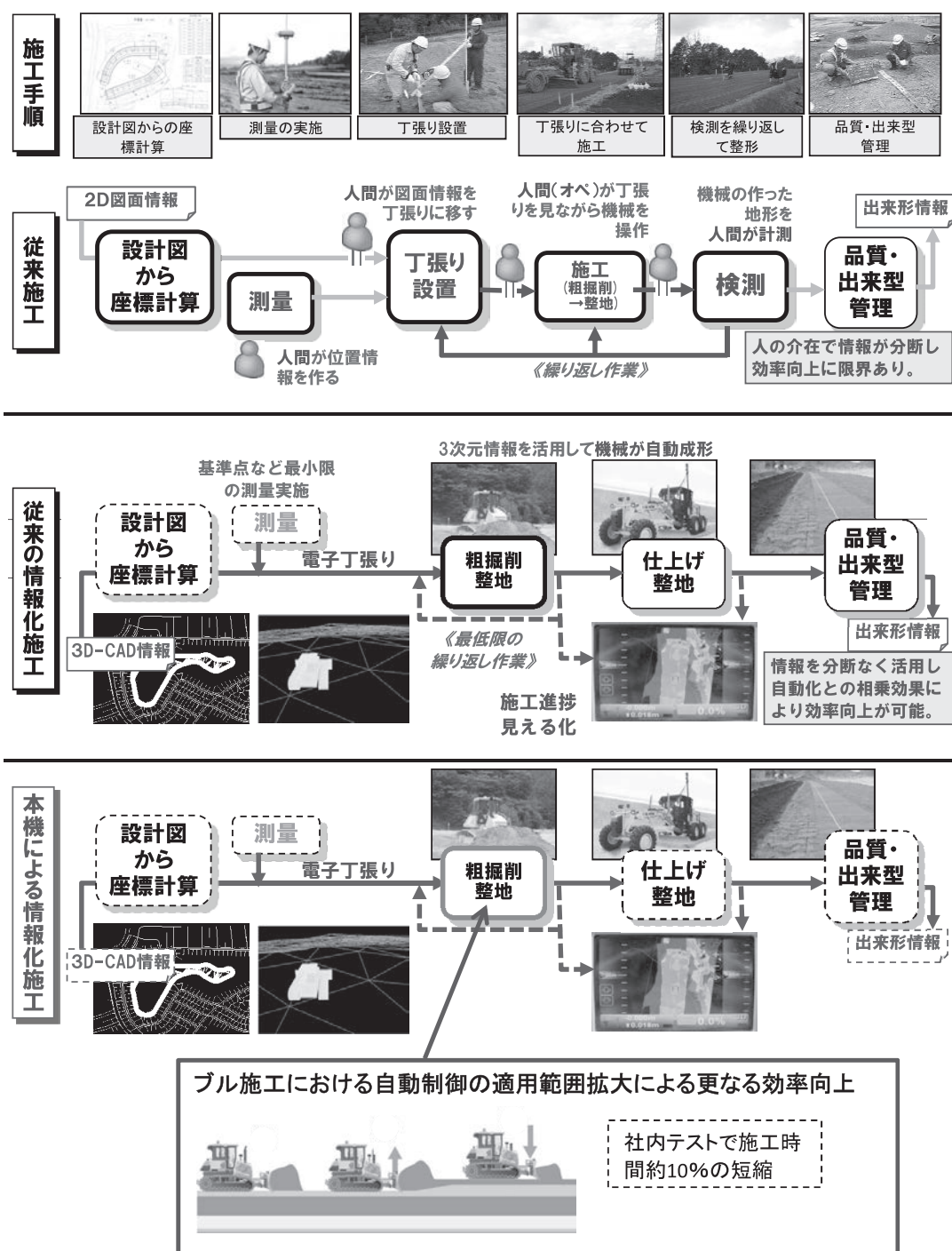
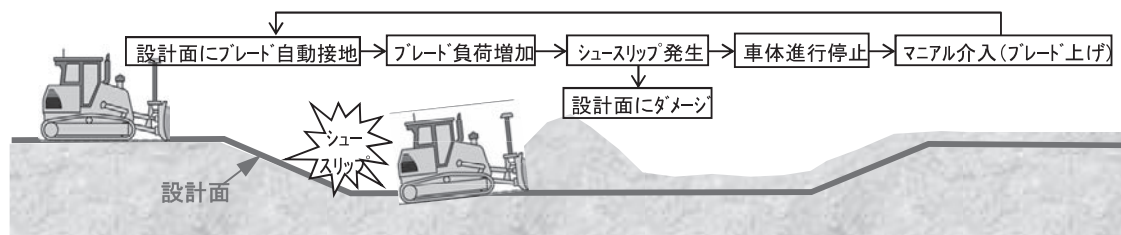
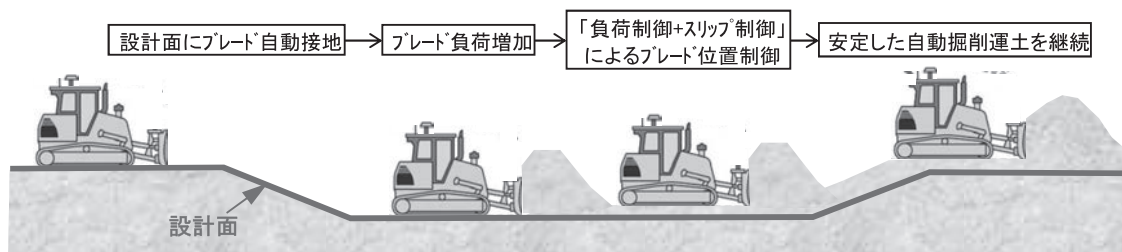


図-9 施工手順の比較



図—10 従来機での問題（作業機位置制御のみ）



図—11 開発機による改善（作業機位置制御+負荷制御+スリップ制御）

- (1) 工期短縮：丁張大幅削減，検測回数の低減，やり直し低減
- (2) 省資源化：高精度化による土砂材料の無駄削減，やり直し低減による燃料消費の低減
- (3) 人件費削減：丁張作業削減，検測回数低減による測量工数の低減
- (6) 施工効率の向上：自動制御の適用範囲の拡大
- (8) 車体外部に露出したケーブルの廃止により作業中のひっかけ等による断線の懸案がなく，信頼性が向上。
→交換部品代の低減。

e. 生産販売実績

排ガス規制地域向け北米，欧州，日本に出荷しており，標準車に対する ICT 仕様率は増加しており，市場ニーズの拡大の様子がみられる。

f. 類似機械との比較

従来機は作業機の位置制御，つまり目標高さと刃先高さの差（偏差）をゼロにする位置制御のみを行っている為，図—10 の様に負荷を抱えてシュースリップが発生するとオペレータがマニュアル操作で作業機を持ち上げる事で負荷を減らさないと押し続ける事はできない。逆にマニュアル操作で補助しない場合，シュースリップで整地面を傷めてしまう。

前述した「整地制御」，「負荷制御」，「スリップ制御」を組合せる事で途中でマニュアル操作で補助することなく，自動で最後まで押し切る事が可能となった（図—11）。

g. 波及効果

欧米においては従来機に対するメリットをユーザが評価しており，従来機にとって代わる存在となりつつある。

日本においては北米ほど従来機が普及していない影響か，MC 自体が初めてというユーザも多く，従来機からのメリットである「丁張大幅削減」を始めとする工期短縮のメリットと，自動掘削を付加した本機が好評を得ている。例えば，主に油圧ショベルの経験しかないオペが本機を操作し，ショベルで時間を掛けて整地していた現場を，本機で整地作業が可能となり，大幅に工期を短縮した現場もある。

従来機に対して自動制御適用範囲を拡大した本機の市場導入により日本市場での情報化施工の普及は一段と加速するものと考ええる。

山本 茂（やまもと しげる）

コマツ

開発本部 建機第一開発センタ 情報化建機開発グループ

田中 昌也（たなか まさや）

コマツ

開発本部 システム開発センタ メカトロ制御第2グループ

栗原 隆（くりはら たかし）

コマツ

開発本部 ICT 開発センタ HMI システム開発グループ

影山 雅人（かげやま まさと）

コマツ

開発本部 油機開発センタ 制御機器開発グループ

地域貢献賞

防潮堤法面用護岸ブロック専用吊具の開発

玉石重機(株)

業績の概要

「ブロックの吊り具で現場が変わる！」。

平成 24 年宮城県仙台湾南部海岸の堤防復旧工事に従事した際、その作業工程の中に壊れた堤防を新たに再構築しその法面に洗掘防止用のブロックを設置する作業があった。

作業は、構築した堤防の下地法面に当工事で採用されたコンクリート二次製品を玉掛け作業で据え付けていくというものである。

玉掛け作業は吊り具を用いて行う荷掛けおよび荷外し作業で、特定危険作業に指定される難易度の高い作業である。

今回は工期的にも余裕のない中、どうやって安全を確保しながら効率よく作業を進めることができるか。現場でその手法の検討を行い採用されたコンクリート二次製品（被覆用ブロック重量 2t）の形状および寸法に最適な吊り具を発案・製作することとした。

今回開発した専用吊り具は従来手法の玉掛けに比べ、吊り具の着脱の容易さ・吊り荷状態の安定性が非常によく、当該工事での活用で大きな成果があった。

業務内容

a. 業績の行われた背景

平成 23 年の東北地方太平洋沖地震の被害に対する復旧事業が平成 24 年から仙台湾南部海岸で本格的に開始された。

当社も 24 年より復旧事業に参加し、海岸堤防の再構築を手がけた。

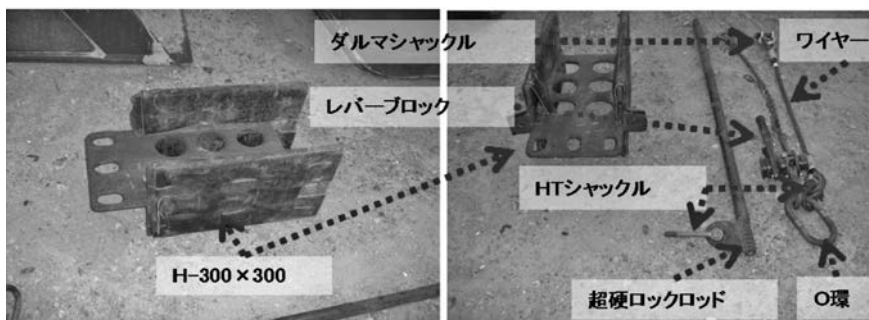
b. 業績の説明

開発した吊り具は、コンクリート二次製品専用の吊り具で着脱の容易性・吊り荷状態での安定性・据付コストの縮減を狙って発案した。

- ・吊り具本体は H 鋼 300 を加工して製作する。
- ・上部玉掛け部分には 3 箇所孔を設け、目的に応じて取付位置を変えることで水平吊り、斜吊りどちらでも対応できるものとした。
- ・壁面部の 3 面は孔抜きを行い、より軽量化を図る。
- ・下部にはロックロッド差し込み用の孔を設ける。
- ・対象ブロックとの接触面は傷付け防止用のゴムを取り付ける。



写真一 水平吊りによる玉掛け（荷卸し作業）：左、斜吊りによる玉掛け（据付け作業）：右



写真二 開発吊具と玉掛け用具

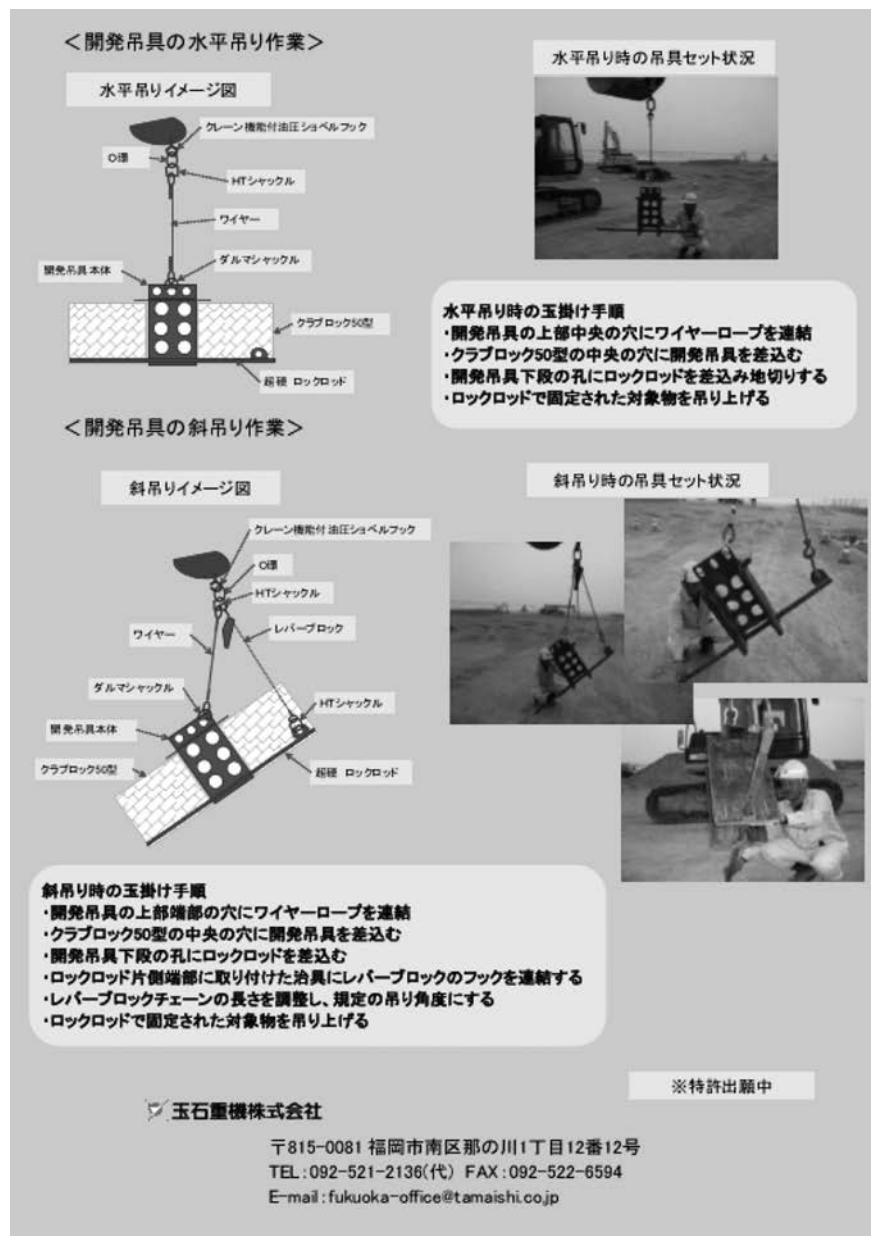


図-1 パンフレット

- ・対象ブロックに差し込んだ時のズレ防止にストッパーを付ける。
- ・超硬質のクロラドリルシャंकロッドに玉掛け用治具を加工して取り付ける。

c. 業績の効果

従来は今回のような玉掛け用治具がついていないコンクリート二次製品の従来手法による玉掛け作業は、胴巻き用具を用いる吊り手法が広く行われた。

当社は、工事着手初期に専用吊り具の開発を行い玉掛け作業を行ったが、結果として荷掛け・荷外しの手間が容易で施工性がよく、安定した吊り荷状態が確保できた。

施工方法の条件にも大きく影響されるが、近隣工区で行われていた従来手法と比較しても2倍程度（当社比）の作業量の差がみられた。

近隣工区より当吊り具の見学依頼や貸し出しの依頼があったので、近隣の他社現場（3箇所）へ開発吊り具を貸し出し、活用してもらった。

濱山 祐司（はまやま ゆうじ）

玉石重機(株)

事業本部技術部

片岡 廣志（かたおか ひろし）

玉石重機(株)

事業本部

山口 勇治（やまぐち ゆうじ）

玉石重機(株)