

国土交通省総合技術開発プロジェクト 「ロボット等による IT 施工システムの開発」の取組み

山元 弘・金澤 文彦

土木施工は、危険・苦渋作業がまだまだ多く存在している。これらの劣悪な作業環境を改善し、安全を確保することが喫緊の課題である。また、他産業に比べて IT の導入が遅れており、業務の効率化、コストの低減、品質向上のための技術開発が求められている。そのため、国土交通省では、総合技術開発プロジェクトとして「ロボット等による IT 施工システムの開発」を実施している。本報文ではこのプロジェクトの中で著者らが取組んでいる研究開発の内容を報告する。

キーワード：土木施工，施工管理，情報技術，ロボット技術，3次元情報，建設機械

1. プロジェクトの概要

我が国の土木施工においては、災害復旧現場、地下空間、トンネル、がけ地、土壌汚染の工事などで、危険・苦渋作業がまだまだ多く存在しており、これらの劣悪な作業環境を改善し、安全を確保することが喫緊の課題となっている。

これまでも施工の安全対策のため、一部で遠隔操作

方式の無人化施工の技術開発が進められてきた。しかし、有人施工と比較して作業効率が低く高コストであり、災害復旧現場等の大規模で特殊な施工現場への限定した適用にとどまってきた。また、現在、建設現場では就業者の高齢化が進展しており、今後、若年労働力不足や熟練者不足等の課題に対処していく必要がある。

そのため、最先端の情報技術 (IT)、ロボット技術 (RT) を活用し、現在行われている災害復旧現場等に

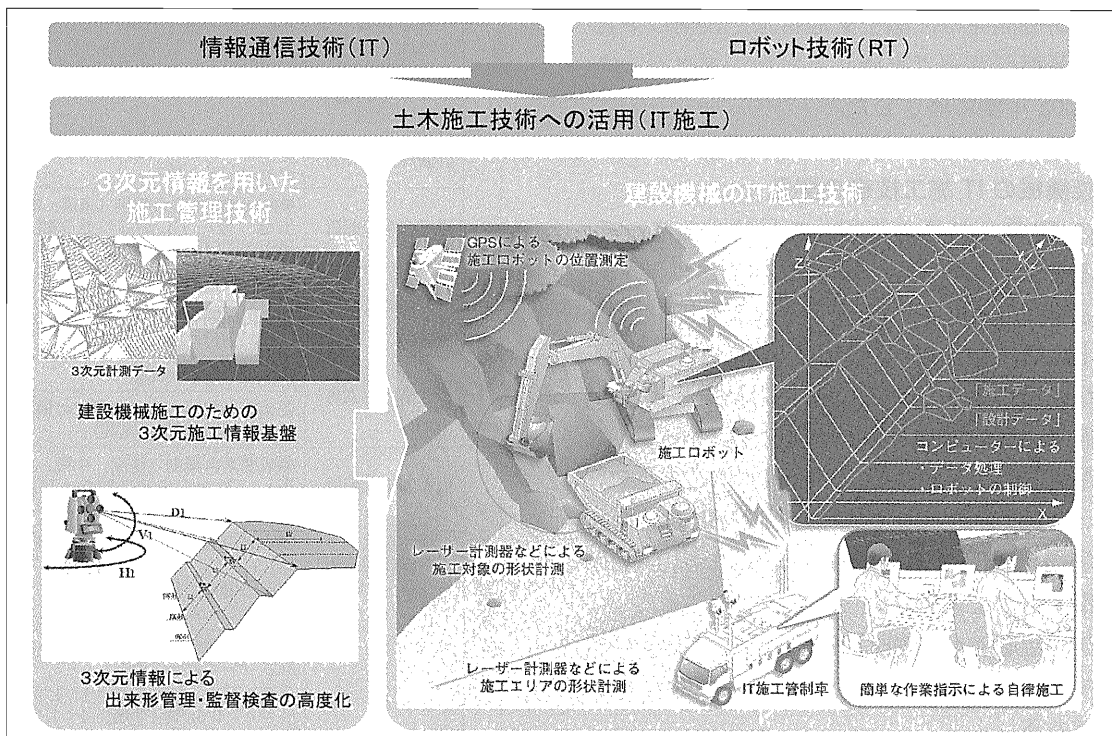


図-1 ロボット等による IT 施工システムの開発

おける施工効率を向上させるとともに、一般の施工現場においても低コストで容易に利用可能な作業支援システムや建設機械による施工の自動化技術などの開発が求められている（図—1）。

また、一般施工現場においても、例えば人力による2次元的な計測、データの紙による管理が行われるなど、他産業に比べてIT導入が遅れており、業務の効率化、コスト低減、品質向上のための技術開発が求められている。

そこで、国土交通省では、2003年度より2007年度までの5カ年の計画で総合技術開発プロジェクトとして「ロボット等によるIT施工システムの開発」を実施している。

このプロジェクトでは、土木施工における危険・苦渋作業の解消や熟練者不足への対応、現在の2次元図面や測量計算書等による非効率な作業の改善などの課題に対処するため、建設機械のIT施工技術の開発および3次元情報を用いた施工管理技術の開発を行っている。

(1) 3次元情報を用いた施工管理技術の開発

ロボット建設機械では、設計と現場形状の3次元情報を基に施工する技術が必要である。このため、3次元設計情報を面的に記述する方法を定義した。また、これを出来形管理に適用するマニュアルを作成し、現場で試行して良好な結果を得た。今後熟練度を上げ、普及を図る予定である。

なお、この研究開発は、国土交通省国土技術政策総合研究所情報基盤研究室で実施しており、プロジェクトとしては2005年度に終了した。

(2) 建設機械のIT施工技術の開発

建設機械のIT施工技術の実用化を目的として、その基盤となる要素技術を開発する。具体的には、3次元設計情報と施工状況により変化する3次元地形情報を操作画面上に表示し、画面上で作業位置や作業内容などの簡単な指示情報を与える技術を開発する。さらに、これを通常建設機械における施工効率を向上させるための作業支援システムとして導入するとともに、ITやロボット技術を活用して施工を自動的に行う油圧ショベル等のロボット建設機械によるIT施工技術の開発を目指すものである。

なお、この研究開発は、(独)土木研究所先端技術チームで実施しており、プロジェクトとしては2007年度までの予定である。

2. 3次元情報を用いた施工管理技術の開発

3次元設計情報の記述方法を定義する主な目的は、施工段階の3次元データの交換、再利用である。このため、データ量が少なく、修正容易で柔軟性のあるデータ構造として提案を行った。対象は、道路、または仮の中心線が設定できる形状とした。

また、ロボット建設機械に適用するため、以下の2点を要件とした。

- ①設計形状（平面・縦断線形、横断形状）を定義した基本設計情報を、設計ソフトの3次元モデル機能を用いて作成できること。
- ②作成された基本設計情報と地形情報（TIN）を読み込み、3次元モデルの生成、編集が可能であること。

表—1 3次元形状表現に必要な情報項目

	項目	項目の詳細	必要度
平面線形	主要点 (or IP 点) 位置	主要点（線形要素の変化点）の座標値 IP点における座標値	■
	平面線形パラメータ *主要点 (or IP 点) との関連付けが必要	直線区間：なし 曲線区間：曲線半径 (R) 値 および回転方向 緩和区間：クロソイドパラメータ (A) 値および開始・終了半径 (R) 値	●
	測点設定	開始側の測点（測点 No. + 追加距離） ブレーキ設定（ブレーキの前測点、後測点）	● △
縦断線形	縦断勾配変化点位置	縦断勾配変化点（サグ・クレスト等）の測点と標高値	●
	縦断曲線パラメータ *縦断勾配変化点との関連付けが必要	縦断曲線半径 (VCR) 値 縦断曲線長 (VCL) 値* (*水平距離)	■
道路面	計画高位置 (FH)	計画高 (PH) の横断上の位置 (CL からのシフト量)	△
	構成要素の配置	横断面構成要素の種別（車道、中央帯、歩道等）、CLからの並び順および適用区間（開始・終了測点）	●
	幅員 (*構成要素毎)	要素毎の幅員値 要素毎の開始・終了測点での幅員値 (*拡幅摺付け区間)	● △
	横断勾配 (*構成要素毎)	要素毎の横断勾配値 要素毎の開始・終了測点での横断勾配値 (*片勾配摺付け区間)	● △
法面等	構成要素の配置	構成要素の種別（法面、小段、擁壁等）、CLからの並び順および適用区間（開始・終了測点）	●
	横断形状 (*構成要素毎)	要素毎の幅・勾配・高さ（いずれか2つ） 法面の場合：勾配=1:1.2, 高さ=7.0m 要素毎の開始・終了位置での幅・勾配・高さ（いずれか2つ） 法面の場合：開始勾配=1:1.2, 開始高さ=7.0m/終了勾配=1:1.2, 終了高さ=7.0m	● △

必要度：●=必須，■=いずれか一方でも可，△=ケースに応じて必要

(1) 3次元設計形状の定義方法

3次元設計形状は、設計データの修正に柔軟に対応できるデータ構造として、「中心線形（平面・縦断）」+「横断形状」+「地形」で定義し、アプリケーションにより必要な形状を算出して用いるものとした。

また、3次元設計形状の表現に必要な情報項目は、表—1に示す内容について設定した。

定義方法は、2種類（図—2）作成した。

Aパターンは、「断面」を定義するもので、幅員、横断勾配、法面形状（切土・盛土）の変化毎に断面を定義する。

Bパターンは、面の要素を定義するもので、要素ごとに区間、幅と勾配を定義する。

今回は、Bパターンを用いることとしている。Aパターンは、変化する要素以外も再定義するためB

パターンよりデータ量が多くなり、またBパターンはAパターンに変換可能だからである。

(2) 3次元設計形状のデータ構造

3次元設計形状のデータ構造を、図—3に示す。

平面線形、縦断線形は、Land XMLのAlignment要素で表現可能であり、これに対応したアプリケーションもあるため、Land XML 1.0のAlignments要素をそのまま用いた。横断形状は、Grade Modelを基に改良したデータ構造を新たに定義した。

3. 建設機械のIT施工技術の開発

(1) 研究の対象

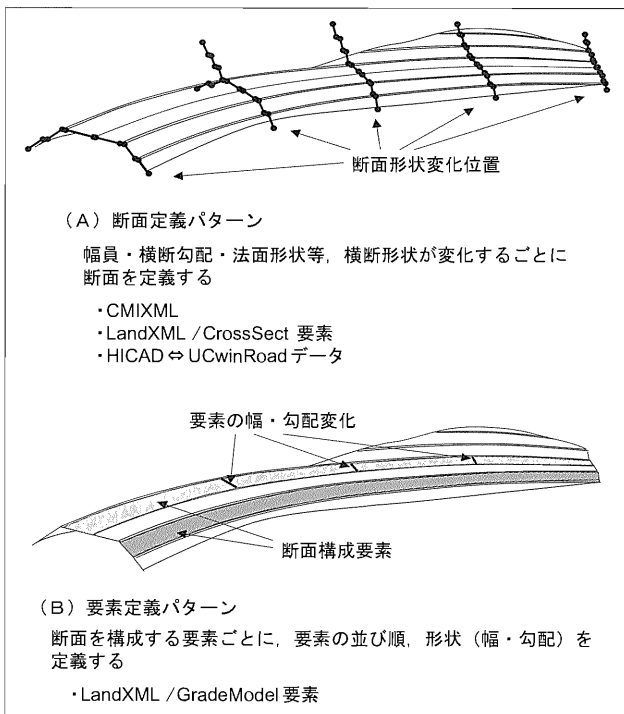
災害復旧や災害防止事業（砂防事業など）の非常に危険な工事現場の土工作业において、油圧ショベルとクローラダンプによる土砂の掘削、積込み、運搬を行う施工工程を実現するために必要な技術（ロボット建設機械のハードウェア、ソフトウェア、施工技術（施工プロセス、作業計画を含む））を対象とする（図—4）。

(2) 研究の概要

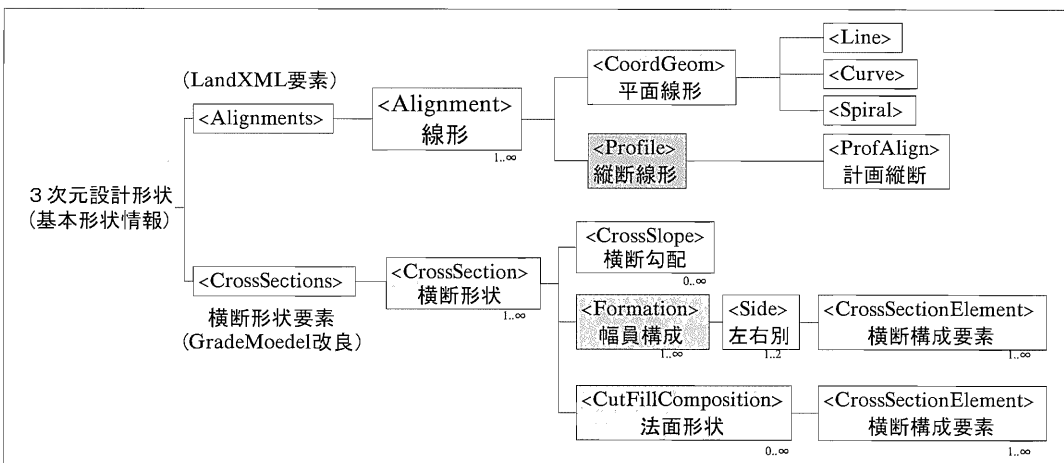
2007年度に、プロトタイプによる建設機械のIT施工技術の模擬現場における試験において、油圧ショベル及びクローラダンプの組み合わせ施工を実現する。

①第1段階として、建設機械のオペレータ（遠隔操縦等）に、作業の目標（設計）と現況（地形）の3次元情報と自機の位置などを提示して、作業を支援するシステムの開発を目指す。本システムは、無人化施工の現場などで早期に実用化する技術を目指す。

②第2段階として、遠隔でオペレータが作業位置、範囲、内容などの簡単な作業指示を行うと、作業の目標（設計）と現況（地形）の3次元情報を基にある程度の自律作業を行うロボット建設機械のプロトタイプ



図—2 横断定義 A パターン, B パターン模式図



図—3 3次元設計形状を表すためのデータ構造



遠隔操作の油圧ショベルとクローラダンプによる掘削、積込み作業

建設機械の遠隔操作を行うオペレータ

作業の目安になる丁張りの設置状況

遠隔操作時にオペレータに提示されるリアルタイムの映像

図-4 現状の遠隔操作による掘削、積込み、運搬作業の例

イブを目指す。

ここで言うある程度とは、大きな岩があるなど想定外の状況が発生し自律作業が困難な場合は、オペレータが介入して遠隔操作を行うことであり、自律作業とは、油圧ショベルのバケットやブームなどの作業装置について動作を計画し、状況により計画を修正しながら

ら掘削、積込み動作を自律して行うことである。

(3) 具体的な研究開発の内容

(a) リアルタイム施工状況を3次元情報として計測するシステムの開発

① 3次元情報の計測システムの開発

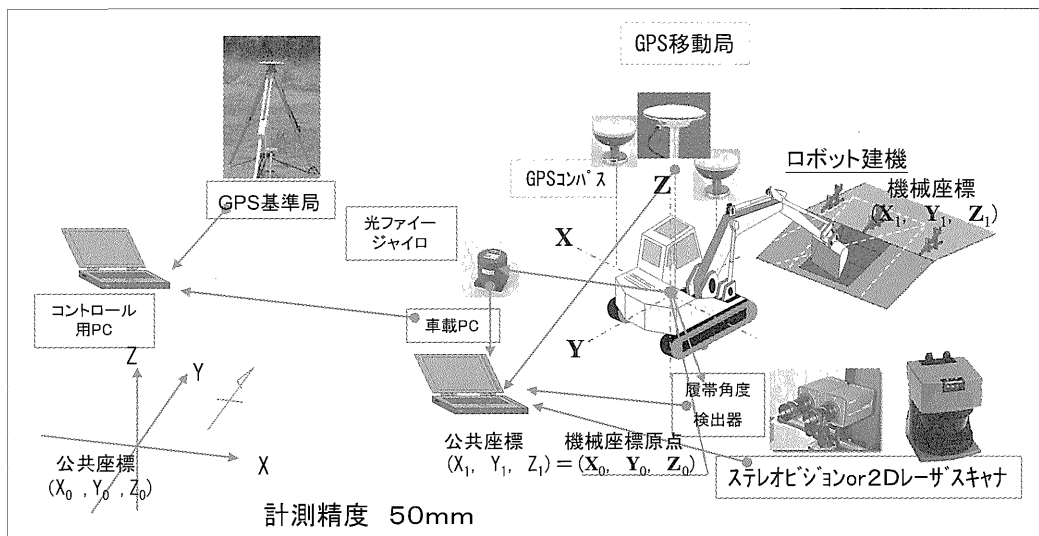


図-5 試作した3次元情報の計測システムの概要

ロボット建設機械が自律作業をするには、変化する作業中の地形の3次元情報を把握する必要がある。このため、揺動するロボット建設機械上に設置したレーザスキャナなどの3次元計測器で3次元情報を計測し、座標変換する技術を開発する。平成17年度までに計測システムを試作し、検証実験を実施した。試作したシステムの概要は、図-5のとおりである。

(b) 操作するための3次元情報の表示技術の開発

① 3次元情報の表示・作業指示技術の開発

ここでは、計測した現況(地形)の3次元情報や目標の形状(設計)の3次元情報を重ね合わせて提示する表示技術を開発する。また、この画面上で、作業範囲や作業内容などの簡単な指示を行う技術を開発する(図-6)。

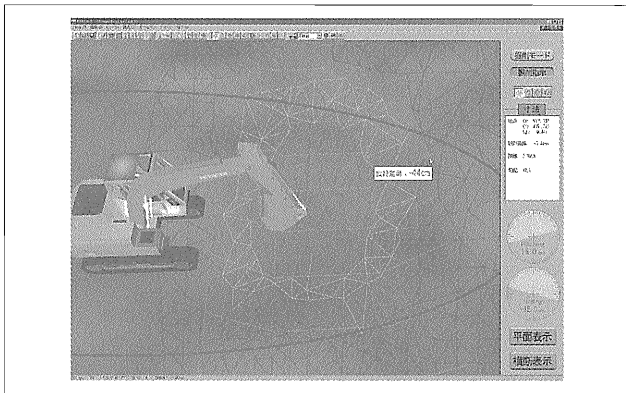


図-6 3次元情報の表示・指示技術の開発

② プロトタイプ作業支援システムによる検証

無人化施工の現場などで早期に実用化することを目指し、建設機械のオペレータ(遠隔操作等)に、作業の目標(設計)と現況(地形)の3次元情報と自機の位置などを提示して、作業を支援するシステムのプロトタイプを設計・製作し、模擬現場で試験を行い、機能の検証、評価を行う。

(c) 施工動作の自動化技術(ロボット建設機械の制御技術)の開発

① 熟練オペレータ操作時の建設機械の動き方の把握(図-7)

自律と熟練オペレータ操作での作業装置の軌跡の差異を数値として解釈する。そのため、複数の熟練オペ

レータによる作業で、建設機械の作業装置の動きやレバー操作量などを計測する。

② 建設機械の自動制御技術の開発(図-8)

作業目標(設計)と現況(地形)の3次元情報を用いて、ロボット建設機械の作業装置の動作の計画を自動生成する制御アルゴリズムを、上記のオペレータのデータを参考として、開発する。また、作業装置の位置や機械の姿勢等をリアルタイムに計測し、制御する装置を開発する。

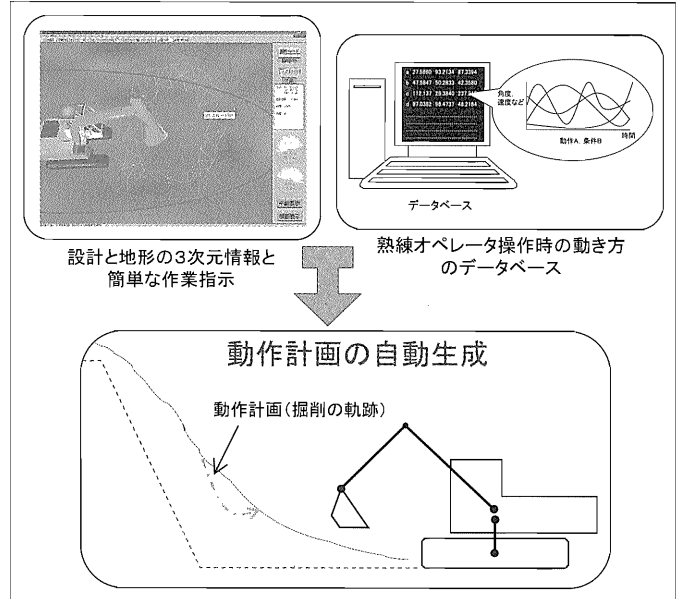


図-8 建設機械の自動制御技術の開発

③ プロトタイプシステムによる検証

本プロジェクトで研究された技術を活用して、油圧ショベルとクローラダンプによる掘削、積込み、運搬の機械土工の作業を対象として、建設機械のIT施工技術のプロトタイプシステムを設計、製作し、模擬現場で試験を行い、機能の検証、評価を行う。

4. おわりに

「建設ロボット」は20年前頃から一般的な言葉となり、以降、波はあっても継続的に進展し、個別の課題解決や遠隔無人化施工の洗練化を経て、現在に至っている。この間、特に計測、情報、通信、制御技術の高

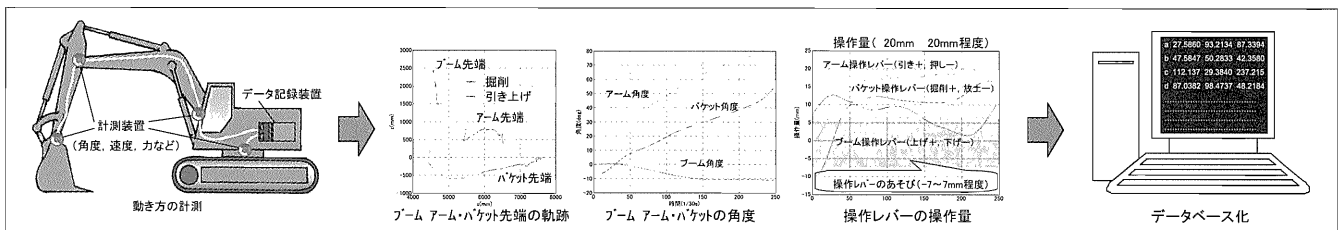


図-7 熟練オペレータ操作時の建設機械の動き方の把握

精度、高速、低価格化が進んでいる。

このプロジェクトでは、代表的汎用建設機械の油圧ショベルについて、IT、RTを、現実的な範囲で最大限導入する、基盤技術に取り組んでいる。

製造業で進んだ生産技術は、土木施工に生かせないのか？ 例えばNCマシンやこれを生かす多品種少量設計・生産システムは？ 建設労災が多いのに施工現場にいる人は減らせないのか？

これらの基本的問いかけに対し、特に屋外作業は、空間情報の適切な活用が必要であり、その要素技術がそろいつつある現在、一定の方向性を示すべき時期が来ていると考えている。すなわち、

- ① 設計と施工形状のプロダクトモデル記述、位置と周囲計測を統合する「周囲環境認識」（コンテキスト・ウェアネス）、施工結果情報の管理・再利用を現実化すること。
- ② 人による丁張り設置・作業中の計測を不要にし、補助要員を減らす施工形態とすること。
- ③ オペレータに施工指示や参考情報を提供する「施工ナビゲーション」（設計図と計測結果を建設機械に搭載し通信する）が、遠隔でも、車載でも、使えるようにすること。
- ④ 2台を一人で操作できるマシンと、その（自動機能を活用する）施工形態を提示すること。
- ⑤ 「プログラマブル・バックホウ」の技術仕様や組合せ施工モデルが、コンソーシアム内で、自由に改良されていくようにすること。

以上のような観点で取り組んでいる。

その他、施策的には、災害復旧の安全、確実、迅速化、品質確保に資する質の高い建設技能者の確保、技能の低い労働者増加のリスク管理等が挙げられている。特に労働者数に対する労働災害死亡者数の比率で、建設業は他産業平均の4倍近く、建設機械関係だけでも他産業平均に近い状況にあり、投資額に対する比率では上昇傾向にある。この解釈や対応には種々あろうが、IT技術を生かし、技術からのアプローチが必要であると考えている。

おわりにあたり、関係各位への謝意を表し、「建設生産工学」と「建設ロボット」の今後に期待したい。

《参考文献》

- 1) 有富孝一ほか：トータルステーションを活用した道路土工における出来形管理システムの構築と現場実証、第31回土木情報利用技術論文集、pp.259-270, 2006.10
- 2) 山元 弘ほか：情報技術（IT）とロボット技術（RT）を活用した建設技術の開発、九州技法、No.38, pp.17-23, 2006.1

J C M A

[筆者紹介]

山元 弘（やまもと ひろし）
独立行政法人土木研究所つくば中央研究所
技術推進本部先端技術チーム主席研究員

金澤 文彦（かなざわ ふみひこ）
国土交通省国土技術政策総合研究所
高度情報化研究センター
情報基盤研究室
室長

絵で見る安全マニュアル 〈建築工事編〉

本書は実際に発生した事故例を専門のマンガ家により、わかりやすく表現しています。新入社員の安全教育テキストとしてご活用下さい。

■要因と正しい作業例

- | | | |
|-----------|--------|---------|
| ・物動式クレーン | ・電動工具 | ・油圧ショベル |
| ・基礎工事中用機械 | ・高所作業車 | ・貨物自動車 |

A5判 70頁 定価650円（消費税込） 送料270円

社団法人 日本建設機械化協会

〒105-0011 東京都港区芝公園 3-5-8（機械振興会館） Tel.03(3433)1501 Fax.03(3432)0289