

施工現場で利用する施工管理データの構築

田 中 洋 一

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ICT施工システムの開発」を実施した。このプロジェクトでは、最先端の情報通信技術とロボット技術を活用し、土木施工における課題に対処するため、「建設機械のICT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」を実施した。本論文では、「3次元情報を用いた施工管理技術の開発」としてロボット建設機械に搭載するための施工管理データの構築と実際の施工現場でも3次元の設計データを活用できるようにトータルステーションによる出来形管理手法に最適化した施工管理データの内容について報告する。

キーワード：データ交換標準，設計データ，施工管理データ，測量機器，道路中心線形

1. はじめに

土木施工は、劣悪な作業環境であり危険・苦渋作業がまだに存在している。また、他産業に比べてICT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。国土交通省では、2003年度より2007年度までの5カ年で総合技術開発プロジェクトとして「ロボット等によるICT施工システムの開発」を実施した¹⁾。国総研では、施工管理情報として3次元設計データと3次元で得られる地形情報により、効率的な施工管理を行うことを目的に、ロボット建設機械に搭載するための面的な施工管理が可能となる施工管理データの構築、3次元情報に対応した出来形管理の要領や手引きの作成、民間におけるトータルステーションを開発するために必要な開発要求仕様書の作成を実施した。

2. 3次元情報を用いた施工管理技術の開発

3次元の設計データは、SXF Lv4²⁾、JHDM³⁾、IFC⁴⁾、OKSTRA⁵⁾などにより、建設分野におけるオブジェクトデータとしての研究が進められている。オブジェクトデータは、施工された構造物に関する効率的な情報収集、蓄積を想定しており、図面表示や台帳の管理に活用することができる。しかし、データサイズの大きさやモデルの複雑さから、測量機器や建設機械と連携した施工管理での活用には至っていない。また、建

設機械の制御に利用する設計データは、汎用的な3次元データであるTIN（不整三角形網）モデルが普及している。TINによる地形表現は、設計形状表現を実現するソフトウェアとして広く市場で普及している。しかし、TINを用いる場合は、設計形状の変化が多いデータを作成するとデータサイズが膨大になる。しかし、現地状況に応じて設計形状の修正が発生した場合、データ修正に手間がかかりデータ量も大きくなるため、施工段階で発生する形状の修正に柔軟に対応することができない。

3. 施工管理データの構築

施工管理データは、3次元設計データを核として、施工管理に必要な情報項目を設計データに関連付けて構成することにより構築した。施工管理データの構成は、設計データとして必要な座標参照方法を記述した座標系定義と設計の形状定義、施工管理として必ず実施される出来形管理の情報項目を定義した。設計データは、3次元の空間情報における必要最低限の設計項目のみを定義し、アプリケーション処理により3次元の形状データを生成し、地形形状の変更などに柔軟に対応させることとした。そして設計データは、最低限の設計項目を交換することでデータ量を低減し、軽微な項目の変更で形状データの修正が容易となる⁶⁾。表1に道路形状の表現に必要な設計項目を示す。設計データは、LandXML⁷⁾の記述要素を参考としてXML

表一 1 道路形状の表現に必要な設計項目

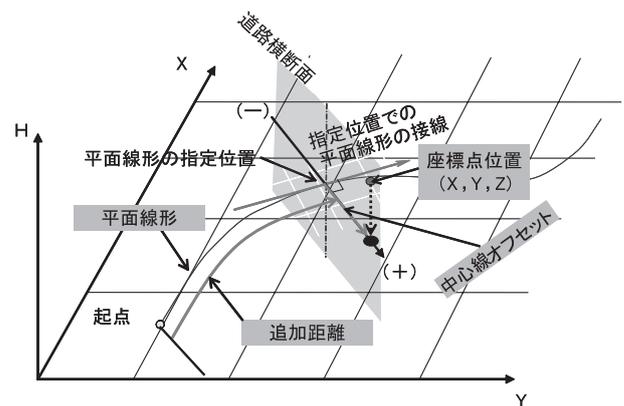
項 目		項 目 の 詳 細	
平面線形	主要点 (or IP点) 位置	主要点 (線形要素の変化点) の座標値 IP点における座標値	
	平面線形パラメータ <small>※主要点 (or IP点) との関連付けが必要</small>	直線区間: なし 曲線区間: 曲線半径 (R) 値および回転方向 緩和区間: クロソイドパラメータ (A) 値および開始・終了半径 (R) 値	
	測点設定	開始側の測点 (測点 NO + 追加距離) ブレーキ設定 (ブレーキの前測点、後測点)	
縦断線形	縦断勾配変化点位置	縦断勾配変化点 (サグ・クレスト等) の測点と標高値	
	縦断曲線パラメータ <small>※縦断勾配変化点との関連付けが必要</small>	縦断曲線半径 (VCR) 値 縦断曲線長 (VCL) 値 ※ (※水平距離)	
横断形状	道路面	計画高位置 (FH)	計画高 (PH) ば横断上の位置 (CLからのシフト量)
		構成要素の配置	横断面構成要素の種類 (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 <small>(※構成要素毎)</small>	要素毎の幅員値 要素毎の開始・終了測点での幅員値 (※拡幅擦り付け区間)
	横断勾配 <small>(※構成要素毎)</small>	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 (※片勾配擦り付け区間)	
	法面等	構成要素の配置	構成要素の種類 (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 <small>(※構成要素毎)</small>	要素毎の幅・勾配・高さ (いずれか2つ) EX) 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) EX) 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

形式によるデータの表現方法を採用した。設計データは、道路形状を表現する必要最低限の設計項目で定義することで、形状の修正が容易となり、TINなどの3次元モデルと比較して施工段階で発生する変更に対応でき、少ないデータ量でのデータ交換が可能となった。

(1) 座標系の定義

設計データは、実際の工事で利用するために、位置の指定 (位置参照) として座標系を明確にし、基本座標系要素を表現しておく必要がある。建設工事の設計・施工においては、測地座標系としての平面直角座標と標高が用いられることが多く、これを採用した。また、設計データは、定義された形状の任意位置を平面直角座標と標高に変換できる必要がある。参照する座標系の情報は、設計データ内に必ず記述することとした。

道路形状などから間接的に位置参照する方法は、道路中心線形の平面線形、縦断線形と横断形状を参照することで表現することとした。平面線形を参照した位置は、追加距離と道路中心線オフセットにより指定する。追加距離は、平面線形の基点から計測した距離として平面線形上に位置を定義する。そのため、平面線形上の任意の位置は、追加距離を用いて表現することができる。追加距離を用いた位置の指定を行う場合は、参照する平面線形を明確とする必要がある。道路中心線オフセットは、道路横断面上における、平面線形からの水平方向の離れ量と定義し、道路横断面を起点側から終点側に見て、右方向への離れを正、左方向への



図一 1 道路中心線形座標面の概念図

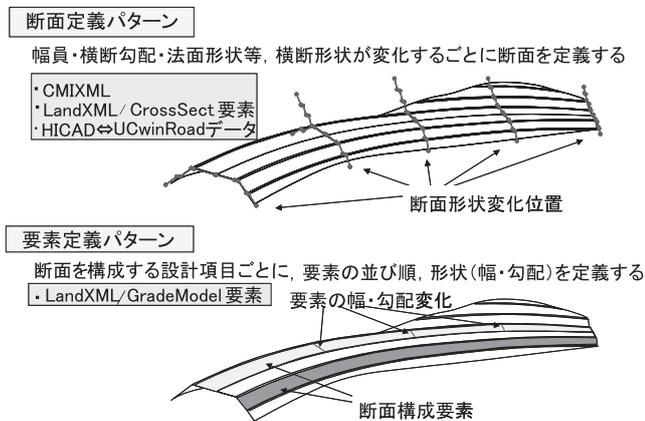
離れを負の値で表すものとする。ここで、道路横断面とは、指定した平面線形上の位置で、平面線形に直交する断面として定義する。図一 1 に道路中心線形座標面の概念図を示す。

(2) 道路中心線形

道路中心線形の要素は、道路中心線形の平面線形、縦断線形により定義される。平面線形は、水平面上に定義された、道路形状の基準となる線である。縦断線形は、道路の縦断形状における計画高位置を定義する線形である。縦断線形の要件は、縦断線形の定義区間内にある任意の道路横断面に対し、計画高位置が算出できなければならない。また、縦断線形の表現は、縦断勾配変化点を追加距離と標高で定義し、縦断勾配変化点に縦断曲線長を定義する必要がある。

(3) 横断形状

横断形状について、断面ごとに横断形状を定義する断面定義パターンと、断面を構成する設計項目ごとに形状を定義する要素定義パターンの表現方法について比較した。図一2に横断定義の模式図を示す。



図一2 横断定義の模式図

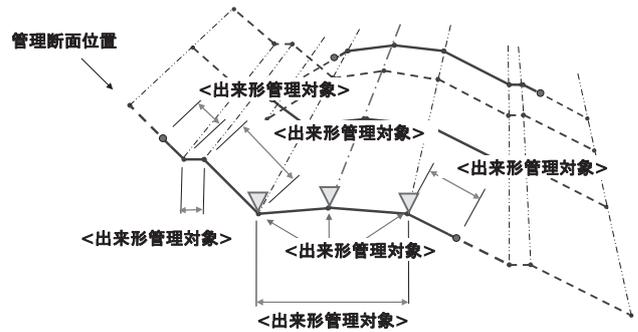
断面定義パターンは、設計図面の横断図のように、道路の横断形状を横断面ごとに表現するモデルである。断面定義パターンは、LandXMLのCrossSect要素で表現することができる。断面定義パターンは、モデルが理解しやすいというメリットがある。

要素定義パターンは、LandXMLの記述要素のGradeModelを基に改良したデータ構造をロボット建設機械用に新たに構築した。定義された設計データは、「建設機械のICT施工技術の開発」における3次元表示技術の開発⁸⁾で利用されている。ロボット建設機械では、任意位置の正確な設計形状の再現が必要である。断面定義パターンでは、幅員の変化、横断勾配の変化、法面形状(切土・盛土)の変化ごとに断面を設定しなければならない。断面定義パターンは、変化を定義する断面以外にも、断面情報として定義するためデータ量が大きくなる問題がある。要素定義パターンは、要素ごとに適用する区間と幅、勾配を定義することで、任意位置の正確な横断形状を算出することができる。

(4) 出来形管理対象情報

3次元情報に対応した出来形管理では、測量機器で記録した計測情報から出来形帳票の自動作成を行う。計測情報から出来形管理をするためには、設計データにどこが出来形の管理対象であるか、管理項目が何であるかといった情報を持たせる必要がある。また、出来形帳票では、出来形の管理工種(盛土工、切土工)、

管理項目(基準高、幅、法長)、対象範囲(左の切土法面、右の盛土法面など)、対象部位(1段目の法面、2段目の小段など)ごとに集計する必要がある。3次元情報に対応したトータルステーションなどを用いた出来形管理を実施するため、施工管理情報として出来形管理対象の情報を定義した。図一3に出来形管理対象の情報項目を示す。

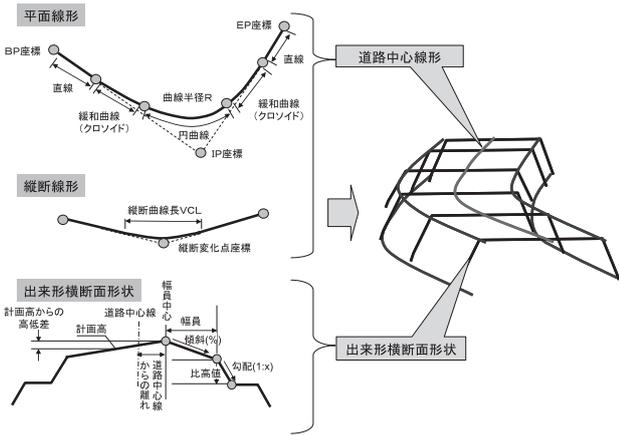


図一3 出来形管理対象の情報項目

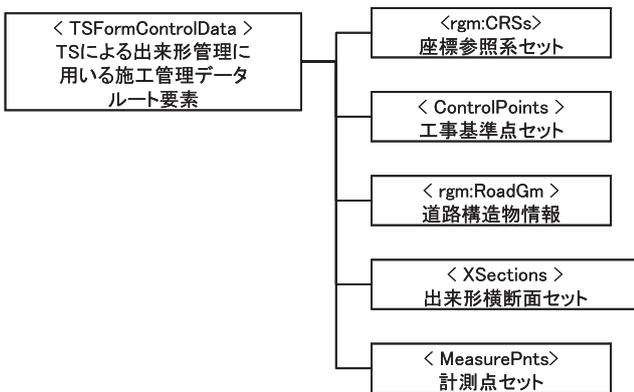
4. 出来形管理技術に対応させたデータの構築

設計データの利用は、実際の施工現場における出来形管理を対象とした場合、施工管理する横断面についてデータ交換するだけで十分である。3次元情報に対応したトータルステーションによる出来形管理では、設計モデルについて理解しやすい断面定義パターンを採用し、施工管理データについて必要項目を抽出することでデータ構造を最適化し、データ交換方法について定義した。トータルステーションによる出来形管理に利用するシステムは、3つのソフトウェア機能から構成される。それぞれのソフトウェア間で確実にデータを交換させるためには、データ交換に必要な情報モデルを確定しなければならない。「3次元情報を用いた施工管理技術の開発」では、LandXMLを基本設計データおよび出来形計測したデータを交換する情報モデルとして利用していた。しかし、LandXMLにある情報項目だけでは出来形管理で利用する情報項目を表現するには十分ではなかったため、「トータルステーションによる出来形管理に用いる施工管理データ交換標準(案) Ver2.0(以下「データ交換標準」という))を作成した。図一4にデータ交換標準における情報モデルの概念図を示す。

データ交換標準は、トータルステーションによる出来形管理における施工管理データ(設計データおよび出来形計測データ)について整理し、データ仕様を定めたものである。図一5にデータ交換標準の全体構



図一四 データ交換標準における情報モデルの概念図



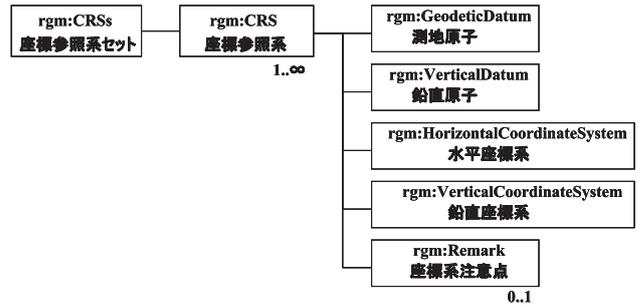
図一五 データ交換標準の全体構成

成を示す。データ内容は、座標参照系セット、工事基準点セット、道路構造物情報、出来形横断面セット、計測点セットから構成される。データ交換標準は、将来の3次元情報標準化を念頭に作成している。現在出来形横断面セットの定義は、測量機器に受け渡すために道路土工の出来形管理に必要な最低限の情報項目だけとしている。また、構築したデータモデルは、実際の施工現場における試行工事という形で適応性について検証した⁹⁾。

(1) 座標参照系セット

座標参照系セットは、「道路中心線形データ交換標準(案)基本道路中心線形編 Ver1.0」¹⁰⁾で規定されている要素を使っている。座標参照系セットは、測地原子、鉛直原子、水平座標系、鉛直座標系、座標系注意点から構成される。図一六に座標参照系セットの構成を示す。

測地原子は、日本測地系2000(新測地系)か日本測地系(旧測地系)を定義している。鉛直原子は、基準面名とT.P.(東京湾中等潮位)との差を定義している。水平座標系は、平面直角座標系の系列を定義して



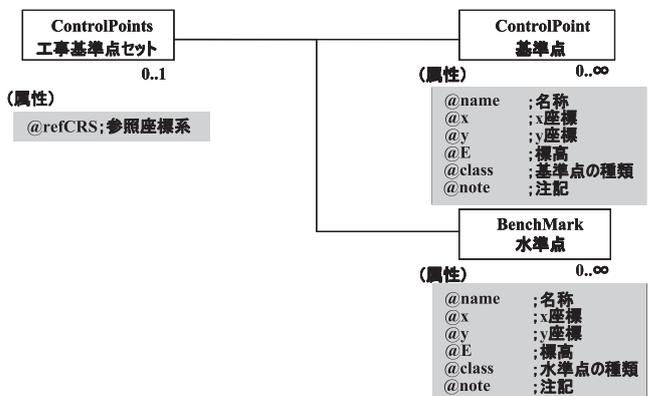
図一六 座標参照系セットの構成

いる。鉛直座標系は、鉛直原子となる平均海面からの高さを定義している。座標系注意点は、座標参照系のコメントを定義している。

(2) 工事基準点セット

工事基準点セットは、基準点、水準点の座標が参照する座標系の内容を属性として持ち、基準点、水準点から構成される。図一七に工事基準点セットの構成を示す。

基準点は、基準点測量により施工現場に設置された狭義の基準点に関する情報を定義している。水準点は、水準点測量により設置された水準点の情報を定義している。



図一七 工事基準点セットの構成

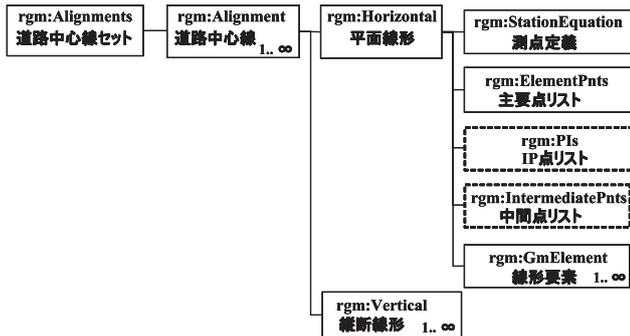
(3) 道路構造物情報(道路中心線セット)

道路構造物情報(道路中心線セット)は、座標参照系セットと同様に「道路中心線形データ交換標準(案)基本道路中心線形編 Ver1.0」で規定されている要素を使っている。道路中心線形セットは、平面線形、縦断線形から構成される。平面線形は、さらに測点定義、主要点リスト、IP点リスト、中間点リスト、線形要素から構成される。図一八に道路構造物情報(道路中心線セット)の構成を示す。

測点定義は、管理断面を定義する測点間隔を定義し

ている。主要点リストは、線形要素が代わる点の座標値を定義している。IP点リストは、IP点の設定をしている。ただし、トータルステーション出来形管理では、IP点データは交換するが、平面線形は主要点の座標と線形要素から算出することを基本としている。中間点リストは、中間点の座標値を定義している。線形要素は、平面線形の幾何要素（直線、円弧、クロソイド）を定義している。

縦断線形は、縦断の勾配変位点などを定義している。

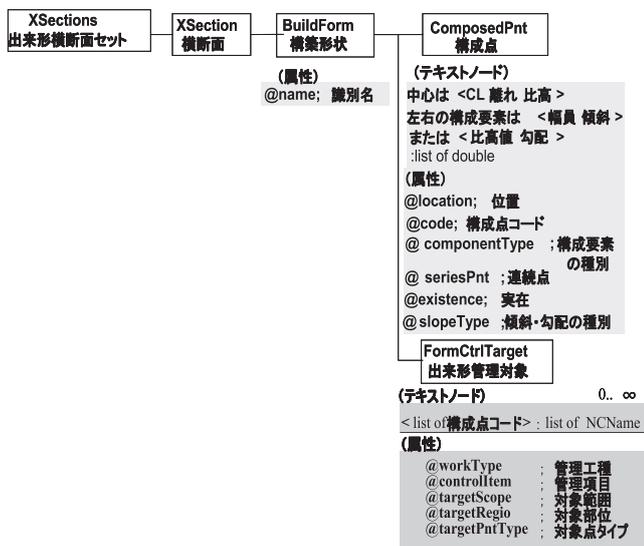


図一8 道路構造物情報（道路中心線セット）

(4) 出来形横断面セット

出来形横断面セットは、出来形管理を行う横断面と構築形状の属性を持ち、構成点、出来形管理対象から構成される。図一9に出来形横断面セットの構成を示す。

構成点は、横断面の構築形状を構成する構成点を定義している。出来形管理対象は、出来形管理対象についての情報（管理工種、管理項目、対象範囲、対象部位）について定義している。



図一9 出来形横断面セットの構成

(5) 計測点セット

計測点セットは、計測対象が参照する道路中心線ごとに作成され、計測点を属性としている。計測点は、出来形計測をした点についての座標値や取得した時間などの情報を定義している。

5. おわりに

「3次元情報を用いた施工管理技術の開発」は、3次元情報に対応したトータルステーションにより効率的な施工管理としての出来形管理を実現することができた。施工管理データは、3次元設計データと3次元で得られる地形情報により、施工管理情報としてロボット建設機械に搭載するためのデータ構造を構築することができた。また、道路施工に関する施工管理データとして、設計データと出来形管理の計測データを受け渡すためのデータ交換標準を構築した。さらに、実際の利用事例として、3次元情報に対応したトータルステーションによる出来形管理手法を構築し、施工現場でのデータ活用を実現し、3次元情報の有効性を確認することができた。

今後は、データの記述方法やデータ記述項目を詳細に決めたデータ辞書を作成することで、土工機械を対象とした建設機械のデータ交換方法としての国際標準（ISO15143）に提案したいと考えている。また、日本国内におけるISO15143の利用を考えて、運用をするためのスキーマを構築し、データ交換方法を確立することで国内の標準化をする必要がある。建設機械や測量機器においては、構築されたスキーマおよびデータ辞書により国内標準として利用できる環境を構築していきたいと考えている。

J|C|MA

《参考文献》

- 1) 山元 弘 他：油圧ショベルの自律化に向けた基盤技術について、第11回建設ロボットシンポジウム、日本ロボット工業会、[11]、pp.243-252 (2008.9)
- 2) 公共事業支援統合情報システム (http://www.mlit.go.jp/tec/it/cals/index.html)
- 3) 日本道路公団試験研究所：Japan Highway Data Model 概要書（案）、(2005)
- 4) IAI：http://www.iai-japan.jp/
- 5) OKSTRA：http://www.okstra.de/
- 6) 松岡謙介 他：情報化施工を実施する施工現場において利用される情報項目、2005年度土木情報利用技術講演集、土木学会、[30]、p.81-84、(2005.10)
- 7) LandXML.org：http://www.landxml.org
- 8) 柳沢雄二 他：作業機械の遠隔操作におけるマンマシンインターフェイスに関する研究、第11回建設ロボットシンポジウム、日本ロボット工業会、[11]、pp.253-262 (2008.9)
- 9) 神原明宏 他：土工事におけるトータルステーションを用いた出来形管理手法、第11回建設ロボットシンポジウム、日本ロボット工業会、[11]、pp.173-182 (2008.9)

- 10) 国土交通省国土技術政策総合研究所:道路中心線形データ交換標準(案)
基本道路中心線形編 1.0, 国土技術政策総合研究所資料, [371] (2007)



【筆者紹介】

田中 洋一 (たなか よういち)
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

「建設機械施工ハンドブック」改訂3版

近年、環境問題や構造物の品質確保をはじめとする様々な社会的問題、並びに IT 技術の進展等を受けて、建設機械と施工法も研究開発・改良改善が重ねられています。また、騒音振動・排出ガス規制、地球温暖化対策など、建設機械施工に関連する政策も大きく変化しています。

今回の改訂では、このような最新の技術情報や関連施策情報を加え、建設機械及び施工技術に係わる幅広い内容をとりまとめました。

「基礎知識編」

1. 概要
2. 土木工学一般
3. 建設機械一般
4. 安全対策・環境保全
5. 関係法令

「掘削・運搬・基礎工事機械編」

1. トラクタ系機械
2. ショベル系機械
3. 運搬機械
4. 基礎工事機械

「整地・締固め・舗装機械編」

1. モータグレーダ
2. 締固め機械
3. 舗装機械

● A4 版 / 約 900 ページ

● 定 価

非 会 員：6,300 円 (本体 6,000 円)

会 員：5,300 円 (本体 5,048 円)

特別価格：4,800 円 (本体 4,572 円)

【但し特別価格は下記◎の場合】

◎学校教材販売

〔学校等教育機関で 20 冊以上を一括購入申込みされる場合〕

※学校及び官公庁関係者は会員扱いとさせていただきます。

※送料は会員・非会員とも沖縄県以外 700 円、沖縄県 1,050 円

※なお送料について、複数又は他の発刊本と同時申込みの場合は別途とさせていただきます。

●発刊 平成 18 年 2 月

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 <http://www.jcmanet.or.jp>