

長大ハイブリッドケーソンの製作と曳航・据付

衣浦港3号地廃棄物最終処分場整備事業護岸工事

山口 和彦

衣浦港3号地廃棄物最終処分場は、外周護岸と管理型・安定型区画を仕切る内護岸より構成されている。内護岸は、据付による工期短縮が可能で、目地を極力少なくすることで遮水性能の保持に有利とされる長大ハイブリッドケーソン（幅15.0m×延長90.0m×全9函）が採用されている。そのうち本工事では、三重県津市の海洋ドックにて8函同時製作を行い、そこから35海里離れた据付場所への曳航・据付を行った。また、曳航に先立ち、長大ケーソンの曳航時の挙動について数値解析と水理模型実験を実施した。

本稿では、この長大ケーソンの製作および曳航据付の施工方法と長大ケーソンの水理模型実験を中心に報告するものである。

キーワード：管理型処分場、長大ハイブリッドケーソン、曳航・据付、動揺解析、水理模型実験

1. はじめに

衣浦港3号地廃棄物最終処分場は愛知県武豊町の衣浦港に位置し、埋立面積47.2ha、埋立容量521万 m^3 （管理型452万 m^3 、安定型69万 m^3 ）の最終処分場である（図-1）。海面処分場は、延長1,863mの外周護岸と管理型区画と安定型区画を仕切る延長944mの内護岸から構成されている。外周護岸は捨石式傾斜堤で護岸法面に遮水シートを二重に敷設することにより遮水性を確保する構造となっている。内護岸（写真-1）はケーソン式直立堤であり、遮水性能を持つ基礎構造と長さ90mの大型ハイブリッドケーソンからなる遮水護岸である。



図-1 工事位置図

護岸工事は3工区に分割され、本工事は内護岸721m（ハイブリッドケーソン90m×8函）および既設護岸部に排水路836mを築造するものである。ケーソン基盤部は遮水性能確保のため、深層混合処理部に水中コンクリートおよび変形追随性遮水材であるアスファルトマスティックで不陸整正し、その上にケーソンを直接据付ける構造である。このため、高い施工精度が要求された。本稿では、大型ハイブリッドケーソンの製作・曳航・据付の施工方法を中心に報告する。

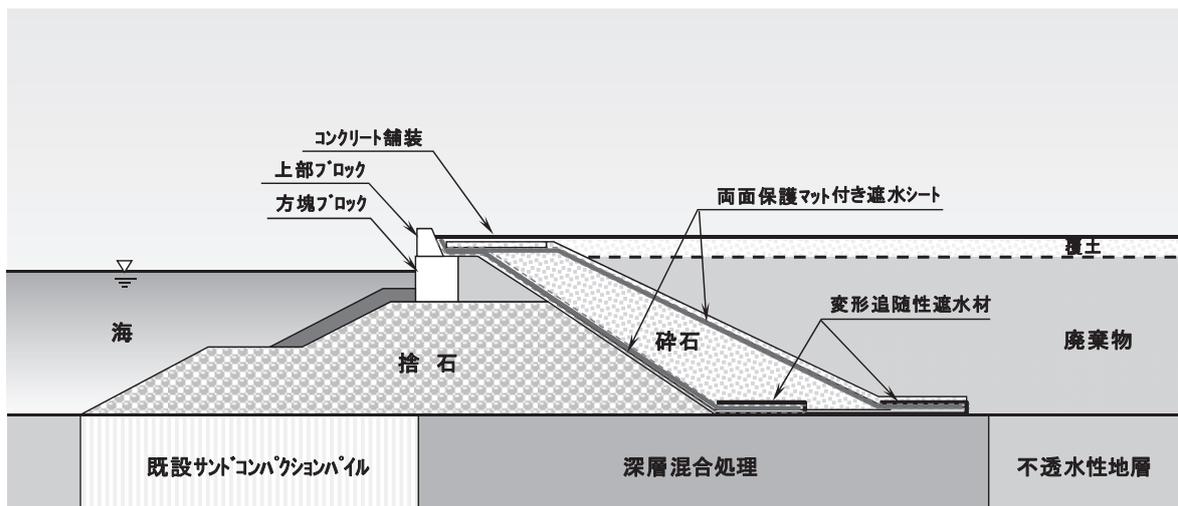


写真-1 内護岸全景

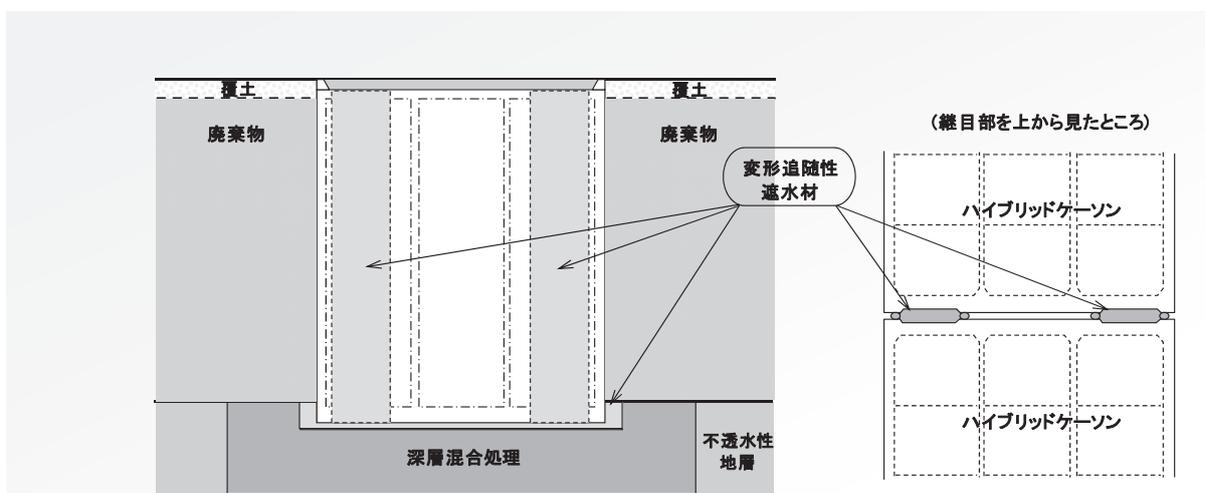
2. 工事概要と課題

(1) 外周護岸

延長1863.4mの外周護岸は捨石式傾斜構造であり、その内1692.7mが管理型護岸となっている。管理型護岸は、護岸斜面に遮水シートを二重に敷設し、シー



図一 2 外周護岸（管理型）標準断面図



図一 3 内護岸標準断面図

トの下端部は地盤支持力の強化と遮水性能を向上させるために地盤改良（深層混合処理工法）を行った海底地盤上に設置し、変形追随性遮水材（アスファルトマスチック）を用いて固着する。安定型護岸については、管理型護岸から遮水シート等の遮水工事部分を除いた構造となっている。

図一 2 に外周護岸標準断面図を示す。

(2) 内護岸

内護岸はケーソン式直立堤であり、水密性を有するハイブリッドケーソンおよび変形追随性遮水材を用いた目地および底面の深層混合処理工法による改良地盤により遮水整を確保している。また、目地数を極力少なくするためにケーソン長を 90.0 m としている。

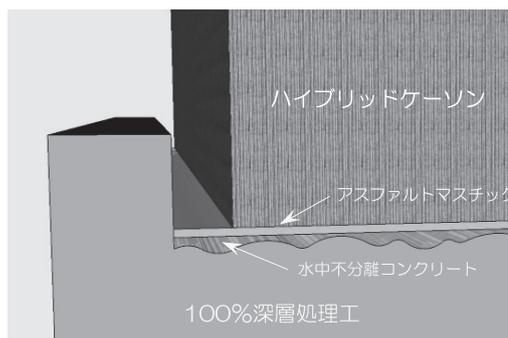
図一 3 に内護岸標準断面図を示す。

(3) 工事の課題

当護岸工事は、環境アセスメント上の制約および近

隣地域への配慮から、深層混合処理船の稼働隻数、施工期間に制約があり、工程面において非常に厳しい条件を余儀なくされた。また、以下に示す技術的課題が挙げられた。

◇ケーソン設置面が水深約 15.0 m の大水深であるうえに、基礎となる水中不分離性コンクリートの施工精度が、 ± 5.0 cm と高い精度が求められており、その施工および管理方法（図一 4）。



図一 4 ケーソン底面詳細部

◇長大ハイブリッドケーソン（延長 90.0 m × 8 函）のクラック防止対策および伊勢湾内の常用航路横断、狭小で交通の難所である師崎水道の通過方法を含むケーソン曳航方法とその据付方法。

3. ハイブリッドケーソン製作工

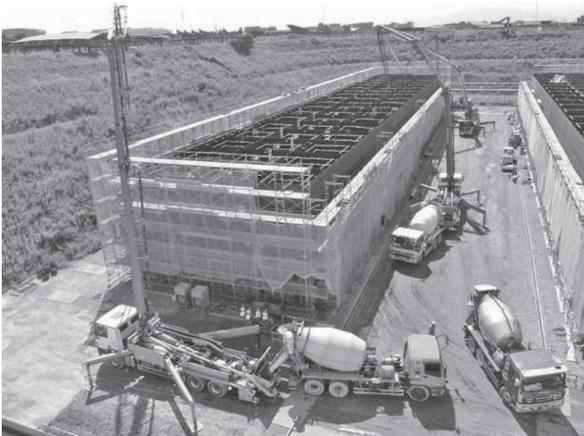
ハイブリッドケーソンの製作は、三重県津市にある大型海洋ドックにて隣接工区分を合わせた9函同時製作を行った。製作期間は、約16カ月であった。本ケーソンは、高さ15.5 m～17.5 mであるにもかかわらずフーチングがないため、製作時の安定を考慮し鋼殻を2段組立とし、下部鋼殻設置後側壁コンクリートを打設し、その後上部鋼殻を設置する施工手順とした。

表一1にハイブリッドケーソンの施工数量表を示す。

表一1 ハイブリッドケーソン数量

工事種別	形状寸法	単位	数量	参考数量
ハイブリッドケーソン標準函（×14.0 m）	90.0 m×15.0 m×17.5 m	函	4	ケーソン重量：6,067 t コンクリート数量：1,942 m ³
ハイブリッドケーソン標準函（×13.0 m）	90.0 m×15.0 m×16.5 m	函	2	ケーソン重量：6,067 t コンクリート数量：1,942 m ³
ハイブリッドケーソン標準函（×12.0 m）	90.0 m×15.0 m×15.5 m	函	2	ケーソン重量：6,067 t コンクリート数量：1,942 m ³

ハイブリッドケーソンは、長さ90 mと長大であり、かつ真夏のコンクリート打設および養生となるため（写真一2）、コンクリートの温度ひび割れ、乾燥収縮ひび割れの発生が懸念された。現場で講じられた主なひび割れ抑制対策は以下のとおりである。



写真一2 底版コンクリート打設状況

【ひび割れ抑制対策】

- ①使用コンクリートは膨張コンクリートを採用した。
- ②夏季にはコンクリートアジテータ車に遮熱シートを取り付けた。
- ③コンクリート打設完了後、ケーソンの天端部分に散水用ホースを設置し、鋼殻内部に打ち水を行い、鋼

殻温度の上昇を抑制した。

- ④鋼殻内部に直射日光が入らないようケーソン上部に早期に足場を設置した。
- ⑤側壁部には、脱型直後の乾燥収縮を抑制するために、被膜養生剤の塗布を行った。

以上の対策を講ずることにより、ひび割れを抑制することができた（写真一3）。



写真一3 ケーソン製作完了全景

4. ケーソン曳航工

(1) 動揺解析・水理模型実験

一般的なハイブリッドケーソンはフーチングがあり浮上曳航時のケーソンの安定に寄与していたが、本ケーソンは延長が長く、フーチングを有さない構造であるため、浮上時・曳航時の安定性が懸念された。そこで、ケーソンの動揺解析および水理模型実験を実施し、曳航時の挙動について確認を行った。動揺解析では航路横断時に動揺量が最大となり、係留索の見直しを行った。また、動揺解析の結果、曳航時のケーソンのRollやPitch動揺を低減させるために、起重機船をケーソンに横付けした状態での曳航を今回新たに試みることとなった。その際の動揺の抑制に関して、事前に水理模型実験を行った。

(2) 実験概要

長水路を用いた縮尺1/50の水理模型実験を行い、上記の起重機横付け時の動揺特性の変化を確認した。動揺解析の結果を受け、実験は14.0 m函を対象とし、波との共振が生じる可能性のあるPitch方向および解析時の動揺が大きいRoll方向について実験を行った。

表一2に実験模型諸元を示す。

実験は規則波とし、周期を変化させたケースについて行うとともに、曳航状態を模擬した流速を作用させた条件についても行った。表一3に実験ケースを示す。

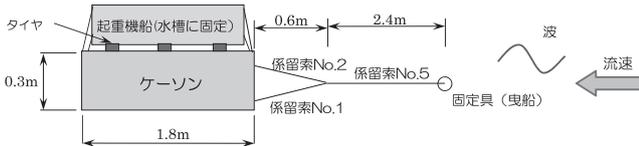
表一 2 模型実験の諸元

諸元	単位	現地条件	模型縮尺1/50
長さ	m	90.00	1.80
幅	m	15.00	0.30
高さ	m	17.50	0.35
喫水	m	5.30	0.107
総重量	N	727,000 kN	581.8
重心位置(底面から)	m	5.30	0.102

表一 3 実験ケース

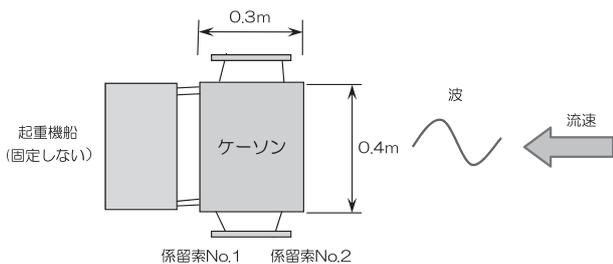
実験模型	起重機船	実験スケール(現地スケール)			
		水深(m)	波高(m)	周期(sec)	流速(m/s)
Pitch	あり	0.45	規則波	0.242 (3.0)	無
				0.636 (4.5)	0.073 (1.0 kt)
				0.707 (5.0)	0.255 (3.5 kt)
Roll	なし	0.45	0.03 (1.5)	0.990 (7.0)	無
				1.273 (9.0)	0.073 (1.0 kt)
				1.556 (11.0)	

図一 5 に Pitch 実験の配置図を示す。



図一 5 Pitch 実験配置図

図一 6 に Roll 実験の配置図を示す。ケーソンの Roll 動揺へ影響を与えるのは、起重機船自体の復元特性や係留ロープであるため、本実験では起重機船とケーソンはロープにより横付けするものとした。



図一 6 Roll 実験配置図

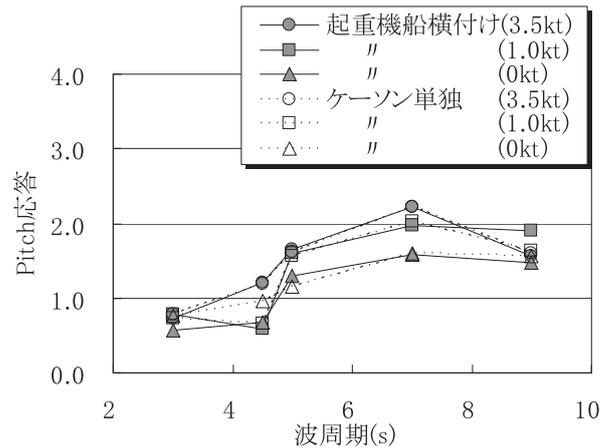
(4) 実験結果

図一 7 にケーソン Pitch 実験の結果を示す。

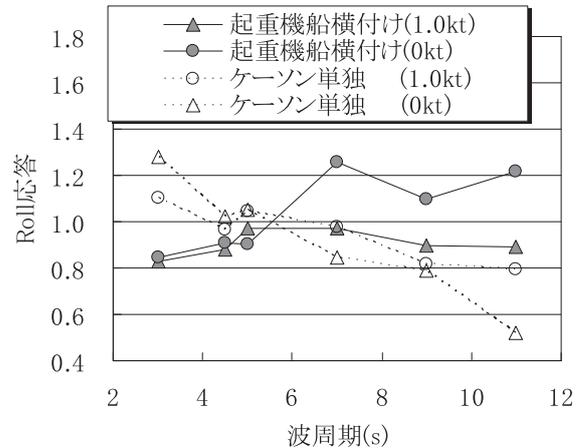
Pitch 応答値は、固有周期に近い波周期 7.0 s において大きくなる傾向を示した。また、起重機船横付け時とケーソン単独時との Pitch 応答値を比較すると、ややばらつきはみられるもののほぼ同等値を示し、起重機船の横抱きによる効果があまりないことが判明した。

次に図一 8 に Roll 実験結果を示す。

図一 8 より波周期 5.0 s 以下の短周期では、起重機



図一 7 実験結果 (Pitch 実験)



図一 8 実験結果 (Roll 実験)

横付け時の応答値が小さく、波周期 7.0 s 以上の逆の傾向に移行している。

(5) 曳航船団

長大ケーソンの曳航は、従来では 4 ~ 6 隻の大型曳航船団で行っていたが、各曳船の向きが異なりケーソンの操舵の安定性の確保が懸念された。そこで、前後各 1 隻の曳船で曳航し、前記模型水理実験よりケーソン曳航時の安定およびロープ切断等の不測の事態を想定してケーソンに起重機船(自航式)を横抱きさせる船団構成とした(図一 9)。

曳航船団の全長は、伊勢湾および三河湾曳航時は約 330 m であり、曳航船の規格は曳航物件の大きさと曳航速度(約 3.5 ノット)より、主曳航船(船首)を 6,000 馬力、補助曳航船(船尾)を 3,600 馬力とした。

(6) 曳航実績

ケーソンは、隔室内のバラスト水を排水し、規定喫水(各函バラスト高さ h=1.0 m)を確保した段階で起重機船に係留し、起重機船のウインチ操作で海洋ドックから曳出した。

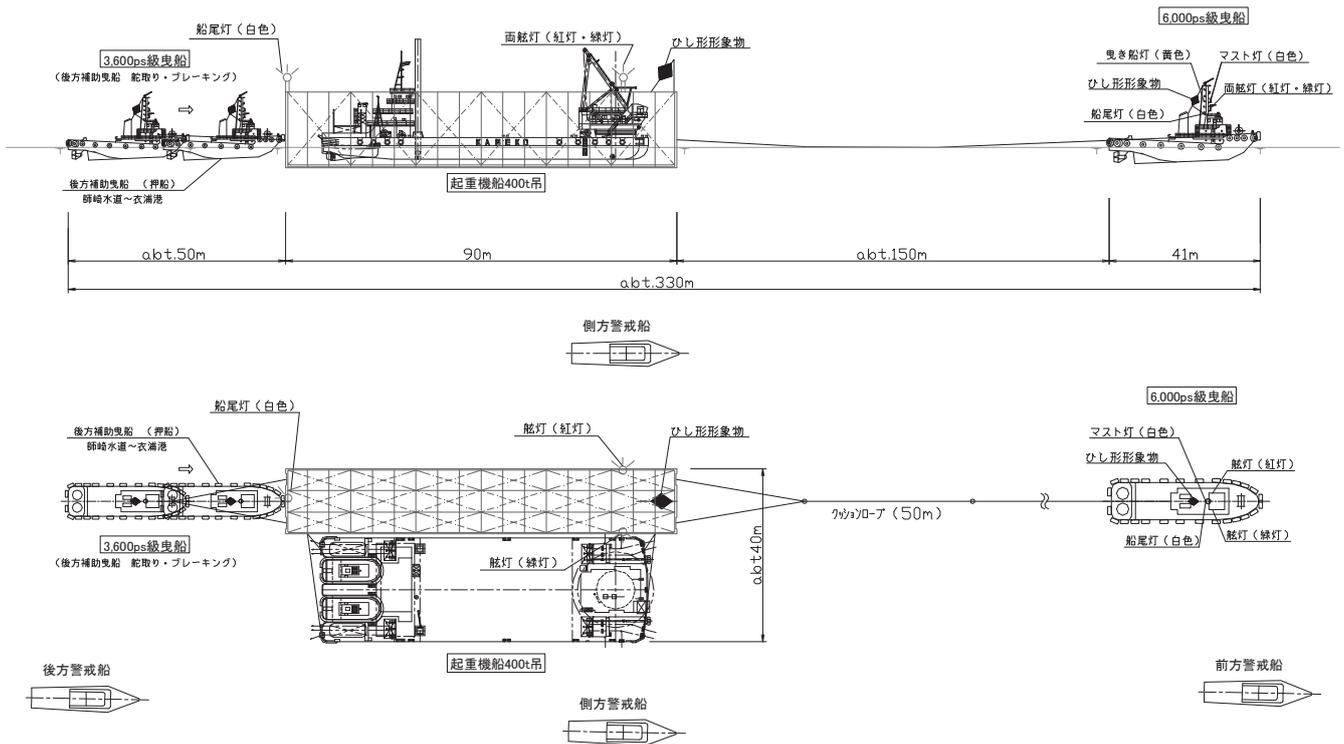


図-9 曳航船団構成図

ケーソン曳航時は、曳航ルート (図-10) 上に各チェックポイントを設け、名古屋港海上交通センター、伊勢湾海上交通センター、航行センター、工事責任者などに遅滞無く連絡し、情報提供を受けた。また、曳航船団の作業指揮者 (主曳航船乗船) は、AIS 情報を監視し、動静情報を各作業船、警戒船に連絡した。



写真-4 曳航状況

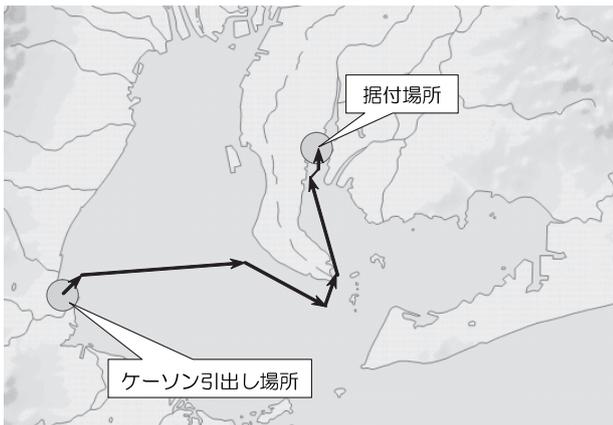


図-10 ケーソン曳航経路

曳航中のケーソンの動揺については、波高が1m程度の場合もあったが、大きな動揺は観測されず、非常に安定していた。また師崎水道付近では、上げ潮の潮流の影響を受け、曳航速度がやや速くなる場合もあったが、ケーソンの安定は保たれていた (写真-4)。

5. ケーソン据付工

ケーソン据付は、起重機船に横抱きした状態でウインチ方式にて行い、注水ポンプ (6 inch) 18台を使用して行った。ケーソン誘導には、ジオジメーターおよび光波測距儀を使用した。

本ケーソンの場合、捨石マウンド上ではなくアスファルトマスチック上に直接設置する構造であったため、現実的には再浮上による据え直しは不可能であった。

ジオジメーターを使用することにより、ケーソン天端の4隅に取り付けられたターゲットを自動追尾するため、リアルタイムでの位置・高さの管理が可能となった。また、ケーソン沈設状況確認により18台あるポンプの不調や能力差に関してもいち早く察知することができた。

本据付方法により全8函、一度の着底で据付を完了することができた (写真-5)。据付精度については、



写真—5 ケーソン設置完了

法線出入りの規格値 ± 150 mm に対して最大 69 mm, 目地間隔は, 平均 $+ 21$ mm と高い据付精度を確保した。

6. おわりに

本事業は長さ 90 m でフーチングのない不安定な形状の大型ケーソンの 8 函同時製作・曳航・据付という

あまり前例のないものであった。本事業の施工に際し、工事に関わった多くの関係者の技術的努力により、大きなトラブルもなく無事完了することができた。本工事の実績により今後の同様の工事の参考になれば幸いである。

最後に厳しい工程の中、ご尽力頂いた協力会社の皆様、工事へのご理解とご指導を頂いた(財)愛知臨海環境整備センター (ASEC) の皆様に感謝申し上げます。

JCMA

《参考文献》

安野浩一郎・森屋陽一・山口和彦・今村正・坂井勝洋:長大ケーソン曳航時の同様低減方策に関する研究, 海洋開発論文集, Vol.26, 2010, pp.825-830

【筆者紹介】

山口 和彦 (やまぐち かずひこ)
五洋建設(株)
名古屋支店 土木営業部
部長



平成 22 年度版 建設機械等損料表 発売中

■内 容

- ・国土交通省制定「建設機械等損料算定表」に基づいて編集
- ・損料積算例や損料表の構成等をわかりやすく解説
- ・機械経費・機械損料に関係する通達類を掲載
- ・各機械の燃料(電力)消費量を掲載
- ・主な機械の概要と特徴を写真・図入りで解説
- ・主な機械には「日本建設機械要覧(当協会発行)」の関連ページを掲載

■ B5判 約 720 ページ

■ 一般価格
7,700 円 (本体 7,334 円)

■ 会員価格 (官公庁・学校関係含)
6,600 円 (本体 6,286 円)

■ 送料 (単価) 600 円 (但し沖縄県を除く日本国内)
注 1) 複数冊発注の場合は送料単価を減額します。
注 2) 沖縄県の方は社沖縄建設弘済会
(電話: 098-879-2097) にお申し込み下さい。

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>