

# 縦型回転混合攪拌中層改良工法の概要

## ツイン・ブレードミキシング工法による多層地盤改良施工

西尾 経・高野 令男・齋藤 邦夫

ツイン・ブレードミキシング工法（以下「本工法」という）は、改良深度が2m～13m程度の浅層から中層・深層域までの広範囲な改良が可能な地盤改良工法である。施工機は汎用のバックホウのアームに取り付けたケーシング先端部に鉛直方向に回転する縦型回転攪拌装置を装備している。本工法では、有機質土や粘性土等の多層地盤においても、原位置地盤に必要な固化材配合を調節した施工が可能である。なお本工法は、新技術活用システムに登録（KT-050086-V）され、平成24年度準推奨技術（新技術活用システム検討委員会（国土交通省））の選定、設計比較対象技術の指定、および一般社団法人日本建設機械施工協会より平成22年6月に建設技術審査証明書を受けている。

キーワード：地盤改良，中層混合処理工法，多層地盤

### 1. はじめに

深度10m程度までの中層域を対象とする地盤改良工では、従来は三点支持式杭打機をベースマシンとする施工機が用いられてきた。しかし、同機が大型であることから、施工効率ならびにコストの点で課題が指摘され、その改善が求められている。こうした観点から、中層域の改良には汎用性の高いバックホウをベースマシンとし、そのアーム先端に新たな方式の攪拌混合装置を装着した地盤改良施工機の開発を展開してきた。

開発した本工法は、アーム先端部に縦型に回転する $\phi 1.3\text{m} \sim \phi 1.5\text{m}$ の大径攪拌翼を装着し、改良断面積 $A = 1.69\text{m}^2 \sim 2.25\text{m}^2$ の矩形断面とした改良体を造成する工法である。

本工法では攪拌翼を縦型に回転させるが、複数枚の攪拌翼を90°ごとに千鳥に配置して攪拌効率の向上を図り、高品質の改良体を造成することができる。以下に、本工法の概要と施工事例を示す。

### 2. 工法概要

#### (1) 本工法の概要

汎用のバックホウのアームに取り付けたケーシング先端部に、直径 $\phi 1.3\text{m} \sim 1.5\text{m} \times$ 幅 $B 1.3\text{m} \sim 1.8\text{m}$ の鉛直方向に回転する縦型回転攪拌装置を装備した本工法施工機の外観を写真—1に示す<sup>1)</sup>。また、同写真



写真—1 本工法施工機全景

(b)は、攪拌翼部を拡大したものである。攪拌駆動装置は攪拌翼の直上に位置するケーシング内に格納され攪拌翼と直結している。このため、安定した回転トルクを攪拌翼に伝達することができる。また、攪拌駆動部は攪拌翼の直上に設けた下部駆動式であるため、機械の安定性が従来に比べ高いことがいえる。改良深度は、バックホウのブーム高さの関係から改良深度が

最大 13 m 程度であるが、空頭高さは従来の三点支持式杭打機に比べて、1/2 程度に抑制できることが施工上大きな利点となる。

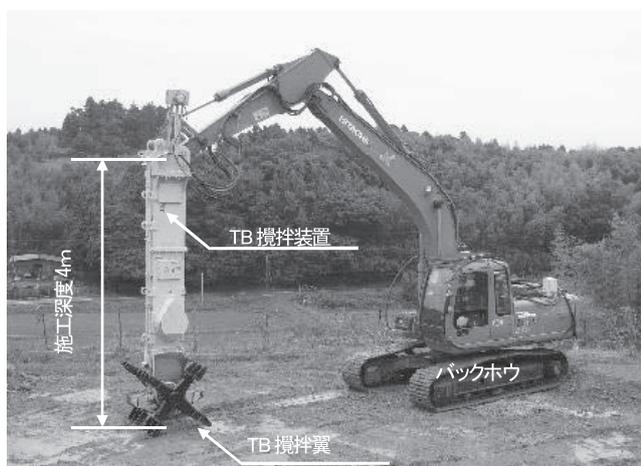
以上より、本施工機は汎用性、機動性ならびに安定性に対して優れた特長を有する。また、もう一つの特徴は、回転攪拌翼直径を  $\phi 1.3\text{ m} \sim \phi 1.5\text{ m}$  に、改良幅を 1.3 m ~ 1.8 m に変えることができ、その結果 1.5 m × 1.5 m の正方形から 1.3 m × 1.8 m の長方形断面を組み合わせて、目的に応じて幅広く適用できるように工夫されている。

### (2) 施工機の形式と仕様

浅層域から中・深層域の適用範囲への需要の要請から、改良可能深度 2m ~ 13m と浅層から中層・深層域までの広範囲な改良を可能とする 5 機種の施工機を開発し、実用に供している。

写真—1 は、深度 13 m まで改良可能な深層域用長尺施工機である。また、写真—2 は、深度 4 m までの浅層域を攪拌混合対象とする施工機である。表—1 に 5 機種の施工機と適用可能な施工深度の関係を示す。

同表中の改良深度 13 m まで可能な TB14 施工機は、48 t 級の特長長尺アームを装着する専用バックホウで構成している。一方、短尺で 4 m 程度までの浅層改良の TB-S 施工機は、20 t 級の汎用バックホウで対応可能である。いずれもバックホウをベースマシンとしており、従来の杭打機を用いた方式に比べ、施工機としての機動性が高い。



写真—2 TB-S 型施工機

### (3) 施工仕様と適用地盤

本工法では、前述したように縦型回転攪拌翼直径や改良幅を 1.3 m ~ 1.8 m に変更でき、正方形から長方形まで矩形状の改良体を選択できる。表—2 は地盤条件、効率的な施工を担保する標準改良深度ならびに改良形状の対応関係を示す。適用地盤では、砂質土において  $N \leq 15 \sim 20$ 、粘性土では  $N \leq 5$  を攪拌形状に応じ推奨している。各施工仕様において、施工形状が  $\square 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$  の標準型 (M) 仕様および  $\square 1.3\text{ m} \times 1.8\text{ m}$  の幅広型 (W) 仕様では、深度 10 m まで施工可能である。このとき 1 本当たり改良断面積は、約  $A = 2.3\text{ m}^2$  と大断面の改良が形成できる。また、最大改良深度 13 m まで施工可能な長尺型 (L) 仕様は、 $\square 1.3\text{ m} \times 1.3\text{ m}$  の正形状で、改良断面積も  $A = 1.69\text{ m}^2$  である。このように改良深度や地盤に応じて改良形式を効果的に選ぶことが可能である。

表—2 標準施工仕様と適用地盤

仕様	標準型 (M)	幅広型 (W)	長尺型 (L)
標準深度 (m)	10	10	13
標準矩形状 (攪拌翼形状)*	$\square 1.5\text{ m} \times 1.5\text{ m}$	$\square 1.3\text{ m} \times 1.8\text{ m}$	$\square 1.3\text{ m} \times 1.3\text{ m}$
改良断面積 ( $\text{m}^2$ )	2.25	2.34	1.69
適用土質	砂質土 $N \leq 15$		$N \leq 20$
	粘性土 $N \leq 5$ ( $c_u \leq 70\text{ kN/m}^2$ )		

### (4) 施工機管理装置と施工方法

本工法では施工精度および改良品質を確保するため、専用の施工管理装置を装備し、施工機オペレータがリアルタイムで状況を把握しながら施工することができる。図—1 は、管理装置の計測内容と構成を示している。管理装置の測定精度は、施工深度が  $\pm 1\text{ cm}$ 、ケーシングの傾斜角度については  $\pm 0.1^\circ$  で管理することができる。施工管理方法は、深度、傾斜、スラリー流量および攪拌回転数を計測しながら、モニター画面で確認できるリアルタイムシステムである。施工機オペレータは、施工仕様の管理値とリアルタイムに表示される実測値を比較しながら、施工機械を操作することで、改良体の品質を確保することが可能である。計測結果は、記憶媒体に記録され、施工データグラフとして出力される。施工データグラフには、深度、施工機攪拌装置の傾斜角度、固化材スラリーの積算流

表—1 施工機の機種と適用深度

形式	TB-S 機	TB7 機	TB9 機	TB12 機	TB14 機
施工機クラス	20 t 級	35 t 級	45 t 級	45 t 級特殊仕様	48 t 級特殊仕様
適用深度 (Z)	$\leq 4\text{ m}$	$4\text{ m} < Z \leq 6\text{ m}$	$6\text{ m} < Z \leq 8\text{ m}$	$8\text{ m} < Z \leq 10\text{ m}$	$10\text{ m} < Z \leq 13\text{ m}$

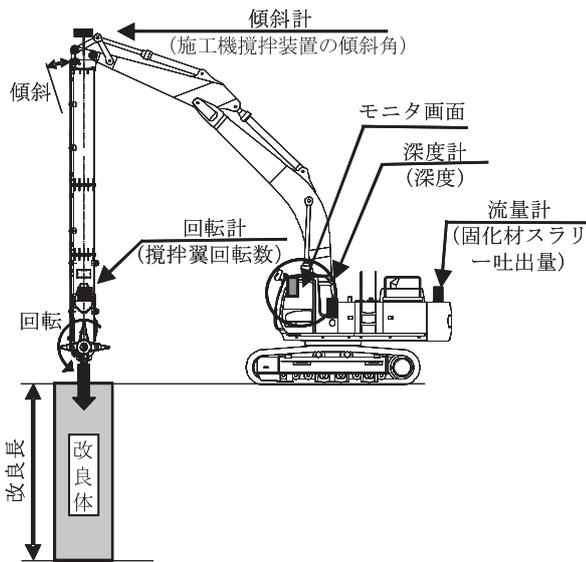


図-1 管理装置の構成

量および攪拌翼回転数がそれぞれ表示される<sup>2)</sup>。

図-2は、施工機オペレータが施工時に常時監視する専用施工管理装置のモニタ画面である。モニタ画面には、施工中の深度位置、施工機攪拌装置の傾斜角度、固化材スラリーの吐出量・積算流量および攪拌翼回転数がそれぞれ表示され、容易に施工状況が把握できる。このように、本工法における改良柱体の造成では、それぞれ1本の杭体として施工管理され、深度、供給材料量、攪拌回転数等が杭ごとに管理されている。

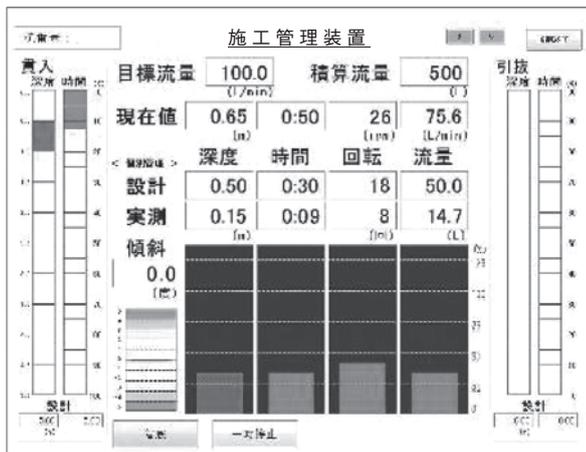
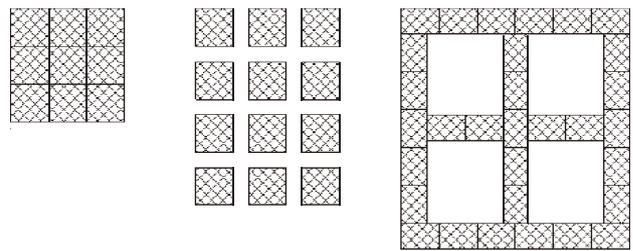


図-2 管理装置表示例

(5) 改良形式

図-3は本工法で施工可能な改良形状を模式的に示す。本工法の基本は、縦型回転攪拌翼によって地盤内に矩形断面の改良柱体を造成する工法である。したがって、造成した角柱体を独立して用いたり、あるいは自在に組み合わせて、1) 全面改良、2) 杭状改良、3) 格子状改良が可能であり、工事の目的に応じた改

良形式を選択することができる。特に全面改良あるいは格子状改良では、従来施工の円柱体改良のように改良体をラップさせる必要がなく、結果として材料、工期、工費を縮減する。無論、必要によりラップ施工も可能であり、杭状改良では改良率に応じた配置ができる。写真-3は、断面1.5m×1.0mの改良体を組み合わせて、格子状の改良を行った場合の一例である。直交する二つの1.5m×1.0mの矩形断面改良体が計画したとおりに緊着して造成されているのが認められる。



1) 全面改良 2) 杭状改良 3) 格子状改良

図-3 改良形式例

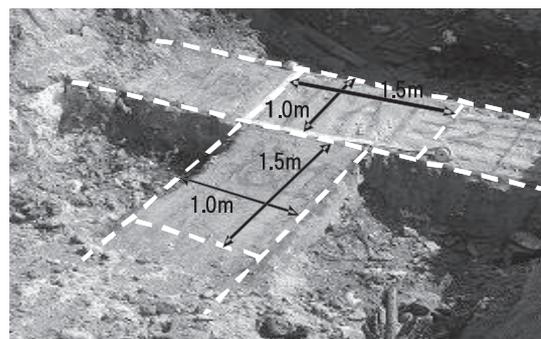


写真-3 格子状改良例

3. 多層改良施工事例

中層域を対象とする地盤改良工事では、複雑な地層構成や土質条件に遭遇する場合も多い。本工法では従来の機械攪拌工法と同様に、多層地盤では各層特性に応じて固化材を供給したり、また空打ち施工も可能である。その施工事例を以下に示す。

(1) 泥炭地盤改良工事例

(a) 施工概要

北海道の道央圏と道北圏を結ぶ幹線道路では<sup>3)</sup>、交通量が年々増加し、大型車混入率は全道平均を大きく上回るなど厳しい交通環境下にある。また、緊急輸送道路に位置づけられているため、防災・危機管理の観点から本路線の幹線道路機能の改善が重要となっている。

本工事は、4車線化に伴う拡幅整備の事業計画において、盛土部の沈下低減のための地盤改良工事である。既存の幹線道路に近接した施工となるため i) 地盤変位の発生を極力抑制すること、ii) 0.5 m 厚の空打ち施工であることに加えて、上層に北海道特有の泥炭層が堆積し、下層には粘性土、砂層から成る地盤構成であり、iii) 固化材混入量の調整等が可能であることから本工法を選定した。図-4 は、施工域の土質柱状図と土質別に必要な固化材混入量を示す。改良対象の上層部は層厚 4.2 m、 $N = 0$  の泥炭性軟弱地盤で含水比  $w = 61\%$  である。一方、下層部は粘性土であり、 $N = 1$ 、含水比  $w = 42\%$  である。施工深度は  $L = 6.6$  m で、深さ 0.5 m の空打ち部を有す。本工法の改良仕様は、 $\square 1.5$  m  $\times$  1.5 m の断面の矩形杭を計 489 本の造成である。また、セメント系固化材の混入量は、腐植土層  $Ap_2$  で  $a_w = 195$  kg/m<sup>3</sup>、粘性土層  $Ac_3$  では  $a_w = 96$  kg/m<sup>3</sup> と二層に異なる材料配合である。写真-4 に施工状況を示す。

(b) 二層改良による改良品質

図-5 は改良後の深度方向の現場強度  $quf$  を示す。設計強度  $qu = 200$  kN/m<sup>2</sup> に対し、泥炭層および粘性土層とも  $quf = 300 \sim 400$  kN/m<sup>2</sup> であり、縦型攪拌された混合土が原位置で均質に攪拌され、ばらつきの

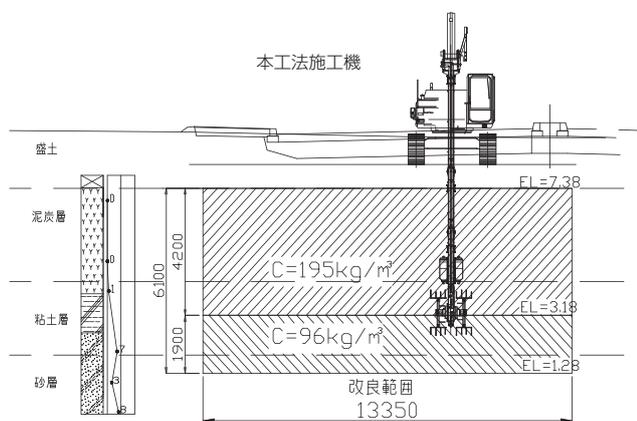


図-4 工事改良断面図



写真-4 工事施工状況

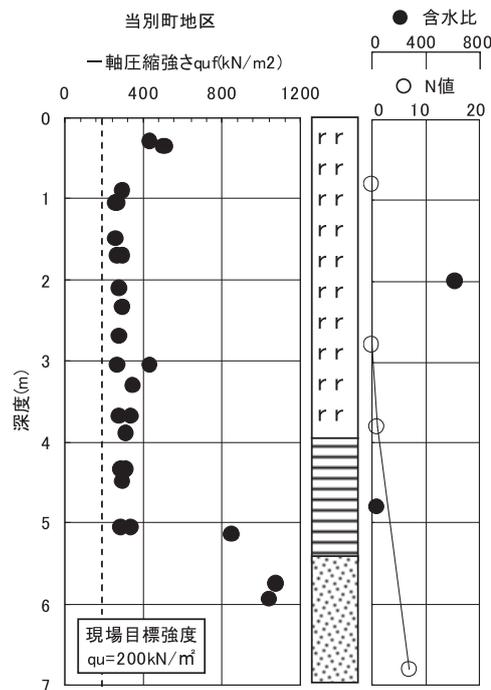


図-5 二層改良による現場強度分布

少ない強度分布が確認できた。

(2) 既設複合競技場の沈下防止対策事例

(a) 施工概要

既設競技場の複合施設は、長期に亘る使用の過程で地盤沈下が生じ、スタジアムの改修工事が計画され、その対策として地盤改良工法が採用された。地盤対策工は、トラック内には圧密促進工法、その外周部については圧密促進による周辺地盤の引き込み沈下防止と縁切効果を兼ねて本工法による地盤改良工が計画された。

改良対象土は、上層に堆積する約 3 m 層厚で湿潤密度  $\rho_t \approx 1.04$  g/cm<sup>3</sup>、含水比  $w = 540\%$  の腐植土層と、その下層には  $\rho_t \approx 1.40$  g/cm<sup>3</sup>、含水比  $w \approx 100\%$  の軟弱な沖積粘性土層が二層にわたり層厚平均で GL-9.4 m、最大 GL-11.7 m まで深く堆積している。

二層から成る改良対象層に対する仕様は設計強度  $qu = 100$  kN/m<sup>2</sup> であり、それぞれセメント系固化材の混入量は腐植土層で  $a_w = 180$  kg/m<sup>3</sup>、軟弱粘性土層では  $a_w = 80 \sim 150$  kg/m<sup>3</sup> によって計画された。

施工深度は、最小  $L = 2.7$  m から最大  $L = 11.7$  m の範囲で、改良深度は最小  $L = 1.6$  m から最大  $L = 10.6$  m と、深さ 1.1 m の空打ち長を有している。施工機械は施工深度に応じて、TB9 機、TB12 機および TB14 機の 3 機種を使い分けた。施工総本数は、1749 本である。図-6 は既設複合競技場の TB 改良位置を

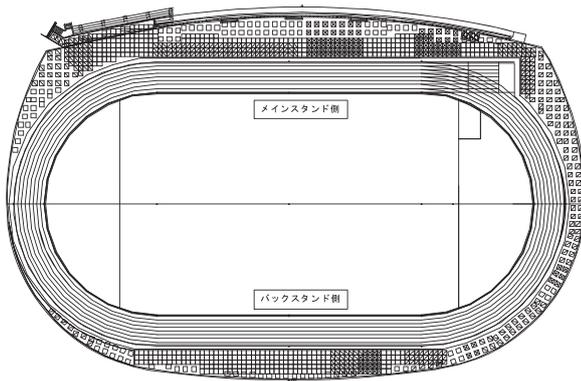


図-6 スタジアム内の改良位置図



写真-5 スタジアム内の施工状況

示す。写真-5はスタジアム内のスタンド部に近接した施工状況を示す。写真に示すように、施工深度11.7mを施工するTB14機の長尺施工機の施工位置は、観戦スタンド側の既設構造物に近接した施工環境であった。

(b) 二層改良による改良品質

図-7は、深度方向における改良土の現場強度  $quf$  の分布を示す。GL-3mまでの腐植土層では  $quf = 191 \sim 260 \text{ kN/m}^2$ ，GL-3m付近の層の境界部では  $quf = 185 \sim 255 \text{ kN/m}^2$ ，GL-10mまでの粘性土層は  $quf = 194 \sim 256 \text{ kN/m}^2$  で設計強度  $quck = 100 \text{ kN/m}^2$  を約1.8～2倍程度に上回る結果であった。また、表-3は、本工法による二層の攪拌混合状態を評価するために、各土層別の現場強度の変動係数を示した。腐植土層で  $v_c = 9.7\%$ ，粘性土層との境界層でも  $v_c = 9.8\%$  であり、粘性土層では  $v_c = 18.2\%$  とばらつきの少ない改良品質が得られた。なお、従来の水平翼攪拌工法の変動係数は、概ね  $v_c = 20\% \sim 40\%$  <sup>4)</sup> とされており、多層地盤でありながら本工法による縦型回転方式による攪拌混合は、改良品質が高いと判断される。

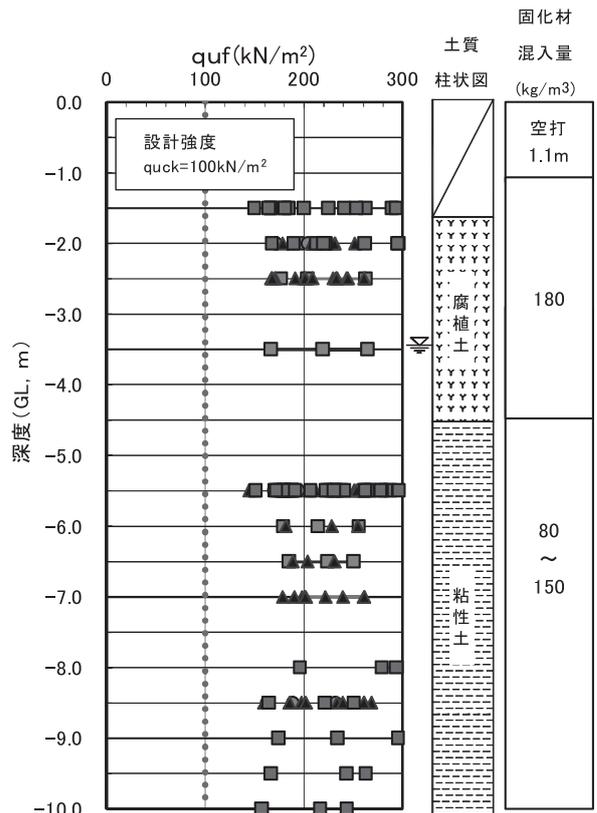


図-7 深度方向の現場強度分布

表-3 土層別の現場強度の変動係数

	混入量 $a_w$ ( $\text{kg/m}^3$ )	平均現場強度 $quf$ ( $\text{kN/m}^2$ )	標準偏差 $\sigma_{n-1}$ ( $\text{kN/m}^2$ )	変動係数 $V_c$ (%)
腐植土層	180	220	21	9.7
境界層	180	219	21	9.8
粘性土層	80～150	230	42	18.2

4. おわりに

開発・実用化した本工法ツイン・ブレードミキシング工法は、汎用バックホウのアームに取り付けたケーシング先端部に直径  $\phi 1.3\text{m} \sim 1.5\text{m} \times$  幅  $B1.3\text{m} \sim 1.8\text{m}$  の鉛直方向に回転する縦型回転攪拌方式の工法である。本工法により、改良深度が2m～13mと浅層から中層・深層域に及ぶ広範囲な改良に適用できる。

また、本工法ツイン・ブレードミキシング工法の事例が示すように、有機質土や粘性土および砂質土等の多層地盤においても、それぞれに必要な固化材配合を調節した施工が可能であり、現場強度ならびに変動係数の結果から定位置深度での攪拌混合性が高いことが実証された。また、改良域上部を所定通りに空打ち施工できることも確認した。同時に施工管理においても一般的な機械攪拌と同様に杭施工管理を行うことで、改良品質が適切にチェックできることを確認した。

今後も本工法ツイン・ブレードミキシング工法の特

長を見極めながら、さらにきめ細かい分析と検討を加え、高い経済性を有する工法への改良・改善に努める所存である。



《参考文献》

- 1) 一般社団法人日本建設機械化協会編：ツイン・ブレードミキシング工法建設技術審査証明報告書，2010.9
- 2) 鈴木孝一・西尾経・末島鍊寿郎・齋藤邦夫：縦型回転式攪拌工法の長尺施工および改良品質評価，第9回地盤改良シンポジウム，pp.217～pp.220，2010.11
- 3) 山内良輔・斉藤貴視・齋藤邦夫・鈴木孝一・西尾経・古澤政夫・木下和徳：泥炭性地盤における縦型回転攪拌中層改良工法による改良品質評価，第8回土質基礎に関する「新工法・新技術」技術報告会，北海道土木技術会，pp.23～30，2010.1
- 4) 地盤工学会 地盤改良効果の予測と実際編集委員会編：地盤改良効果の予測と実際，pp.215～216，2000.2

【筆者紹介】

西尾 経（にしお わたる）  
小野田ケミコ(株)  
常務執行役員  
技術本部長



高野 令男（たかの れお）  
小野田ケミコ(株)  
技術本部  
課長



齋藤 邦夫（さいとう くにお）  
中央大学 理工学部  
教授，研究開発機構長  
工学博士



## 平成 25 年度版 建設機械等損料表 発売中

■平成 24 年度版に対する変更点

- ・ 損料算定表の「諸元」欄を拡大，諸元記載要領も変更し読み易さを改善
- ・ 損料算定表の「燃料油種・消費率」欄の記載要領を変更し読み易さを改善
- ・ 関連通達・告示に「東日本大震災の被災地で使用する建設機械の機械損料の補正について(通知)」を追加

■B5判 モノクロ 約 682 ページ

■一般価格

7,700 円（本体 7,334 円）

■会員価格（官公庁・学校関連含）

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) 沖縄県の方は一般社団法人沖縄しまたて協会（電話：098-879-2097）にお申し込み下さい。

### 一般社団法人 日本建設機械施工協会

〒 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>