

高速道路における小型施工機械を用いた締固め特性

横田 聖哉・中村 洋丈

高速道路の盛土は、一般的な盛土の場合 200 kN 級の振動ローラで締め固めることが標準となっている。一方、橋台やボックスカルバートの裏込めと呼ばれる狭小部の締め固めには小型の締固め機械を用いる。裏込め部は土工部と構造物の接点にあたるため段差や沈下が生じやすく、締め固めには注意を要するところである。しかしながら小型機械による締固め特性は良く知られていないのが一般的である。そこで、筆者らは、静岡県内の新東名高速道路の建設現場において、幾つかの小型機械を用いて試験転圧を実施し、締固め回数と乾燥密度の関係や 200 kN 級振動ローラに対する締固め度との比較検証を行ったので報告する。

キーワード：高速道路，土工，裏込め，締固め，小型施工

1. はじめに

高速道路における構造物裏込め部とは、橋台やカルバートボックスなどのコンクリート構造物を構築した後、土工部との接点となるところである。高速道路のカルバートボックス裏込めの例を図-1に示す。このような箇所はまったく沈下のない構築物と沈下をある程度許容する土工部との接点となるため段差がしやすい特徴がある。そのため裏込めに用いる材料は、路体に比べてグレードを高くしており、より一層慎重な対策が必要と認識されているところである。

表-1に路体と裏込め部の材料規定を示す。表-2には構造物裏込めの締固め度を示す。

ここでいう裏込め A とは、もともと現地盤であったところに開削してコンクリート構造物を構築し、その後埋め戻すところの部位をいう。また裏込め B とは A 以外のところの埋め戻し部位をよんでいる。現地盤であったところが強度も高いものと考えられるため、それに匹敵する理由により裏込め A のグレードが高い。

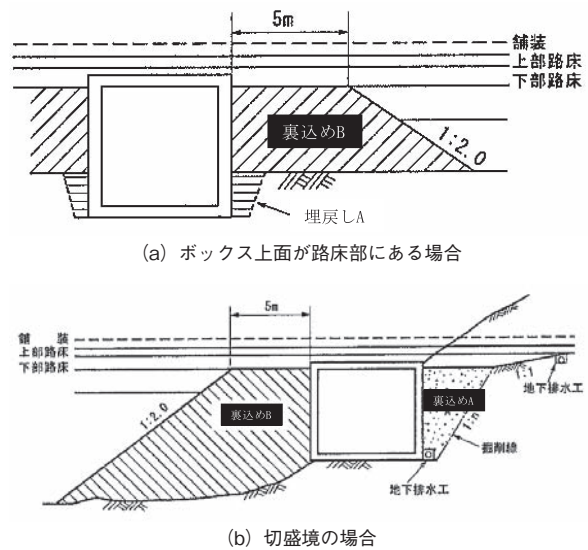


図-1 構造物の裏込め部例（カルバートボックス）

表-1 路体と裏込めの材料規定¹⁾

	裏込め A	裏込め B	下部路体
最大寸法	150 mm	300 mm	300 mm
修正 CBR	10 以上	5 以上	規定なし

表-2 路体と裏込めの締固め規定¹⁾

	裏込め A	裏込め B	下部路体
締固め度	$-75 \mu\text{m} < 20\% \quad D_c \geq 97\%$	$-75 \mu\text{m} < 20\% \quad D_c \geq 92\%$	$-75 \mu\text{m} < 20\% \quad D_c \geq 92\%$
	$20\% \leq -75 \mu\text{m} < 50\% \quad V_a \leq 13\%$	$20\% \leq -75 \mu\text{m} < 50\% \quad V_a \leq 13\%$	$20\% \leq -75 \mu\text{m} < 50\% \quad V_a \leq 13\%$
	$50\% \leq -75 \mu\text{m} \quad V_a \leq 8\%$	$50\% \leq -75 \mu\text{m} \quad V_a \leq 8\%$	$50\% \leq -75 \mu\text{m} \quad V_a \leq 8\%$
	※突固め試験：E 法	※突固め試験：E 法	※突固め試験：B 法
施工層厚	20 cm 以下	30 cm 以下	30 cm 以下

2. 高速道路における支障実態

表—3は過去に高速道路の裏込めに支障があった路線の例を示している。この路線では供用後しばらくして構造部物と土工部との境である裏込め部に段差が生じた。ここで用いられた盛土材を表—4に示す。盛土材には、泥岩などのように乾湿繰り返しによって風化するいわゆるスレーキング性材料が用いられていた。このため時間の経過とともに表—3に示すような支障が現れたものと考えられる。

表—3 高速道路の裏込めの支障例

損傷発生状況	
平成8年11月	供用開始(4IC・JCT間 約28km)
平成9年3月	路面沈下補修 3箇所
平成9年6月	路面沈下 24箇所発生
路面沈下対策工事	
対策工事実施箇所	55箇所(上り29箇所, 下り26箇所)
対策工事内容	44箇所(段差修正工) 11箇所(地盤改良工)

※その後の損傷箇所も含めた対策箇所数

表—4 裏込め部の使用材料

項目			地点①	地点②
土質分類記号			(GC)	(GC)
土粒子の密度	ρ_s	(g/cm^3)	2.65	2.65
含水比	W_n	(%)	15.9	16.9
最大粒径	Φ_{max}	(mm)	100	75
石分	75mm以上	(%)	11	0
礫分	2.0~75mm	(%)	40	31
砂分	0.075~2.0mm	(%)	23	29
細粒分	0.075通過分	(%)	26	40
岩の破碎率	19~37.5mm	(%)	52.3	51.8
	37.5~75mm	(%)	98.8	92.4
スレーキング率				
最大乾燥密度 ^{*1}	ρ_{dmax}	(g/cm^3)	1.746	
最適含水比 ^{*1}	W_{opt}	(%)	17.6	

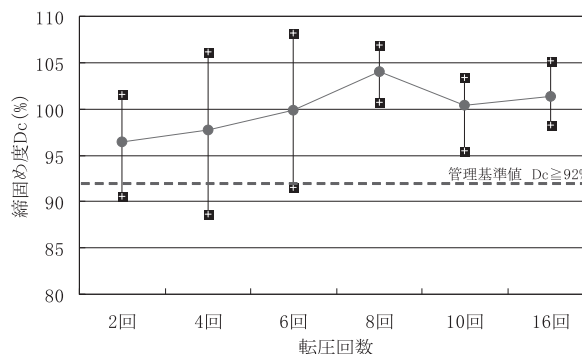
※1: JIS A 1210のE法による

3. 施工機械別の締固め特性の把握

(1) 大型振動ローラの締固め特性

通常の高速道路における締固め機械である200kN級の振動ローラによる締固め特性について紹介する。図—2は転圧回数と締固め度の関係例を示す。図より転圧回数が増加するに従って密度が増加していることがわかる。通常の土工現場では乾燥密度がJIS A 1210「突固めによる土の締固め試験方法」によ

る基準値を分母として、現場で得られた乾燥密度の比について管理する場合が多い。JIS A 1210の方法にも標準プロクター(ここではB法(以下同じ))による場合と修正プロクターによる場合では締固めエネルギーが異なるため、どの方法が基準にするか明確にする必要がある。ここでは標準プロクターによるものとする。この図から示されるように30cmの締固め厚さでは基準転圧回数が増加するに従って乾燥密度も増大していることがわかる。このように200kN級の振動ローラによれば基準となる密度を超えることは比較的易しい。



図—2 大型振動ローラによる転圧試験例

(2) 小型転圧機種の締固め特性

前節で述べたように大型振動ローラは材料にもよるが比較的密度は得られやすい。しかしながら写真—1や写真—2に示すように構造物の背面は施工ヤードが限られているため、大きな機械による施工が不可能である。そこで比較的汎用的に用いられている締固め機械について、その締固め特性について実際の現場で比較試験を行った。

用いた転圧機種と質量および転圧幅の目安を表—5に、転圧機種を写真—3に示す。使用転圧機種は、重量が4t程度の小型振動ローラ(以下、「4tローラ」という。), 重量300kg程度の振動コンパクタ(以下、「コンパクタ」という。), 重量40~80kg程度のラン



写真—1 構造物裏込め部の状況

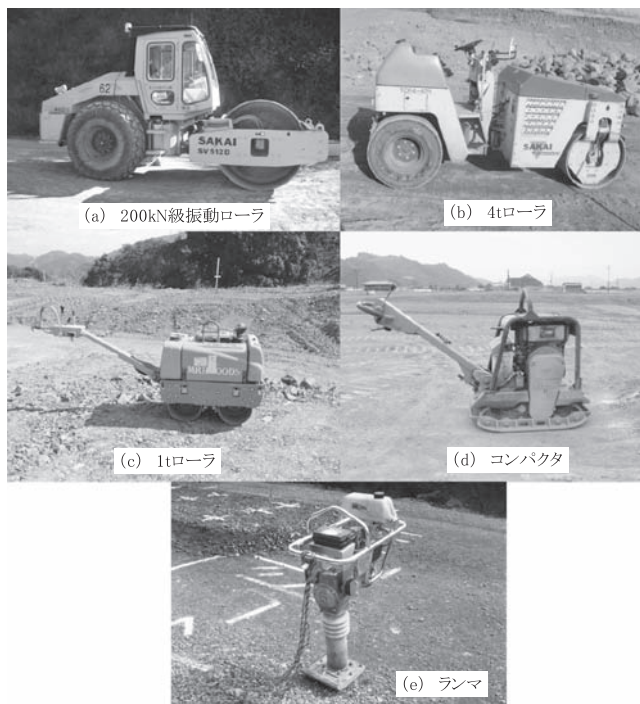


写真一 2 小型施工機械による構造物裏込め

表一 5 転圧機械の種類と規格

機種	機械重量 (t)	転圧幅 (m)
(a) 200 kN 級振動ローラ	10 ~ 12.5	2.0
(b) 4 t ローラ	2.5 ~ 3.7	1.2
(c) 1 t ローラ	0.5 ~ 0.8	0.6 ~ 0.7
(d) コンパクト	0.3 ~ 0.35	0.45 ~ 0.6
(e) ランマ	0.04 ~ 0.08	0.25 ~ 0.35

※表中の値は、概ねその範囲に含まれていることを示している。



写真一 3 試験に用いた転圧機械

マ (以下、「ランマ」という。), 重量 1t 未満の小型振動ローラ (以下、「1t ローラ」という。) の 4 種類に分類した。一般的な俗称では、4t ローラはローラの自重をいい、1t ローラは転圧力で表現している。またランマも自重で大きさを示す。比較のために高速道路盛土では一般的な締固め機械である 200 kN 級振動ローラも記載した。

a) 試験施工その 1

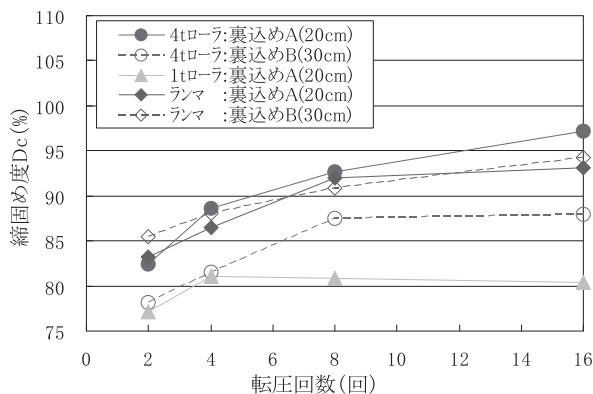
小型の締め固め試験施工その 1 に用いた材料の特性を表一 6 に示す。図一 3 は転圧回数 16 回までと締固め度について比較したものである。ここでは適用先が裏込め部なので高速道路では締固め度は修正プロクターの基準を用いることになっているのに注意が必要である。試験結果は、ランマと 1t ローラ、4t ローラの機種による違いとまきだし厚さの違いをパラメータとしている。図からいずれも転圧回数が多くなるに従って締め固め度が増加していることがわかる。

表一 6 転圧試験の材料物性値 (試験その 1)

項目			裏込め材
土質分類記号			(GF-S)
含水比	Wn	(%)	1.0
石分	75 mm 以上	(%)	0.0
礫分	2.0 ~ 75 mm	(%)	72.0
砂分	0.075 ~ 2.0 mm	(%)	18.0
細粒分	0.075 通過分	(%)	10.0
岩の破碎率 ^{※1}		(%)	23.5
スレーキング率 ^{※2}		(%)	20.8
塑性指数	I _p		8.6
CBR	95%修正 CBR	(%)	14.3

※ 1 : JHS111 による

※ 2 : JHS110 による



図一 3 小型施工機械の転圧試験 (その 1)

しかしながら、その増加傾向には違いがあり、1t ローラではこの材料に限っていえば 4 回から密度の伸びが得られず、80%を少し超えた程度の密度しか得られていない。4t ローラの 30 cm まきだしの場合でも 90%の密度を得ることはできていない。なお、ランマでは転圧回数の定義が難しいが実施工を考慮し、通常の仕事員がゆっくり歩く程度での軌跡を転圧回数とした。そのため同一箇所では他の機種よりも繰り返し転圧されていることになる。

まとめると、この試験施工から次のことがいえる。

- ① 4tローラの施工厚 20 cm では締め固め効果が得られたが、施工厚さ 30 cm では締め固め効果が低い。
- ② 1tローラでは、施工厚さ 20 cm でも締め固めのエネルギーが小さいため、締め固め度が不足している。
- ③ ランマでは施工厚さ 20 cm, 30 cm でも締め固め効果が得られた。ランマの締め固めは局部的な衝撃荷重であり他のものと異なるが、締め固め度を上げることに効果がありそうである。

b) 試験施工その2

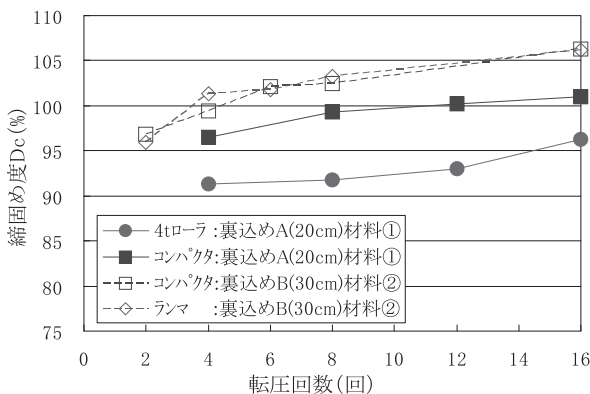
小型の締め固め試験施工その2に用いた材料の特性を表一7に示す。その1と比較すると材料①は同様な材料であるが、②は含水比が高い材料である。図一4は試験施工その1と同様に転圧回数16回までと締め固め度について比較したものである。ここの締め固め度のその1と同様修正プロクター(JIS A 1210のE法)を分母としている。材料②に対しコンパクタ及びランマともに大きな値を示している。コンパクタも局部的な衝撃荷重であり、施工速度に左右されるが丁寧な施工であれば十分な締め固め度を得られると思われる。材料①では、4tローラはその1と同様な値を示してい

表一7 転圧試験の材料物性値 (試験その2)

項目			材料①	材料②
土質分類記号			(GF-S)	(GF-S)
含水比	Wn	(%)	12.0	23.4
石分	75 mm 以上	(%)	0.0	0.0
礫分	2.0 ~ 75 mm	(%)	78.7	51.1
砂分	0.075 ~ 2.0 mm	(%)	11.7	39.0
細粒分	0.075 通過分	(%)	9.6	9.9
岩の破碎率 ^{*1}		(%)	47.7	20.8
スレーキング率 ^{*2}		(%)	47.7	11.7
塑性指数	I _p		38.5	NP
CBR	95%修正 CBR	(%)	16.0	39.5

※1: JHS111 による

※2: JHS110 による



図一4 小型施工機械の転圧試験 (その2)

るが、コンパクタのほうがさらに大きな締め固め度が得られている。

この試験施工の結果から次のことがいえる。

- ① コンパクタと4tローラの締め固め効果を比較すると、コンパクタが優れていることがわかる。
- ② コンパクタとランマの締め固め効果は、ほぼ同等となった。

4. 200 kN 級締め固め機械と小型締め固め機械との比較

ここでは200 kN級の機械と小型機械のモデル施工を比較した。対象は139件である。対象としたモデル施工でした材料は、粗粒土の工学的分類体系における、大分類の礫質土(G)に該当するものが延べ126材料、砂質土に該当するものが延べ13材料である。対象材料の代表的な物性値を表一8に示す。

表一8 転圧試験の材料物性値 (200 kN 比較)

項目		物性値の範囲	
土粒子の密度	ρ_s	(g/cm ³)	2.6 ~ 3.009
含水比	Wn	(%)	1.0 ~ 33.7
礫のかさ比重			1.16 ~ 2.77
礫の給水率		(%)	0.5 ~ 33.5
岩の破碎率 ^{*1}		(%)	0.4 ~ 72.6
スレーキング率 ^{*2}		(%)	0.2 ~ 100.0
最大乾燥密度 ^{*3}	ρ_{dmax}	(g/cm ³)	1.417 ~ 2.443
最適含水比 ^{*3}	Wopt	(%)	2.2 ~ 27.2

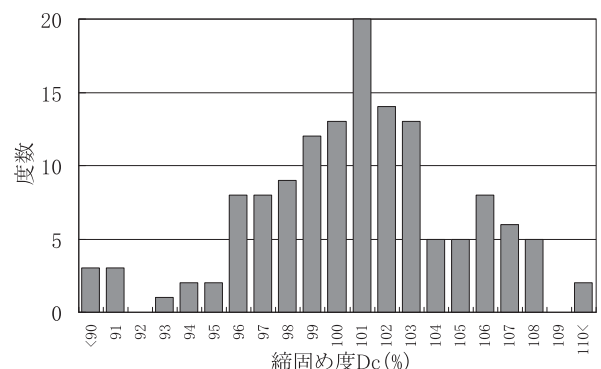
※1: JHS111 による

※2: JHS110 による

※3: JIS A 1210 の E 法による

(1) E法の最大乾燥密度と200 kN級振動ローラ

200 kN級振動ローラの転圧試験の最大値の密度比(Dc)のヒストグラムを図一5に示す。なお、密度比はE法(修正プロクター(以下同じ))による最大乾



図一5 200 kN 級振動ローラ施工での締め固め度分布

乾燥密度(ρ_{dmax})によるものである。図-5をみると、若干の歪みや特異値がみられるものの、ほぼ単峰な分布のヒストグラムである。また、密度比(Dc)の平均値は99.2%、中央値は99.6%を示しており、200kN級最大値とE法による最大乾燥密度(ρ_{dmax})は、ほぼ等しい場合が多いといえる。

(2) 200kN級振動ローラと各小型転圧機種

4tローラで16回転圧した際に得られた乾燥密度の最大値(以下「4tローラ最大値」とE法での最大乾燥密度との比を図-6に示す。なお、対象は延べ48件である。4tローラは、E法に対して、平均値でDc = 97.3%を示した。同様に1tローラで16回転圧した際に得られた乾燥密度の最大値(以下「1tローラ最大値」とE法での最大乾燥密度との比図-7に示す。なお、対象は延べ33件である。1tローラは、E法に対して、平均値でDc = 93.5%を示した。また、コンパクタで16回転圧した際に得られた乾燥密度の最大値(以下「コンパクタ最大値」とE法での最大乾燥密度との比を図-8に示す。なお、対象は延べ63件である。コンパクタは、E法に対して、平均値でDc = 98.6%を示した。さらに、ランマで16回転圧した際に得られた乾燥密度の最大値(以下「ランマ最大値」とE法での最大乾燥密度との比図-9に示す。なお、

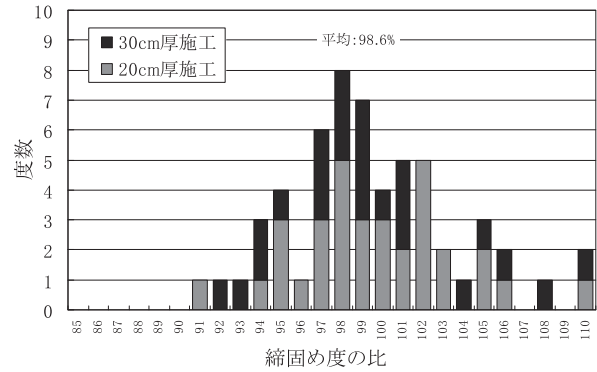


図-8 コンパクタと修正プロクター (E法) との締固め比較

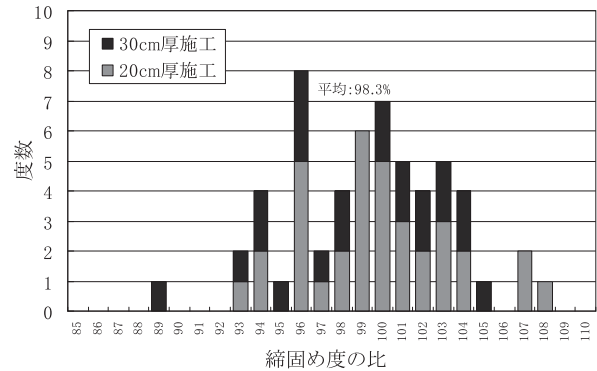


図-9 ランマと修正プロクター (E法) との締固め比較

対象は延べ63件である。ランマは、E法に対して、平均値でDc = 98.3%を示した。

図-6～図-9よりランマやコンパクタを用いれば高速道路における裏込めA相当の箇所では密度を確保することができるが、1tローラや4tローラでは裏込めB相当の箇所が適用限度であることがわかる。

5. まとめ

- 今回データを整理した結果、次のことが確認された。
- ①仕上がり厚さを30cmにするような締固めにおいて、200kN級振動ローラを用いれば標準プロクターの密度を容易に得ることができ、修正プロクター(E法)とほぼ同程度の締固めエネルギーを持つことがわかった。
 - ②小型施工機械による締固め試験施工を行った結果、ランマ、コンパクタがほぼ同程度の締固めが得られ、4tローラ、1tローラの順になった。1tローラでは高速道路における狭小部での締固め基準を満足させるのが厳しい結果となった。

6. おわりに

今回整理したデータ数ではまだ十分とはいえず、

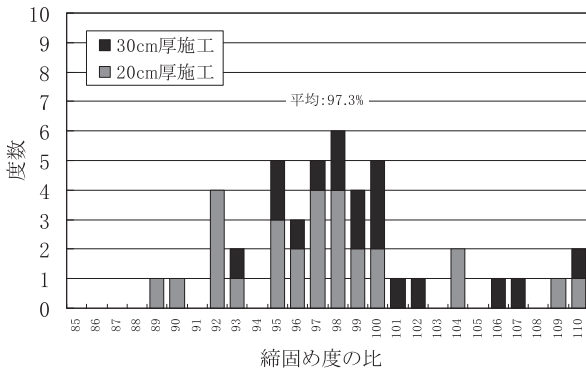


図-6 4tローラと修正プロクター (E法) との締固め比較

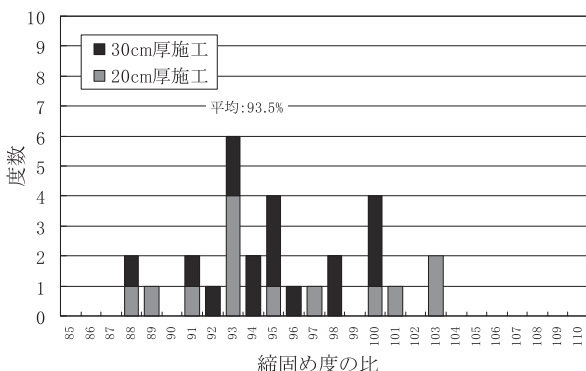


図-7 1tローラと修正プロクター (E法) との締固め比較

Itローラやランマのデータで若干の偏りが見受けられる。このことから、データの信頼性を高めるためにさらに多くのデータを収集する必要があるものと考えられる。また、用いた材料によって締め固めの向き不向きがあるものと考えられ、この点を考慮したデータ整理を行ってみたい。また、今回の検討においては、締め固めの収束傾向などの条件は考慮していない。収束した回数、すなわち実施工における転圧回数は重要な要素の一つであると考えられる。このため、実施工における転圧回数に着目しデータを整理する必要があるものといえる。上述のような内容が今後の課題として挙げられる。

本報告をまとめるにあたり、中日本高速道路㈱にご協力いただいた。記して深謝いたします。

JCM A

《参考文献》

- 1) 東・中・西日本高速道路㈱ 土工施工管理要領

〔筆者紹介〕

横田 聖哉 (よこた せいや)
 ㈱高速道路総合技術研究所
 道路研究部 土工研究室
 室長



中村 洋丈 (なかむら ひろたけ)
 ㈱高速道路総合技術研究所
 道路研究部 土工研究室
 研究員



大口径岩盤削孔工法の積算 ——平成 20 年度版——

■内 容

平成 20 年度版の構成項目は以下のとおりです。

- (1) 適用範囲
- (2) 工法の概要
- (3) アースオーガ掘削工法の標準積算
- (4) ロータリー掘削工法の標準積算
- (5) パーカッション掘削工法の標準積算
- (6) ケーシング回転掘削工法の標準積算
- (7) 建設機械等損料表
- (8) 参考資料

● A4 判／約 240 頁 (カラー写真入り)

● 定 価

非会員：5,880 円 (本体 5,600 円)

会 員：5,000 円 (本体 4,762 円)

※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 450 円

沖縄県 340 円 (但し県内に限る)

●発刊 平成 20 年 5 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>