

親子シールド掘進機の開発・実用化

田中雄次・佐藤護治

親子シールド掘進機は、下水道トンネル等、上流から下流に行くにつれ水量の増加による径の拡大が必要な場合や、地下鉄の駅と線路のように同一路線上でトンネルの大きさが変化する工事を対象に開発・実用化したシールドマシンである。

従来の方式は、大小2台のシールド機とトンネル径の変化部に立坑が必要で、市街地での用地確保、工期の問題などにより経済性が悪く改善策が求められていた。その解決策として、中間立坑を設けることなく、1台のシールドで大きさの異なるトンネルを連続的に施工できる親子シールドを開発した。

本報文では、日立造船株式会社の親子シールド掘進機の開発・実用化について実例を述べる。

キーワード：シールド工法、親子シールド、トンネル、掘進機、下水道トンネル

1. はじめに

下水道トンネルは、上流から下流に行くほど水量が増加するためトンネル内径を順次大断面に変えていかねばならない。

また、鉄道トンネルでは、駅部から線路部に断面を縮径しなければならない。

一方、市街地のシールド工事は、都市過密化のため発進用立坑の用地確保が難しく、かつ経済性の面からも1台のシールド機での長距離掘削を行う傾向にある。

そしてこれら断面の異なるトンネルを、中間立坑を設けずにシールド径を途中で変え、連続して掘削、構築する新しい工法が求められている。

従来は、管径の変更点に立坑を設け、下流側の大口径シールドと上流側の小口径シールドを別々に製作し、立坑を起点にそれぞれを発進または到達させていた。

これは、下水道工事のコストアップを招き、また近年の交通及び住宅事情のために立坑自体の用地確保が困難で施工出来ないという事態に至っており、その対応策が求められていた。

このような問題を解決するために、中間立坑を設けることなく、1台のシールドマシンで径の異なるトンネルを連続に施工することができる、親子シールド掘進機を日立造船株式会社が開発した。

図-1は親子シールドの子機発進状況を示す。

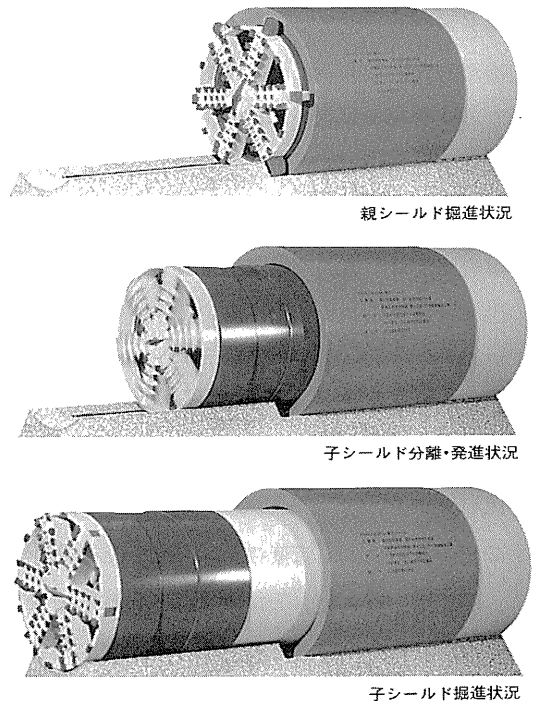


図-1 親子シールドの子機発進状況

2. 開発の経緯

日立造船では昭和53年に親子シールドの基本となる複数のカッタ機構を同心状に設けたカッタ装置で掘削作業を行うシールド形式を、シールド業界に先がけて提唱し特許出願した。さらに、平成元年から直径の異なるトンネルを連続的に掘削

できる親子シールドの開発に着手していた。
この親子シールドを開発するうえでの課題として、

- ① 親シールドと子シールドの連結と分離、
- ② 地中分離を考慮したカット支持方式、
- ③ 親シールドと子シールドの共用部品拡大によるコスト縮減、

が挙げられる。これらの課題を実際の工事において、各々の施工条件に合わせ、個々に構造を考案し解決を図った。

3. 親子シールド機の特徴と課題

親子シールド機とは、親シールド機の中にそれより小さい子シールド機を内蔵しており、掘進中に親シールド機の内部より子シールド機を分離発進することで、直径の異なる2種類のトンネルを中間立坑を設けず構築できるシールド機である。

シールド機には、一般のシールドと同様に、推進装置、カット装置、エレクト、排土装置および後方設備等で構成されている。親子シールド機の実現のため各装置について課題と対策を検討し表一にまとめた。表中の親子タイプについては、施工条件から課題に対する対応が異なるため、項目とタイプ別に分けた。なお、具体的なタイプ毎

の詳細構造については、次章以降で説明する。

4. 親子シールド機のタイプ別実績

(1) Aタイプ

(φ4.93/3.93 m 泥土圧式親子シールド)

(a) 設計条件とマシン仕様

表一2に設計条件とマシン仕様を示し、図一2に親子シールド全体組立て図を示す。

表一2 設計条件とマシン仕様

	項目	親機	子機
設計条件	施工延長	86 m	1,463 m
	曲線半径(最小)	なし	R 40 m
	土質	砂	粘土、砂
	土被り	7~10 m	7~10 m
マシン仕様	本体外径	φ4,930 mm	φ3,930 mm
	機長	6,325 mm	5,400 mm
	カットトルク	1,776 kN-m	2,115 kN-m
	総推力	21,600 kN	14,400 kN

(b) 特徴

- ① 親シールドの掘削距離が短いことと、土質が砂であったため、親シールド施工時は外周カット6本によるオーバカットで掘削。子シールド施工時は外周カットを縮めて掘削。
- ② 親シールドとしての圧力室は設けず、子シールドの圧力室にて土圧を管理。外周カットで

表一1 親子シールドの課題と実施

装置	課題	実施	親子タイプ
本体(親子本体連結)	親子一体時の強固な連結と分離時のクリアランス確保	親機と子機の接触部を機械加工し、シールド本体の芯の確保と必要クリアランスの確保	全タイプに適用
		くさび型キーにより親機と子機を強固に連結し、カットトルク、推力を親子間で伝達	Aタイプ Cタイプ
		フランジ構造にて親機と子機を連結	Bタイプ
本体(分離時の本体止水)	子機発進時の止水性	子機発進用反力受けを止水性のある構造とし、子機セグメントと反力受け間で止水。発進後は親機内郭部に裏込め剤を注入	Aタイプ Cタイプ
		発進時に親機内部に子機発進用エントランスパッキンを設置	Bタイプ
圧力室	親機、子機の圧力室の確保	親機としての圧力室を持たない構造	Aタイプ
		親機掘削後、子機のフードを押し出し、子機の圧力室を形成	Bタイプ Cタイプ
カット装置の構造	掘削外径の変化	親機掘削時はオーバカット装置にて対応	Aタイプ
		別々のカットヘッドにより掘削	Bタイプ
		親機時は親と子のカットヘッドを連結して掘削。分離時にカット連結を切離す	Cタイプ
	親機カットヘッドを通過し、子が分離発進	親機のカットヘッドを子機と独立したベアリングで支持し、子機分離発進時の障害とならない構造	Bタイプ Cタイプ
コスト縮減	親機と子機の共用部品拡大によりコスト削減	子機内に主な装置を全て内蔵し、親機と子機の部品の大半を共有	Aタイプ Cタイプ
	分離作業の低減	親機内に子機をほぼ完成した形で内蔵し、分離作業時間を低減	Aタイプ Cタイプ

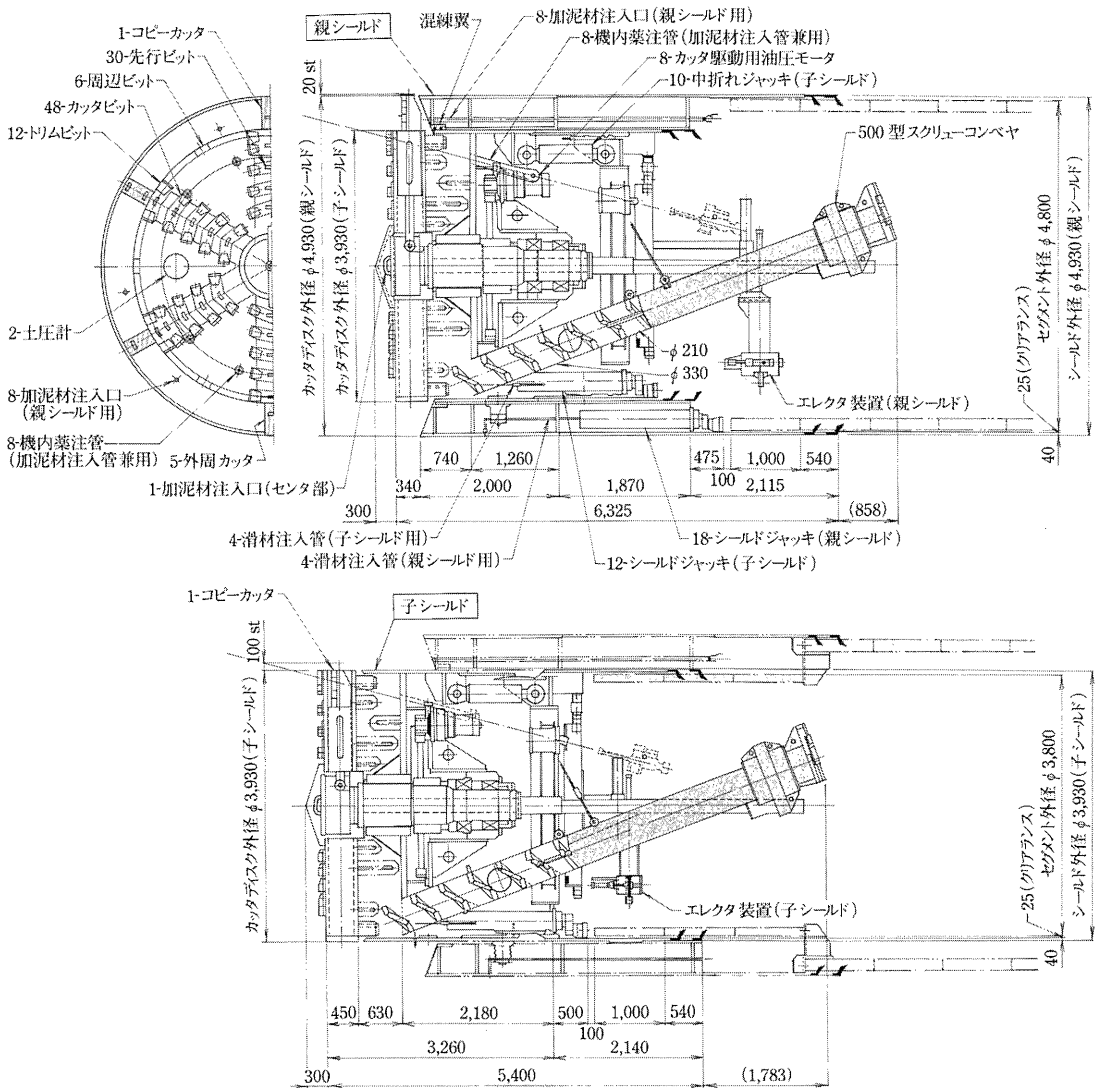


図-2 親子シールド全体組立て図

掘削された土砂の取込みを考慮し、親シールド隔壁に傾斜をつけた。

③ カッタ支持およびカッタ駆動はセンターシャフト方式で親子兼用型の油圧駆動方式。

④ 子シールドのテール部は親シールド施工時は本体中胴に縮めて格納し、子発進時は伸ばしてテールを構成。分離にかかる作業時間を大幅に短縮した。

⑤ 中折はX中折構造で子シールドに装備。

(c) 施工状況

① 親シールドでの掘進は順調で、途中の段取り替えを含め約1カ月で90mの掘削を終えた。

② 分離・発進作業は昼夜で10日間の予定で行われ、計画どおり完了した。

③ 外周カッタの収納操作や子シールド後胴押し作業も円滑に行え、子シールド発進時のノーズダウンも地盤改良を行っていないにもかかわらず発生しなかった。

④ 子シールドでの掘進も通常のシールドと同様、順調に施工された。

(d) 施工データ

親シールドおよび子シールドの掘削データを表-3に示す。なお、括弧内%表示は施工時の推力・トルクと装備能力との割合を示す。

表-3 施工データ (平均)

	装 備 値	親シールド時	子シールド時
掘進速度	5.0 cm/min	3.0 cm/min	4.0 cm/min
シールド推力	21,600 kN/14,400 kN	5,000 kN (23%)	2,700 kN (19%)
カッタトルク	2,115 kN-m	1,250 kN-m (59%)	850 kN-m (40%)

(2) Bタイプ

(φ3.93/2.14 m DPLEX 式親子シールド, 図-

3, 図-4, 写真-1 参照)

(a) 設計条件とマシン仕様 (表-4 参照)

表-4 設計条件とマシン仕様

	項 目	親 機	子 機
設計条件	施工延長	1,026 m	751 m
	曲線半径(最小)	R 150 m	R 20 m
	土 質	粘土, 砂, 礫混じり砂	粘土, 砂
	土 被 り	7~16 m	7~16 m
マシン仕様	本体外径	φ3,930 mm	φ2,140 mm
	機 長	6,440 mm	5,735 mm
	カッタトルク	親 354 kN-m + 252 kN-m	252 kN-m
	総 推 力	14,000 kN	4,000 kN

(b) 特 徴

① カッタは、リング形状の親機カッタヘッド DPLEX タイプで外周部を掘削し、内周部は 4 本スポーク円形の子機カッタヘッド DK タイプで掘削を行う。親機シールドと子機シールドのカッタヘッドは完全独立型。

② カッタ支持は、親機カッタヘッドが偏心 4 軸支持方式 (DPLEX) であり、子機カッタ

ヘッドはセンタシャフト方式である。駆動は、親機と子機のカッタヘッドを別々の駆動装置で作動させ、動力は共に油圧駆動方式。

③ 子機の中胴、後胴は、子機分離時に坑内に搬送し溶接にて組立てる方式。

⑥ 中折は、親機が X フラット中折、子機が X 球面中折を採用し、それぞれに中折ジャッキを装備。

(c) 施工状況

① 親機掘削は、初期掘進を含め 210 日で 1,026 m の掘削を完了した。総掘進平均で片番 5 リング (幅 1,000 mm セグメント) であった。

② 分離・発進作業は昼夜 17 日間で完了した。

③ 子機の中胴・後胴の坑内搬送および、ドッキングもスムーズに行われ、子機のフード押出し作業もスムーズであった。

④ 子機掘削は、通常シールドと同様に順調に施工された。

(d) 施工データ (表-5 参照)

表-5 施工データ (平均)

	装 備 値	親シールド時	子シールド時
掘進速度	親 4.3 cm/min 子 6.0 cm/min	3.5 cm/min	3.5 cm/min
シールド推力	14,000/4,000 kN	5,346 kN (38%)	2,400 kN (60%)
カッタトルク	親 354+252 kN-m, 子 252 kN-m	親 154+123 kN-m (44%+49%)	160 kN-m (63%)

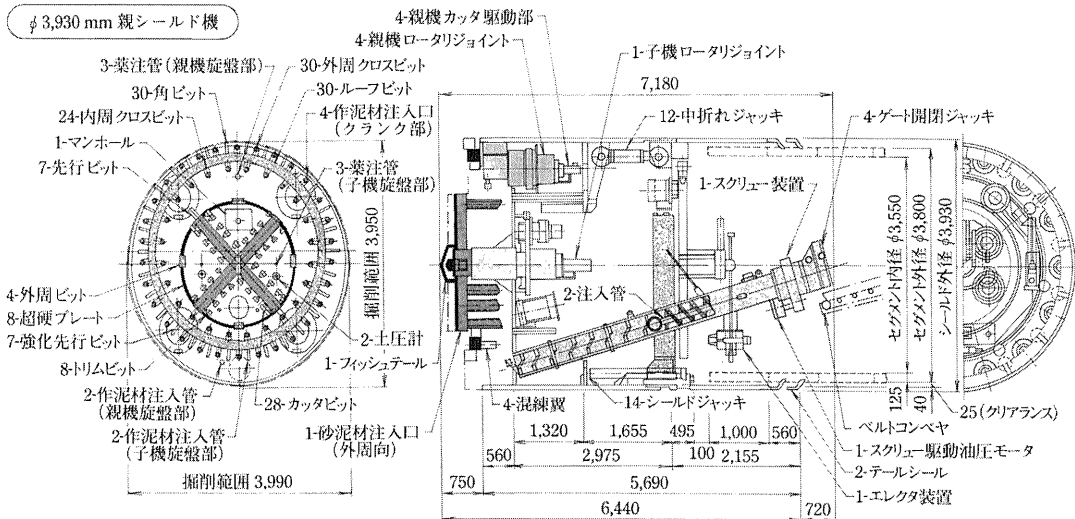


図-3 φ3,930 親シールド

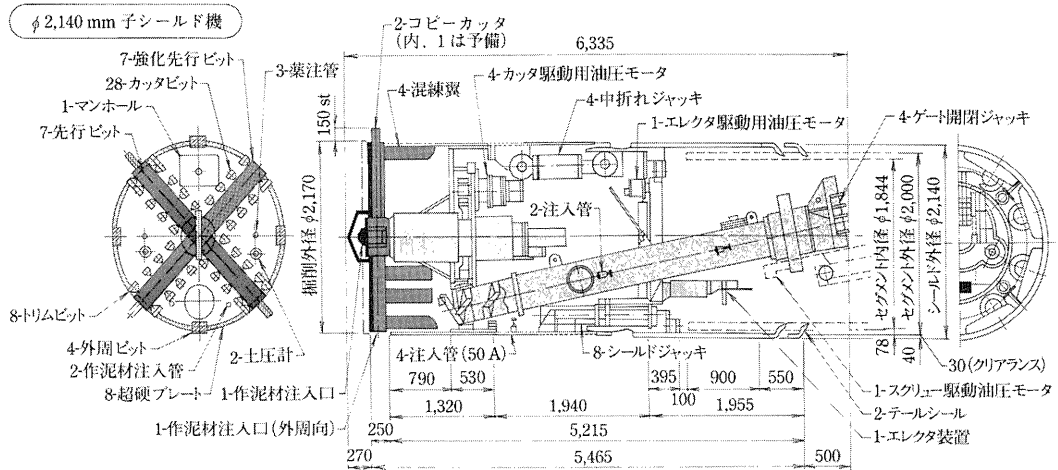


図-4 φ2,140子シールド

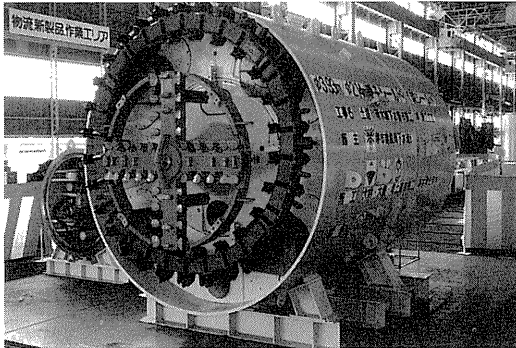


写真-1 φ3.93/2.14 m DPLEX 式親子シールド

(3) Cタイプ

(φ5.89/4.39 m 泥土圧式親子シールド, 図-5 参照)

(a) 設計条件とマシン仕様 (表-6 参照)

表-6 設計条件とマシン仕様

	項目	親機	子機
設計条件	施工延長	1,003 m	733 m
	曲線半径 (最小)	R 200 m	R 100 m
	土質	砂礫	砂礫, ローム層, 洪積粘土
	土被	9.54~17.74 m	9.54~17.74 m
マシン仕様	本体外径	φ5,890 mm	φ4,390 mm
	機長	7,930 mm	7,145 mm
	カッタトルク	4,722 kN-m	2,147 kN-m
	総推力	32,000 kN	18,000 kN

(b) 特徴

① カッタは6本スポークとし、親シールドにも外周カッタを6本装備している。子シールド施工時は親機の外周カッタを分離して施工。

② 親カッタは旋回台軸受による外周支持方式で、子シールドはセンターシャフト方式の支持方式となっており親子それぞれ軸受もっている。カッタ駆動は油圧駆動式で子シールド機内に装備され親子兼用。

③ 子シールドのテール部は子シールド発進前に3分割で坑内にもち込み、本体中胴に溶接にて取付け。

④ 中折構造はX中折で親子とも装備し、中折ジャッキは子シールド内に装備し親子とも子機の中折ジャッキで中折操作をする。

(c) 施工状況

① 平成14年5月に親機で発進し、7月より本掘進に入っている。

② 分離・発進作業は昼夜で20日間の予定で計画されている。

(d) 分離手順

分離手順を図-6に示す。この分離手順はAタイプとほぼ同様である。Bタイプについては、本手順に加え、子機の中胴以降の組立て、エントランスパッキンの設置といった項目が加わる。

5. 親子シールドによる経済的効果

親子シールドが開発・実用化されたことにより、

① 断面の異なるトンネルを中間立坑を設けることなく構築できる。

② 設計上、径の異なるトンネルを大口径1台

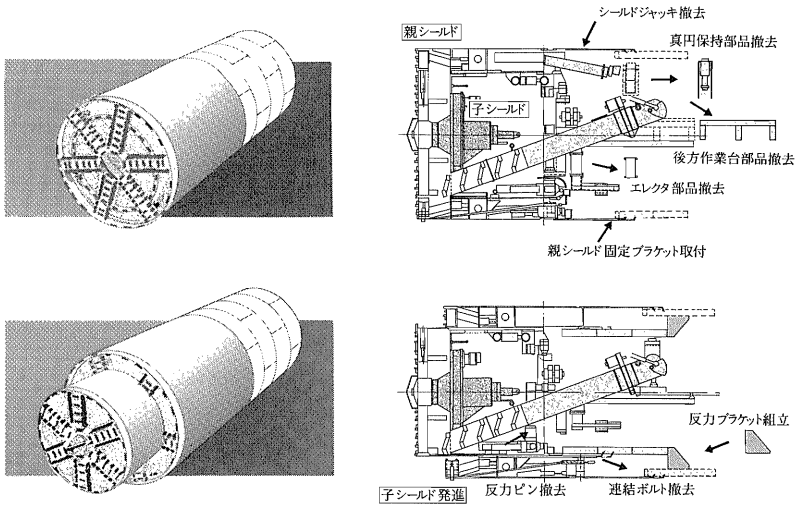


図-5 $\phi 5.89/4.39$ m 泥土圧式親子シールド

	概略図	作業項目
1	<p>分離手順 1</p>	<p>A. 親シールド固定ブラケット取付</p> <p>B. 親機専用部品撤去</p> <ul style="list-style-type: none"> ・真円保持装置一部 ・後方作業台一部 ・親シールドジャッキ ・エレクタ部品一部 ・連結ボルト
2	<p>分離手順 2</p>	<p>C. エレクタ吊上げフレーム取付</p> <p>D. 子シールド後胴取付</p> <p>E. 真円保持装置組立</p>
3	<p>分離手順 3</p>	<p>F. 反力ブラケット組立</p> <p>G. セグメント組立</p>
4	<p>分離手順 4</p>	<p>H. 親子連結部品撤去</p> <ul style="list-style-type: none"> ・反力ピン ・スペーサ
5	<p>分離手順 5</p>	<p>子シールド発進</p>

図-6 親子シールドの分離発進手順

のみで掘削した場合と比較しても余分な掘削が無く、また到達側の立坑を深く大きくする必要が無いなど、親子シールドにすることによるメリットが大きい。

- ③ 径の異なる2台のシールド機を製作する場合と比較して親子シールド機1台製作の方がコスト縮減になる。

以上のように工事の全体のコストが縮減でき経済的効果も大きい。

6. おわりに

親子シールドは、ここ数年の間に当社、他社も含め10台足らずの実績があり、今後もシールド機の長距離化、大深度化が進む中で、ますます必要な技術となる。

さらに、親子シールドの管頂接合といった同心円以外の親子シールドや3種類の径の異なる断面を掘削するといった技術開発が必要とされている。これらの課題に対し、現状の技術の改善や新たな技術開発が望まれる。

最後に親子シールドの開発・実用化を進める中で助言、ご指導いただいた役所、関係機関、共同企業体、施工会社ならびに工事計画されたコンサルタント会社の関係各位に誌面を借りて、深く感謝の意を表する次第である。

JCM A

【参考文献】

- 1) 田中雄次, ほか: 日立造船のシールド新技術, 日立造船技報1999, Vol.60 (1999)

【筆者紹介】



田中 雄次 (たなか ゆうじ)
日立造船株式会社
鉄構・建機事業本部設計本部建機技術グループ
グループ長



佐藤 譲治 (さとう じょうじ)
ジオテックマシナリー株式会社
(日立造船, 日立建機建機シールド生産統
合会社)
設計部
主任

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、とても解いやすく表現している、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
- ・基礎工事用機械
- ・高所作業車
- ・貨物自動車

A5版 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

東京都港区芝公園3-5-8(機械振興会館) TEL03-3433-1501 FAX03-3432-0289