

水陸両用ブルドーザによる災害復旧工事事例報告

飯塚 尚史・坂本 繁一・猪原 幸司

水陸両用ブルドーザは、浅水域を作業領域とする無線遠隔操縦式水陸両用機械である。

1969年（昭和44年）「富山大橋橋脚沈下応急復旧工事」で現場に初めて投入されて以来、漁港・漁場の整備工事、養浜・離岸堤・人工リーフ等の海岸工事、近年では治水としての河道掘削、改修工事、あるいは無線遠隔操縦技術を活用した災害復旧工事にも幅広く使用され、先の東日本大震災においても被災地各所で稼働している。

これまでの施工実績は全国各地の沿岸部、河川、湖沼、ダム等で1,200件を超えているが、その活躍はあまり知られていない。本稿では水陸両用ブルドーザ開発の歴史、特徴を記するとともに、災害復旧工事事例を報告する。

キーワード：水陸両用機械、無人化施工、仮設備の低減、安全性の向上、情報化施工

1. はじめに

水陸両用ブルドーザは、建設省（現国土交通省）指導のもと、1968年（昭和43年）に作業可能水深3mのD125-18Bが開発された（写真-1）。翌1969年（昭和44年）には「富山大橋橋脚沈下応急復旧工事」で初めて現場に投入された。この工事は後に「建設機械の遠隔操作」という点で「無人化施工」最初の工事と言われている。1971年（昭和46年）には作業可能水深を7mに改良されたD125W-2型が登場し同年、吸排気ダクトを統一し大型化した原型のD155W-1型（以下「本機種」という）が開発された。1976年（昭和51年）には、過去のデータをフィードバックした改良型が登場し現在に至っている（写真-2）。

水陸両用ブルドーザは、これまでにイタリア、ソビ



写真-2 本機種

エト連邦、チェコスロバキア、パキスタン等の海外向けに14台、日本国内向けに22台の合計36台が販売された。

1971年（昭和46年）に水陸両用ブルドーザ（本機種）開発1号機が導入され、静岡県御前崎港浚渫工事、神奈川県相模川河川整備工事を皮切りに全国各地で実績を残し、平成8年までに計17台導入した。現在5台の水陸両用ブルドーザを保有し、全国各地で稼働している。

現在は、当社の保有する5台の水陸両用ブルドーザが国内に現存する全てである。



写真-1 D125-18B

2. 水陸両用ブルドーザの概要

(1) 水陸両用ブルドーザ外形図・仕様 (図-1, 表-1)

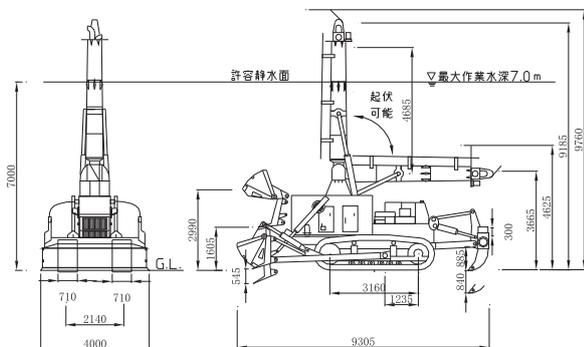


図-1 本機種外形図

表-1 本機種仕様

◇作業水深 (静水時)	7 m
◇運転整備質量 (リッパ・エプロンブレード付)	
陸上	43,500 kg
水中	27,900 kg
◇性能	
走行速度 前進1速	0 ~ 3.6 km/h
前進2速	0 ~ 6.5 km/h
後進1速	0 ~ 4.3 km/h
後進2速	0 ~ 7.7 km/h
最小旋回半径	3.8 m
◇寸法	
全長 (リッパ付)	9,305 mm
全幅	4,000 mm
履帯中心距離	2,140 mm
設置長	3,160 mm
履帯幅	710 mm
接地圧 (水中)	61 kPa
最低地上高	430 mm
◇エンジン	
名称 (ディーゼル機関)	コマツ S6D155-4
シリンダ数-径×行程	6 - 115 mm × 170 mm
総排気量	19,260 cc
定格出力/回転速度	198.6 kW (270PS) / 2000 rpm
◇運転操作方式	無線遠隔操縦および有線操縦
◇動力伝達装置	
トルクコンバータ形式	3要素1単相
変速機形式	遊星歯車多板クラッチ式
変速段数	全身2段, 後進2段
◇油圧装置	
最大圧力	13.4 Mpa (140 kgf/cm ²)
吐出量	355ℓ/min (2000 rpm において)
◇無線操縦装置	
制御有効距離	半径 100 m
周波数	429.25 MHz ~ 429.7375 MHz のうち 1 波
◇ドーザ装置	
形式	油圧式エプロン付ドーザ
幅/高さ	4000 mm / 1250 mm
上昇量	1605 mm
下降量	545 mm
エプロン最大開き量	1200 mm
◇リッパ	
形式	パラレログラム式油圧リッパ
シャック数/シャックピッチ	3本 / 1200 mm
最大掘削深さ	840 mm
最大上昇量	885 mm
◇燃料タンク容量 (軽油)	610ℓ

(2) 水陸両用ブルドーザ工法の特徴

水陸両用ブルドーザ工法の特徴を以下に示す。

- ①作業船の航行・係留または陸上機械による作業が困難な水深 7 m までの浅水域 (特に碎波帯・河川下流の感潮域) で威力を発揮。「水陸両用機械」
- ②無線遠隔操縦式なので人命の安全が確保できる。「無人化施工」
- ③仮設道路, 仮設構台・栈橋, 船着場等の仮設工がほとんど不要であり, 仮設費が軽微ですみ経済的。「仮設備の低減」
- ④係留索を使用しないため漁船など船舶の航行に支障をきたす事なく作業可能。また機動性に優れているため, 現場状況の変化 (時化・増水・放流・風雨等) にも即時退避可能。「安全性の向上」
- ⑤排土板に装着されたエプロン装置により, 掘削土を拡散することなく水中掘削押土が可能。
- ⑥排土板は, 大型 (平積 3.36 m³) なため, 1 日当りの作業量が多い。また機械を複数台投入することにより工期も短縮可能。
- ⑦海底・河床を走行し排土板で面的に仕上げるため, 作業船での施工に比べ掘削精度が高く, 余掘量・余砕量も少なく経済的である。また施工時, 地盤を転圧するため締固め効果もある。
- ⑧車体後部の四節リンク式 (パラレログラム式) 油圧リッパにより, 地山弾性波速度 2,100 m/sec 程度までの岩盤を水中で破碎可能。水中岩盤破碎掘削は他工法に比べ作業量が多く圧倒的に安価。
- ⑨吸排気ダクトを倒すことにより, 空頭制限がある場所での作業が可能 (写真-3)。



写真-3 橋梁桁下部の作業状況

- ⑩リッパ装置を外し, クレーン装置を取付けることによりクレーン作業も可能 (図-2, 表-2)。

(3) 無線遠隔操縦

水陸両用ブルドーザは, 開発当初より無線 (当初: 微弱無線 142 MHz 帯, 現在: 特定小電力無線 429 MHz 帯) による遠隔操縦方式を採用している。これは, 水中作

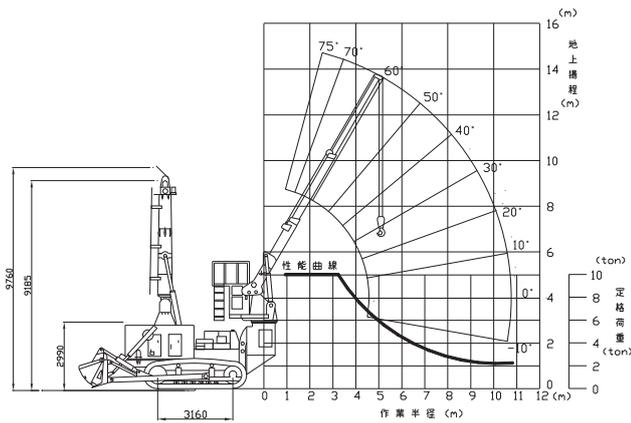


図-2 クレーン装着型外形図

表-2 クレーン仕様

主要諸元		
能力	定格荷重 作業半径	最大 10,000 kgf 1.0 ~ 10.6 m
ウインチ	フック速度 吊上揚程 ワイヤーロープ	5.0 ~ 6.8 m/min 13.4 m (地上より) φ12.6×Fi (29) B種 IWRC, 90 m
起伏	角度 速度	- 10° ~ 75° 85° / 26 sec
伸縮	長さ 速度	6.0 m 6.0 m / 26 sec
旋回	角度 速度	180° 強制ストッパー付 180° / 10 sec
安全装置	<ul style="list-style-type: none"> ・油圧安全弁 ・角度計 ・過負荷防止装置 ・玉掛けワイヤー外れ止め 	
油圧源	ブルドーザの油圧源を利用する。 必要量-流量 140 l/min, 圧力 15,700 kN/m ² (160 kgf/cm ²)	
重量	7,950 kg (クレーン装置乾燥重量)	

業時の水中走路視認問題や潮流、波浪のある海洋工事でのオペレータの危険を回避するためである。

建設機械の遠隔操縦では、1993年（平成5年）に日本初の試験フィールド制度で、火山活動が活発な雲仙普賢岳の災害復旧工事に採用された無人化施工が有名であるが、その25年前から水陸両用ブルドーザで遠隔操作が全国各地で行われていた。

(4) 安全装置

水陸両用ブルドーザは、陸上で使用されているブルドーザを単純に水密化したものではなく、水中作業に適応するため各種安全装置が装備されている。

パワーラインケース内には、浸水防止とシール類保護のため、外部圧（水圧）に応じた内圧が自動的に与えられる差圧調整装置が装備されている。また、車両

の異常やエンジン室内への浸水時は、ダクト上部の警告灯とホーンが同時に作動する。さらにエンジン室内には排水ポンプが装備され、浸水、警報と同時にポンプが自動的に始動し、ダクトから排水される。

万が一、無線遠隔装置が故障し、水中で走行不能となった場合は、車体中央部に装備されたダイバーコントロール装置を使用し、ダイバーによる有線操縦も可能となる。

3. 災害復旧工事事例

(1) 庄内川河道掘削工事

2000年（平成12年）9月の台風14号および秋雨前線がもたらした東海豪雨による洪水は、名古屋市内を流れる庄内川流域に甚大な被害（水害区域面積10,487 ha、被災家屋34,049棟）をもたらした。同年、河川激甚災害対策特別緊急事業が採択され、2008年（平成20年）3月には庄内川水系河川整備計画が策定された。

庄内川河川事務所は、都市河川であり堤防の引堤や嵩上げが困難なことから主に河道掘削により流下断面を確保する事を決定し、掘削工法として施工性、経済性等から水陸両用ブルドーザ工法が採択された（8k900～上流部）（写真-4）。



写真-4 庄内川河道掘削状況

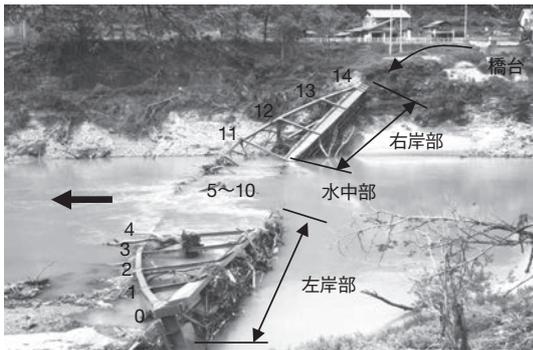
発注者：中部地方整備局庄内川河川事務所
 工事名：H22～H25 庄内川河道掘削工事
 数量：約37万 m³（現在継続中）

(2) 只見川災害復旧落橋回収工事

2011年（平成23年）7月、新潟県中越地方、下越地方、福島県会津地方の3地域で発生した集中豪雨は、福島県会津地方を中心に流れる只見川流域に甚大な被害（死者4名、行方不明者2名）をもたらした。また只見川に架かる橋は、西部橋をはじめ6橋が落橋、5橋が被災した。

国土交通省北陸地方整備局は、落橋した西部橋を撤去する工事を価格と品質で総合的に優れた調達を目指す「高度技術提案型（Ⅲ型）」で発注した。

当該工区は、流速が早く河床に障害物があることが想定されるため作業船での施工は困難であり、また地山が岩盤であることから仮設栈橋による施工も困難で不経済であると判断した。そこで水中部の橋梁撤去を水陸両用ブルドーザを駆使し撤去する施工方法で提案し受注に至った（写真—5, 6）。



写真—5 落橋した西部橋



写真—6 落橋回収状況

発注者：北陸地方整備局

工事名：町道土倉・西部線西部橋災害復旧落橋回収工事

数量：旧橋撤去工1式（下路式ランガー橋 L = 121 m, 鋼材 210 t, 床版, 舗装版等）（当初数量）

工事用道路・作業ヤード工1式 他

左岸部（0～4 スパン）および右岸部（11～14 スパン）は、仮設ヤードを造成し水衝部を大型土のうで防護して陸上機械により撤去する。

中央部（4～11 スパン）の水陸両用機械による主な撤去手順は、以下のとおり（図—3）。

- ①気中部および多機能圧砕機では切断困難な角形鋼管（アーチ部材）は、クレーン装着型水陸両用ブルドーザを相番機とし潜水士が酸素アークにより水中切断する。
- ②バックホウ装着型水陸両用ブルドーザで埋没した橋梁周囲を掘削する。
- ③バックホウ装着型水陸両用ブルドーザに多機能圧砕機（水中仕様）アタッチメントを装備し、橋梁を切断・撤去する。
- ④水陸両用ブルドーザにより水中作業足場を造成しながら（a）～（c）を繰り返す。
- ⑤バックホウ装着型水陸両用ブルドーザで床版等を撤去後、水陸両用ブルドーザで計画河床まで切り盛りする。

（3）東日本大震災災害復旧工事

2011年（平成23年）3月11日、東北地方太平洋沖地震により発生した大津波は、東北から関東にかけての東日本一帯の沿岸部に甚大な被害をもたらした。

（a）関上大橋災害復旧工事

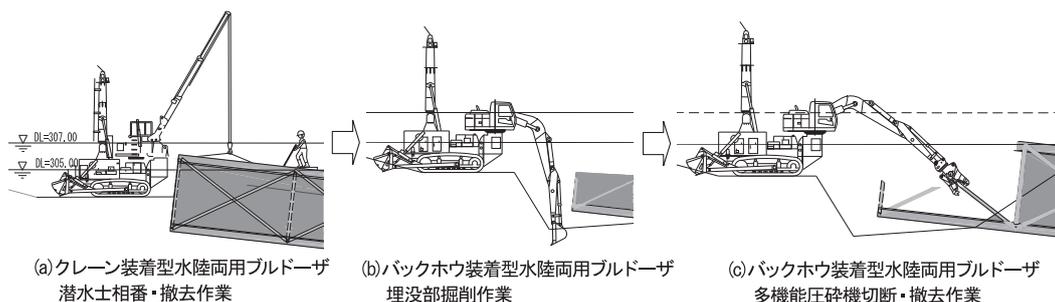
宮城県名取川河口部（0.9 k 付近）に架かる関上大橋は、津波により流水部橋脚周囲が洗掘され、ケーソン基礎天端が露出している状態であった。

当初、作業船により洗掘箇所への石材投入、袋詰玉石被覆工を計画したが、経済性、工程、施工条件（流速、水深、空頭制限等）から施工困難と判断され、水陸両用ブルドーザによる施工を計画した（図—4、写真—7）。

発注者：宮城県仙台土木事務所

工事名：平成23年度関上大橋（その1）橋梁災害復旧工事

平成24年度関上大橋橋梁災害復旧工事



図—3 撤去手順図

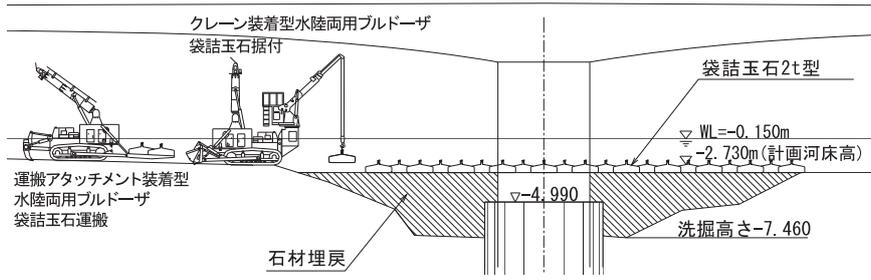


図-4 被覆工標準施工図



写真-7 袋詰玉石運搬据付状況



写真-9 コンクリート破碎状況 (水陸両用バックホウ)

数量：橋脚洗掘対策工 4,200 m³ 袋詰玉石製作・設置 927 袋 吸出防止材設置 3,210 m² 他

(b) 岩手県ウニ・アワビ増殖場応急復旧工事

1973年(昭和48年)から岩手県北部沿岸の平磯に水陸両用ブルドーザを使用し、ウニ・アワビの大規模増殖場造成工事を行った。

今次地震により発生した津波は、当増殖場全域にわたり甚大な被害を与えた。今回、増殖場全域を水陸両用機械により応急復旧工事を行った(写真-8, 9)。

- 発注者：岩手県北広域振興局，岩手県洋野町
- 工事名：平成23年度宿戸地区他沿岸漁場開発施設(増殖溝)応急復旧工事
- 平成23年度有家漁港災害復旧応急工事
- 平成23年度小子内漁港災害復旧応急工事
- 平成23年度宿戸漁港災害復旧応急工事

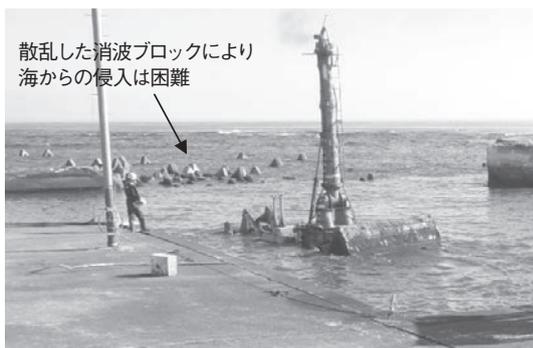


写真-8 浸没状況

数量：飛散増殖ブロック再設置 2,785 個 堆砂除去(障害物) 2,325 m³ 泊地・航路浚渫 13,790 m³

飛散構造物取壊し撤去 369 m³ 散乱消波ブロック撤去 194 個 他

(c) 福島県海岸離岸堤災害復旧工事

1975年(昭和50年)から高潮対策、海岸浸食対策として、福島県沿岸部(大浜、北海老、渋佐、塚原、村上、角部内、井田川、浦尻、蛭沢、浅見川)にクレーン装着型水陸両用ブルドーザを使用し離岸堤設置工事を行った。

今次津波は、沿岸部の離岸堤ブロックを散乱、沈下させ背後地に甚大な被害を与えた。今回、クレーン装着型水陸両用機械により散乱したブロックを回収し、離岸堤の高上げ工事を行った(写真-10)。

- 発注者：福島県相双農林事務所
- 工事名：海岸災害復旧事業(23年災)工事(浅見)

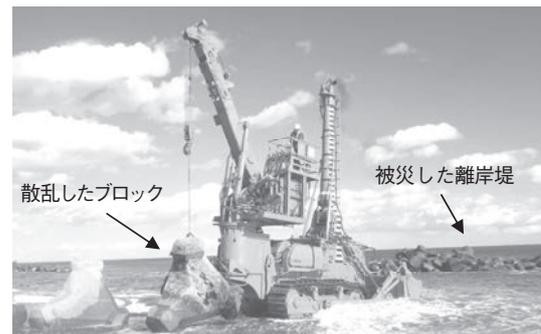


写真-10 消波ブロック回収・据付状況

川地区)

海岸災害復旧事業 (23 年災) 工事 (北海道
老地区)

数量: 飛散ブロック (8t 型) 回収 131 個, 消波
ブロック (6t 型) 運搬据付 1,113 個 他

(d) 磯浜漁港災害復旧工事

宮城県亶理郡山元町の磯浜漁港では, 水陸両用ブル
ドーザ, 水陸両用バックホウ, 水陸両用クローラダ
ンプを使用し, 泊地内に散乱した消波ブロック, コン
クリート殻等を撤去した。

発注者: 宮城県山元町

工事名: 東日本大震災に係る災害廃棄物処理作業

(e) 東名運河応急塵芥処理工事

宮城県東松島市の東名運河では, 水陸両用バックホ
ウ (0.8 m³ 級アームクレーン仕様, 作業水深 1.5 m)
等を震災直後の 4 月に現場投入し, 運河内全域に散
乱堆積したガレキ・支障木等を撤去した (写真— 11)。



写真— 11 水陸両用バックホウ 0.8m³ 級

発注者: 宮城県東部土木事務所 (仙台土木事務所支
援)

工事名: 平成 23 年度東名運河応急塵芥処理工事(そ
の 2)

概要: 運河内のガレキ・支障木等を撤去し仮置場
まで運搬後, 金属・木・車等に分別を行う。
(鳴瀬川~野蒜郵便局間)

4. 水陸両用ブルドーザの情報化施工について

水陸両用ブルドーザは, オペレータが目視により無
線遠隔操縦する。

このため荒天時や施工箇所が遠距離になると正確な
高さや位置が判断できず, また設計断面に勾配がある
場合や水位が変化する場合, その都度水位を確認し
なければいけないなど難点をかかえていた。

これらの問題点を解決するため, 吸排気ダクト上部
に位置計測装置を設置し, 水陸両用ブルドーザの 3 次

元位置をリアルタイムに送受信することで水位の変化
や天候に左右されず, 無人で自動的に施工管理可能な
システム開発に着手した。

しかしこの開発において問題となったのが水陸両用
ブルドーザの施工中の振動であり, 特に吸排気ダクト
上部はその振動が増幅され, 設置する計測機器への衝
撃吸収構造が重要な課題であった。実際, 試作段階の
実験では振動吸収を考慮した構造であったにもかかわらず計測機器が破損するなど, その衝撃は凄まじいも
のであり, 開発における重要課題であった。

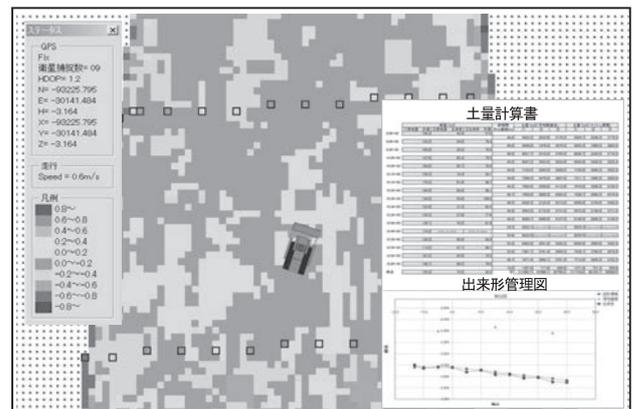
そこで, これまでの経験を活かし新たに開発した衝
撃吸収装置(実用新案申請中)に計測機器を設置した。
平成 24 年度には実証試験を実施しデータ取得から位
置情報取得, 管理図作成までの一元管理に成功した(写
真— 12)。



写真— 12 実証試験状況 (衝撃吸収装置)

このシステムは RTK-GPS (Real Time Kinematic-
GPS) を用いて水陸両用ブルドーザの位置情報を計測
し, 施工基盤の高さや設計高さとの差分を算出するこ
とで無線遠隔操縦 (水中無人化施工) を支援し高効率・
高精度な施工を実現するものである。

これは陸上施工における情報化施工技術を応用した
ものであるが, 水中作業という施工環境ではより高い
効果が期待できる。またオペレータ支援機能に加え



図— 5 GPS 施工管理状況

て、出来形自動計測による出来形管理・出来高集計システムを併せもっている（図-5）。

5. おわりに

日本国は、周囲を海に囲まれ、世界第6位の海岸線延長約35,000 kmを有している。また国土の約70%が山岳地帯で、一級水系で109水系、二級水系で2,723水系を有する特異な国土と言える。

40数年もの長い間、水陸両用ブルドーザは、この国土のほんの一部分の浅水域というニッチな施工領域で、全国1,200件を超える施工実績を積んできた。これは施工領域、特定作業に対し、他の施工機械に比べコストパフォーマンスが優れていたからに他ならない。

しかしながら世界に5台しかないこの水陸両用ブルドーザも、長年にわたる活躍のため老朽化しており、入念な整備点検、修理、あるいはオーバーホールを行い使用しているのが現状である。

昨年、保有する5台の内1台を開発製作したコマツに完全オーバーホールを依頼した。実に9か月をかけて復活した車体は、ほぼ新車となり、現在に至るまで休みなく震災現場で稼働している。

水陸両用ブルドーザは、近年、全国各地域で発生している集中豪雨災害や、地震、火山活動等に伴う土砂災害、また今後想定される大規模な自然災害で、必ず必要とされる特殊な機械と考える。

私が在籍中に、諸先輩から受け継がれた40年の歴史や技術をもとに、次世代の水陸両用ブルドーザを開発し、今後30年、40年と全国各地で活躍できるよう努めていきたい。

最後に、東日本大震災で犠牲となられた方、被災された方々には、心からのお悔やみとお見舞いを申し上げます。

J C M A

《参考文献》

- 1) 電力土木 平成24年11月号
飯塚尚史, 坂本繁一, 猪原幸司: 水陸両用ブルドーザによる災害復旧工事事例報告, No.362, 80-84, 2012
- 2) 建設機械 平成24年2月号
飯塚尚史: 浅水域で実力を発揮する水陸両用ブルドーザ, No.564, 35-40, 2012
- 3) 北陸の建設技術 平成23年7月号
馬欠場真樹, 渡辺清, 飯塚尚史: 水陸両用ブルドーザの変遷と活躍, No.241, 17-22, 2011
- 4) 建設機械 平成21年8月号
猪原幸司, 馬欠場真樹, 飯塚尚史: 水陸両用ブルドーザの変遷と活躍, No.534, 55-59, 2009
- 5) 建設の施工企画 平成20年8月号
三村充, 猪原幸司: 無線操縦式水陸両用ブルドーザの活用状況, No.702, 71-76, 2008
- 6) 建設の施工企画 平成18年11月号
古谷弘: Webとデータベースを用いた新しい施工管理方法の紹介, No.680, 38-42, 2006
- 7) 建設機械 平成17年3月号
奥澤文吾, 内藤義樹: RTK-GPSを用いたブルドーザシステムによる整地作業について, No.481, 31-36, 2005
- 8) 建設機械 平成15年3月号
藤野健一: 無人化の現状と展望, No.457, 1-6, 2003
- 9) 建設機械 平成14年1月号
村松敏光: 情報化施工の今後の動向①, No.443, 8-19, 2002
- 10) 建設の機械化 平成13年11月号
猪原幸司, 馬欠場真樹, 青木肇: 水陸両用機械による仮設備の低減, No.621, 44-49, 2001
- 11) 建設機械 平成12年6月号
内海光博: 建設機械の遠隔運転, No.424, 14-19, 2000

【筆者紹介】

飯塚 尚史 (いづか なおし)
青木あすなろ建設㈱
土木技術本部 土木リニューアル事業部



坂本 繁一 (さかもと しげかず)
青木あすなろ建設㈱
土木技術本部 土木技術研究所
担当課長



猪原 幸司 (いはら こうじ)
青木あすなろ建設㈱
土木技術本部 総合評価部
担当部長

