

# MAP工法を利用した海砂採取工事とその応用検討

吉 越 一 郎・宮 城 茂 信・大 矢 通 弘

MAP (Mixing Air Pump) 工法は、特殊エジェクタを利用した浚渫工法の一つである。意図的に自動制御された最適空気量を外部から導入する点や絞りのない内装管を用いる点に特徴があり、キャビテーションの抑制や摩耗対策等に有効である。本報文は、この海砂採取等実績のある MAP 工法に着目し、ダム貯水池における堆砂処理システムへの応用を検討したものである。その結果、現有システムでも十分ダム湖へ適用可能であること、大水深や能力増強への対応についても問題のないこと等が明らかになった。

キーワード：ダム堆砂、貯水池土砂管理、MAP 工法、特殊エジェクタ、浚渫

## 1. はじめに

流砂系の総合土砂管理の必要性が認識されて久しい。土砂移動の連続性の確保である。その中でもダムの堆砂対策の推進は大きな鍵を握っている。ダムは貴重な社会の財産であり、使い捨てにせず適切な貯水池土砂管理により持続可能な利用を目指す必要がある<sup>1)</sup>。そのためには、経済的かつ汎用性のあるダム堆砂処理システムの開発が不可欠である。

本報文は、港湾の海砂採取等実績のある MAP (Mixing Air Pump) 工法に着目し、ダム貯水池における堆砂処理システムへの応用を検討したものである。

## 2. MAP 工法とは

エジェクタポンプはノズルから高圧水を噴出させ、そのエネルギーによって他の流体を吸引搬送するものである。流体通過経路にインペラ等の回転部をもたないシンプルな構造であり、詰まりにくいことや管理が容易といった利点を有する。このエジェクタをダム湖の浚渫に利用する案は過去にも検討されている<sup>2)</sup> (表-1, 図-1)。

今回紹介する MAP 工法は、特殊エジェクタを利用した浚渫工法の一つであり、意図的に自動制御された最適空気量を外部から導入する点や絞りのない内装管を用いて真空を発生させる点などが通常のエジェクタと異なる (図-2, 写真-1)。

外部空気の導入はキャビテーションの抑制に有効で

あり、内装管の利用はその交換の容易性から管の摩耗対策として効果がある。また、駆動水の圧力とノズル径および内装管径の組合せにより、揚程力や揚水量 (揚砂量) の調整が容易にできるという利点を有する。

表-1 ダム湖浚渫のためのエジェクタの設計例<sup>1)</sup>

基本条件	水 深	2~30 m (標準 20 m)
	実 揚 程	約 5 m (水面上高さ)
管内流速	管 内 流 速	3~5 m/s
	土 質	$D_{50}=20$ mm, $D_{max}=100$ mm, $\gamma_s=2.69$
最適設計	高圧水 (駆動水)	0.7 MPa
	高圧水用ポンプ	220 PS
	ノズル径	75 mm
	スロート部形状	直径 200 mm, 長さ 800 mm
	ディフューザ角	7°
	吐出管径	300 mm
揚 土 量	160 m <sup>3</sup> /h (含砂率 15%)	

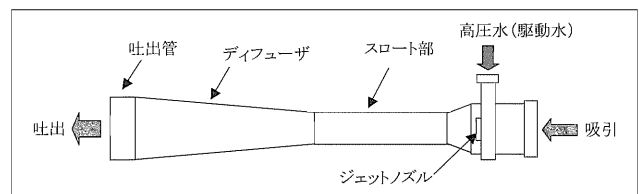


図-1 通常のエジェクタ

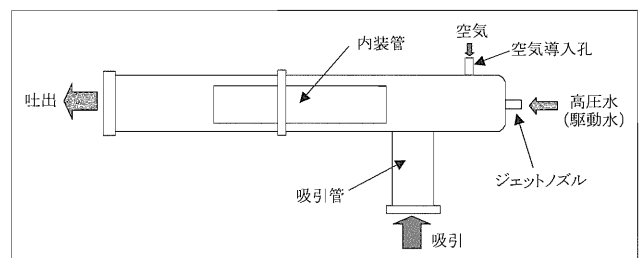
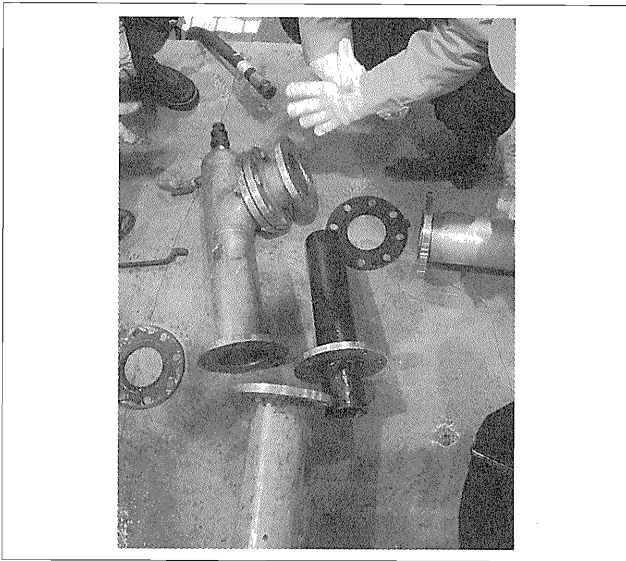


図-2 特殊エジェクタ



写真—1 特殊エジェクタ（分解状態）

さらに、高圧水中に空気を混入することにより、圧送中の洗浄、管閉塞の防止、再起動の容易性などの副次効果が見られる。

混入空気は管内の流動性を高めることにも寄与するため、MAP 工法では吸引部の集砂能力に問題がなければ、含砂率 90% の高濃度でも圧送可能である。

このことは、吸引部を陸上に設置して、ホップを介して砂を強制的に投入、圧送するシステムとしてすでに実績がある。

### 3. MAP 工法による海砂採取工事

#### (1) 工事概要

本工事は、漁港の航路維持浚渫という目的を有するが、事業そのものは採取した海砂の販売収入から成る純民間の独立採算事業である。海砂採取量は 30 万 m<sup>3</sup> であり、この海砂採取に MAP 工法が採用されている。

PFI 事業としてのダム堆砂リサイクルの可能性を検討した事例によると、最大の課題は流通の確実性（安定した需要）と採取、処理、運搬に要するコストの低減であり、事業成立のためには堆砂処理のメリットを定量化してそれに見合う公的資金の導入が不可欠とされる<sup>3)</sup>。

その意味では、今回の海砂採取工事は数少ない事業成功例の一つであるといえる。港湾とダム湖という立地上の相違はあるものの、本事業から学ぶべき点は多い。本事業が独立採算で成立している要件を再整理すると、

- ①砂の品質と近傍での安定した需要
  - ②効率的な採取・処理方法
- の 2 点に集約できる。

当該地の海砂の品質は高い。砂に含まれる塩化物量はスプリンクラにて 1 日散水すれば規格値内に抑えることができ、JIS 認定工場の生コンプラントでコンクリート用骨材として使用できる。また、周辺における砂の需要も潜在的に高い。骨材以外に埋戻し材としても利用価値は高く、採取した砂の大半は海岸埋立て用護岸のフィルタ材として揚砂場から約 5 km の地点へ直送して使われている。

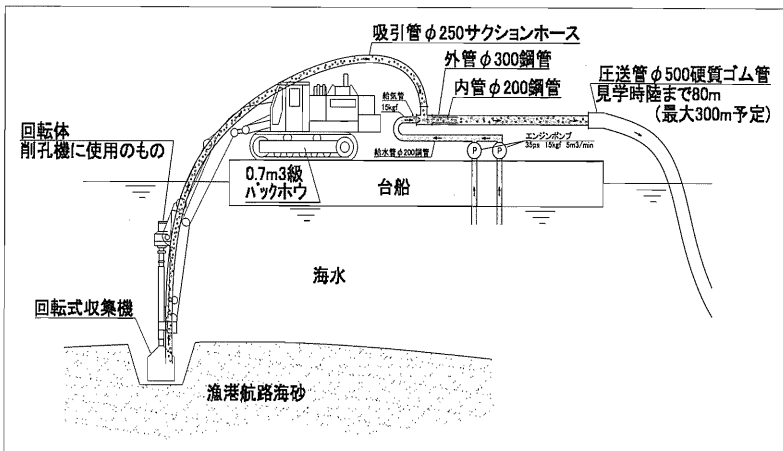
以下、効率的な採取・処理方法である MAP 工法の詳細を述べる。

#### (2) MAP システム詳細

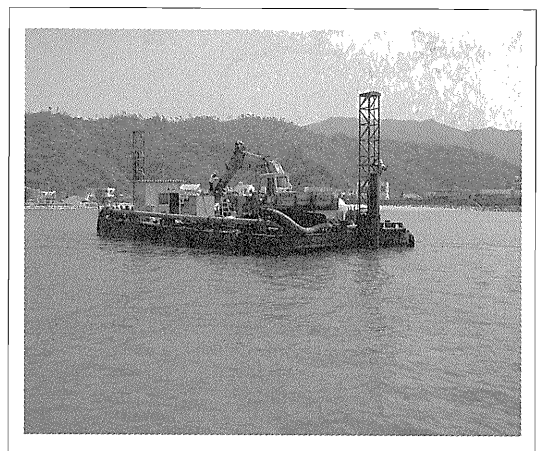
##### (a) 海上システム

図—3 および写真—2 に MAP 工法の海上システムの模式図および全景を示す。10 m × 24 m の台船に MAP 本体、吸引部のベースマシンとしてのバックホウ、駆動用の高圧エンジンポンプ等を搭載している。

台船は 2 本のスパッドにより位置を固定し、バックホウのアームに装着した吸引部（写真—3）を海底に



図—3 MAP 海上システム模式図



写真—2 MAP 海上システム（台船全景）

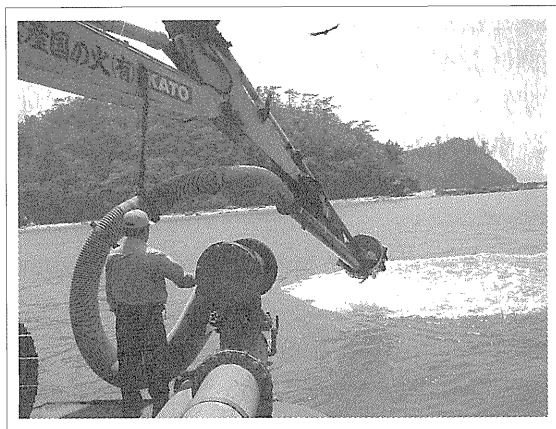


写真-3 MAP 海上システム (吸引部)

下ろすことにより海砂を採取する仕組みである。水面より7mの深さ(水深3mの場合、掘削深さは4m)まで掘削可能である。

吸引部の先端は回転式の攪拌翼で覆われ(写真-4)、海底砂を削りながら吸引する構造である。吸引した砂は、MAP 本体および搬送管(写真-5)を通して、陸上部へ圧送され運搬台船が不要となり効率的である。



写真-4 MAP 海上システム (先端回転部)

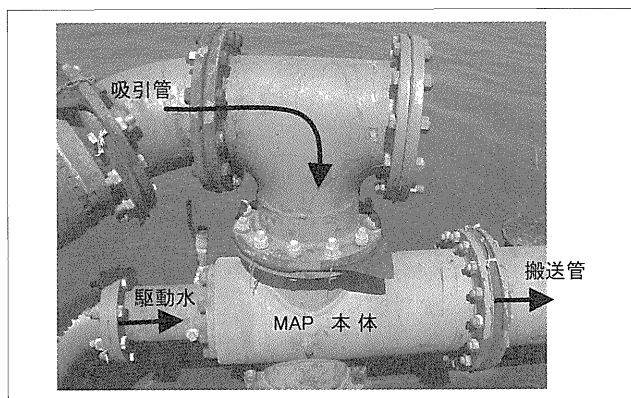


写真-5 MAP 海上システム (MAP 本体)

(b) 陸上システム

図-4 および写真-6 に MAP 工法の陸上システム

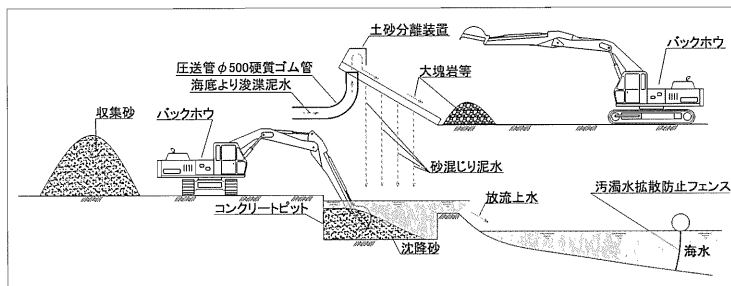


図-4 MAP 陸上システム 模式図

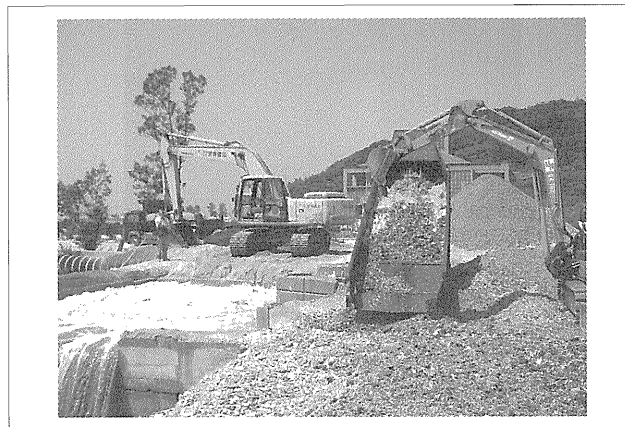


写真-6 MAP 陸上システム (揚砂場全景)

の模式図および全景を示す。

ふるい、沈砂池、シルトフェンス等から成る簡易なシステムのため動力を要する土砂分離装置が不要となり効率的である。

陸上部に圧送された砂は、搬送管の末端で吹上げられてふるい分け機を通過する。ふるいにより大塊を除去した後、沈砂池に沈降した砂はバックホウにてかき揚げられ、山積みにして水分を抜いてから需要地へダンプトラックにて出荷される。

沈砂池からのオーバーフロー水は、シルトフェンスを通した後、海へ還流される。写真-7、写真-8、写真-9 に、分級・水切り後の砂、分級後の大塊(オーバーサイズ)、汚濁防止用のシルトフェンス設置の状況をそれぞれ示す。

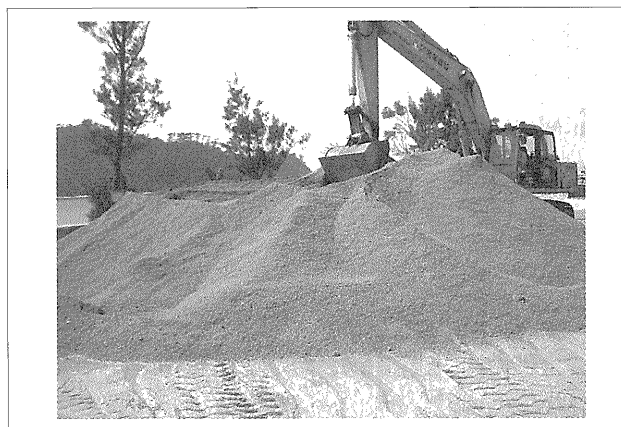


写真-7 MAP 陸上システム (分級後の砂)



写真-8 MAP陸上システム（分級後の大塊）

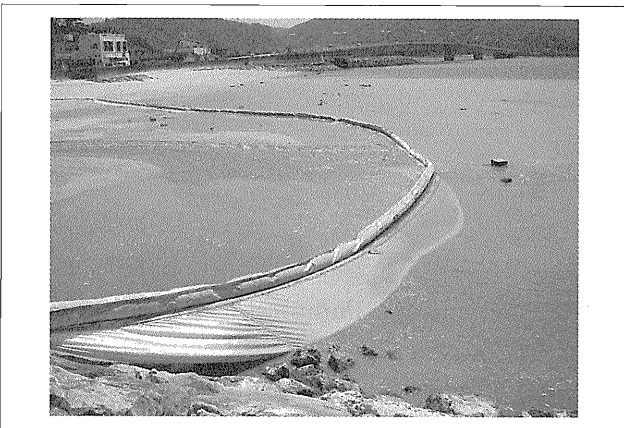


写真-9 MAP陸上システム（シルトフェンス）

力であるため特殊エジェクタポンプは、通常の土砂排水ポンプより効率的である。

#### 4. ダム堆砂処理への応用

##### (1) 現有システムの流用

上述の海砂採取システムは、MAP 本体以外はすべて汎用品から成るため現地での調達が可能である。また、台船はユニフロート等の現地組立て式とすることにより、山間部への搬入がより容易となる。水深が0~1 m の場合は台船搭載型ではなく、吸引部を泥上式バックホウに装着することにより対応可能である（表-2）。

このため、現有システムは貯水池上流部を中心に水深0~6 m の範囲では、そのままでも転用可能である。

##### (2) 大水深への対応

ダム堤高は100 m を超えるものも多いため、ダム貯水池の浚渫を考えた場合には、大水深への対応が必要になる。一案として、吸引部をバックホウ装着方式からラダー方式（図-5）に変更し、MAP 本体を吸引口付近に設置することが考えられる。

##### (c) 処理能力

表-2 に今回のシステムの仕様および処理能力を示す。1日8時間稼働として、約1,000 m<sup>3</sup>/日の浚渫能力

表-2 現有システムの仕様

項目	仕様
吸引管	径250 mm, 延長10 m
搬送管	径300~500 mm, 延長800 m
駆動水(高圧水)	380 PS のエンジンポンプ×2台(並列) 1台の吐出圧1.5 MPa, 吐出量5.0 m <sup>3</sup> /min
特殊エジェクタ	ノズル内径64 mm, 内装管径200 mm, 長さ1.0 m
浚渫能力	揚砂量100~150 m <sup>3</sup> /h, 深度7 m (アーム長)

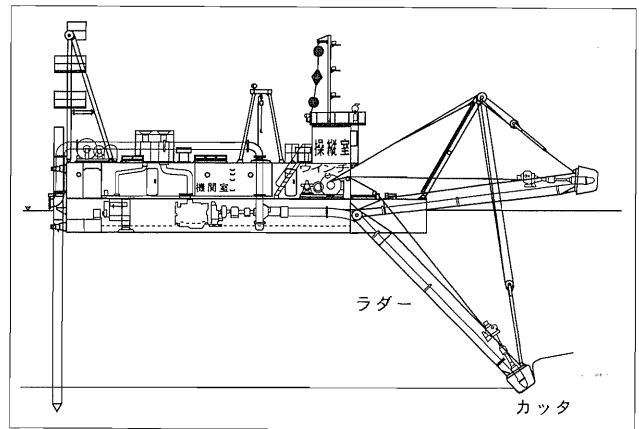


図-5 ラダー方式

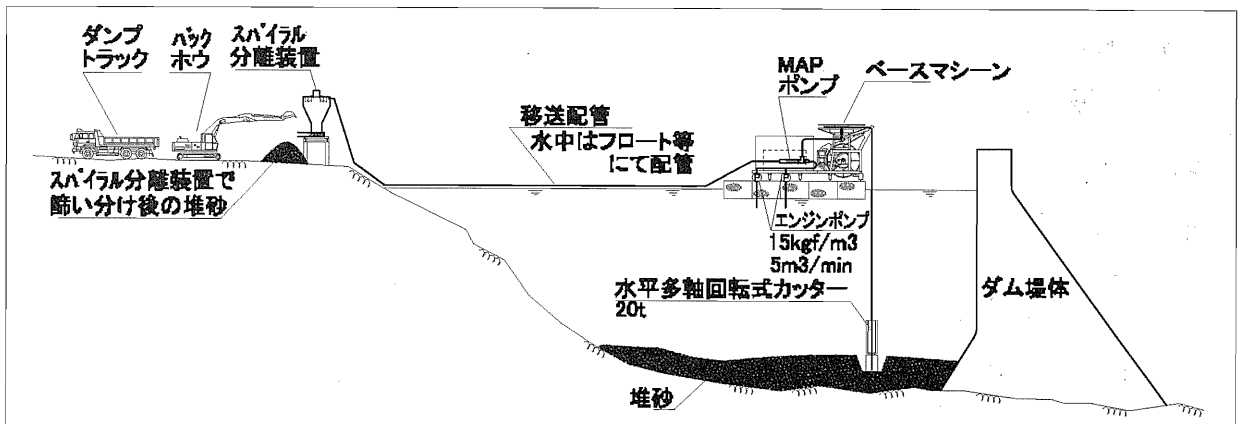
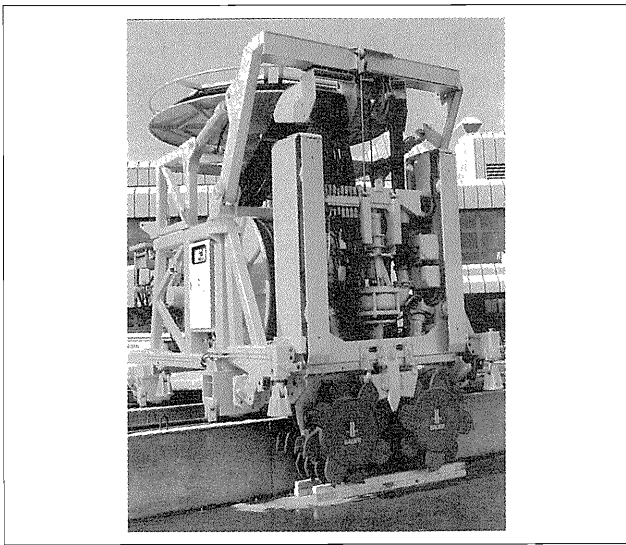


図-6 大水深への対応（水平多軸回転式カッタにMAPを装着）

この変更により、水位変動への追従が容易になり吸引管抵抗が少なくなるとともに、ラダー部分を切離してMAP本体とともに水中に吊下げることにより、より大水深への対応が可能となる。このラダー懸架曳航形式の有効性は深海部における海砂採取ですでに実証済みである。

その他の案として、水平多軸回転カッタとMAP本体との組合せが考えられている（図—6、写真—10）。



写真—10 水平多軸回転カッタ（吊下げタイプ）

水平多軸回転カッタは都市土木分野で地下連続壁の掘削等に多く使われるが、標準装備の泥土ポンプの代わりにMAPを装着して、ダム貯水池の浚渫に応用する案である。吊下げタイプの水平多軸回転カッタは標準で50mの深度まで、油圧ホース類の延長によりそれ以上の深度にも対応可能である。

表—3 MAP能力計算表（計画システム）

計 算 条 件	対 象 物	真比重=2.2, 見掛比重=1.32 最大径=200 mm 吸引時の含砂率=35%
	実 揚 程	吸引側 0.5 m 吐出側 2.0 m
	吸 引 管 抵 抗	径 300 mm, 延長 1.0 m 管内流速 3.1 m/s
	搬 送 管 抵 抗	径 500 mm, 延長 500 m 管内流速 2.0 m/s
	駆動水(高圧水)	吐 出 圧 1.8 MPa, 吐出量 10.0 m <sup>3</sup> /min, 吐出速度 59.4 m/s
	特殊エジェクタ	ノズル内径 60 mm, 内 装 管 径 300 mm, 長さ 1.0 m
計 算 結 果		最大揚程 13.3 m 最大吸引量 36.6 m <sup>3</sup> /min 全 抵 抗 8.6 m 余 剩 揚 程 4.7 m 吸 引 全 量 13.1 m <sup>3</sup> /min 対象物の吸引量 4.6 m <sup>3</sup> /min 対象物の吸引量 273 m <sup>3</sup> /h

### （3）能力増強への対応

MAP工法では、浚渫能力の増強は、駆動水の増量と内装管径の拡大で対応する。駆動ポンプは並列配置が可能であるので駆動水量の増量は容易である。

実績によれば、駆動水圧力 0.8 MPa, 駆動水量 40 m<sup>3</sup>/min, 内装管径 350 mm, 吐出管径 800 mm, 搬送距離 1 km が最大の規模で、この場合の浚渫能力は 420 m<sup>3</sup>/h である。

MAP工法の能力増強においては、吸引、圧送そのものよりもむしろ吸引部への集砂方法や揚砂場での処理等が隘路になる場合が多い。

表—3 により能力の大きいシステム設計例を示す。1日8時間稼働として、約 2,200 m<sup>3</sup>/日の浚渫能力である。

## 5. ま と め

今回の検討内容をまとめると以下のとおりである。

①MAP (Mixing Air Pump) 工法の原理や特徴等について整理した。

MAP工法は、特殊エジェクタを利用した浚渫工法の一つであり、意図的に自動制御された最適空気量を外部から導入する点や絞りのない内装管を用いる点に特徴があり、キャビテーションの抑制や摩擦対策等に有効である。

②MAP工法による海砂採取工事の概要およびそのシステムを紹介した。

工事は、海砂の販売収入による独立採算事業であり、安定した需要と効率的な採取・処理工法が基盤になっている。

MAP工法は、台船搭載のMAP本体、吸引部のベースマシン、駆動用の高圧エンジンポンプ等から成る海上システムと圧送後の揚砂場におけるふるい、沈砂池、シルトフェンス等から成る陸上システムから構成される。浚渫能力は、1日8時間稼働として、約 1,000 m<sup>3</sup>/日である。

③MAP工法のダム堆砂処理への応用として、現有システムの流用、大水深への対応、能力増強への対応について検討した。

その結果、現有システムはそのままでもダム貯水池へ転用可能であること、吸引部をラダーや水平多軸回転カッタに装着することにより大水深での浚渫が可能となること、駆動ポンプの並列化と内装管径の拡大で容易に能力増強に対応できること等が明らかになった。

以上より、海砂採取で実績のあるMAP工法をダム

貯水池の堆砂対策に応用することは十分可能と判断できる。

今後は、実際のダム貯水池における水位や土質等の条件に合わせたシステムの詳細設計およびフィールドでの実証実験が必要と考える。

MAP工法がダム堆砂対策の一つとして有効に機能し、流砂系の総合土砂管理の一助となることを期待します。

J C M A

#### 《参考文献》

- 1) 角 哲也：排砂効率および環境適合を考慮したダム堆砂対策の選択、土砂管理とダムに関する国際シンポジウム、論文集、pp.17-28 (2005)
- 2) 大音宗昭・門田 孝・山田豊彦：エゼクタ・ポンプの概念設計、東洋建設技術研究所報告、第16巻、pp.36-72 (1989)
- 3) 大矢通弘・角 哲也・嘉門雅史：ダム堆砂リサイクルのコスト分析とPFIによる事業化検討、ダム工学、13(2)、pp.90-106 (2003)



#### 【筆者紹介】

吉越 一郎 (よしこし いちろう)  
ハザマ  
土木事業本部  
機電部  
主任



宮城 茂信 (みやぎ しげのぶ)  
株式会社沖繩海土  
代表取締役社長



大矢 通弘 (おおや みちひろ)  
ハザマ  
土木事業本部  
技術第二部  
課長

## ■「建設の施工企画」誌投稿のご案内■

—社団法人日本建設機械化協会「建設の施工企画」編集委員会事務局—

会員の皆様のご支援を得て当協会機関誌「建設の施工企画」編集委員会では新しい企画の検討を重ねております。その一環として本誌会員の皆様からの自由投稿を頂く事となり「投稿要領」を策定しましたので、ご案内をいたします。

当機関誌は2004年6月号から誌名を変更後、毎月特集号を編成しています。建設ロボット、建設IT、各工種（シールド・トンネル・ダム・橋等）の機械施工、安全対策、災害・復旧、環境対策、レンタル業、リニューアル・リユース、海外建設機械施工、などを計画しております。こうした企画を通じて建設産業と建設施工・建設機械を取巻く時代の要請

を誌面に反映させようと考えています。

誌面構成は編集委員会でご企画いたしますが、更に会員の皆様からの特集テーマをはじめ様々なテーマについて積極的な投稿により機関誌が施工技術・建設機械に関わる産学官の活気あるフォーラムとなることを期待しております。

#### (1) 投稿の資格と原稿の種類：

本協会の会員であることが原則ですが、本協会の活動に適した内容であれば委員会で検討いたします。投稿論文は「報文」と「読者の声」（ご自由な意見、感想など）の2種類があります。

投稿される場合は標題と要旨をご提出

頂きます。編集委員会で査読し採択の結果をお知らせします。

#### (2) 詳細：

投稿要領を作成してありますので必要の方は電子メール、電話でご連絡願います。また、JCMA ホームページにも掲載してあります。テーマ、原稿の書き方等、投稿に関わる不明な点はご遠慮なく下記迄お問い合わせください。

社団法人日本建設機械化協会「建設の施工企画」編集委員会事務局

Tel : 03(3433)1501, fax : 03(3432)0289,

e-mail : suzuki@jcmnet.or.jp