

水中レーザー視認装置の開発

DEVELOPMENT & RESEARCH OF

UNDERWATER LASER VIEWING SYSTEM

高橋 義明¹⁾ 高橋 英俊²⁾ 秋園 純一³⁾ 加藤 久雄⁴⁾ 中道 正人⁵⁾
 剣持 庸一⁶⁾ 齋藤 利貴⁶⁾ 朝妻 春和⁷⁾ 石田 司朗⁸⁾ 町田 生五月⁹⁾

Yoshiaki Takahashi, Hidetoshi Takahashi, Jun'ichi Akizono, Hisao Kato, Masato Nakamichi,
 Youichi Kenmochi Toshitaka Saito, Harukazu Asatuma, Shirou Ishida, Osami Machida

The difficulty of viewing through turbid water-due to obstruction from backscattered rays-is overcome by adopting the range gate camera, which is actuated only during the interval when useful laser signals are reflected from the object illuminated by pulsed laser beam. Laser ray attenuation turns out to depend on suspended particle size in the same turbidity. Experiments are performed to prove ULVS applicability to burial support of NIIGATA MINATO tunnel caissons in the estuary of SHINANO river. Results of trial runs prove appreciable improvement of image quality compared with conventional underwater camera.

1.はじめに

最近の港湾工事においては、濁水中や大水深等苛酷な施工条件でのものが多くなりつつある。このような工事での施工管理・品質管理は、従来潜水士による在来技術を用いた直接計測・直接視認、あるいは超音波により行われているが、効率等を一層向上すべく要請がある。また、水中作業の機械化において、機械の「目」としての要請もある。一方、最近、先端技術の一つであるレーザーは、特にレーザー発振器及び関連機器の安定化、小型軽量化、低価格化等が著しく進み改めてレーザーの水中計測視認への利用の可能性が高まった。このようなことから、港湾工事等の高効率化を図るため、短パルス幅、高出力のレーザーを用いた水中視認技術の開発に取り組むこととした。ここでは、当面、建設中の新潟みなとトンネルにおける沈埋函沈設での使用を目標として、岸壁実験等の成果を報告するものである。

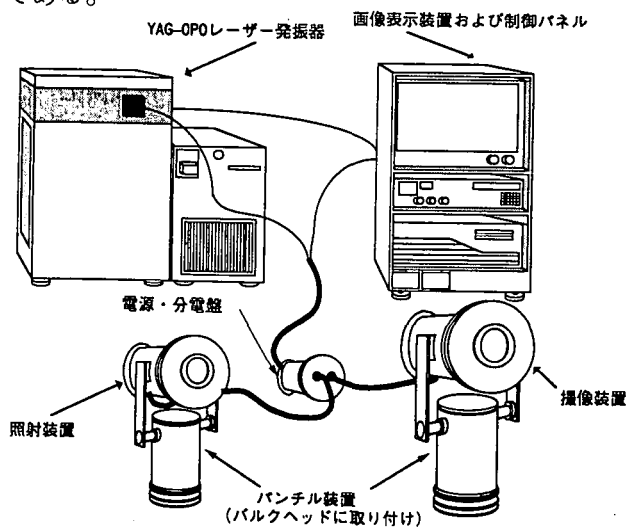


図1 水中レーザー視認装置概要図

- 1) 石川島播磨重工業（株）船舶海洋事業本部新技術開発部（〒135江東区豊洲2-1-1）
- 2) 正会員 運輸省第二港湾建設局 横浜機械整備事務所（前運輸省港湾技術研究所）
- 3) 運輸省港湾技術研究所 機械技術部ロボテイクス研究室
- 4) 運輸省第一港湾建設局 新潟機械整備事務所
- 5) 正会員 運輸省第一港湾建設局 新潟機械整備事務所
- 6) 石川島播磨重工業（株）技術本部メカトロ総合開発センター
- 7) （株）アイ・イー・エム エンジニアリング部
- 8) 石川島播磨重工業（株）技術本部情報システム部
- 9) 石川島システムテクノロジー（株）技術・プロジェクト室

2.開発の経緯

2.1 開発の目標

本装置は当面、信濃川河口に建設中の新潟みなとトンネルの平成8年度から予定されている沈埋函沈設工事において新設函を既設函の仮受けブラケットに着地させるための確認や操函の支援のために使うことを目標としている。そのため開発目標を側方散乱光で測った濁度3ppmで視距離3mでφ1mの視野を、視距離1mでφ1mの視野を得ることとした。

2.2 開発計画

開発は運輸省港湾技術研究所、運輸省第一港湾建設局新潟機械整備事務所、石川島播磨重工業株式会社の三者の共同で行っている。開発の全体計画フローを図2に示す。

項目\年度	平成3年度	平成4年度	平成5年度	平成6年度	平成7年度	平成8年度
トータルシステム	課題の整理	トータルシステムの検討 現状技術の整理 技術課題の抽出 開発テーマの抽出 実験等に関する検討	室内実験の計画 及び結果の評価 年壁実験方法の検討 トータルシステムの検討	プロトタイプ機の基本設計 実験装置の設計・製作 岸壁実験	プロトタイプ機の設計製作 視認エディタ取付 位置確認実験	プロトタイプ機の実海域実験 総合評価 まとめ

図2 全体計画フロー

3.水中レーザー視認装置の原理

濁水中では、懸濁物質からの後方散乱光が大きいいため距離が長くなると、この散乱光により被写体からの信号がマスクされ被写体が見えなくなる。この状態では、照明光源をより強力なライトに交換しても極短パルスレーザーに置き換えても、また、より高感度カメラを用いても一向に視認性は改善さない。これを解決するためにレンジゲート方式と呼ばれる技術を適用する。この原理は、図3に示す様に、レーザー光をパルス状にして照射し、濁水中の懸濁物質から反射光が戻ってくる間は、シャッターを閉じておき、被写体からの反射光を受光する時に合わせて、図のようにシャッターを開く。そして、被写体からの反射信号が通り過ぎた後は再びシャッターを閉じ、懸濁物質からの反射光を防ぐのである。

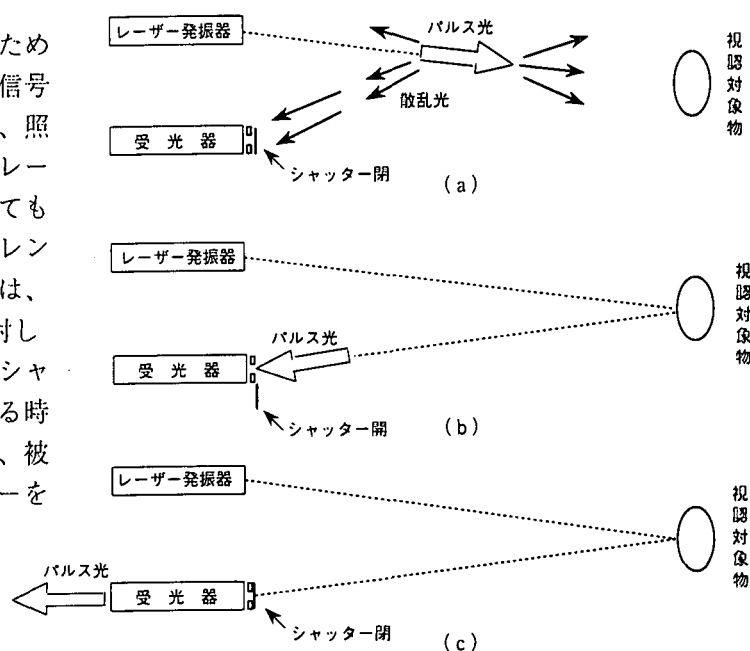


図3 距離ゲート方式の原理図

4.基礎実験等

4.1 レーザー光の濁水中伝搬特性等

海域により光の透過の仕方が異なることがこれまでも報告されているが、同一濁度でも水中の懸濁粒子の粒径により光の伝搬特性が変化することは知られていなかった。これを解明するために、濁度・粒径・波長をパラメータとしレーザー光の減衰特性を定量的に把握するための実験を行った

純水の減衰係数の波長依存性をまず調べ、従来から報告されているように、青から緑の領域のレーザー光が良好な伝搬特性を示した。更に、各粒径毎の濁度をパラメータとして波長依存性を調べたが、粒径が波長に比べて同程度か小さい時には、同一濁度でも長波長側（赤色）の方が減衰係数が小さいことが判った。また、粒径が波長より大きいところでは純水と同様に青から緑の領域が、良くレーザー光を通すことが判明した。

この他、光ファイバーによるレーザーパルス伝送に関する実験、最適照射パワーに関する実験及び視認実験を補完するためのシミュレーションプログラムの作成等を実施した。

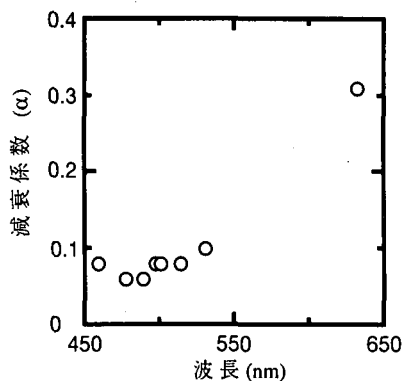


図 4-1 純水の減衰係数の波長依存性

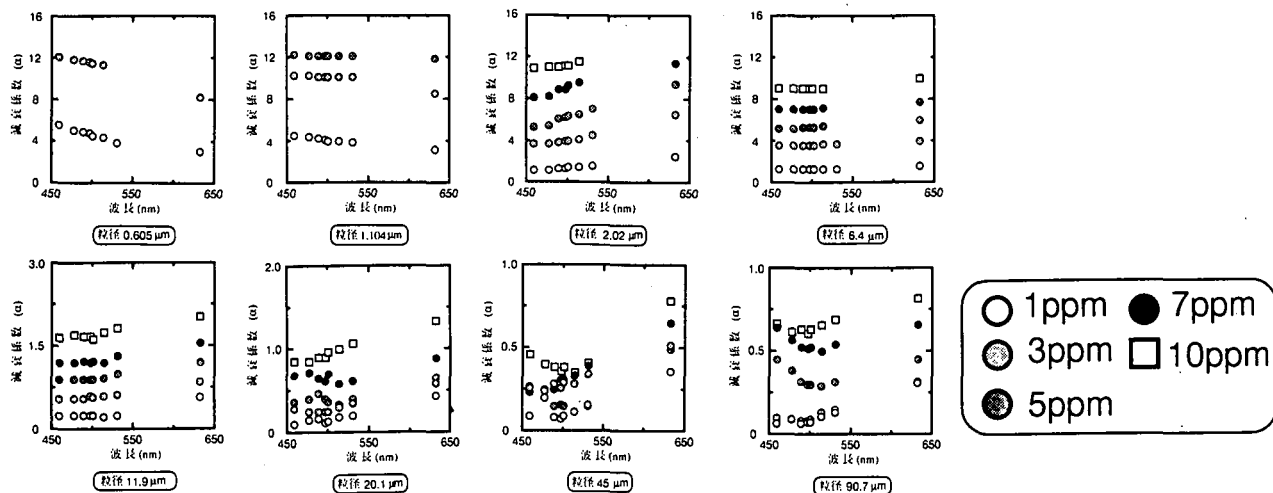


図 4-2 各粒径毎の濁度をパラメータとした減衰係数の波長依存性

4.2 岸壁実験

4.2.1 目的

信濃川河口で水中レーザー視認システムの実験用視認装置の基本性能を確認しプロトタイプ機的设计データを
得、併せて従来の水中カメラとの比較を行う目的で岸壁実験を行った。

4.2.2 実験期間及び場所

平成 6 年 8 月 18 日から 29 日 新潟西港岸壁及び前面海域（信濃川河口）

4.2.3 実験装置

水中レーザー視認装置、及び従来視認装置の主要目は次のとおりである。

(i) 水中レーザー視認装置

- ① レーザー発振装置：YAG-OPOレーザー発振器；・出力：Max.10mJ/pulse(→0.5W) ・波長：450～680nm
・繰り返し数：50Hz ・パルス幅：Min.6ns.
- ② レーザー照射装置：距離3mでφ1m及び、距離1mでφ1mの大きさでレーザー照射が可能なズーム光学系
を搭載。
- ③ 撮 像 装 置 ：シャッター速度：Min.3ns カメラ感度：Min.10～4 Lux
- ④ 画像表示装置 ：画像処理装置・高解像モニタ搭載

(ii) 従来視認装置

- ① 照 明 装 置 ：ハロゲンランプ（350w単灯）
- ② 撮 像 装 置 ：S I Tカメラ（カメラ感度：Min.10～4 Lux）

これらの機器を搭載した岸壁実験装置の概要を図 4-3 に示す。

本実験装置は、視認ユニット架台と称する鉄枠に本システム・通常カメラ及びコントラストチャート（被写体）
を装備している。コントラストチャートは、カメラから1～3.5mまで0.5m 間隔で移設可能な構造である。本
実験では、コントラストチャートの白黒ストライプを視認することで、得られる画像からコントラスト値を算出
して、視認性を定量的に評価する。また、可視光域（480～640nm）で連続して発振波長を変えることができる
波長可変レーザー（I H I 製：iLS-UL-50A）を用いて、実験環境に最適なレーザー波長を調査した。

4.2.4 実験事項

(1)コントラストチャートの視認実験

コントラストチャート（白黒ストライプチャート）を視認することにより、コントラスト値：Cを次式により算出する。

$$C=(I_{\max}-I_{\min})/(I_{\max}+I_{\min})$$

本結果から、コントラスト値：Cを算出して、得られる画像を定量的に評価する。

(2)鋼板等の視認実験

本システムの実運用を想定して、鋼板・沈埋函ガasket・テトラポッド（模型）を視認のうえ、定性的評価を行う。本実験においては、被写体に反射テープ等を貼り付け、反射率改善策を講じる。

4.2.5:結果及び考察

(1) コントラストチャートの視認実験結果

図4-4に本装置と従来視認装置とのコントラスト値による視認状況比較を示す。従来視認装置と本装置との視認性の比較が、コントラスト値により定量的に表されている。コントラスト値0.1近傍が見える見えないの境と言えよう。これらの差は、照明及びカメラからコントラストチャートまでの懸濁物質による散乱を本システムが効果的に排除しているためであり、濁度が高くなり、視認距離が長くなるに連れ一層顕著に現れる。図4-5には、同一条件下におけるレーザー波長変化によるコントラスト値測定結果を示す。グラフから明かなように、長波長側（赤色領域）の方が高いコントラスト値が得られた。これは、基礎的伝搬特性実験の結果から信濃川河口の懸濁粒子が比較的細かい状態であることを伺わせている。図4-6は、レーザーパワー変化によるコントラスト値測定結果を示す。視認距離が短い場合は、レーザーパワーによらず得られるコントラスト値はほぼ一定であるが、視認距離が延びるに従いレーザーパワーが大きい方が若干コントラスト値が高くなる傾向が見られた。これはレーザー出力が高い方が、濁水中でのレーザー到達距離が長いことによっている。

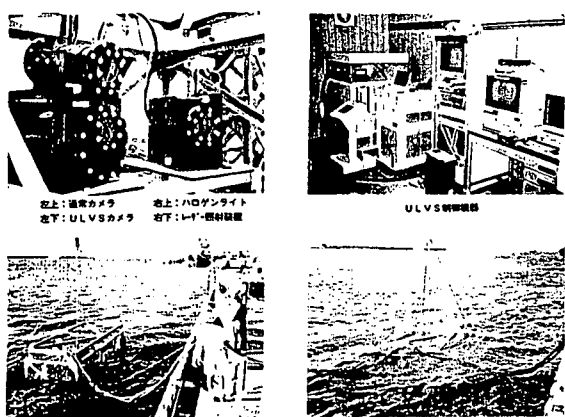


写真1 岸壁実験機器構成

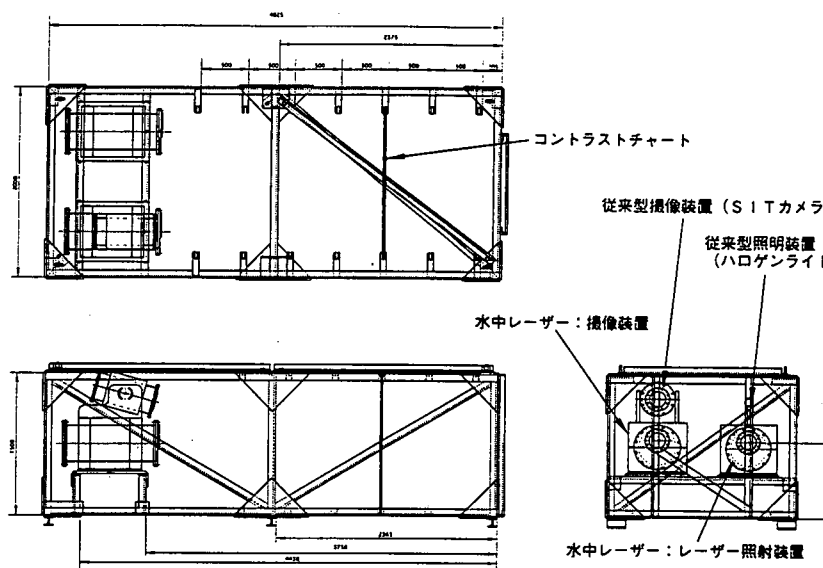


図4-3 岸壁実験装置概要図

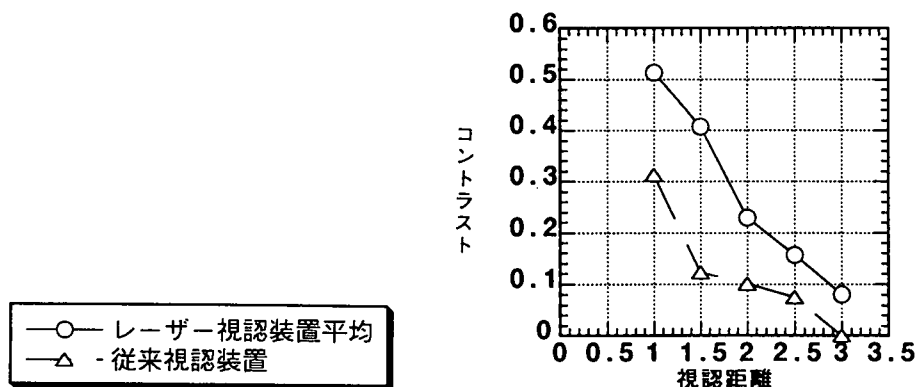


図4-4 本システムと従来視認装置との比較

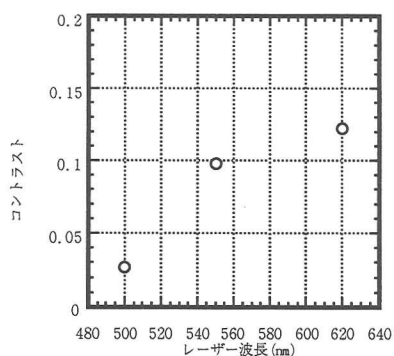


図4-5 コントラストのレーザー波長依存性

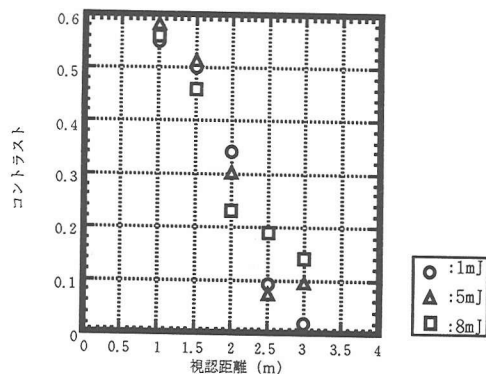


図4-6 コントラストのパワー依存性

図4-7に視距離・濁度とコントラスト値を示す。図中の数値はコントラスト値で、この等しい点を結ぶとコンターカーブが描ける。図4-4及び図4-7により目標とした3 ppm、3 mの値がほぼ達成出来たと言える。これに対応する視認状況を図4-8及び図4-9に示す。

(2) 銅板等視認実験結果

図4-10に本システムによる銅板及びテトラポッドの視認状況を示す。本実験においては、被写体の反射率改善策（反射テープ）を講じているにも関わらず、通常カメラでの視認は完全に不可能な状況であった。本システムにおいては、反射テープの効果もあり、銅板・テトラポッド共に形状把握程度は可能な視認状況であった。

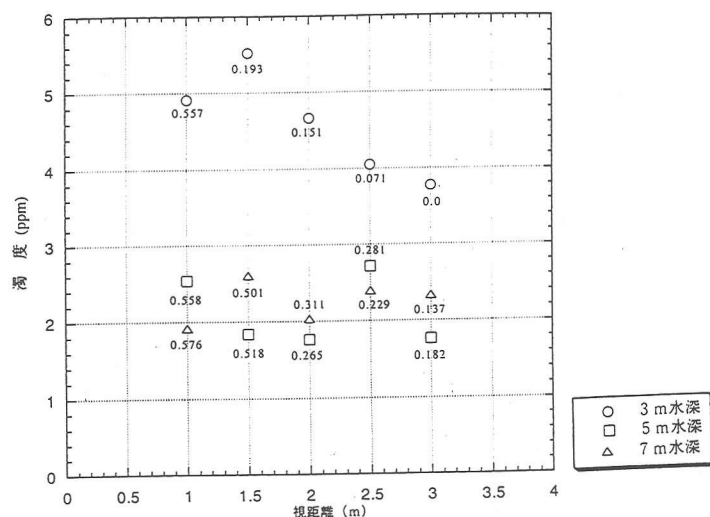
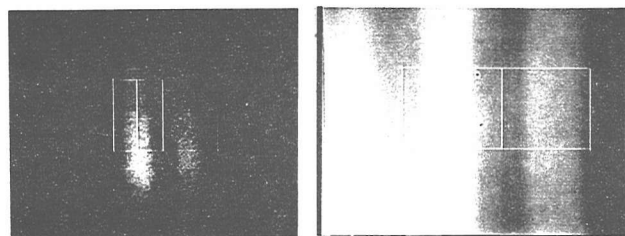


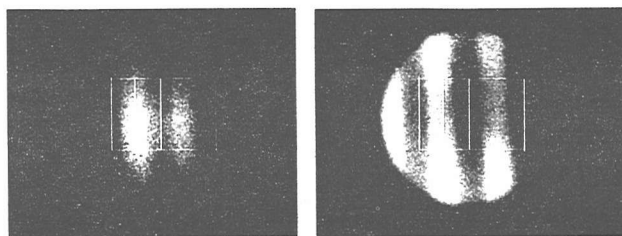
図4-7 視距離・濁度とコントラスト値
(620 nm、5 mJ)



レーザー視認装置

従来視認装置

視距離: 2.5(m), 水深: 7(m), 濁度: 2.39(ppm)
レーザー出力: 8(mJ), レーザー波長: 550(nm)

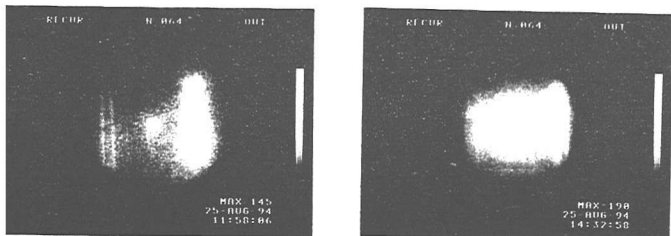


視認距離: 2.5m
水深: 5m
濁度: 2.85ppm
レーザー波長: 620nm
レーザー出力: 1mJ

視認距離: 2.5m
水深: 5m
濁度: 2.85ppm
レーザー波長: 620nm
レーザー出力: 5mJ

図4-8 レーザー視認装置とSITとの比較

図4-9 目標視認環境下での視認状況

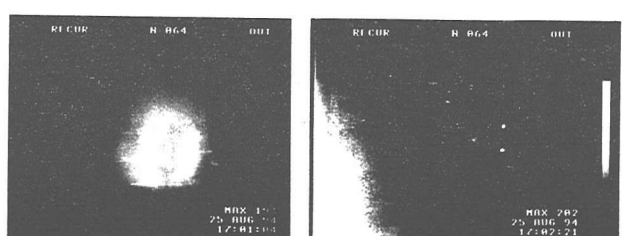


視距離: 3.5(m)
水深: 7(m)
濁度: 2.0(ppm)
レーザー出力: 5(mJ)
レーザー波長: 550(nm)

銅板 (反射率改善措置済)

視距離: 3.0(m)
水深: 3(m)
濁度: 3.8(ppm)
レーザー出力: 5(mJ)
レーザー波長: 580(nm)

テトラポッド



レーザー視認装置

(テトラポッド)

従来視認装置

視距離: 1.5(m)
水深: 7(m)
濁度: 2.0(ppm)
レーザー出力: 5(mJ)
レーザー波長: 620(nm)

図4-10 銅板・テトラポッドの視認状況

5. 沈埋函沈設における水中レーザー装置

沈埋函沈設に用いる場合の、概要を下記の図で示す。操函オペレータは、着座直前の状態で既設函の仮受けブラケットの状態がモニターで確認出来るため安心感を持つことが出来る。また、各機器は指令室及び測量室に配置し、沈埋函バルクヘッドに取り付ける照射装置、撮像装置間を諸ケーブルで配線する。

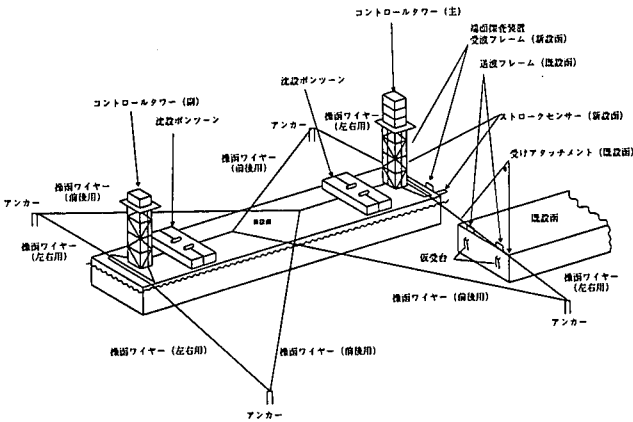


図 5 - 1 沈埋函沈設作業概要図

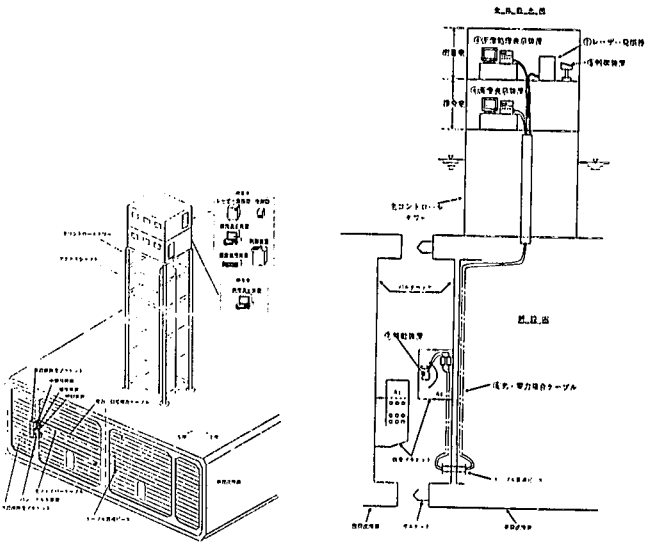


図 5 - 2 沈埋函への水中レーザー視認装置取付概要

6. その他のニーズ

本水中レーザー視認装置は、上記の他別途開発されつつある異型ブロック撤去・据付装置、捨石均し機械等水中作業機械の目に用いることが期待されている。いずれも濁水中における各種作業を画像表示装置により確認しながら出来るため、大幅に安全性の向上と高効率性を期待することが出来る。

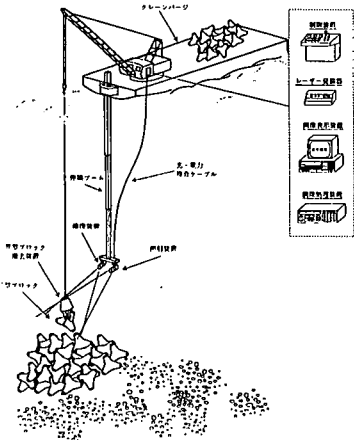


図 6 - 1 異型ブロック撤去・据付装置

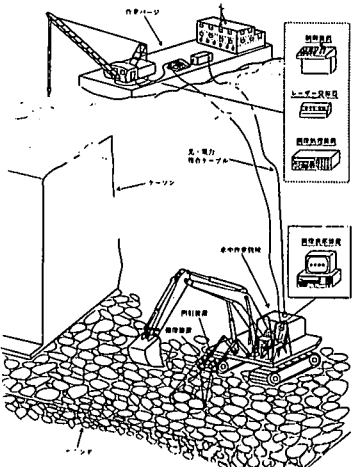


図 6 - 2 捨石均し機械

7. おわりに

上記のとおり所期の目的は確認出来た。今後、沈埋函沈設への導入における具体的目的・方法及びより一層の視認性の向上策を検討しつつプロトタイプ機の製作をして行くこととしている。また、水中作業機械への適用では小型化、耐振性の検討が必要ではないかと考えている。この他先般、激甚な被害をもたらした兵庫県南部地震により、港湾施設等も海中に構造物が没する等大打撃を受けたが、災害復旧の調査にも活用出来るのではないかと考えている。本研究を進めるに当たり、(社)日本作業船協会に設置して頂いた有識者からなる「水中レーザー計測視認調査研究委員会」において、岩崎峯夫委員長をはじめ各委員より有益なアドバイスを頂きました。この場を借りて謝意を表明致します。

参考文献

(1)1994年 9 月「作業船」第 2 1 5 号／(社)日本作業船協会
運輸省港湾技術研究所等「水中レーザー視認システム」