

水中構造物の維持更新・
機能向上技術に関する
共同研究報告書

平成7年

建設省土木研究所 材料施工部機械研究室
社団法人 日本建設機械化協会
五洋建設株式会社
住友建設株式会社
大日本塗料株式会社
三井造船株式会社

Copyright © 1995 by P. W. R. I.

All right reserved. No part of this book may be reproduced by any means, nor transmitted, into a machine language without the written permission of the Director General of P. W. R. I.

この報告書は、土木研究所長の承認を得て刊行したものである。したがって、本報告書の全部または一部の転載または複製は、土木研究所長の文書による承認を得ずしてこれを行ってはならない。

水中構造物の維持更新・ 機能向上技術に関する 共同研究報告書

建設省土木研究所 材料施工部機械研究室
社団法人 日本建設機械化協会
五洋建設株式会社
住友建設株式会社
大日本塗料株式会社
三井造船株式会社

要 旨

戦後の高度成長期に整備された公共施設等の社会資本ストックは老朽の時期を迎えており、今後、社会の発展に合わせた新たな整備だけでなく、老朽化した社会資本を良好な状態で維持していくことが必要となっている。

本研究は、ダムや堰等の水中構造物の維持管理に伴う点検、補修等に関する技術開発を目的として着手したものである。本研究により、水中点検、水中切断及び水中塗装に関する要素技術の水中への適用性を実験的に明らかにすることができた。また、現場施工を想定し、システムの設計及び運用に関する要領（案）のとりまとめを行うとともに今後の課題等の整理を行った。

キーワード：水中作業、水中構造物、ダム、維持管理、水中点検、水中切断、水中塗装、潜水土、安全性、省力化、苦渋性、ROV

水中構造物の維持更新・
機能向上技術に関する
共同研究報告書

平成7年

建設省土木研究所 材料施工部機械研究室

社団法人 日本建設機械化協会

五洋建設株式会社

住友建設株式会社

大日本塗料株式会社

三井造船株式会社

まえがき

戦後の混乱期を脱却し、日本経済が新たな段階に入ったのは昭和35年前後である。その後10年間の国民総生産は、毎年6～14%の割合で成長し、予算増に伴う公共事業も活発に行われた。この間、法制、財政ともに整備され、各分野で五箇年計画が実施された。このような背景のもと、ダムに対する社会的要請も変化してきた。すなわち、発電用ダムに対する新規の需要は後退し、人口の都市への集中に伴い、都市用水の需要が増大した。そこで、水資源の総合的な開発及び利用の合理化の推進を図るために、水資源開発促進法等が制定され、指定水系における多目的ダム等の建設が増大した。一方、我が国の社会資本の整備は欧米先進国と比較して依然立ち遅れているため社会の発展に合わせて、今後ますます整備されるものと思われる。

戦後の高度成長期に整備された公共施設等の社会資本ストックは老朽の時期を迎えており、良好な状態で維持していく必要がある。今後このような社会資本ストックは増大の一途をたどるものと考えられ、従来にもまして既存ストックの適切な維持管理及び保全に務めていく必要がある。

本研究は、社会資本ストックのなかでダム・堰等の水中構造物を対象として、これらの維持管理に伴う点検、補修等に関する技術の開発を目的として着手したものである。水中構造物の状態を正しく把握し、補修することは、それらの構造物の維持管理上、非常に重要なことであるが、その検査や計測を安全で容易に行う技術や手法は、現在明確に確立されていない。また、実用面からも十分とはいえず、有効的な技術があまり見い出せていない状態である。このため、水中におけるこれらの技術開発を進めていく必要が高く、また、期待されているところである。

本報告書は、「水中構造物の維持更新・機能向上技術に関する共同研究」において平成3年度から平成6年度にわたって実施した研究の成果を報告するものである。

目 次

まえがき

1. 研究目的	1
2. 研究概要	1
3. 研究体制と計画	1
4. 水中構造物の維持更新に関する調査	2
4.1 水中作業の概要	2
4.1.1 潜水作業の概要	2
4.1.2 水中作業の危険性	3
4.2 水中構造物の維持更新に関する現状技術	4
4.2.1 撮影、計測技術	4
4.2.2 機器（ロボット技術）	5
4.2.3 防食技術	8
4.2.4 補修技術	8
4.2.5 解体技術	9
4.3 水中作業における諸問題点	10
4.3.1 水中作業技術の課題	10
4.3.2 水中点検・診断技術の課題	11
4.3.3 水中切断技術の課題	12
4.3.4 水中塗装技術の課題	12
4.4 水中構造物の維持更新の実態調査	14
4.4.1 ダム	14
4.4.2 堰、水門	15
4.4.3 排水機場	16
4.4.4 仮設物	17
4.5 有望な分野の選出	17
4.6 基準化調査	17
4.7 特許調査	19
4.7.1 平成3年度の調査結果	19
4.7.2 平成6年度の調査結果	20
5. 水中点検、切断、補修に関する要素実験	22
5.1 水中点検技術の開発（水中視認性実験）	22
5.1.1 実験目的	22
5.1.2 実験方法	22
5.1.3 実験結果と考察	32

5.2 水中切断技術の開発（水中切断実験）	42
5.2.1 実験目的	42
5.2.2 実験方法	42
5.2.3 実験結果	48
5.2.4 考 察	55
5.3 水中塗装技術に関する研究（水中塗料の開発及び水中塗装実験）	58
5.3.1 実験目的	58
5.3.2 実験方法	58
5.3.3 実験結果と考察	59
6. 水中作業ロボットの設計	67
6.1 水中作業ロボット	67
6.2 点検・診断ユニット	72
6.3 切断ユニット	80
6.4 塗装ユニット	84
7. 施工コストの検討	87
7.1 水中点検作業	88
7.2 水中切断作業	89
7.3 水中塗装作業	90
8. 水中作業システムの運用に関する検討 （現状技術での水中作業運用要領(案)）	91
9. 今後の課題	126
9.1 水中作業ロボット	126
9.2 水中点検作業	126
9.3 水中切断作業	127
9.4 水中塗装作業	128

あとがき

研究担当者名簿

付録1 各要素実験写真

- ・水中視認性実験写真
- ・水中切断実験写真
- ・水中塗装実験写真

付録2 図面

1. 研究目的

社会・経済の発展に伴い、その基幹となる公共施設等の社会資本の整備は、国民の強いニーズのもと、国の継続的な建設計画や民間の設備投資計画のもと、年々着実に整備され、現在では莫大なストックを抱えるに至っている。現在、これらの社会資本としての価値の評価並びに老朽化対策等ストック技術に関する研究が重要な課題となっている。

水中構造物の維持更新・機能向上技術に関する共同研究では、増大する公共施設、建築物等の社会資本のうち、ダム・堰・水門・排水機場の水中構造物の増大に対し、これらの維持更新を行うための要素技術やシステムを開発し、社会資本の維持管理の向上を図ることを目的としている。

2. 研究概要

本研究においては、まず、平成3年度において、開発目標を決定するために ①現状技術の資料調査 ②維持管理関係の基準類の調査 ③維持管理に対応する技術の特許調査を実施した。また、実現場における水中構造物の維持管理の実態を調査し、その状況を把握することができた。

平成4年度においては、これらの調査に基づき、水中計測・診断技術の開発を行うために、水中作業の基本的事項である水中における視認性を明らかにする基礎的実験を実施した。また、水中構造物の維持更新工法・材料を開発するため、水中切断に関する実験的検討及び水中塗料の設計を行った。

平成5年度においては、水中における機械式塗装に関する実験的検討を行った。また、水中における変則的な作業を低減するために、本研究で対象とした水中作業に対して運用要領(案)の骨子を作成した。

平成6年度においては、本研究で対象とした水中点検、水中切断及び水中補修の各作業について、ROV (Remotely Operated Vehicle) を利用したシステムの設計、施工コスト等の検討を行った。また、平成5年度に引き続き、現場施工方法に関する検討として従来作業とのフロー比較を行うとともにその運用に関わる一連の運用要領(案)の検討を行った。

3. 研究体制と計画

図-3.1に示すような土木研究所と日本建設機械化協会及び民間会社4社による共同研究体制をとり、図-3.2の「水中構造物の維持更新・機能向上技術に関する共同研究」のフローに従って研究を実施した。

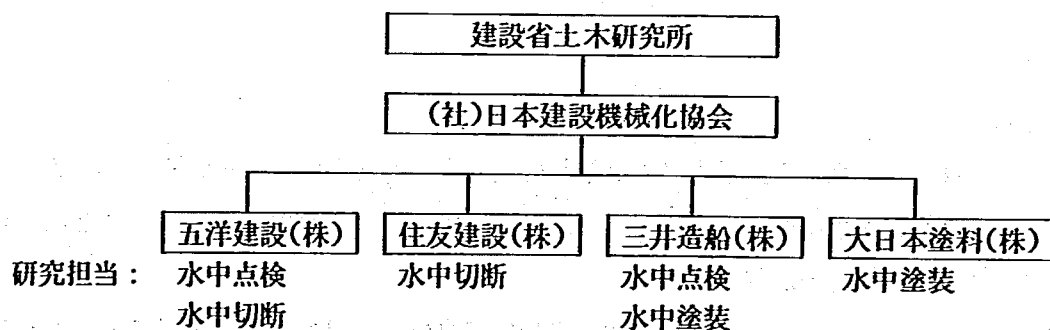


図-3.1 研究の体制

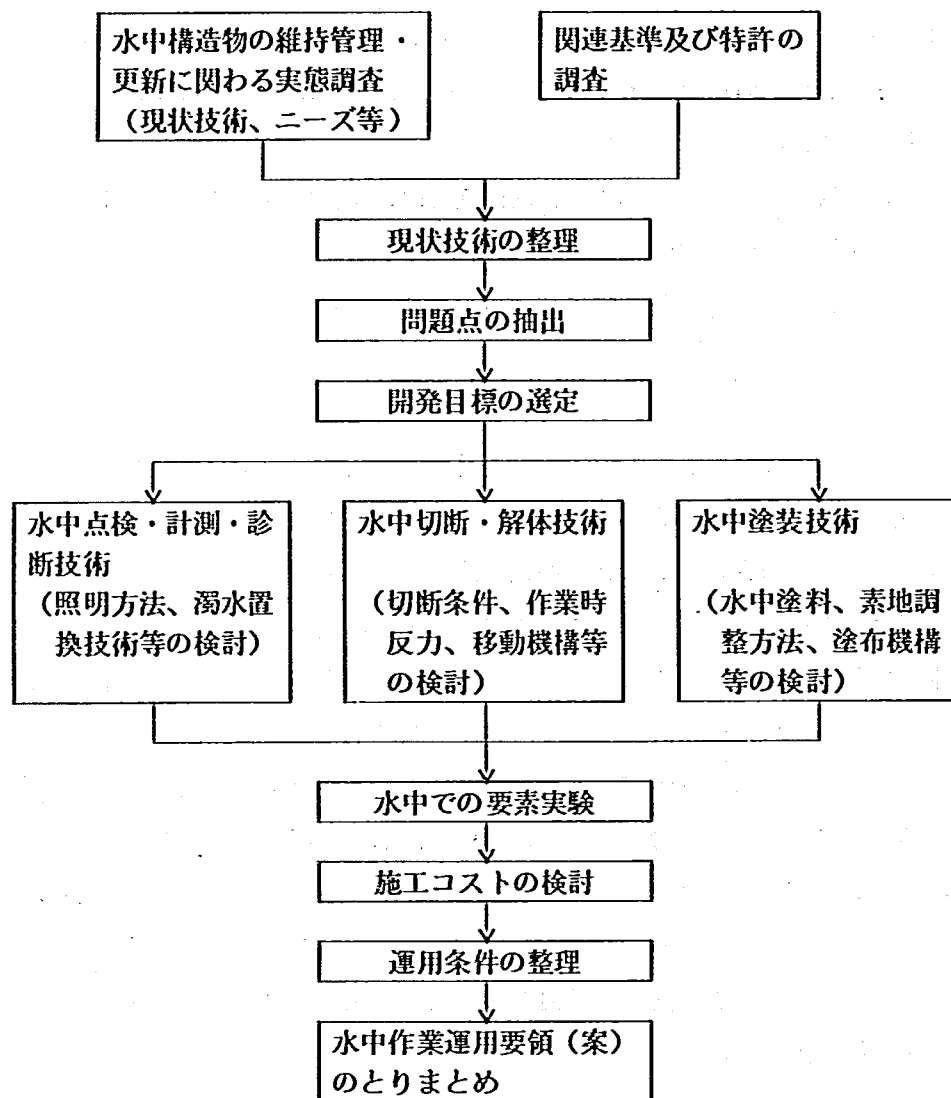


図-3.2 研究フロー

4. 水中構造物の維持更新に関する調査

4.1 水中作業の概要

4.1.1 潜水作業の概要

(1) 潜水器による分類

太古の時代から行われてきた息こられ潜水（素潜り）は、海士、海女と呼ばれる訓練を積んだ特殊な人で、潜水時間が3分余り、潜水深度を70mを越す記録もあるが、一般の水中作業では潜水能力が必要とされるので、潜水器を使用するのが普通である。

潜水器を使用する場合は、直接、間接に人体に水圧を受けて自由に手足の能力を発揮できる軟式潜水といわれるものと、減圧症の危険を避けるために硬い殻に入って人体を水圧から守り、大気圧の状態

マジックハンド等を介して作業する鈍重な運動性の硬式潜水と呼ばれるものと大別される。

現在使用されている潜水用機器を水圧の問題、給気方式等から分類してみると図-4.1.1のようになる。

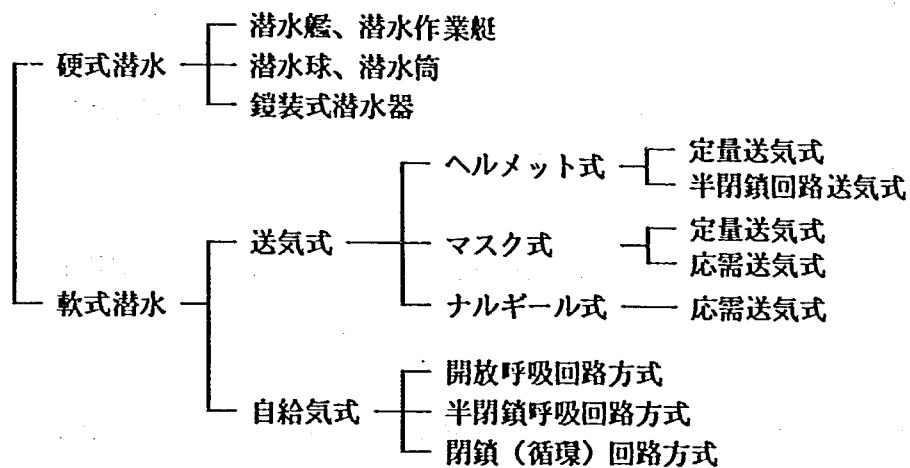


図-4.1.1 呼吸方式による潜水用機器の分類

(2) 潜水方式による分類

潜水の方式による分類としては、体内のガス分圧の状態に着目した飽和潜水と非飽和潜水との分類がある。

1) 飽和潜水

浮上時間を短縮し、潜水効率をよくするため、空気の代わりに窒素-酸素やヘリウム-酸素が使用されている。しかし潜水深度が大になるにつれて、潜水時間に比べて浮上時間がはるかに長くなっている。

飽和潜水は潜水中に人体の諸組織に吸収される不活性ガスが、やがては飽和状態に達することを利用したものである。すなわち、同一深度とすれば半飽和時間の早い組織では、比較的短時間内に不活性ガスの吸収溶解が完了するが、遅い組織でも1~2日の間にほぼ吸収、溶解が終わると考えられる。こうして、いったん飽和状態に達すれば、それ以上不活性ガスの吸収は行われないから、その後、何十日、何ヶ月潜水していようと、浮上期間は同一でよいわけである。よって、長期間水中にいればいるほど、潜水時間に対する浮上時間の割合は小さくなり、水中における作業効率は高くなる。また、飽和潜水は通常の潜水に比べて浮上の回数がずっと少ないので、減圧症にかかることが少ないといった利点もある。

2) 非飽和潜水

体内の不活性ガスが完全に飽和状態となるまで潜水しないもので、通常の潜水はこれに該当する。

4.1.2 水中作業の危険性

水中作業は人間が複雑な機械を用いて変化の激しい水中に挑む作業で、人間の生理と機械と海の三者の間の法則を無視すれば重大事故につながる。この厳しい作業において潜水作業の安全と能率の向上を図るためには、まず何が危険であるかを把握しておく必要がある。また、これらの事項を基本とし、機械設計に反映しつつ安全な水中作業機械の設計を進めることが重要である。

(1) 浮力によるもの

水中では浮力を受けるので都合な面も多いが、反面この浮力は水圧、圧縮空気、送気量等に関連して、水中における種々の障害を間接的に増強させる性質を持っている。浮力による事故としては、吹き上げと潜水墜落がある。

(2) 水圧によるもの

水圧による危害の代表的なものとしてスクイズがある。これは水圧が不均等に身体に作用するために起こるもので種々の障害を起こす。

(3) 圧縮空気によるもの

圧縮空気は、その呼吸によって減圧症の原因ともなり、また浮上中に呼吸を誤って停止すれば、肺内の空気の膨張により肺の破裂を起こす。

(4) 送気によるもの

送気量が極端に多いときには吹き上げを起こし、逆に少ないときは墜落や炭酸ガス中毒などの障害を起こすので送気能力や水深などを考慮して的確な送気量を決めなければならない。また、送気式の潜水服では送気が何らかの原因で中断された場合、スキューバ式ではボンベの空気がなくなったときは窒息を起こすことになる。

(5) 流れによるもの

強い流れの中での無理な作業が減圧症を招きやすいことは、過去の事例でよく知られていることである。このようなところでの作業はなるべく避けるか、作業時間を短縮するなどの対応が必要である。

また、ホース等が受ける流れの影響は、潜水士に非常な荷重を受けることになるため、船上の者は船の位置やホースの延ばし加減を流れの速さ、方向、潜水深度に合わせて潜水士に負担をかけないように配慮しなければならない。さらに、天候にも注意し、台風の接近やその他の海象の急変にも注意を怠ってはならない。

4.2 水中構造物の維持更新に関する現状技術

調査方法としては、現状技術の資料調査は、水中構造物の点検診断、補修、解体に関する現状技術を把握するため、調査フォーマットを作成し、文献調査を行った。

4.2.1 撮影、計測技術

(1) 鋼構造物

現在のところ鋼製の構造物を水中で検査する技術には、次の5つが挙げられる。

①視認装置（写真、テレビ記録も含む） ②磁粉探傷（録磁探傷も含む）

③超音波法

④放射線検査

⑤腐食電位計測法

この中で、④の放射線検査は、気中と同じドライ環境で行わなければならない、安全性に問題があるため水中での使用は一般的でない。

以上のように検査装置は、検査の対象物あるいは検査対象によって異なってくると思われるが対象とする鋼管及び矢板の場合では、次の装置が考えられる。

- ①視認用テレビカメラ ②板厚計測装置（超音波利用）

(2) コンクリート構造物

現在、コンクリート製の構造物を検査する技術には、次の10通りの方法が挙げられる。

- | | |
|--------------------|-----------|
| ①視認検査（写真、テレビ記録も含む） | ②レーダ法 |
| ③打撃式 | ④AE法 |
| ⑤超音波法 | ⑥赤外線法 |
| ⑦X線法 | ⑧打音・振動法 |
| ⑨電磁波誘導法 | ⑩自然電位・電極法 |

以上の検査技術については、気中と同じ環境で行わなければならないものがほとんどであり、水中での使用は一般的でない。

また、これらの方法は、実際のコアを試験するのではなく、間接的に種々の機器を用いるので、適用条件の制約や精度についても十分留意して適用する必要がある。一方、水中での検査を対象としたときは、次の装置が考えられる。

- ①視認用テレビカメラ ②ひび割れ計測装置

4.2.2 機器（ロボット技術）

一般に水中無人ロボット機は陸上あるいは水上船からコントロールされるが、動力供給及び制御指令を水上からケーブルによって行う有索式と、ロボット自身に動力源を内蔵し、ケーブルを使用しない無索式の制御に大別される。無索式の制御に関しては、水上から超音波で行うか、またはロボット自身の自立制御によって行う。

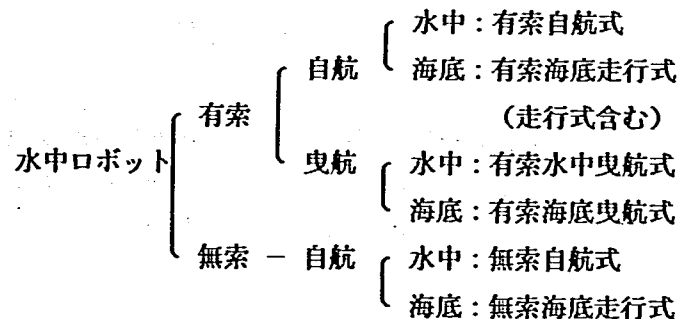


図-4.2.1 水中ロボットの分類

また、ロボットは推進装置または走行装置を持ち、水中を遊泳または底を走行できる自航式ロボットと、これらを持たずに船により曳航される曳航式ロボットに分類される。さらに、作業位置により水中用、海底用に分類される（図-4.2.1）。

用途としては、テレビによる目視観察、各センサによる検査・計測、マニピュレータによる軽作業（埋設、切断、採集、清掃等）、有索海底走行式水中ロボットでは掘削、破碎、押土、清掃、回収、塗装、排砂、浚渫、捨石均し等がある。

表-4.2.1 鋼の非破壊試験法の種類及び特徴

調査方法	材 料	調査項目	特徴・問題点
目視	すべての材料	表面点検、衝撃による損傷、表面腐食、海洋生物付着等	結果の判定が容易 施工技術各種あり 表面の欠陥に限定 詳細の観察するには表面清掃が必要
磁粉探傷	磁性材料のみ	表面亀裂、くぼみ、山へげ、線へげ、表面近辺の欠陥	判断が容易 完全な表面清掃が必要 欠陥深さは計測不可 磁性材料のみ対象 水面かでの施行は困難大
超音波法	金属、プラスチック、セラミック、ガラス、ゴム	亀裂、巻き込み、内部割れ、溶け込み融合不良、厚さ変化	鋼材厚10mまで透過 欠陥位置の正確な検出 完全な表面清掃が必要 一般に記録の保存なし 表面粗度の影響あり
放射線検査	すべての材料	巻き込み、多孔性、腐食、溶け込み融合不良等の内部欠陥、厚み測定	記録の保存可能 欠陥度の基準が明確 完全な表面清掃が必要 人体に有害な恐れあり ドライ環境での施行
腐食電位計測法	金属類	構造物と海水間の電位差を計測することにより検査	施行が容易 計測が迅速で観察が容易 機械装置による施行が可能 完全な表面清掃が必要 計測は表面電位のみ

表-4.2.2 コンクリートの非破壊試験法の種類及び特徴

試験名	調査項目	原理・方法	特徴・精度・問題点等
レーダ法	鉄筋位置 埋設物	電磁波を照射し、鉄筋 や埋設物からの反射波 を検知する	・画像表示が可能 ・探査可能な深さは20～30cm ・配筋が密な場合は困難
打撃式	コンクリート強度 ヤング率	反発硬度を測定し、換 算する	・測定が容易で低コスト ・現場での実績多 ・ハンマーの種類や表面状況の影響によ るばらつきあり
AE法	コンクリート内 部の空洞欠損 コンクリートの 応力履歴	コンクリートが破壊す る際の弾性波を検知す る	・カイザー効果の利用で過去のコンクリ ート応力履歴が測定可能 ・装置が高価 ・現場取り扱いが困難
超音波法	コンクリート強度 ひび割れ深さ 内部空洞欠陥	超音波の伝搬時間及び 波動を解析する	・装置が小型で現場計測が容易 ・打撃式との併用で精度向上 ・鉄筋、鉄骨や含水率が精度に影響
赤外線法	コンクリート表面 付近の空洞欠損	物体が表面から放出す る電磁波の量から表面 の温度分布を推定する	・コンクリート表面付近、空洞欠損が視 覚的 ・気象条件や周辺環境が精度に影響
X線法	コンクリート内 部の空洞欠損 鉄筋位置	電磁波を照射し、透過 画面を検知する	・直接的で確実な方法 ・コンクリート厚さに限界あり (40～50cm) ・X線の取り扱い上の安全管理が必要
打音・振動法	コンクリート内 部の空洞欠損	コンクリート表面の打 音を採集し解析する	・作業性がよい ・装置が大型 ・騒音が大きい場合は精度が低下 ・深さ20～30cm程度まで探知可能
電磁誘導法	鉄筋位置 鉄筋径	地場を作るプローブ（ コイル）を鉄筋に近づ け、このプローブの電 圧変化を検知する	・取り扱いが容易 ・鉄筋のかぶり厚さが10cm以上の場合や 付近に他の磁性体がある場合は、精度 が低下 ・鉄筋材質により磁器特性が変化
自然電位・電 極法	鉄筋の腐食状況	鉄筋の腐食が電気化学 的に生じ、腐食程度に よる電位分布を測定す る	・測定が比較的容易 ・コンクリート中の水分、塩分、温度な どが精度に影響 ・水中部分での測定は不可

4.2.3 防食技術

現在、水中構造物の防食技術の主な形態としては次のような種類がある。

- (1) 電気防食工法 …… ① 流電陽極方式 ② 外部電源方式
- (2) 塗覆装工法 …… ① 無機ライニング ② 有機ライニング ③ ペトロラタムライニング

塗覆装工法は構造物素地面を耐久性を有する材料で被覆することによって劣化因子（水分、紫外線、衝撃など）から保護するための防食工法で、主としてモルタルや金属により被覆する無機ライニング、ポリエチレンやFRP等により被覆する有機ライニング、塗装、ペトロラタム系防食材料により被覆するペトロラタムライニングがある。

4.2.4 補修技術

水中構造物への補修技術は水中施工という特殊な条件のため、その技術は現状ではごく限られたものとなる。

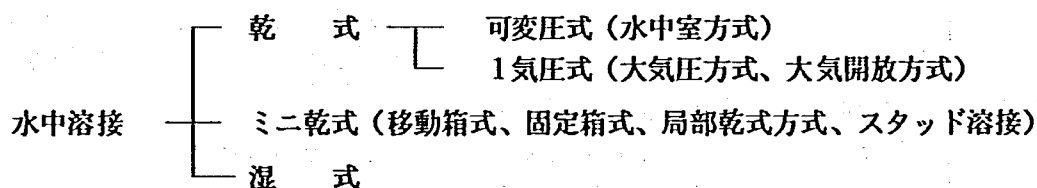
(1) 鋼構造物の補修技術

1) 鋼管杭、鋼矢板に対する水中補修工法

鋼管杭、鋼矢板に対する水中補修工法としてはスタッドボルトを水中溶接し、鉄筋を配置し、コンクリートにより被覆する工法が主流となっている。

2) 水中溶接

水中鋼構造物を補修するにあたり重要な作業として水中溶接がある。従来、水中溶接は水中溶接作業者により品質にムラがあり、水を含んだ極度の急熱、急冷が発生し、溶接潜水士の技量に極端に左右され、安全強度を得ることが困難であった。しかし、最近では水中スタッド溶接ガン及び特殊チャンバー等の水中溶接装置が開発され、現状においては高強度、高品質を得られ、陸上施工（ドライ状態）とほとんど変わらない状態にまで達している。水中溶接の種類を図－4.2.2に示す。



図－4.2.2 水中溶接の種類

(2) コンクリート構造物の補修技術

水中でのコンクリート補修技術はクラックへの充填材注入、コンクリート型枠を利用した方法等の施工実績が何例かあるのみで、工法として確立されているものはなく、新分野として開発が望まれている。

水中でのコンクリート構造物の補修技術の施工実績は少ないが、その中で使われている例として、コンクリート型枠を利用し水中コンクリートを打設する方法がある。

4.2.5 解体技術

水中での切断・解体のために開発された技術・工法は、数が少ないのが現状である。水中での切断・解体に適していると考えられる工法は以下のとおりである。

- | | |
|--------------|------------|
| ① 火焰ジェットカッタ | ①' プレーカ |
| ② アブレッシブジェット | ②' ロックジャッキ |
| ③ 酸素アーク | ③' 静的破壊 |
| ④ テルミットランス | ④' 管理爆破 |
| ⑤ ワイヤソー | |

└ 切断分野 ─

└ 破碎分野 ─

対象物別に工法の適応性を考えると以下ようになる。

鋼 構 造 物：薄板の切断等には酸素アーク、テルミットランス等が最も使いやすいと考えられる。

やや厚物になると火焰ジェットカッタ、アブレッシブジェット、プラズマアーク等がある。さらに大型の構造物になるとワイヤソーが適している。

コンクリート構造物：酸素アークを除けば、鋼構造物と似た傾向にあると考えられる。また、プレーカ、ロックジャッキ、静的破碎、管理爆破等も使用可能である。

表-4.2.3 コンクリートの非破壊試験法の種類及び特徴

工 法	対 象 物	種類 適否	観測 (レベル)	水中使用時の技術的課題
火焰ジェットカッタ	コンクリート、鋼構造物	適	実用化	水中仕様の移動装置が必要
アブレッシブジェット	コンクリート、鋼構造物	適	実用化	水中仕様の移動装置が必要
酸素アーク	軟鋼	適	実用化	特になし
テルミットランス	コンクリート、鋼構造物	適	実用化	—
ワイヤソー	コンクリート、鋼構造物	適	実用化	駆動部の陸上での設置が必要
プレーカ（大型）	コンクリート	可	—	チゼル、ピストン部を空気で囲うことが必要
ロックジャッキ	コンクリート	可	—	水中仕様の削孔機が必要
プラズマアーク	鋼構造物	可	実用化	水中仕様の移動装置が必要
アークソー	鋼構造物	可	実用化	水中仕様が必要
レーザガス	コンクリート、鋼構造物	可	試験中	—
ディスクソーイング	コンクリート、鋼構造物	可	—	水中仕様が必要
コアボーリング	コンクリート	可	—	水中仕様が必要
静的破碎剤	コンクリート	可	—	水中仕様の移動装置が必要
ラバースプリッタ	コンクリート	可	実用化	水中仕様のセンターホールジャッキが必要
管理爆破	コンクリート	可	実用化	—

4.3 水中作業における諸問題点

従来の水中作業では潜水土による危険作業、濁度・照明不足による作業の非効率、ドライ作業を強いられる場合の工期の制限等が問題となっている。

水中作業に関わる各作業の課題等について以下のとおり整理を行った。

4.3.1 水中作業技術の課題

現在の水中作業において問題となっている事柄を列挙すると次のようなものになる。

(1) サルベージ

・舟底下の掘削法

沈船または大型の沈没物体の下海底を掘る必要に迫られることがある。その目的はこの沈船を吊り上げるためのワイヤロープを取り付けるときや、この沈船を水中切断するときに使用する場合であるが、現在は潜水土がサンドポンプ等を持ってトンネル内部へ入り掘っているため、トンネルが潜水土が入れるような大きなものとなり、このため掘削土量が多く施工日数がかかり、また危険性も大きい。したがって、掘削機を改良、またはロボット化する技術が望まれる。

・沈没タンカー等の処理

沈没したタンカーや、沈没船の燃料油タンクから公害防止のため油を抜き取る作業が必要になっている。水中酸素アーク切断は使用できないので、これに代わる方法が必要である。同様に油タンクの外側には水中溶接ができないので、電気アークを使用しない溶接法も必要になる。

・コンクリートケーソンの高速切断法

鉄筋が入ったままのコンクリートを高速で切断できる方法が必要である。

・重量物の揚収方法

現在は大型クレーン船で吊り上げるが、大型クレーン船は、海洋波浪のうねりに弱いので、沈没物体に大型の浮力を与えクレーン船を使用せずに揚収する方法が求められている。

・台付けワイヤ取り付け方法の簡易化

沈船荷クレーン船または大型浮力材を取り付けるための強力かつ簡易な方法が必要である。

・無索の作業用ROVの開発

ROVのアンビリカルケーブル（umbilical cable、電力供給・信号伝達等のための集成索）は沈没船のマスト、上部構造物にからみやすいので改良する必要がある。

・水深30～70mに使用する実用飽和潜水設備の低コスト化を図る必要がある。

・応急救難の場合はROV、潜水船では作業性に問題があるので環境圧潜水をもっと進める必要がある。

(2) 港湾建設

・潜水土の位置が常時把握できない（特に複数潜水土の場合）。

・スキューバ潜水に使用できる小型通信機器がない。

・ヘルメット潜水土の絶対数が不足している。捨石均し作業等はヘルメット潜水のほうが長時間潜水でき、かつ水中で重量物（石）の取り扱いが楽で有利であるが、養成機関が少なく、技能習得が難しい等の理由で絶対数が不足している。

・潜水土船が小さすぎる。港湾建設が沖合化する中で、現在の潜水土船は小さくて危険である。潜水土船の構造は小型船舶検査機構によって規制されているが、長さ12m未満の船が大半を占める。安全の

ためにはこの規定を緩める等の処置が望まれる。

- ・軽量減圧タンクが少ない。新素材、プラスチック等の軽量タンク開発が望まれる。
- ・ヘルメット潜水器の軽量化や暖房・モニター・各種センサの組み込み等により使いやすいものにするなどといった改良が必要である。
- ・ヘルメット潜水土用のオープンベルがない。
- ・掘削機器の改良（岩盤掘削用、コンクリート用、浮泥用、土砂用等）。
- ・ロックアウト潜水時のロックアウト距離を40-60mに延ばすための安全対策並びにSDCの方向、距離等を潜水土自身が把握できる装置、ホースの軽量化、非常用呼吸装置等が必要である。
- ・潜水現場海域の透明・水温・潮流・底質等を一台軒会で瞬時に調査する装置の開発が望まれる。
- ・局部的（10m×10m、精度±50mm程度）な地形、水深を精密に測量する装置の開発が望まれる。
- ・潜水機材・作業機材の軽量化、ユニット化を図る必要がある。
- ・簡易なダイバー用暖房装置がない。
- ・長距離管路内調査時の、潜水法・潜水器・安全対策用機器がない。
- ・ダム作業で放流中、流速が大きいときに潜水する方法の研究（局部的に流水を遮断する方法等）が重要である。
- ・水中の透明度を局部的に（5m四方程度の水中空間）よくする技術の開発が望まれる。
- ・電卓式、または潜水土が携帯できる減圧表の開発が望まれる。

(3) 海底石油・ガスパイプライン

- ・プラットフォームからの潜水では足場が海面から高く、その間のホース、吊りケーブルが不安定である。
- ・支援船を使用する場合、プラットフォームに直接係留できないので支援船の位置が保持が困難である。
- ・付着物除去作業では、付着物の剥離・回収が難しい。
- ・水中ペイントの塗装が難しい。
- ・パイプライン作業時のROVの使用が望ましいが、現在のところROVには作業性がほとんどない。
- ・非破壊検査時の表面処理に手間取る。
- ・飽和潜水の低コスト化を図る必要がある。

4.3.2 水中点検・診断技術の課題

小型ROVに搭載するビデオカメラとしては、通常は水中解像度400本以上の民生用からTVカメラがほとんどであるが、これは観察対象物の詳細な形状や色などが鮮明に認識できるため白黒カメラに比べ映像の情報量が圧倒的に多いことと臨場感があるためである。しかしながら、カラーカメラは白黒カメラに比べ最低被写体照度が大きく鮮明な映像を得るためには周囲の照度がある程度以上必要になる。

ところで、水中では長波長の光も短波長の光も減衰が激しく波長400~500nmの青または緑の光のみが窓が開いたように水中を透過しやすい光となっているが、それすらも普通の濁りの水中では快晴の昼間でも水深数+m以上は到達しにくいといわれている。そのため水中点検にあたって鮮明な映像を得ようとする太阳光以外の人工的な補助照明技術の必要性がでてくる。また、水中構造物の多くの欠陥（例えば、クラック、、ピッチング、塗料の浮き上がり）は十分に明るいところでも照明の当て方によ

り、それらが作る影から容易に見え出し得ることはよく知られた事実である。そのために水中照明に適した光学的特性を持つ照明灯が開発されているが、ライトの届く範囲がまだ狭く、ROVの運動性に大きな影響を及ぼしている。

水中構造物の状況把握、計測、診断にあたっては水中での視認性が重要な役割を果たすが、カメラや照明灯の性能向上だけでなく、カメラの視認性すなわち透視度を阻害する要因としては、実際の河川や海岸の水中に様々なものが溶け込んだり浮遊したりしていることから生じる濁度と色度が挙げられる。水中点検の対象となる構造物のおかれている水中の濁度と色度条件により水中映像の見え方に差が出てくる。そこで、水中点検を行う水域を考え、そこにおける水中懸濁物として、

- ・濁度的要因としては粘土、無機物の鉱物質で構成される水中浮遊物（サスペンション）や海洋独自の水中映像阻害物質としてプランクトンなどの海中生物の死骸から形成されるマリンスノー
- ・色度的要因としては土中の生物による生物作用や科学的作用により形成される暗色の高分子化合物で、コロイド領域及びそれ以下の粒径分布

が考えられ、河川や海岸等の条件と絡めて検討する必要がある。

以上述べたように水中目視検査にとっての最も重要な制限は水の洗浄度である。潜水夫は透視度 0 においても感触のみにより検査を行うことが可能であるが、水中ロボットではカメラの透視度以上の検査結果を得ることが難しい。このことは後述する実態調査結果でも、

- ・点検時作業条件は濁りが多く視認距離は 1 m 以下で水質は温泉排水色度的要因がある。
- ・点検上の課題、問題点として水質汚濁と付着物により対象物が見づらい。
- ・期待される点検・診断技術に濁水中の透視技術。

等の濁度関連が現場の技術者から述べられていることから明白である。

また、別の調査結果では点検には明るい照明の下で狭い範囲しか見えないが情報量の多いカラーカメラを使用し、高度白黒カメラの透視性のよさを利用して ROV を操縦する場合は低照度カメラ（SIT カメラ）で広範囲に眺められるほうがやりやすいため、カラーカメラと白黒カメラを同時に搭載する方式がよいというユーザもいる。

4.3.3 水中切断技術の課題

小規模な解体、切断等については、潜水土操作によって利用可能な酸素アーク、テルミットランスで実施できるが、中規模、大規模になると水中マニピュレータを使用せざるを得なくなり、用途に応じた装置が必要となる。また、機器装置の設置、あるいは設定を潜水土が行った後に作業を進める工法もあり、対象物、工法別にそれぞれ課題は異なってくる（表-4.2.3参照）。

4.3.4 水中塗装技術の課題

現在、市場に提供されている防食技術（塗覆法）は、①無機ライニング工法、②塗装工法、③ペトロラタムライニング、④補強工法の 4 つに分類される。これらの工法は、それぞれ長所、短所があるが、中でも塗装工法は矢板、管杭を始め、銅板、H 鋼、L 鋼やこれらの組み合わせ構造物にも適用でき、か

つ長期防食耐久性や経済性の面からも優れている。

水中防食用の塗料は「塗装」という手段により容易に施工できる反面、施工は潜水士による人力に依存するところが大きく、施工効率が低く作業条件が悪い。このため施工方法においては、機械的に効率よい施工システムや施工機械に適合した粘度特性や作業性を持った材料の開発が必要となる。

一般に水中塗装の施工手順としては、足場組み、付着生物除去、ブラストの後に塗装という流れとなるが、この中でも特にブラストから塗装に至るまでの工程が重要である。ブラスト処理された金属表面は、きわめて活性に富み、海水等の作業により短時間のうちに急激な変化を起こす。したがって、ブラスト処理後、いかに腐食生成物の影響を押さえて塗装を行うかが塗膜性能を最大限に引き出すポイントとなるため、厳密な施工管理を行う必要がある。

また、水中で使用される塗料には次のような基本性能が要求される。

- ・水中の被塗物に対して塗装性に優れていること
- ・塗料の硬化過程で海水や流水の飛散、波などの衝撃を受けても剥離、変形が起こらないこと
- ・硬化後の塗膜が防食性能に優れていること

さらに、品質特性としては次の点に留意することが必要である。

- ・水中初期付着性
塗料は水中で被塗面に容易に付着すること（この性能は、塗布スピードなどに大きく影響を及ぼす）。
- ・耐波浪性
塗布時や硬化前の塗膜が、波の上下や砕波によって脱落しないこと。
- ・無公害性
塗布時や硬化後の塗膜は有害物質の溶出による海洋汚染を生じないこと。
- ・塗膜付着性
硬化塗膜は十分な付着強度を有すること。
- ・耐衝撃性
船舶、流木などの接触、衝突によって硬化塗膜がダメージを受けないこと。
- ・防食性
硬化塗膜は十分な防食性を有すること。
- ・耐久性
硬化塗膜は十分な耐久性を有すること。
- ・混ぜ練り性
塗料は容易に混ぜ練りできること。
- ・塗り重ね性
各種塗膜面へも塗布可能であること。
- ・膜圧保持性
少ない回数で所定の膜厚に塗布でき、タレ、ヤセなどを起こさないこと。
- ・経済性
薄膜で低研掃面への塗布でも初期の性能を発揮でき、しかも塗料は安価であること。

4.4 水中構造物の維持更新の実態調査

表-4.4.1に示す8地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務所及び水資源開発公団で管理するダム・堰・水門・排水機場の管理担当者に対して、実態調査をアンケート形式により行った。調査回答数は表-4.4.1に示すとおり合計164箇所であり、これらの機関で管理している施設の20%（水門、仮設物を除く）を占めている。このアンケートについて、回答結果に重みはつけず単純集計を行い、結果をとりまとめた。

表-4.4.1 実態調査の回答数

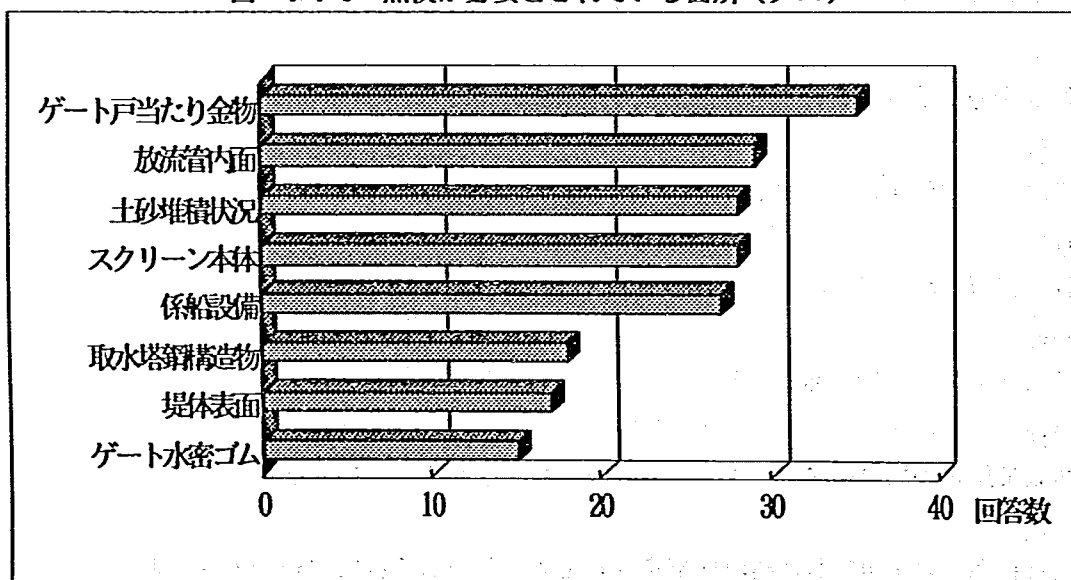
区 分	ダ ム	堰	水 門	排水機場	仮 設
北海道開発局	5	0	3	8	1
東北地方建設局	4	2	3	4	0
関東地方建設局	5	1	3	9	1
北陸地方建設局	1	2	3	3	4
中部地方建設局	6	2	7	9	1
近畿地方建設局	3	1	2	5	2
中国地方建設局	2	2	5	4	5
四国地方建設局	3	1	2	5	0
九州地方建設局	4	3	2	11	1
沖縄総合事務局	2	0	0	0	1
水資源開発公団	8	2	0	1	0
合 計	43	16	30	59	16

4.4.1 ダム

(1) 点検が必要とされている箇所

点検が必要な箇所としてゲートの戸当たり金物、放流管の内面、スクリーン、係船設備の走行レール等の鋼製部分や土砂堆積状況が多く挙げられている（図-4.4.1）。

図-4.4.1 点検が必要とされている箇所（ダム）



(2) 点検内容、方法

点検内容としては、対象物の表面性状、鋼製部分については塗膜の劣化調査が多い。水中における点

検はほとんどが潜水夫により行われており、目視だけで行う場合と水中カメラ・ビデオによる撮影を行う場合とがある。

点検に計器が使用されているのは土砂堆積状況の調査がほとんどである。船上からの音響による水深の計測等が行われている。

(3) 点検実施上の問題点

点検を実施するにあたって問題となる事項として主に以下のものがある。

- ・水質汚濁により対象物が見づらい
- ・付着物により対象物が見づらい
- ・水中カメラの位置、方向が確認しにくい
- ・潜水夫の十分な安全確保が必要

(4) 補修、解体の現状

水中における構造物の補修、解体はこれらに必要な技術、機器等が十分でないことからあまり行われていないのが現状である。補修、解体の事例として潜水夫による水中塗装、水中切断、水中溶接の例がある。

また、これらを計画するときに問題となる点として濁りにより視界が確保しづらい、作業場所の水深が深い等の問題がある。

(5) 維持更新において必要とされる技術

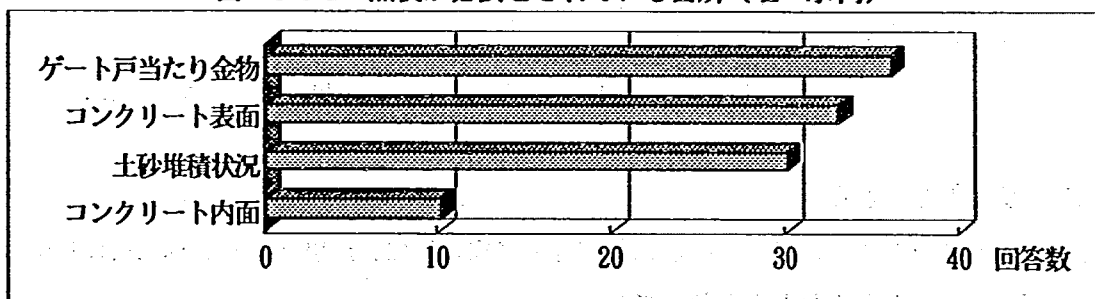
維持更新において必要とされる技術として、水中ロボットカメラによる撮影技術、水中計測ロボット、鋼製部分の水中における素地調整・塗装技術等がある。

4.4.2 堰、水門

(1) 点検が必要とされる箇所

堰、水門において管理者が点検が必要であると考えている箇所を図-4.4.2に示す。点検が必要な箇所として構造物のコンクリート表面やゲートの戸当たり金物が多く挙げられている。また、回答の約80%が土砂堆積状況の調査が必要と答えている。

図-4.4.2 点検が必要とされている箇所（堰・水門）



(2) 点検内容、方法及び問題点

点検の対象としては対象物の表面性状、鋼製部分の塗膜の劣化、損傷・変形が主なものとなっている。

点検方法は潜水夫による目視、水中カメラ・ビデオによる撮影、また水深の浅いところでは陸上からの

目視が中心となっている。

(3) 点検実施上の問題点

点検を実施するにあたって問題となる事項として主に以下のものがある。

- ・水質汚濁により対象物が見つづらい
- ・潜水夫の十分な安全確保が必要
- ・水替による点検は行いにくい

(4) 補修、解体の現状

補修、解体の例としてコンクリート亀裂部、戸当たり継手部への充填材注入、戸当たりの切断等がある。また、水深が浅い場合は仮締切をしてドライな状態で施工するケースが多い。

またこれらを計画するとき問題となる点として濁りにより視界が確保しづらい、水替ができる期間が短い等がある。

(5) 維持更新において必要とされる技術

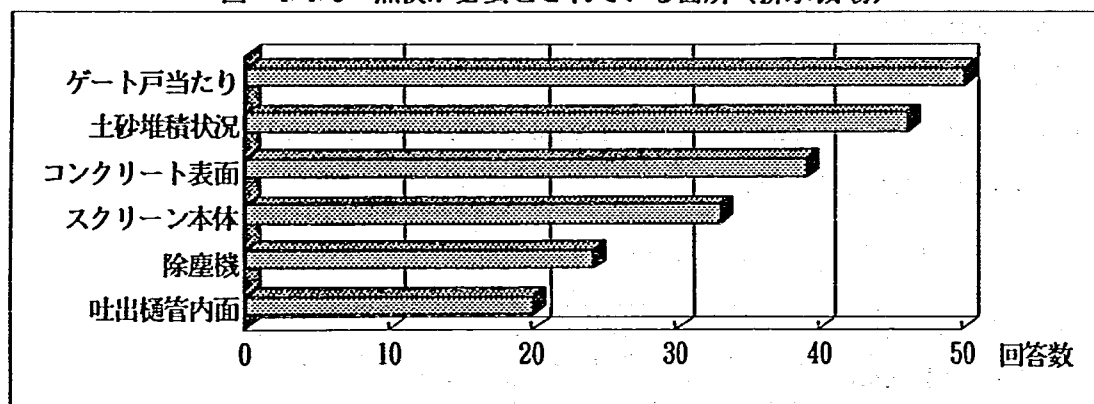
維持更新において必要とされる技術として水中ロボットカメラによる撮影技術、水中計測ロボット、鋼製部分の水中における素地調整・塗装技術・無人切断技術、コンクリート破損部の水中における補修技術等がある。

4.4.3 排水機場

(1) 点検が必要とされる箇所

点検が必要な箇所として構造物のコンクリート表面やゲート、スクリーン、除塵機、揚水管、ポンプ吸込部等の鋼製部分、土砂堆積状況などがある（図-4.4.3）。

図-4.4.3 点検が必要とされている箇所（排水機場）



(2) 点検内容、方法及び問題点

点検の対象としては対象物の表面性状、鋼製部分の塗膜の劣化、損傷・変形、構造物に付随している水密ゴム・ボルトの脱落が主なものとなっている。

点検方法は陸上からの目視が中心となっている。土砂堆積状況の調査にはポール等が使われている。

(3) 点検実施上の問題点

点検を実施するにあたって問題となる事項として主に以下のものがある。

- ・水質汚濁により対象物が見づらい
- ・水替による点検は行いにくい

(4) 補修、解体の現状

水深が浅い場合が多く、仮締切をしてドライな状態で施工するケースが多い。このため水中における補修・解体の事例はなかった。補修・解体を計画するときに問題となる点として、濁りにより視界が確保しづらい、切断方法の選択、水替ができる期間が短い等がある。

(5) 維持更新において必要とされる技術

維持更新において必要とされる技術として水中ロボットカメラによる撮影技術、水中計測ロボット、クラック深さ、長さの計測機、鋼製部分の水中における素地調整・塗装技術・無人切断技術、コンクリート破損部の水中における補修技術等がある。

4.4.4 仮設物

水中での切断、溶接の例として以下のものがあった。

(1) 切断

対象物：鋼矢板、スクリーン、テトラポット、ダクトイル管等

方 法：ドライ施工、ブレイカ破砕、電気と酸素切断、電気切断、ガス切断、火焰ジェットカッター

(2) 溶接

対象物：スクリーンのフレーム、梁

方 法：直流電気溶接、酸素アーク溶接

水中での切断、溶接を計画するときの問題点として水の濁り、適切な方法の選択、波高うねり等の作業条件などがある。

4.5 有望な分野の選出

前述の調査結果、実態調査を考え合わせると、表-4.5.1において空欄になっている箇所の分野については未開発である。無索式はロボットの規模が大きくなり、利用場所は海洋が中心になることを考慮し、今後は小型で小回りのきく有索式を中心に検討を進めていく必要があると思われる。

4.6 基準化調査

維持管理関係の基準類は、水中構造物の点検、補修、解体に関する基準名及び基準の概略内容を調査した。

水中構造物の点検診断・補修、解体に関連する基準名及び指針等の調査結果を制定者別にみると、本調査結果では合計11団体で19基準があり、国及び自治体等公共団体が3団体と比較的少なく、他の8団体が協会及び財団等となっている。また、民間各社の社内基準的なものとして目標値はあると思われるが、それらは公にされておらず結果としては上がっていない。

各基準の適用対象及び内容では、コンクリート構造物の点検に関するものが7件と最も多く、次いで鋼構造物の点検が4件となっている。また、設計・施工関連で維持補修に関するものが3件、鋼構造物

表-4.5.1 有望な分野の選出結果

水中ロボットの形態 工事・工種		有 索		無 索	
		自 航	走行/歩行	自 航	走行/歩行
点検・調査・検査	ダム施設				
	水圧鉄管路				
	取・放水路				
	護岸設備				
	海底				
	小管路				
	その他				
浚渫・排砂	測量				
	水深50m以下				
	水深50m～100m以上				
	掘削、破碎、整地				
	塗装				
切断	鋼管杭				
	H型钢				
	キーストンプレート				
	デッキプレート				
	その他				
溶接	スポット				
	線				
清掃・除貝					

の維持補修全体に関するものが2件となっている。そのほかには、溶接、切断、水質調査、橋梁点検、防食、浚渫等に関するものがある。

水中構造物の点検診断、補修、解体に関する基準名及び指針等を以下に制定者別に示す。

(1) 日本鋼構造協会

- ・鋼橋塗膜調査

(2) 日本港湾協会

- ・港湾施設の技術上の基準同解説 改訂版(1989)
- ・港湾工事共通仕様書(1991)

(3) 日本コンクリート工学協会

- ・コンクリートのひび割れ調査・補修指針
- ・海洋コンクリート構造物の防食指針(案)－改訂版－(1983)
- ・コンクリート中の鋼材の電位測定方法の一次案

(4) 日本規格協会

- ・共鳴振動によるコンクリートの動的弾性係数、動せん断弾力係数及び動ポアソン比試験方法(1976)

(5) 国土開発技術研究センター

- ・自然電位測定法によるコンクリート中の鋼材の腐食診断方法(案)

(6) 沿岸技術開発研究センター

- ・港湾コンクリート構造物の劣化防止・補修に関する技術調査 報告書(1987)
- ・港湾構造物補修マニュアル(1986)

(7) 土木学会

- ・コンクリート標準示方書(施工編)(1986)

(8) 日本建築学会

- ・建築工事標準仕様書・同解説(1986)
- ・海洋建築物構造設計指針(固定式)・同解説(1985)
- ・海洋建築物構造設計指針(浮遊式)・同解説(1985)
- ・反発硬度法(シュミットハンマー法)(1983)
- ・超音波電波速度法(音速法)(1983)

(9) 東京都

- ・港湾等の施設補修工事実施要綱

(10) 広島県

- ・維持補修の基準

(11) 神戸市

- ・橋梁点検マニュアル

(※上記は平成3年度現在のもの)

4.7 特許調査

維持管理に対応する技術の特許調査は、特許申請が行われていない新規の技術開発を行うために、水中構造物の点検、診断、解体に関する特許を既存の特許検索システムを利用して行った。

4.7.1 平成3年度の調査結果

(1) 撮影、計測技術

1) 撮影

撮影に関しては、水中における撮影を補助する手段、撮影方法に関する技術、撮影装置を水中で移動させる技術が多くなっている。また、数は少ないが水中における照明方法、撮影装置の水深表示、撮影装置と水上の操作部との通信手段に関する技術がある。

表-4.7.1 撮影、計測技術の特許検索結果

key word			特 許	実用新案
水中	撮 影	カメラ	48	54
		テレビ	14	10
	計 測	板 厚	0	4
		堆 積	0	1
		腐 食	0(49)	0(34)
		劣 化	1	1
		破 損	0	1

()内の数字はkey word計測*腐食の検索結果

表-4.7.2 本研究関連の特許件数

key word		特 許	実用新案
水中	撮影	14	18
	計測	18	23

2) 計測

超音波による対象物の表面性状・板厚計測、水中機器の位置計測、堆砂厚計測が多い。他にレーザーによる位置計測、構造物の凹凸調査や水圧変化から位置、ダム水位を計測する技術がある。

(2) 機器（ロボット等）

水中ロボットというキーワードにより検索した結果、ロボットの水中における移動技術、捨石均し・清掃等の作業に関するもの、吸着パッド等を利用したロボットの固定技術が多くみられた。塗装、切断、溶接用のロボット技術はみられなかった。

キーワード：

(水中ロボット+ROV)×(移動+アクチュエータ+表面性状装置+点検・作業+位置+付着+除去)

特許公開 22件 特許公告 3件 実用新案公開 30件 実用新案公告 2件

(3) 防食技術

防食技術に関する特許検索結果を表-4.7.3に示す。しかし、表中の検索式(①+②+③)×(④×⑤+④×⑥)の56件は、特許・実用新案・意匠・商標の総公開件数である。

表-4.7.3 防食技術の特許検索結果

key word	件 数	検 索 式	件 数	検 索 式	件 数
①塗装装置	6,813	①+②+③	40,530	(①+②+③) × (④×⑤+④×⑥)	56
②塗装方法	10,990				
③塗料	24,320				
④水中	12,367	(④×⑤)	332		
⑤硬化	39,271	+			
⑥防食	3,829	(④×⑥)			

(4) 補修技術

補修においては、溶接技術（スタッドガン等）、溶接材料（溶接棒等）、鋼管杭等に対する補修・補強工法、溶射に関するものが多い。

キーワード：

水中×(溶接+充填材+コーキング+補修+巻立+ウェット+ドライ+溶射+管路+潜水+排水+安全+老朽化+補強+一体+エポキシ)

特許公開 142件 実用新案公開 47件

(5) 解体技術

解体においては、切断装置（ガス、プラズマ、アークソー、レーザー等）、コンクリート構造物の解体方法、油圧ブレーカによる解体に関するものが多い。

4.7.2 平成6年度の調査結果

研究初年度（平成3年度）において実施した特許調査以降の新技术に関する特許及び実用新案を把握、確認するために、平成7年2月現在での再調査を実施した。

表-4.7.4はベースキーワードを水中として平成3年度以降を対象に調査した結果をとりまとめたものである。

表-4.7.4 水中に関わる特許検索結果

	撮影	計測	補修	巻立	補強	切断	解体	塗料	塗装	溶接
水 中 (上段：特許)	41	101	13	0	46	89	6	169	35	32
(下段：特許)	26	22	1	0	8	12	2	1	3	5

また、表-4.7.5はロボットというキーワードを主として、過去15年間の特許、実用新案の調査を行った結果をとりまとめたものである。

表-4.7.5中の水中×点検・作業の項目の中には「視認」「濁水処理」「クリアサイト」「凝集」「清水置換」の本研究のキーワードに関連する案件は見当たらなかった。

また、水中を検索キーワードにする場合と入れない場合の件数を比較すると、入れた場合は前回の調査と同様、全体の0.7%にすぎない件数となる。

この3年間の検索該当件数の増加傾向をみると、水中ロボットをベースキーワードとした場合、特許で3.0倍、実用新案で1.4倍となり、ロボットをベースキーワードとした場合、特許で1.9倍、実用新案で1.3倍となる。このことから、水中ロボットに関連した特許の増加が目立って大きく、各企業のロボットに関連した技術開発の動向を反映したものと見受けられる。

表-4.7.5 水中ロボットに関わる特許検索結果

キーワード	今回の調査結果 (S55~H7)				今回の調査結果 (S55~H3)			
	水中ロボット		ロボット		水中ロボット		ロボット	
	特 許	実用新案	特 許	実用新案	特 許	実用新案	特 許	実用新案
移 動	25	12	4,719	1,205	9	10	2,450	912
アクチュエータ	3	0	653	306	0	0	409	265
表面清掃装置	0	0	6	0	0	0	3	0
点検・作業	2	1	28	37	0	3	15	29
位 置	26	16	6,765	1,689	10	12	3,752	1,335
付 着	2	6	229	97	2	2	96	68
除 去	7	7	343	100	1	3	147	75
合 計	65	42	12,743	3,434	22	30	6,872	2,684
	107		16,177		52		9,556	

5. 水中心検、切断、塗装に関する要素実験

5.1 水中心検技術の開発（水中視認性実験）

5.1.1 実験目的

水中構造物の点検・計測・診断を行うロボットの開発にあたり、水中構造物の状況把握、計測、診断の精度の向上を図るにはロボットの眼となるTVカメラの水中での視認性、すなわち水の清浄度が重要な制限項目となっている。その阻害要因として水の濁度と色度が挙げられるという実態調査と現状技術調査から得られた課題を踏まえて、本実験では点検・監視・判断機能開発のうち複数のカメラを用いて濁水中での点検方法の技術開発を重点目標に実施する。すなわち濁水中での視認要求に基づく点検診断におけるロボットの必要機能を明確にし、各必要機能の基本計画、詳細検討と基礎実験、試験装置試作及び確認試験を行って濁水中視認方法の基本仕様を明確にするとともに、濁度と視認の関係を定量的に見い出すことを目的とする。

その目的を達成するためにそれぞれで開発しなければならない項目として、

- ・概略点検・監視（マクロ的濁水中視認）

低照度カメラ／高感度カメラ …… 無照明／低照明試験で検討

- ・詳細点検・判断（ミクロ的濁水中視認）

クリアサイト …… 物質置換試験で検討

を選択し、濁水に対する視認性能を数量的に計測し、低照度カメラ／高感度カメラが濁水中での点検対象物確認、概略的全体点検及び作業監視用に、クリアサイトが確認された点検対象物の詳細点検用に使用可能かを確認することとした。

5.1.2 実験方法

5.1.2.1 無照明／低照明試験

濁度の高い水中で対象物を照明する場合、対象物の手前に浮遊する懸濁物の反射によりハレーションが生じモニター画像で対象物が見づらくなり、詳細な点検・診断に支障をきたす。この濁水対策のために照明灯を使用しない、あるいは照明を減光する方法が水中心検等では往々に用いられ、それなりの成果を上げている。そこで以下の点検方法の実験を行った。

- ・無照明点検

水深10m程度の太陽光が届いて均一には明るいが照度が不足している箇所（排水機場、水門等に相当）で照明灯を使用せずに点検を行う場合を想定する。

- ・低照明点検

水深100m程度の太陽光がほとんど届かず暗黒に近い箇所（ダムの排砂ゲートスクリーン等に相当）で、ハレーションの生じない限度まで照明灯の照度を落として点検を行う場合を想定する。

照度不足を補うために①低照度用カメラ（モノクローム）、②暗視カメラを用いて水中映像の見え方についての確認試験を行った。また、試験比較対照カメラとして市販の水中心検ロボットシステムのカラーTVカメラでも試験を行った。試験は懸濁剤、濁度、照度、距離をそれぞれ変更して、それぞれの

場合の解像度との関係について上記3種のカメラで確認試験を実施することとした。

(1) 実験装置

1) TVカメラ

① 低照度モノクロカメラ

低照度カメラ選択基本仕様は以下のとおり。

- a) 最低被写体照度 0.5Lux以下
- b) 一般的なLCROV (Low Cost R.O.V.) とのカメラの互換性を考慮し、撮像素子はCCDとしイメージインテンシファイアチューブは除外
- c) 上記同様小型であったとしてもヘッド分離型TVカメラは除外
- d) LCROVに搭載可能な小型サイズと軽量

型 式: 1/2インチCCD低照度用白黒ビデオカメラ TM-534N

有効画素数: 768(H)×494(V)

水平解像度: 550本

最低被写体照度: 0.5Lux (F1.4)

重 量: 約60g (レンズ別)

寸 法: $\phi 30 \times L58\text{mm}$ (レンズ別)

製 造 所: 竹中システム機器

② 暗視カメラ

暗視カメラ選択基本仕様は以下のとおり。

- a) 最低被写体照度 0.5Lux以下
- b) 撮像素子はCCDまたはイメージインテンシファイアチューブ
- c) 小型であったとしてもヘッド分離型TVカメラは除外
- d) LCROVに搭載可能な小型サイズと軽量

型 式: 静電集束型 PS-910

重 量: 約600g

寸 法: $W67 \times H83 \times D134\text{mm}$

製 造 所: 富士写真工機

③ 対照用カラーカメラ

型 式: 1/2インチCCDカラーカメラ TCZ-330

有効画素数: 768(H)×494(V)

水平解像度: 480本

最低被写体照度: 3.5Lux (F1.2)

重 量: 約900g (レンズ別)

寸 法: $W70 \times H60 \times D168\text{mm}$ (レンズ別)

製 造 所：富士通ゼネラル

④ 使用レンズ

絞 り：自動

レンズ焦点距離：8 mm

最 大 口 径 比：F1.3（低照度B/Wカメラ）

：F1.2（暗視カメラ）

：F1.4（対照用カラーカメラ）

2) 試験用水槽（図-5.1.1）

材 質：透明アクリル板、アルミニウムアングル材

寸 法：H692×L2,060×W480mm

3) カメラ用水密容器（図-5.1.2）

材 質：透明アクリル板

寸 法：H508×D350×W350mm

4) 写真用解像度チャート

型 式：EIAJテストチャート A, C1, C2

製 造 所：大日本印刷

5) 濁度計

型 式：散乱光式 MA-212D型

測定範囲：0～1,999ppm、0～199.9ppmの2段切り換え（最小分解能 0.1ppm）

精 度：FS1.5%以内

製 造 所：北斗理研

6) 照度計

型 式：シリコンフォトセル受光部分離式デジタル照度計 T-1M 水中仕様改良型

測定範囲：0.01～99,900lx（アナログ出力範囲0.01～300,000lx）

測定精度：±2%±1 digit（表示値に対して）電総研基準校正

製 造 所：ミノルタカメラ

(2) 懸濁剤の選定

水中カメラの透視度を阻害する原因としては水中に溶け込んだり浮遊する物質により生ずる濁度と色度が挙げられる。そこで試験にあたり、点検を行う水域を考え、そこにおける水中懸濁物がどのようなものであるかを以下にまとめ、それに性状がよく似ていて、かつ入手が容易な懸濁剤を選定する。

1) 河川における濁度的要因

要 因：粘土、無機物の鉱物質で構成される水中浮遊物質

性 状：サスペンション

懸濁剤：自然水の濁質とよく似ていて濁度の検定用に使用されるカオリン

・性 状：サスペンション、一日程放置すると沈澱がみられる。

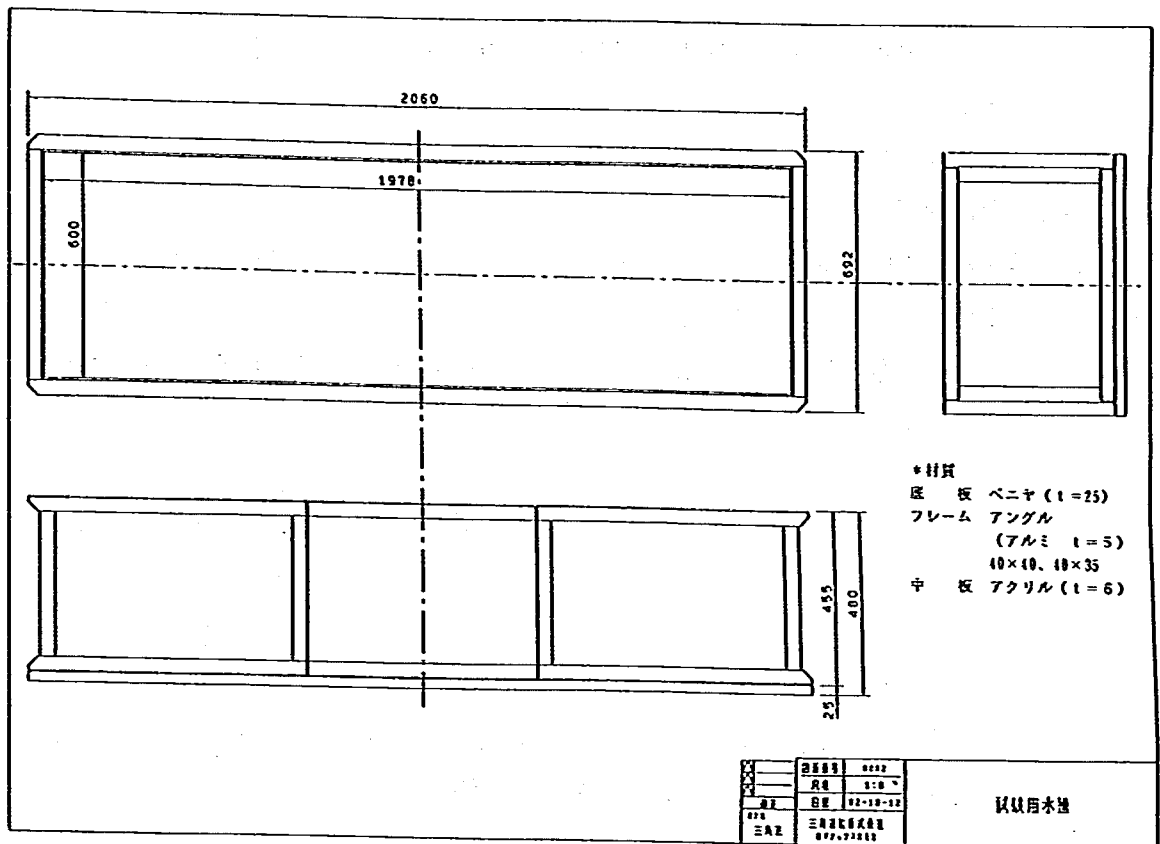


図-5.1.1 試験用水槽

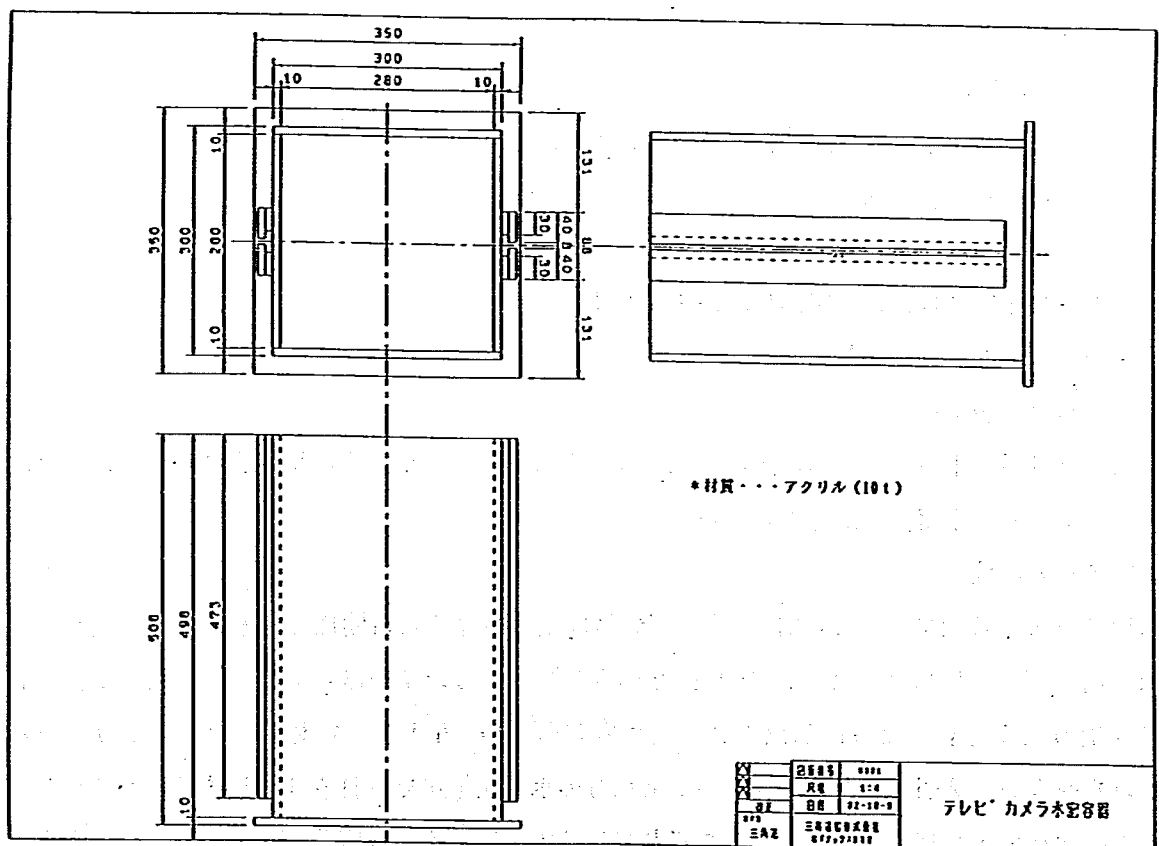


図-5.1.2 カメラ用水密容器

- ・主 剤：酸化アルミニウム (Al_2O_3) 約30%、酸化珪素 (SiO_2) 約60%
- ・粒 径：300メッシュ
- ・製造所：キシダ化学

2) 河川における色度的要因

要 因：有機浅滓から土中の生物による生物作用や化学的作用により形成される暗色の高分子化合物

性 状：コロイド領域及びそれ以下の粒径分布を示す。

懸濁剤：試験には適当なものがないため顔料である白墨汁を用いる。これは建築現場で材料に線引きをする際に使用するものである。

- ・性 状：コロイド
- ・主 剤：チタン白（酸化チタン顔料）、そのほか防錆剤、湿潤剤、分散剤、樹脂で、この5成分の蒸発残分が24%
- ・製造所：不易糊工業

3) 海洋における濁度的要因

要 因：海岸近くでは河川と同様に砂、泥等の水中浮遊物質の影響が強く上記の河川と同列に論ずる。海岸から離れるにつれ、海洋独自のプランクトン等海中生物の死骸から形成されるマリンスノーがある。

性 状：径が大きくゆっくり沈降する。

懸濁剤：マリンスノーは試験に使用できないため粒径が似ているイオン交換樹脂ビーズとアルミ粉を用いる。

①イオン交換樹脂ビーズ

- ・性 状：ダイヤイオンHP21、比重が1に近く、ゆっくり沈降。
- ・形 状： $\phi 0.3 \sim 0.5 \text{ mm}$

②アルミ粉

- ・性 状：鱗片状、常時攪拌しないと沈殿する。
- ・形 状： $0.5 \sim 1.0 \text{ mm}^3$

4) 海洋における色度的要因

要 因：プランクトン、細菌類によって引き起こされる赤潮等があるが限定された海域の一過性のものであり、本研究では考慮しない。

(3) 実験装置の構成

試験装置の系統図を図-5.1.3に示す。試験装置全体を完全に暗闇にできる室内に配置し、さらに試験用水槽（図-5.1.1）の内側に黒布を張り巡らし外部からの光を遮断する。試験用水槽内に容易にカメラを取り替えられるようにしたカメラ用水密容器（図-5.1.2）を置き、中にTVカメラと照明灯（2灯）を入れ、透明なアクリル壁を通して周りの水中映像が見られるようにする。カメラから映像ユニットを通してテレビモニターに映像を送りVTRで記録する。水槽壁面の他方に解像度を見るため写真用解像度チャートを貼り付け、評価はテレビモニター上で解像度チャートの本数を計測することによ

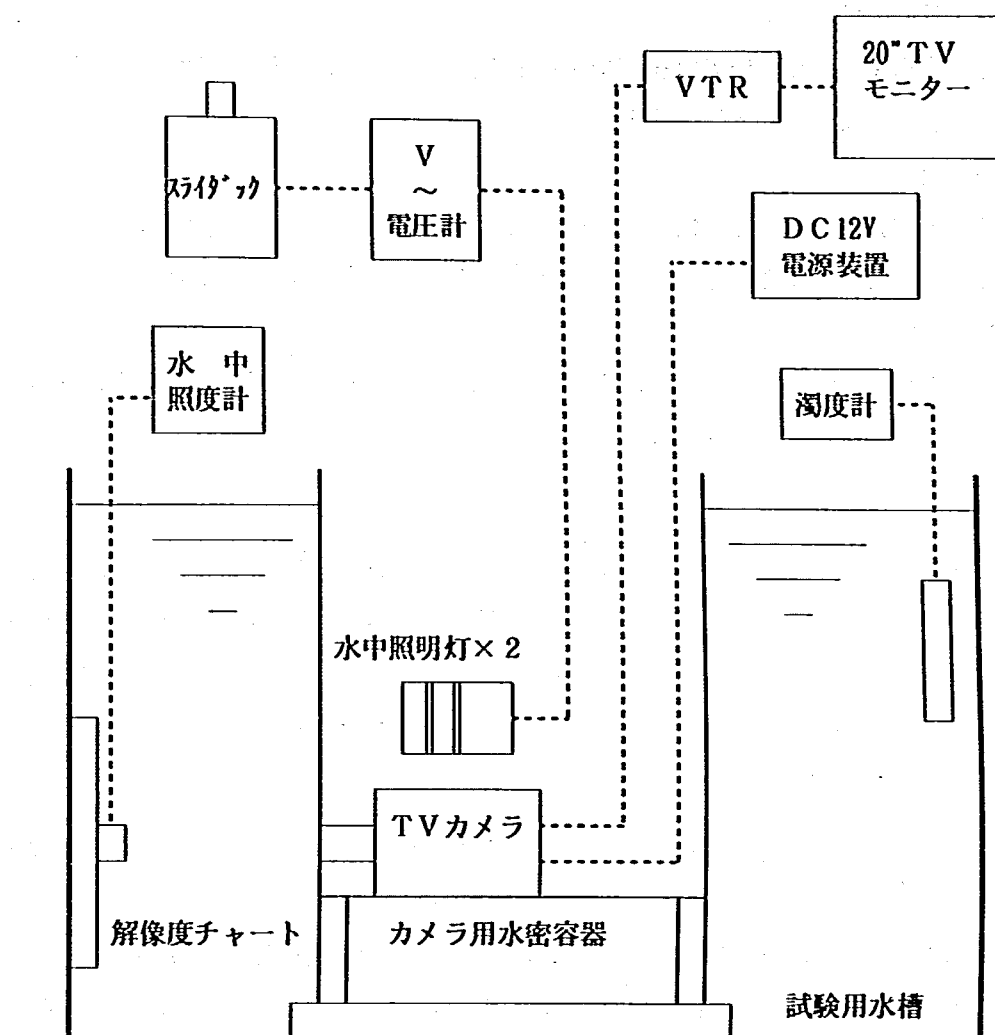


図-5.1.3 試験装置系統図

り行う。スライダックにより照明灯に印加する電圧を変えることで解像度チャート面上の照度を変更し、その際の電圧と照度を計測できる電圧計と水中照度計を配置する。また水中濁度も濁度計で計測する。

(4) 実験方法

1) 濁度変更

懸濁剤の種類にかかわらず濁度計により懸濁剤を入れない初期の水槽の清水濁度を計測してベース濁度とする。次いで懸濁剤の種類をカオリンと白墨汁に変え、それぞれについて濁度をベース濁度に+10、+30、+50ppmと変更して映像の見え方と濁度、照度について試験する。

2) 水中照度変更

スライダックで照明灯印加電圧を変えることにより解像度チャート面上の照度値を、125、250、500、1,000、2,000ルクスと変更して映像の見え方と照度について試験を行う。また、無照明でも同様の試験を行う。

3) チャート・カメラ間距離の変更

3) チャート・カメラ間距離の変更

各設定濁度と設定水中照度において解像度チャートとカメラ間の距離を20、50、100、150cmと変えて映像の見え方と濁度、照度について試験する。

4) 照明灯位置の変更

照明灯をカメラの前方に配置して映像の見え方の試験を行う。カメラは低照度カメラのみ、濁度はベース+50ppmで距離は100cmの1点のみとし、照明灯はカメラから100cm離れた点で行う。

5) 粒径の大きな懸濁物

マリンスノーを模した懸濁物として粒径の大きなイオン交換樹脂ビーズとアルミ粉にそれぞれ変えて映像の見え方について定性的な試験を行う。

5.1.2.2 物質置換実験

濁度の高い水中で詳細な点検・診断を行う場合には照明灯により対象物を十分に照明する必要があるが、懸濁物の反射によるハレーションをなくするためには照明灯から対象物の間の懸濁物を取り去ることが最善である。そこで、カメラと対象物の間にクリアサイトを形成し、クリアサイト内の濁水を清浄水に置換する方法がしばしば使われるが、ここでは以下の2通りの実験を行う。

・清水置換

全くの清水を陸上からポンプとパイプを使ってクリアサイトまで供給して濁水と強制的に置換させる。

・高分子凝集剤置換

清水は供給せずROVに装備したタンクに貯蔵した高分子凝集剤を最適用量だけメタリングポンプでクリアサイト内に供給し、必要な攪拌／沈降時間の間ROVを対象物に対して固定し、濁水中の懸濁物を凝集、沈降させクリアサイト内の水を清浄な状態にする。

(1) 実験装置

1) 低照度モノクロカメラ、対照用カラーカメラ、使用レンズ

5.1.2.1 (1) 1) と同じ。

2) 試験用水槽 (図-5.1.4)

材 質：透明アクリル板

寸 法：H508×L516×W516mm

3) ドレン用水槽

5.1.2.1 (1) 2) と同じ。

4) 写真用解像度チャート、濁度計、照度計

5.1.2.1 (1) 4)、5)、6) と同じ。

5) pH計

型 式：ガラス電極式デジタルpH計 B-112型

測定範囲：pH 2～12

分 解 能：0.01pH

製造所：堀場製作所

型式：40W直流電動モーター駆動プロペラ型

7) 透視度計

製造所：第一科学

試験装置の系統図を図-5.1.5に示す。本試験は照明を常時使用するため試験装置全体は通常の室内に配置し、試験用水槽（図-5.1.4）のみ黒色塗装で外部光を遮断し一部に透明窓を装備する。水槽内

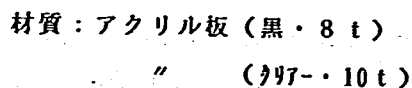


図-5.1.4 試験用水槽

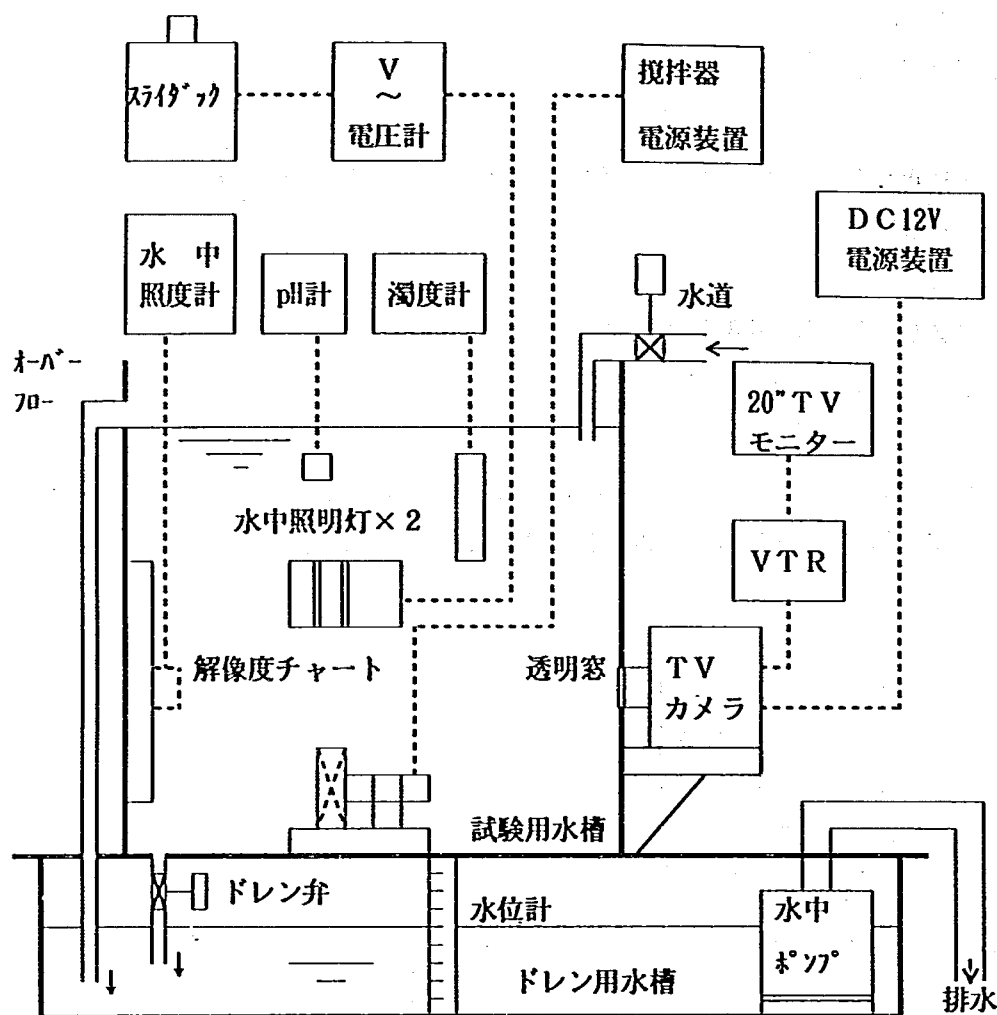


図-5.1.5 試験装置系統図

に照明灯（2 灯）、濁度計、照度計を設置し、外部に設置したカメラで透明窓を通して水中映像が見られるようにし、カメラからテレビモニターに映像を送り VTR で記録する。水槽壁面の他方に解像度を見るため写真用解像度チャートを貼り付け、評価はテレビモニター上で解像度チャートの本数を計測することにより行う。スライダックからの照明灯印加電圧を固定し解像度チャート面上の照度を通常値にする。濁度が減少していく際の照度を計測できる水中照度計と濁度計を配置する。

清水置換試験では攪拌器は使用しないが凝集剤置換試験では攪拌器電源装置から電源を供給して攪拌器を使う。清水置換試験のオーバーフローはドレン用水槽で一度受けて、その水位から清水置換量を計測する。凝集剤置換試験では pH 計を見ながら NaOH を投入して凝集剤の pH 調整を行う。

(3) 実験方法

1) 清水置換式クリアサイト試験

透明窓に装備したカメラと反対壁の解像度チャート間の距離は 50cm に固定、照明灯印加電圧を一定値に設定する。懸濁物はカオリンと白墨汁のそれぞれについて、濁度計で 1,000、500ppm に設定後、清水が圧送された時点から映像が見え出すまでの時間（すなわち置換清水量）と映像の見え方について試験

を実施する。その際、水中照度と濁度の変化も計測する。

2) 凝集剤選定試験

① 有機系単体凝集試験

使用懸濁剤の処理に最も適した凝集剤の種類、添加量、添加条件などを決定するため、懸濁水をジャーテスターにセットし、ノニオン性、カチオン性、アニオン性を示す各種凝集剤を単体で添加量 2 ～ 20 ppm の範囲で加え 1 分間の急速攪拌の後、静置する凝集試験を行う。試験項目は薬注量、フロックの状態及び処理水の外観、pH、濁度とする。

② 複合凝集試験

- a) 無機凝集剤 + 高分子凝集剤の複合凝集性能を確かめるために、無機凝集剤の添加量を 100 ～ 500 ppm の範囲で変化させて（必要に応じて苛性ソーダを加える）1 分間の急速攪拌を行い、次いで添加量を 4 ppm に固定した高分子凝集剤を添加した後、静置する凝集試験を行い無機凝集剤の添加量を決定する試験を実施する。試験項目は薬注量、フロックの状態及び処理水の外観、pH、濁度とする。
- b) 無機凝集剤の添加量を 400 ppm に固定して、高分子凝集剤の添加量を 2 ppm から 6 ppm に変化させ、高分子凝集剤の添加量を決定する試験を実施する。試験項目は薬注量、フロックの状態及び処理水の外観、pH、濁度とする。
- c) 無機凝集剤の添加量を 400 ppm に固定して、ノニオン性、アニオン性を示す各種凝集剤 2 ppm を加えて他の有効な凝集剤をみきわめる試験を行う。試験項目は薬注量、フロックの状態及び処理水の外観、pH、濁度とする。

3) 凝集剤混入式クリアサイト試験

透明窓に装備したカメラと反対壁の解像度チャート間の距離は 50 cm に固定、照明灯印加電圧を一定値に設定する。懸濁物はカオリンとし、濁度計で濁度を 1,000 ppm に設定する。無機系凝集剤（PAC）を 800 ppm と pH 調整用の苛性ソーダ（NaOH）を 1/10 の 80 ppm を添加し 1 分間静置後、有機系凝集剤（EDP-301）を 4 ppm 投入、すぐに攪拌器を 1 分間作動させた後、静置する。PAC が投入された時点から映像が見え出すまでの時間と映像の見え方、水中照度と濁度を計測する。また、凝集終了後の上澄み液の濁度と透視度を計測する。次いで PAC の量と NaOH の量を 600 ppm / 60 ppm、400 ppm / 40 ppm の場合についてそれぞれ同様に試験を実施する。

次に水槽条件を同じにしてカオリン濁度を 500 ppm に設定、PAC を 600 ppm と NaOH を 60 ppm を添加し 1 分間静置後、EDP-301 を 4 ppm 投入、すぐに攪拌器を 1 分間作動させた後、静置する。PAC が投入された時点から映像が見え出すまでの時間と映像の見え方、水中照度と濁度及び凝集終了後の上澄み液の濁度と透視度を計測する。

さらに、カオリン濁度を 100 ppm に設定し PAC を 600 ppm と NaOH を 60 ppm を添加し 1 分間静置後、EDP-301 を 4 ppm 投入、すぐに攪拌器を 1 分間作動させた後、静置する。PAC が投入された時点から映像が見え出すまでの時間と映像の見え方、水中照度と濁度及び凝集終了後の上澄み液の濁度と透視度を計測する。

懸濁物を白墨汁に変えて同様の実験を行う。

4) 濁度－水中照度試験

透明窓に装備したカメラと反対壁の解像度チャート間の距離は50cmに固定、照明灯印加電圧を一定値に設定する。懸濁物はカオリンと白墨汁のそれぞれについて、清水だけの状態から懸濁物を添加し濁度を500ppmになるまで濁度計で水槽濁度を計測すると同時に対応する水中照度を計測する。

5) 濁度－透視度試験

懸濁物はカオリンと白墨汁のそれぞれについて、濁度計で計測しながら試験用水槽に懸濁物を添加して1,000ppmに設定後、濁水に清水を加えていき、濁度計で水槽濁度を計測すると同時に対応する透視度計で透視度を計測する。

5.1.3 実験結果と考察

5.1.3.1 無照明／低照明試験

(1) コロイドとサスペンション懸濁物

1) 低照度白黒TVカメラ

懸濁物を投入する前の解像度チャートの見え方に比べ低照度カメラ、通常カメラ及び暗視用カメラのカオリン30ppm試験でのチャート及び低照度カメラと暗視用カメラの白墨汁50ppm試験でのチャートは、いずれも水槽の外からは全く見ることはできない。この白墨汁50ppmでカメラとチャート間の距離が64.5cmの時にチャートがかろうじて判別できる状態である。これらの結果から、照明をした場合の解像度はその照度に全く依存せず、照明をしない場合でも照明をした場合の0.5～0.8の解像度が得られた。

濁度と解像度の結果を横軸に濁度、縦軸を解像度とし距離とカメラを変えて図－5.1.6にカオリン、図－5.1.7に白墨汁の濁度と解像度の関係を示す。このグラフから照明（1,000lx）をした場合は解像度はカメラとチャート間の距離が20cm及び50cmで一定の場合は濁度が上がると若干悪化するが、その傾向は低照度カメラのほうが通常カメラより大きい。しかし、カメラとチャート間の距離が50cm以遠の場合は、濁度が2ppmより大きくなるとほとんど映像として認識できなくなる。白墨汁とカオリンの試験に対しては、特に低照度カメラと対照用の通常カラーカメラとの差はターゲットが見える見えないという点ではあまり有為な差がみられなかった。これは最低被写体照度以下の低照度にしてもカメラのオートゲインが働いて、特に低照度カメラでなくてもかなりのところまで明るく見えるためであると思われる。

同じ距離条件で、低照度カメラのほうが暗いところでもよく見え画質（解像度）もよいが、これはカメラ本来のスペックの差（低照度カメラの水平解像度が550本であるのに対し対照用カラーカメラのそれは480本）によるもので濁度に依存するものではないようである。

逆に、両方のカメラとも濁度と識別限界までの距離には強い関係がみられる。すなわち、各濁度における映像識別の限界はあまり照度や照明方法等に依存せず、以下のように距離によりほぼ決定され、解

表－5.1.1 濁度と映像識別距離

濁 度 (ppm)	2	10	30	50
映像識別距離 (m)	1.5以上	0.9	0.3	0.2

像度は画像が見える条件下では特に変化はない。ただし、2 ppmの時は水槽寸法の制約から1.5m以上となっていて必ずしも限界数値ではない。

図-5.1.8に濁度と映像識別距離の関係を図示するが、2 ppmの時の値を除くと両者はほぼ反比例の関係にあると思われる。

すなわち濁度 T と映像識別距離 m の間には

$$T \cdot m \approx 9 \quad \dots \text{式-5.1.1}$$

の関係式が成立する。

式-5.1.1から2 ppmの場合には約4.5mの映像識別距離が得られるが、これは水中心検ロボットを使っているダム湖などで得られている従来のデータとほぼ合致する。

2) 暗視カメラ

暗視カメラについては、附属のレンズの焦点距離が長くターゲット距離の大きい点でしか画像が得られなかった。このため低照度カメラや通常カメラと比較検討を行うことは難しいが、距離の大きいところで白濁によって見えなくなる傾向は低照度カメラ等と同じで、画像が識別できる範囲内では濁度や照度による解像度の変化は少ないようである。

(2) 粒径の大きな懸濁物

アルミ粉や樹脂ビーズのような粒径の大きな懸濁物で濁らせた場合、感覚的にはかなり濁っているように見えても濁度計の読みはあまり上がらない。この場合は、照明灯を近付けてターゲットのみを照らしたり、絞りを開いて被写界深度を浅くすると合焦点（チャート面）よりも特に手前にある物体（粒径の大きな懸濁物）の映像にピントがあわずにぼやけるため、ターゲットの像を鮮明に得ることができる。ただし、この場合も照明条件等による解像度の変化はない。

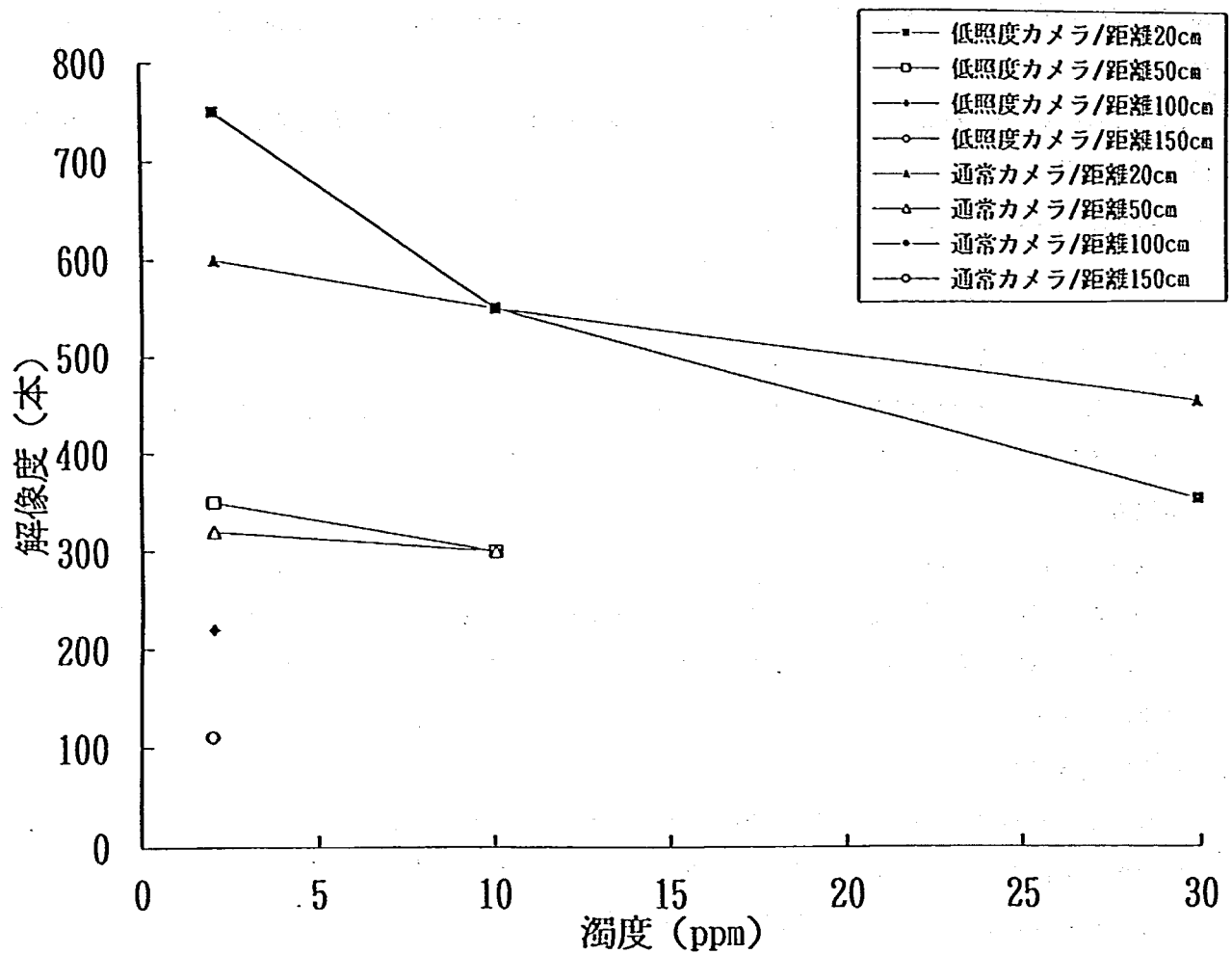


図-5.1.6 濁度と解像度 (カオリン)

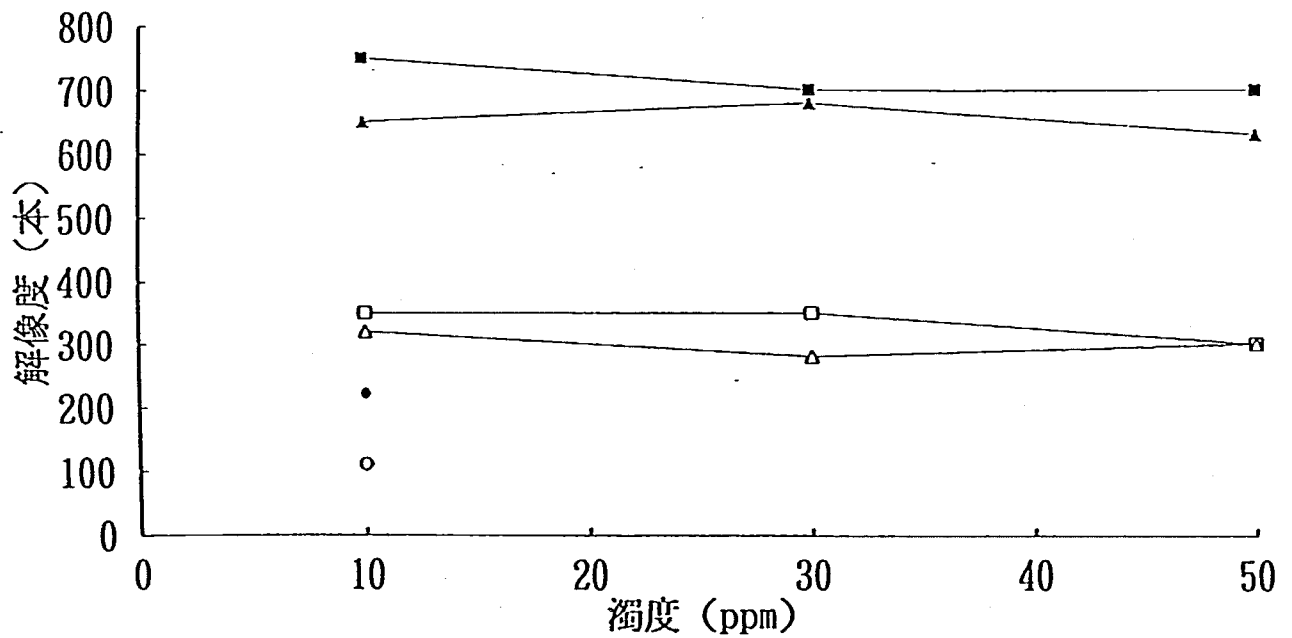


図-5.1.7 濁度と解像度 (白墨汁)

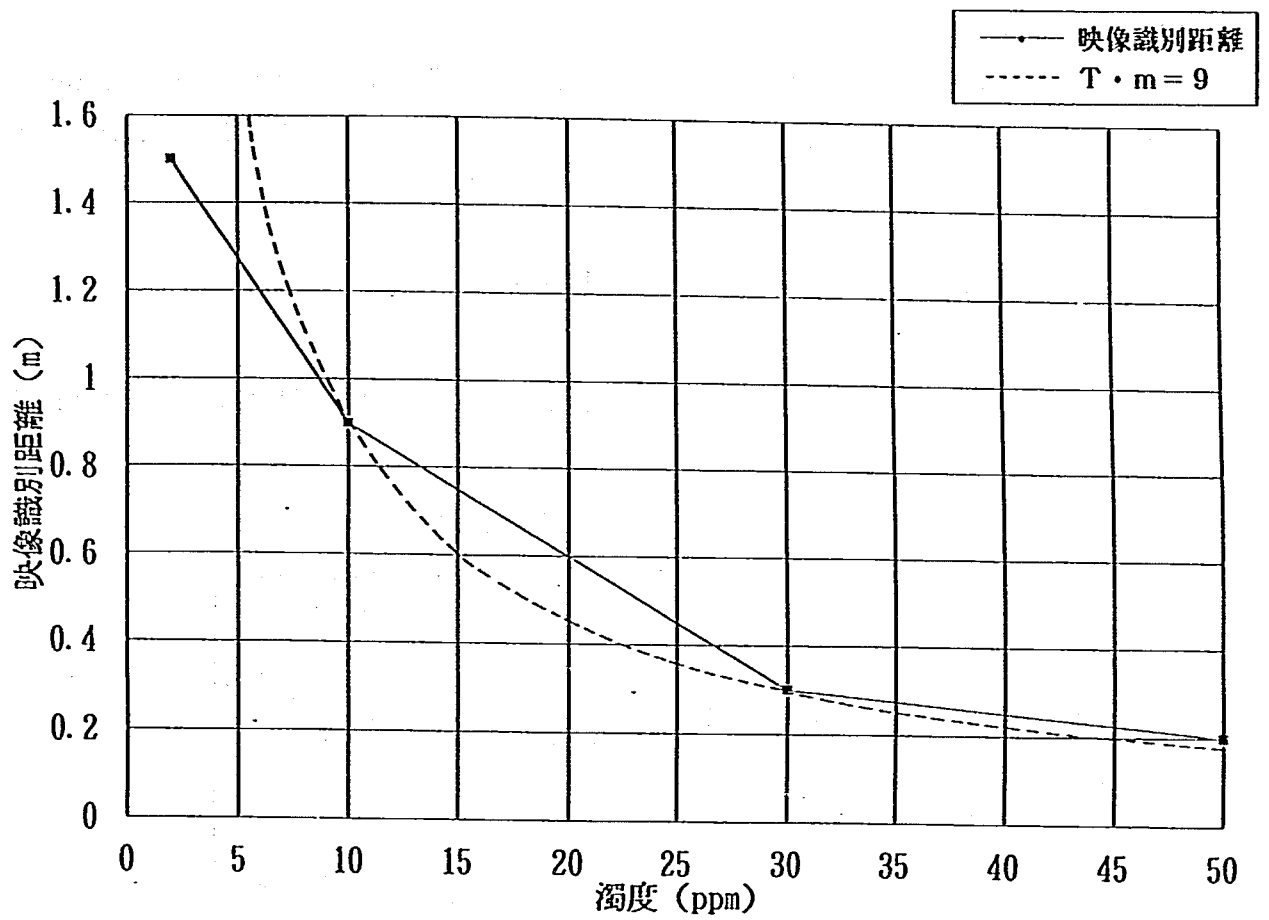


図-5.1.8 濁度と映像識別距離

5.1.3.2 物質置換試験

(1) 清水置換試験

1) 清水置換の理論値と計測値

清水置換の結果から、水槽容積を V (ℓ)、清水流入量 (清水置換量) を Q (ℓ/分)、水槽の初期濁度を T_0 (ppm) とすると置換時間 t (分) とその時の水槽濁度 T (ppm) の間には完全攪拌と仮定すると、

$$T = T_0 \cdot e^{\frac{Q}{V} \cdot t} \quad \dots \text{式-5.1.2}$$

の関係が成立する。

$V=115$ ℓとして試験結果の T_0 、 Q と t を用いて式-5.1.2から算出した置換時間後の水槽濁度 T の理論値と実験での計測値を表-5.1.2にまとめる。

表-5.1.2 懸濁物の種類と t 分後の水槽濁度

懸濁物の種類	水槽容積 V (ℓ)	初期濁度 T_0 (ppm)	清水流入量 Q (ℓ/分)	置換時間 t (分)	t 分後の水槽濁度 T (ppm)	
					理論値	計測値
カオリン	115	1,060	13.6	30	30.5	9
カオリン	115	511	12.7	30	18.6	7
白墨汁	115	1,000	17.6	30	10.1	7
白墨汁	115	494	19.1	20	17.8	10

この表から白墨汁、カオリンとも完全攪拌を仮定した理論値よりも速く置換が進んでいる。その理由としては、

- ・懸濁物質が十分に拡散しない内に流出している。
- ・準静的な置換の要素が若干ある。

等が考えられるが明確な理由は見い出せない。

t 分後の実際の水槽濁度値を得るための回帰式を求めると、式-5.1.2は実際の実験変数のみで成り立っているので対数項に補正值 β を掛けることで対応する。すなわち式-5.1.3が得られ、算出した β を表-5.1.3に示す。

$$T = T_0 \cdot e^{\frac{Q}{V} \cdot t \beta} \quad \dots \text{式-5.1.3}$$

カオリンで1.32程度、白墨汁で1.13程度と、白墨汁とカオリンでは置換の傾向に差異がみられ、カオリンのほうが白墨汁に比べ17%ほど速く置換が進んでいる。これから、比較的粒度の高い無機鉱物質で構成される水中浮遊物質による濁度的要因を生ずるカオリンのほうが粒度の小さいコロイド領域の色度的要因を生ずる白墨汁より清水置換しやすいことを示している。

表-5.1.3 懸濁物の種類と置換補正值

懸濁物の種類	初期濁度(ppm)	補正值 β	
カオリン	1,060	1.3441	1.32
	511	1.2950	
白墨汁	1,000	1.0807	1.13
	494	1.1741	

2) 清水置換回数

無照明/低照明試験結果から1 m以上離れて見えなくなる濁度10ppmを清水置換目標濁度基準に考えて、初期濁度が10ppmになるまでの清水流量、置換水量及び置換回数を表-5.1.4にまとめる。

表-5.1.4 懸濁物の種類と置換回数

懸濁物の種類	初期濁度 T_0 (ppm)	10ppmの 置換時間 t (分)	清水流量 Q (ℓ /分)	置換 清水量 q (ℓ)	水槽容積 V (ℓ)	置換回数
カオリン	1,060	29.5	13.6	401	115	3.5
カオリン	508*)	26.0*)	13.6	354	115	3.1*)
カオリン	511	27.5	12.7	349	115	3.0
白墨汁	1,000	28.0	17.6	493	115	4.3
白墨汁	504*)	24.0*)	17.6	422	115	3.7*)
白墨汁	494	20.0	19.1	382	115	3.3

注：*) の数値はカオリン、白墨汁の1,000ppm試験データの途中500ppm付近からのデータで算出したものである。

表-5.1.4から初期濁度1,000ppmの白墨汁、カオリンともクリアサイト容積の3.5~4.5倍の清水を流入させることで濁度を初期値の1/100にあたる10ppm程度にできる。ところで、清水置換は完全攪拌を考えると対数関数になるため初期濁度500ppmの場合でもクリアサイト容積の3.0~3.7倍の清水を流入させることで濁度を10ppm程度にできることがわかる。したがって、1,000ppm以下であれば初期濁度の数値に関係なくクリアサイト容積の3~4倍の清水を流入させるようにすることにより映像の識別ができるようになることが判明した。

(2) 凝集剤置換試験

1) 凝集剤の組み合わせ

白墨汁、カオリン、泥水とも無機系凝集剤(PAC) 600ppm、有機系凝集剤(EDP-301) 4ppm、中和剤(NaOH) 60ppmが最も効果があった。

2) 凝集剤置換試験

① カオリン1,000ppmにPACを800~400ppmに変化させて凝集置換を行った結果と、白墨汁1,000ppmにPAC

を800～400ppmに変化させて凝集置換を行った結果をみると、凝集置換時間に対する水中照度と濁度の変化状況はPACの量を変えても（有機系凝集剤 EDP-301は4ppm固定）あまり変わらない。しかし、水中照度の最終値（同じ凝集置換時間における）は800ppmのほうが400ppmに比べ10～20%程度上昇しているが、濁度はほとんど変わらない値となっている。

- ② そこで、PAC600ppmの時の水中照度と濁度の変化率を表－5.1.5～6にまとめ、水中照度と濁度の変化模式図を図－5.1.9に示す。

この変化模式図のように、濁度はPAC投入2分後（攪拌器停止直後）からフロックが生成し沈降することで低下を始め、カオリンはそれからわずか1分で全体の99.5%が低下するのに対し、白墨汁は3分かかっても94.8%しか低下しない。一方、水中照度のほうは、カオリンはPAC投入後3分（攪拌停止後1分）で視界が開き始め1分で全体の76.9%が上昇するのに対し、白墨汁はPAC投入5分後（攪拌停止後3分）で照度が上昇し始め1分で全体の64.6%が上昇する。また、カオリンがPAC投入後10分で可視できる9ppmの濁度になるのに対し、白墨汁1,000ppmはPACの量には関係なくPAC投入後15分が経過しても輪郭が見える程度以上には凝集できない。この傾向はカオリン及び白墨汁の濃度を500ppmと100ppmに変えても大きくは変わらない。

このことから、凝集剤置換による映像識別のメカニズムは次のとおりと考えられる。濁水中へのPAC投入、EDP投入、攪拌停止の直後から濁水中に浮遊していた細かい懸濁物が凝集して、より大きな径のフロックへの生成が始まるが、フロックの成長がまだ十分ではなく、この時点ではまだ沈降量はごくわずかである。大きなフロックの浮遊状態になった濁水はその前の細かい懸濁物が一様に浮遊している状態に比べ濁度は小さくなるが、目視的には濁った状態で水中照度は上がらない。フロックの生成が終了した段階で濁度はすでに最低に達しており、フロックが十分に成長して大きくなり沈降を始めると徐々に浮遊するフロックが減少することで視界が開け濁度が減少し、ついに最低近くのある値に達すると水中照度が急激に上がっていくのである。

カオリンではフロックの生成が速く、生成も良好で大きなフロックとなるため沈降も速い。このため濁度の減少から水中照度の上がりきりまで、わずか2分で終了する。一方、白墨汁はフロックの生成はそれほど遅くないが、成長がよくなく小さなフロック状態のままのため沈降も遅い。このため濁度の減少にカオリンの3倍の3分もかかるが、水中照度の上昇はカオリンと同じ1分で終了する。すなわち、映像確認時間は主としてフロックの沈降時間とその間の濁度に依存しているようで、フロックの生成時間はこれに比べて短い。

フロックの沈降時間は白墨汁のほうが長いことから、見かけのフロック比重は白墨汁のほうが小さいと思われる。フロックの見かけ比重は1に近く、フロックの沈降中はクリアサイト内に流れを生じないようにすることが必要である。しかし実用化するにあたって、沈降中ロボットを動かさないようにするのは難しいし、漏れ部を通して入ってくることも考えると、生成したフロックを引きつけるものがあれば望みが出てくる。

表-5.1.5 水中照度の変化

懸濁物の種類	水中照度の変化						
	初期 lx	立ち上がり		変化幅 %	変化率 lx/分	最終	
		時間(分)	Lux			時間(分)	Lux
カオリン	154	3→4	405→2,040	76.9	1,635	10	2,280
白墨汁	370	5→6	384→1,340	64.6	956	15	1,850

表-5.1.6 濁度の変化

懸濁物の種類	濁度の変化						
	初期 ppm	立ち下がり		変化幅 %	変化率 ppm/分	最終	
		時間(分)	ppm			時間(分)	ppm
カオリン	1,030	2→3	1,040→24	99.5	1,016	10	9
白墨汁	1,000	2→5	977→93	94.8	295	15	68

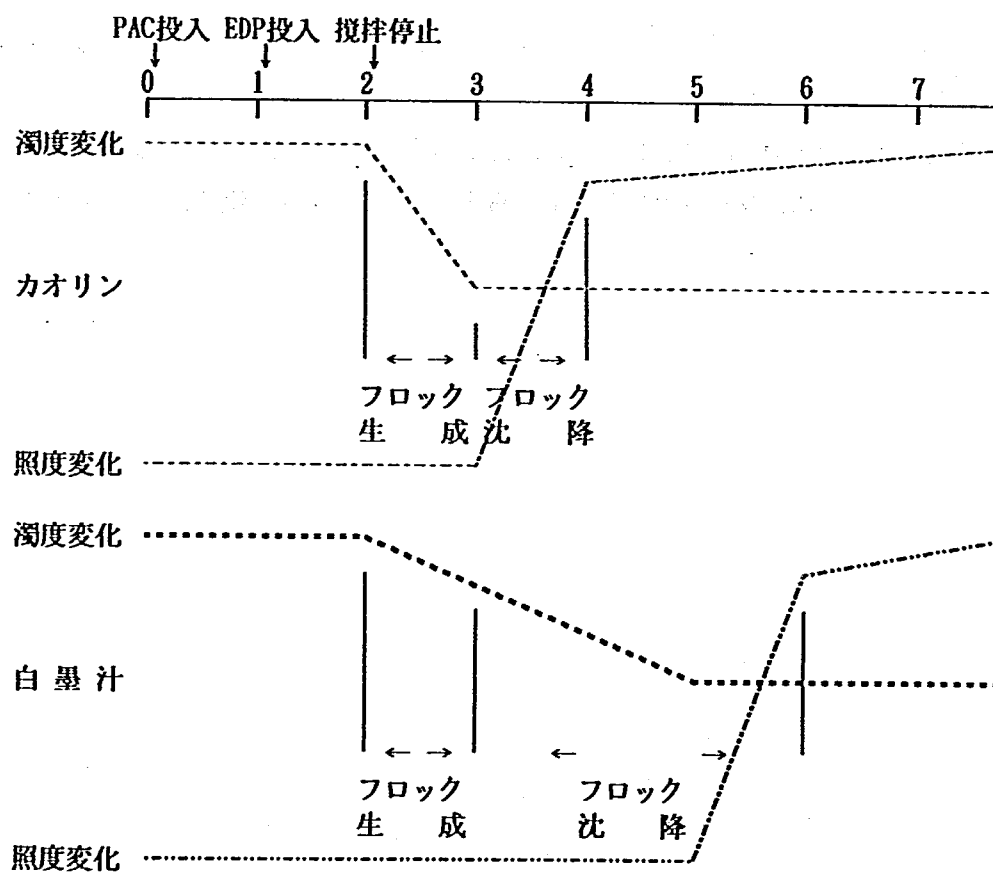


図-5.1.9 水中照度と濁度の変化模式図

3) 濁度－水中照度試験

横軸は濁度そのままの数値の対数、縦軸は水中照度を0 ppmの時の水中照度で除して無次元化した値を対数にしたものを図-5.1.10に示すが、50ppm以上の濁度ではほぼ直線である。当初予想したほど、カオリンと白墨汁とで特徴的な傾向が得られたとはいえないが、50～250ppmではかなり大きな差がみられ、同じ濁度では白墨汁のほうがカオリンよりも水中照度が40%ほど大きい。これは後述する濁度と透視度との関係に関連するものと思われる。

4) 濁度－透視度試験

図-5.1.11は横軸は濁度の対数、縦軸は透視度の対数であるが、濁度と透視度の関係はカオリン、白墨汁で特徴的な関連を示している。カオリン、白墨汁とも濁度と透視度は対数においてほぼ比例関係にあり、その回帰式は濁度を T (ppm)、透視度を M (cm) として、

$$\text{カオリン: } \log_{10} M = -0.7756 \times \log_{10} T + 2.4647 \quad \cdots \text{式-5.1.4}$$

$$\text{白墨汁: } \log_{10} M = -0.9630 \times \log_{10} T + 3.4378 \quad \cdots \text{式-5.1.5}$$

が得られる。ここで、 M と T の相関係数はカオリンの場合で-0.9951、白墨汁で-0.9980と非常に高い値である。

この式や図から同じ濁度の場合、2.5～4.5倍白墨汁のほうがカオリンより透視度が高い。すなわち遠くが見えやすいということである。これは低照度試験結果とも対応している。したがって、ロボットを使っている視認の際は、ある地点での濁度だけでは視認性の善し悪しが確認できず、旧来の透視度計との併用が必要であることが確認された。

この図-5.1.11に凝集後の上澄み液の結果を書き込んでみると、白墨汁、カオリンのそれぞれの結果を示す線上に乗り、上澄み液にはフロックは残っておらず凝集しなかった懸濁物のみと考えられる。

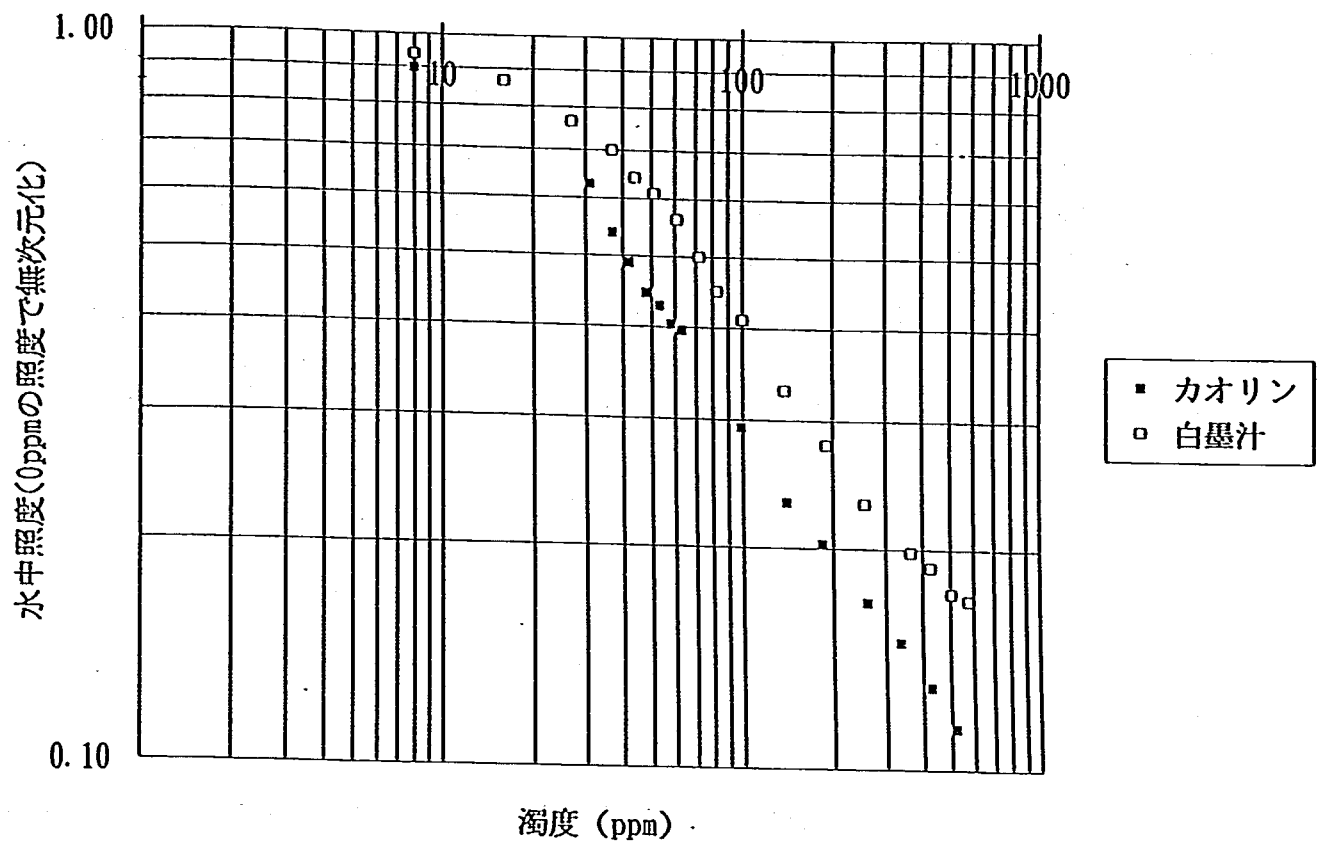


図-5.1.10 濁度と水中照度

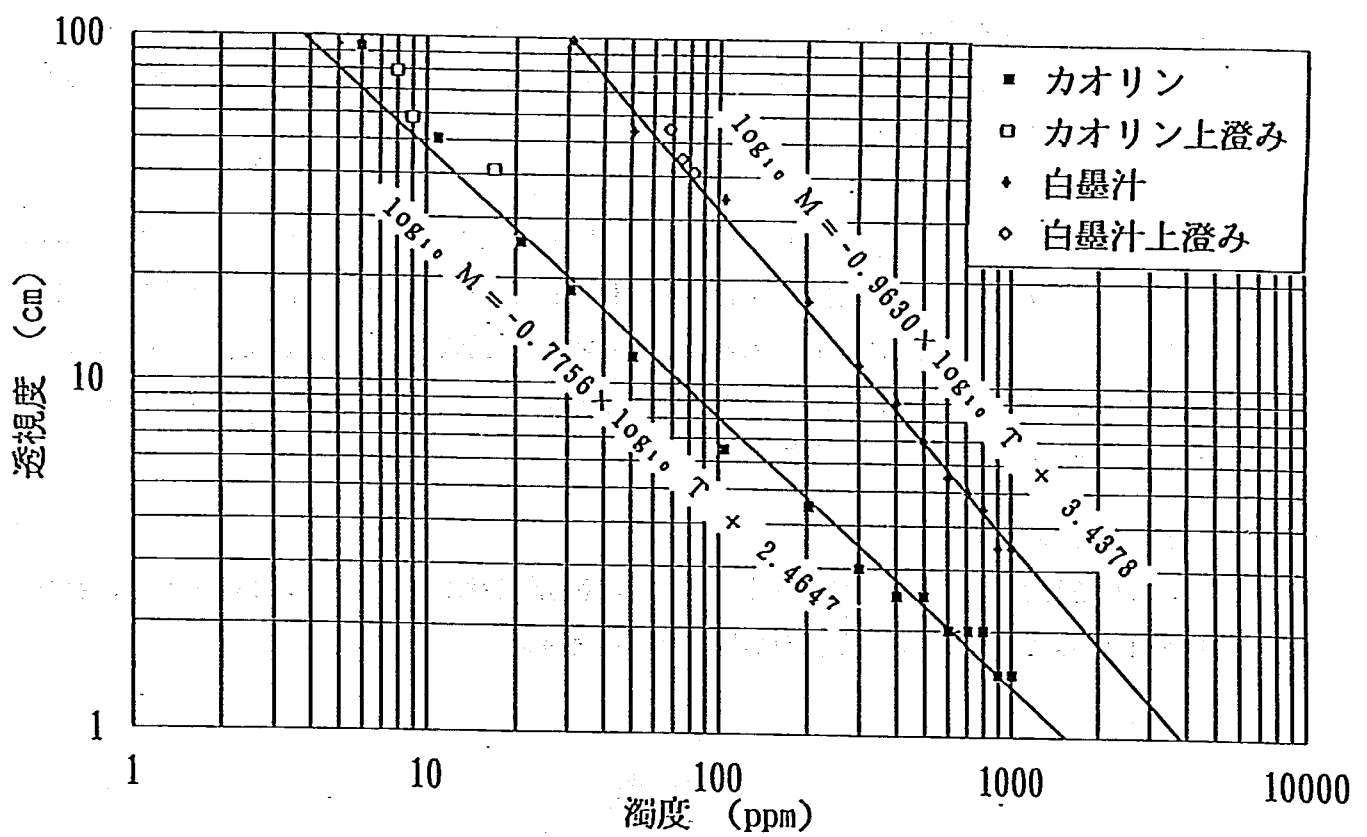


図-5.1.11 濁度-透視度の関係

5.2 水中切断技術の開発（水中切断実験）

5.2.1 実験目的

本研究においては、水中切断ロボットに搭載するアブレッシブジェットシステム（略称：A J）及び火焰ジェットカッターシステム（略称：J C）の、水中切断性能及び最適仕様条件を把握し、システムとしての設計項目を明確化することを目的とする。

本実験は、建設省土木研究所内の海底作業実験場の水槽において、A J、J Cの切断機を用いて2種類の供試体（ダムスクリーンモデルとコンクリート裏込めモデル）を水中切断し、その性能を確認するものである。また、併せてA JとJ Cの切断性能を把握した上で、その得失、使い分けについて検討を行った。

5.2.2 実験方法

5.2.2.1 実験装置

本試験に用いた試験装置は切断装置、切断機移動装置、反力測定装置である。

(1) 切断機

1) J C（火焰ジェットカッター）

切断装置は、切断機と切断機制御装置から構成される。切断機は灯油と酸素を混合・燃焼させ、高温高圧の超音速火焰ジェットを作りだし、コンクリート構造物等を溶断する装置である。また、制御装置は切断機の燃料である酸素、灯油及び燃焼筒冷却のための冷却水を切断機へ供給するとともに、各システムの流量及び圧力を制御する装置である。

制御装置の内部系統には安全対策として、逆流防止用逆止弁、緊急停止装置等が組み込まれている。表-5.2.1 に切断機の基本仕様を示す。

2) A J（アブレッシブジェット）

切断機は大別して、エンジン+ポンプの水圧発生装置と研磨材供給装置とからなり、ポンプから吐出された圧力水は、圧力タンク内の研磨材を上部より加圧すると同時にタンク下部にて研磨材をプレミックスされた水が高圧ホース1本より噴出される。圧力タンクは2基装備し、自動切換えによりこの混合水を連続供給する。システムの制御はエンジンより駆動されるミニコンプレッサーの圧縮空気を使用して行われる。表-5.2.2に基本仕様を示す。

5.2.2.2 切断機移動装置

切断機の移動を行う装置であり、前後・上下・横行の諸動作を行え、横行については一定範囲内の速度の調整を行える。表-5.2.3に切断機移動装置の仕様を示す。

表-5.2.1 火焰ジェットカッターの基本仕様

名 称	仕 様
酸素調整範囲	圧 力 15.0 ~ 50.0 kgf/cm ²
	流 量 0.4 ~ 4.0 Nm ³ /min
灯油調整範囲	圧 力 0.4 ~ 40.0 kgf/cm ²
	流 量 0.2 ~ 2.0 ℓ/min
冷却水調整範囲	圧 力 0 ~ 10.0 kgf/cm ²
	流 量 14.0 ~ 140.0 ℓ/min
灯油ポンプ	圧力調整範囲 7.0 ~ 50.0 kgf/cm ²
	流 量 10.0 ~ 4.5 ℓ/min
	モ ー タ A C 1.5 kW(4P)
冷却水ポンプ	流 量 130 ℓ/min(4.65kgf/cm ²)
	モ ー タ A C 2.2 kW(4P)
材 質	燃 焼 筒
	ヘッドキャップ
	C u
外 径	本 体
	S U S 3 0 4
全 長	外 径
	φ 5 2 mm
	Type-1 600 mm
重 量	Type-2 1,000 mm
	Type-1 12 kg
電 源	Type-2 15 kg
	電 源 A C 200 V 、 50/60 Hz
安 全 装 置	・灯油回路逆止弁 ・酸素回路逆止弁 ・冷却水回路フロースイッチ (灯油回路電磁弁と連動) ・灯油回路電磁弁 ・緊急停止装置

表-5.2.2 アブレッシブジェットの基本仕様

分 類	仕 様
エ ン ジ ン	型 式 : 4 サイクル・6 気筒・ターボチャージャー付 出 力 : 112ps×1800rpm (連続)
ポ ン プ	型 式 : 横形 3 連プランジャー方式 圧 力 : 390 kg/cm ² (max) 流 量 : 135 ℓ/min (max)
研 磨 材 供 給 装 置	運転圧力 : 350 kg/cm ² 以下 研磨材タンク : 37ℓ×2 基 ホッパー : 150 kg 制御方法 : エアーシーケンスコントロール
重 量	約 4 ton
エアーブロー	エンジンコンプレッサー 出力 : 100 ps

表-5.2.3 切断機移動装置仕様表

名 称	切 断 機 移 動 装 置		
座 標 形 式	直行座標 + 間接座標		
自 由 度	5		
	動作範囲	動作速度	駆動方法
Z 旋 回	190°	——	手 動
Y 旋 回	360°	——	手 動
前 後	±50 mm	——	手 動
上 下	3,500 mm	——	手 動
横 行	2,000 mm	0~300 mm/min	0.2kw AC モータ
電 源	A C 200V、50/60 Hz		
重 量	1,500kg		

5.2.2.3 反力測定装置

切断時のノズル反力を測定するもので、X方向1箇所、Y方向2箇所にロードセルが取り付けられている。表-5.2.4に反力測定装置の仕様を、また、図-5.2.1に反力測定装置フロー図を示す。

表-5.2.4 反力測定装置仕様表

名 称	型式、メーカー	台数	仕 様
ロードセル	(株)東京測器 CLP-200KA	3	容 量 : 200 kgf 定 格 出 力 : 1.5mV±0.5% 非 直 線 性 : 0.2%RO 許容温度範囲 : -10℃~+60℃
デジタル歪測定器	(株)東京測器 TDS-100	1	測定点数 : 10 測定範囲 : ± 19,999×10 ⁻⁶ 歪~ ±199,999×10 ⁻⁶ 歪 (オートレンジング) 切換速度 : 0.25秒 初期不平衡記憶範囲 : 10,000×10 ⁻⁶ 歪 電 源 : AC100V、50/60Hz

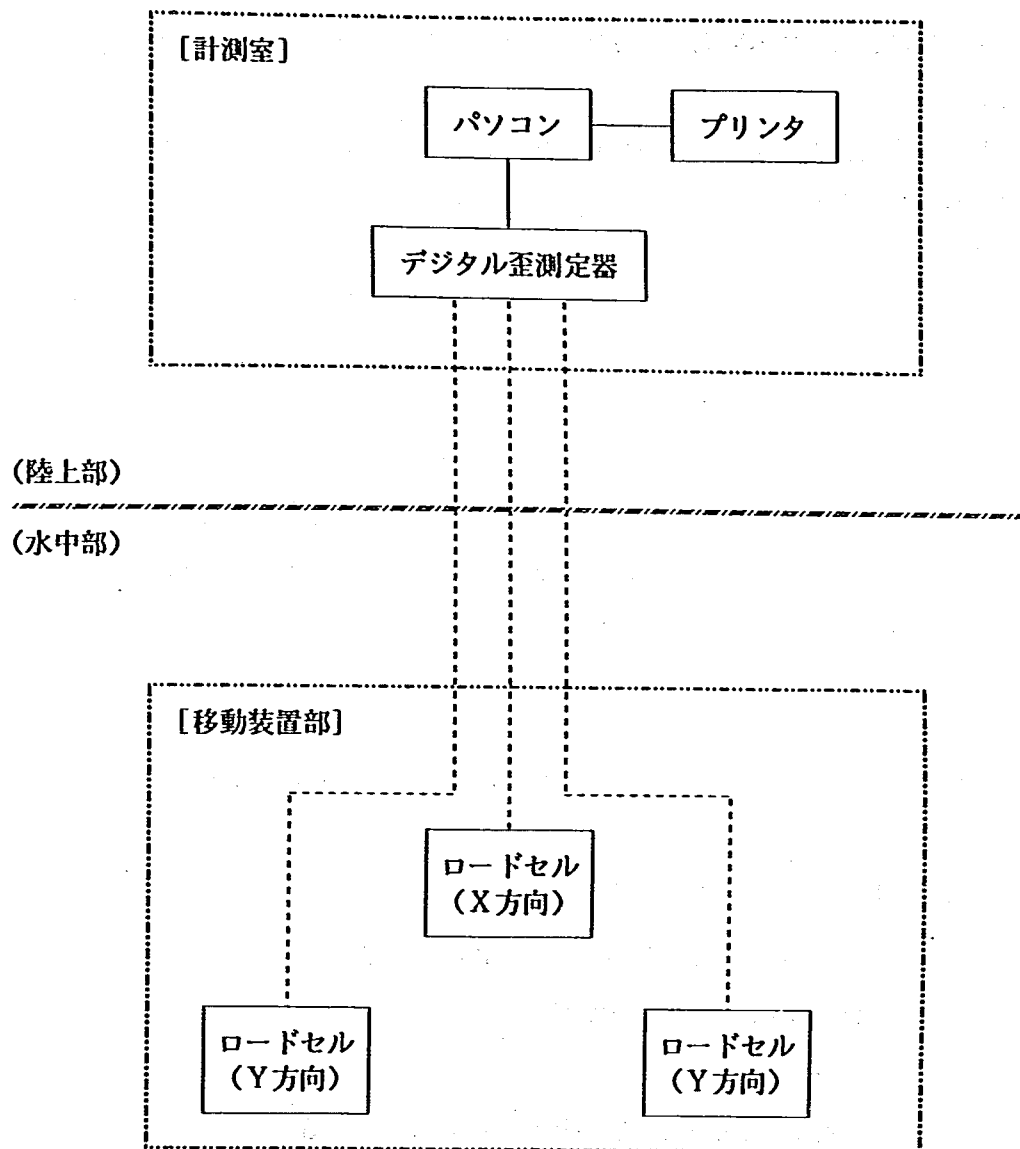


図-5.2.1 反力測定装置フロー図

5.2.2.4 試験方法

(1) J C (火焰ジェットカッター)

1) 切断方法

全ケースとも試験体の隅角部より切断を開始し、下記の方法により切断を行う。

① 切断機の移動パターン

切断機の移動パターンは切断機に点火、ジェット化後、下記のとおりである。

①水中へ下降 → ②所定位置で停止 → ③供給量設定 →

④水平移動 → ⑤停止 その後消火

② 点火位置

点火時の切断機の位置は、試験体の隅角部より切断機外面との距離が50mmの位置で水面上とする。

③ 切断機の移動開始

切断機の移動開始は、点火後火焰をジェット化し、酸素と灯油の流量が所定の量（酸素：2.0 N・m³/min、灯油：0.8ℓ/min）に達したことを確認後、移動を開始する。

④ 切断機の移動停止

切断機の移動停止は、切断機の中心軸が所定の切断長さに達したときに、移動を停止させる。

⑤ 消火

消火は切断機の移動を停止した後に行う。

2) 反力測定方法

切断時のノズル反力を測定するために、全切断ケースにおいてX・Y方向の反力の測定を行う。反力の測定はX方向1箇所、Y方向2箇所（左右）にセットしたロードセルにより歪を測定し、デジタル歪測定器により変換しパソコンによりデータ処理を行う。

(2) A J（アブレッシブジェット）

1) 切断方法

ほとんどのケースは試験体の隅角部より切断を開始し、次の方法により切断を行った。

① 切断機の移動パターン

切断ノズルを所定の位置にセットし、下記の要領で行う。

①水ジェット噴出 → ②エアブロー開始 → ③研磨材吐出 →
④水平移動 → ⑤研磨材吐出停止 → ⑥水ジェット停止

② 研磨材吐出位置

研磨材吐出時のノズルの位置は、隅角部より20～30mm程度の水中とする。

③ 切断機の移動開始

切断機の移動開始は研磨材吐出後、研磨材がノズルまで達する時間を計測の上行う。また、エアブローは、遅くとも移動開始の前に安定した状態になるように行う。

④ 切断機の移動停止

切断機の移動停止は切断機（ノズル）が所定の長さに達した時に、移動を停止させ、すみやかに研磨材吐出を停止する。

⑤ 水ジェットの停止

研磨材吐出の停止時から、ホース内に滞留する研磨材を完全にノズルから放出する時間を計測の上、停止させる。その後、すみやかにコンプレッサーを停止させ、切断のパターンを終了する。

2) 反力測定方法

切断時の反力を把握するために、全切断ケースにおいてX・Y（左右）方向の反力測定を行った。

5.2.2.5 測定項目

(1) 切断性能機能

表-5.2.5にJ Cの、表-5.2.6にA Jの測定項目を示す。

表-5.2.5 J C測定項目一覧表

測定項目		単位	備考
酸 素	供給圧力	kgf/cm ²	
	供給量	Nm ³ /min	
灯 油	供給圧力	kgf/cm ²	
	供給量	ℓ/min	
冷却水	供給圧力	kgf/cm ²	
	供給量	ℓ/min	
冷却水温度	往路水温度	℃	
	復路水温度	℃	
スタンドオフ		mm	切断前、切断後
切断時間		分、秒	
切断機移動距離		mm	水平距離
切断速度		mm/min	
切断深さ		mm	
切断幅		mm	表幅、奥幅
切断長さ		mm	
切断角度		°	切断前、切断後

表-5.2.6 A J測定項目一覧表

測定項目		単位	備考
水道水	ポンプ水圧	kg・f/cm ²	
	水流量		
研磨材	吐出量		
エアブロー	コップレッサ圧力	kg・f/cm ²	
スタンドオフ		mm	切断前、切断後
切断時間		分・秒	
切断機移動距離		mm	水平距離
切断速度		mm/min	
切断深さ		mm	
切断幅		mm	表幅、奥幅
切断角度		°	切断前、切断後

(2) 反力測定試験

表-5.2.7に測定項目を示す。

表-5.2.7 測定項目一覧表

計測項目	単位	備考
ノズル反力(X方向)	kg・f	
ノズル反力(Y方向R)	kg・f	
ノズル反力(Y方向L)	kg・f	

5.2.3 実験結果

5.2.3.1 切断性能試験

(1) 火焰ジェットカッター

1) ダムスクリーンモデル

① 切断深さ

a) 本試験においては以下の条件によりダムスクリーンモデルのFB(フラットバー)完全切断を行った。

・切断角度： $\theta = 20^\circ$

・切断方向：後 退

・切断速度： $V = 72.88 \text{ mm/min}$

b) FBの切断を行う際は、FBに対してのジェット噴流のラップ状態が切断性能を決める要因として大きく影響する。これは、FBを切断するにあたり、ジェット噴流が2枚のFBにラップする場合は2枚目のFBを切断することが非常に困難となり、切断性能が極端に低下するためである。切断性能を向上させるためにはFBにラップしない切断角度を選択する必要がある。

c) 切断角度 $\theta = 0^\circ$ の場合はジェット噴流が分割されてしまい、エネルギーを1箇所集中できないことから切断性能は低下する。よって、いかにFBと切断角度を大きくとるかが切断性能を向上させる要因となるが、切断角度が大きいほどスタンドオフは長くなり、切断性能は低下する。この2つの低下要因を最も低く押さえる最適切断角度について検討していく必要がある。

d) 切断速度をみた場合、 $V = 72.88 \text{ mm/min}$ (切断角度 $\theta = 20^\circ$)においてFBを完全切断できたことからFBの奥行き幅100mmの切断を行うためには切断角度 $\theta = 20^\circ$ において $V = 70 \text{ mm/min}$ 程度が最適切断速度と考えられる。

なお、今後はスタンドオフの変化に対応させた切断速度の可変を行い、切断性能を向上させることを検討する必要がある。

e) 水中であることから、ジェット噴流の水中通過時に生じるエネルギー損失が切断性能に対して多大に影響する。今後はエアブロー方式の併用等を検討し、エネルギー損失を最小限に押さえる必要がある。

② 切断効率

a) ダムスクリーンモデルの切断においては、切断速度が速いほど切断効率がアップするという試験結果を得られた。これは、切断速度が遅い場合のFB切断に費やされるエネルギーの増加よりも水区間(FBとFBの間)でのエネルギー損失(水中部において吸収されるエネルギー)が大きいと推察された。

b) 切断角度の比較を行った場合、切断角度のついているほう(切断角度 $\theta = 20^\circ$ 、 30°)が切断角度 $\theta = 0^\circ$ に比べ、切断効率はアップする。これは切断角度 $\theta = 0^\circ$ の場合はジェット噴流が分割されてしまい、エネルギーを1箇所に集中できないことから切断性能がダウンすること及び水区間(FBとFBの間)で無駄にジェットを噴かし続けていることによるエネルギー損失と推察された。

c) 切断角度 $\theta = 20^\circ$ 、 30° の比較を行った場合、同切断速度においては切断角度 $\theta = 20^\circ$ が最も切断効率

がよい。これは切断角度 $\theta = 30^\circ$ の場合はジェット噴流がF B 2枚にラップしてしまい、2枚目のF Bの切断が非常に困難となり切断性能が低下して、結果的に切断効率がダウンしているためである。

- d) 切断速度が速いほど切断効率はアップするが、切断速度 $V = 100\text{mm/min}$ 時はF Bを完全切断することはできなかった。切断速度 $V = 72.88\text{mm/min}$ (切断角度 $\theta = 20^\circ$) 時においてF Bを完全切断しており、その際の切断効率が $7.101\text{mm}^2/\text{min}$ であることから、本試験条件下での完全切断のための切断効率は、 $7.500\text{mm}^2/\text{min}$ 程度が限界と考えられる。
- e) 今後、切断効率を向上させるためには、スタンドオフの変化に対応させた切断速度の可変エアークロ方式の併用等を検討する必要がある。また、今後は切断性能向上のための最適切断角度の把握も切断効率の向上のために必要となると考えられる。

③ 切断幅

- a) 切断幅（表幅）については、ジェット噴流がある程度の距離まで中心に集積されていることから、切断速度、切断角度に影響されることなく 10mm 前後を維持している。
- b) 切断幅（奥幅）についてもジェット噴流が中心に集積している部分で切断を行っている場合は $5 \sim 6\text{mm}$ の間を維持する。ただし、ジェット噴流が中心に集積している部分を越えて切断を行った場合は、ジェット噴流が拡散するため 10mm 程度まで広がるという結果を得られた。

2) コンクリート裏込めモデル

① 切断深さ

- a) 切断速度 $V = 100, 200\text{mm/min}$ においては、切断角度・切断方向に関わらずP L厚板部分の切断が可能であった。
- b) 試験条件における最高切断速度である $V = 300\text{mm/min}$ においてもP L薄板部の切断が可能であった。
- c) 切断速度が遅いほど切断深さは深くなる。これは単位長さあたりの切断エネルギーが増加するためと推察された。
- d) 切断速度が速いほど切断速度に対する低下率は小さくなる。これは切断速度が速いほど切断幅（奥幅）が狭くなり、ドロスが詰まりやすく削孔現象が起こりやすくなる。そのため、単位長さあたりの切断エネルギーの差より削孔現象の影響が大きく働き、切断深さが増加し低下率が小さくなると推察された。
- e) 切断深さは切断時に発生する以下の3現象に大きく影響される。

【削孔現象】

切断方向に関係なく起こる現象であり、試験体側面へのドロスの付着及び切断溝内でのドロスの凝固等により側面からのドロスの排出が困難になった場合、ジェット噴流がUターンすることによって削孔状態となり、その部分がえぐられ、切断深さが増加する現象である。

【予熱現象】

切断角度 $\theta = 30^\circ$ （前進）の場合に起こる現象であり、ノズルが切断機移動方向側を向いているため、切断機移動方向側の試験体内部にあらかじめ熱を加えている状態となり、切断条件が向上し、切断深さが増加する現象である。

【削り現象】

切断時にジェット噴流が長時間横方向に流れることにより切断溝奥部を削り取っていき、切断深さが増加する現象である。

上記の現象を各切断条件時について考察すると以下の状態となることが考えられる。

〔 $V = 100, 200\text{mm/min}$ 〕

切断角度 $\theta = 30^\circ$ （前進）の場合は予熱現象により切断深さが増加し、切断角度 $\theta = 0^\circ$ の場合はスタンドオフが短いことにより切断深さが増加する。この2つの現象による効果がほぼ同じであり、そのため切断深さに変化がないと推察された。

切断角度 $\theta = 30^\circ$ （後退）の場合は予熱現象は発生せず、また、スタンドオフも長いため、切断深さは切断角度 $\theta = 0^\circ$ 、 30° （前進）に比べ浅くなる。

〔 $V = 300\text{mm/min}$ 〕

切断角度 $\theta = 30^\circ$ （前進）の場合は切断速度が速いため予熱現象の影響はほとんどなく、削り現象の影響もほとんどない。また、スタンドオフも長いため切断深さは切断角度 $\theta = 0^\circ$ に比べ浅くなる。

削孔現象については切断角度 $\theta = 0^\circ$ 、 30° （前進）両ケースでほぼ均等に影響しているものと推察された。

切断角度 $\theta = 0^\circ$ の場合はスタンドオフが短いことにより切断深さは増加するが、切断速度が速いことから削り現象の影響が少なく、伸びが少ない。

切断角度 $\theta = 30^\circ$ （後退）の場合はスタンドオフが長い分、切断深さが浅くなると予想された。しかし、本試験において切断角度 $\theta = 0^\circ$ と同じということは何らかの他の原因があり、要因としては以下の2項目が考えられた。

- ・ 切断速度が速いことから切断角度 $\theta = 30^\circ$ （前進）、 0° の場合は削孔現象が発生し、切断深さが伸びていると予想されるが、それ以上に切断角度 $\theta = 30^\circ$ （後退）での削り現象の効果が大きく影響した。
- ・ 何らかの影響で削孔現象が発生し、それが特に大きく影響し切断深さが増加した。

しかし、本試験では試験数が少ないことより上記要因を確認するのは困難であった。

- f) PL部のみの切断を考えた場合、PL厚板部分の切断を行うためには切断速度 $V=200\text{mm/min}$ で切断可能である。ただし、PL薄板部分の切断は切断速度 $V=300\text{mm/min}$ においても切断可能であるため、PL厚板部分のみ切断速度を遅くし、切断性能を向上させる方法も今後検討していく必要がある。

② 切断効率

- a) 切断速度が遅い場合 ($V=100\text{mm/min}$) は、試験体奥部の切断を行うためにスタンドオフが長くなることから、単位深さの切断を行うためのエネルギー消費量が増加し、切断効率がダウンする。
- b) 切断速度が速い場合 ($V=300\text{mm/min}$) は試験体奥部の切断を行うためのエネルギーが試験体側面及び表面より排出されてしまう。つまりジェット噴流の試験体奥部への影響度が少なく、また、削り現象の効果も少ないことから切断効率はダウンする。
- c) 切断速度 $V=200\text{mm/min}$ の場合は上記2項目の短所をうまくカバーしており、本試験においては切断効率が最も良好であった。
- d) 各切断条件での切断状態をまとめると以下ようになる。

[$V=100, 200\text{mm/min}$]

切断角度 $\theta=30^\circ$ (前進) の場合は予熱現象により切断深さが増加し切断効率がアップする。また、切断角度 $\theta=0^\circ$ の場合はスタンドオフが短いことにより切断深さが増加し、切断効率がアップする。この2つの現象による効果がほぼ同じであり、そのため切断角度 $\theta=30^\circ$ (前進)、 0° においては切断効率に変化がないと推察された。

しかし、切断角度 $\theta=30^\circ$ (後退) の場合は予熱現象は発生せず、また、スタンドオフも長いため、切断効率は切断角度 $\theta=0^\circ, 30^\circ$ (前進) に比べ悪くなっている。

[$V=300\text{mm/min}$]

切断角度 $\theta=30^\circ$ (前進) の場合は切断速度が速いため予熱現象の影響はほとんどなく、削り現象の影響もほとんどない。また、スタンドオフも長いため切断効率は切断角度 $\theta=0^\circ$ に比べ悪くなっている。なお、削孔現象については切断角度 $\theta=0^\circ, 30^\circ$ (前進) 両ケースでほぼ均等に影響しているものと推察された。

切断角度 $\theta=0^\circ$ の場合はスタンドオフが短いことにより切断深さが増加し、切断効率はアップするが、切断速度が速いことから削り現象の影響が少なく、伸びが少ない。

切断角度 $\theta=30^\circ$ (後退) の場合はスタンドオフが長い分、切断深さが浅くなり、切断効率が悪くなると予想された。しかし、本試験において切断角度 $\theta=0^\circ$ とほぼ同じということは何らかの他の要因があり、要因としては以下の2項目が考えられた。

- ・切断速度が速いことから切断角度 $\theta=30^\circ$ (前進)、 0° 時は削孔現象が発生し、切断深さが伸び、切断効率がアップしていると予想されるが、それ以上に切断角度 $\theta=30^\circ$ (後退) での削り現象の効果が大きく影響し切断効率がアップした。
- ・何らかの影響で削孔現象が発生し、それが特に大きく影響し、切断深さが増加し切断効率がアッ

ブした。

しかし、本試験では試験数が少ないことより上記要因を確認するのは困難であった。

③ 切断幅

- a) 切断幅は切断角度・切断方向・切断速度に関わらず、ほとんどが10～15mmの間で維持していた。
- b) 切断幅を拡大する要因として削孔現象が大きく影響しており、削孔現象が発生した場合はジェット噴流の試験体表面への噴き出しにより、その部分での切断幅が極端に広がる。
- c) 切断幅を決める要因として削孔現象及びジェット噴流が影響していることは確かと思われるが、今回の試験ケースのみではその発生メカニズムを把握するのは困難であった。

(2) アブレッシブジェット

1) ダムスクリーンモデル

① 切断深さ

- a) 本試験において次の条件においてダムスクリーンモデルのFB完全切断を行えた。

	ケース1	ケース2
・切断角度	$\theta = 30^\circ$	$\theta = 20^\circ$
・切断方向	後退	後退
・切断速度	$V = 25.5 \text{ mm/min}$	$V = 25.4 \text{ mm/min}$ 以下

- b) ただし、ケース1については、切断形状から考えると $V = 30 \text{ mm/min}$ 程度までアップ可能と推定される。これは、 $V = 32.7 \text{ mm/min}$ 、 $V = 34.2 \text{ mm/min}$ の場合においても完全切断された部分があったことに基いている。また、ケース2については、 $V = 25.4 \text{ mm/min}$ において完全切断されていない部分もあったことから、 $V = 25.4 \text{ mm/min}$ 程度以下であれば完全切断可能であると推察される。

② 切断角度

- a) ダムスクリーンモデルのようなFBの切断については、切断角度 $\theta = 0^\circ$ の場合、ジェット噴流方向に対して最も切断肉厚が厚くなり、またFBの幅間ではジェット噴流が切断遅れのため、移動方向へ分割されてしまい、移動速度を極端に遅くしない限り切断は不可能となる。
- b) これを $\theta = 20^\circ$ 、 30° のように角度をもたせるとジェット噴流方向に対して切断肉厚は薄くなり、切断が容易になる。適性角度については、常にジェット噴流がFBの一部に当たるような角度設定が望ましいが、奥行きが深い被切断物の場合、角度をもたせることによって逆にスタンドオフ距離が遠くなり、不利な条件設定ともなり得る。これより、今後の検討余地はあるがFBを前後にラップさせて、常にジェット噴流方向に被切断物の切断肉厚が等しい角度が理想的だと考えられる。したがって、今回の供試体の場合 $\theta = 31^\circ 47'$ と思われる。

③ 切断速度（ノズル移動速度）

切断角度によって各々の適性移動速度が存在するはずであるが、本試験においては①に述べたとおりである。

④ 切断効率

a) 単位時間あたりの切断面積を考えると、確かにノズル移動速度を速くするほど値は大きくなり、効率はよくなる傾向にはあるが、本試験の供試体ダムスクリーンモデルのような場合には、 $\theta = 30^\circ$ 、 $V = 30 \text{ mm/min}$ を想定した 30 mm/min が効率の限界だと推測される。

b) これをさらにアップさせるには、エアブローノズル形状の検討に加えてエアブロー圧力のアップを図る必要がある。

⑤ 切断方向

本試験においては、後退のみしか試験は行っていないが、前進を考えた場合、最も遠い方から切断してゆくことになり、この場合だと切断方向にジェット噴流が向かず不利になると推定される。

これに対して、後退の場合はまずノズルに近い方から切断を開始し、余力のあるジェット噴流がノズル移動方向に流れて若干であるが切断が進行し、スタンドオフ距離が遠くなる部分でも切断しやすくなる後退方向のほうが有利と考えられる。

⑥ 切断幅

切断幅は、ノズルスタンドオフ距離によるジェット噴流の広がりによって決定されるが、広がった噴流をどの程度の時間、被切断物に当て続けるか、つまりノズル移動速度（切断速度）によって裏幅は決定される。

表幅については、速度にほとんど関係なくスタンドオフ距離によって、左右される。無駄の少ない切断のためには、できるだけスタンドオフ距離を短くして切断幅を狭くして行うことが望ましい。

(※切断効率を体積基準で考えた場合、切削が可能であれば切断体積は小さいほどよい。)

2) コンクリート裏込めモデル

① 切断深さ

a) 本試験においては、切断速度 $V = 75 \text{ mm/min}$ 、 $\theta = 0^\circ$ の条件において鋼板厚肉部の完全切断は行えなかった。しかしながら、厚肉部においては 1 mm 程度の切断部残り代から判断すると、 $V = 50 \text{ mm/min}$ においては十分に完全切断が行えると考えられるが、試験においては残念ながら切断は不完全であった。

b) 本点については、アブレッシブジェット装置の支障からくるものと考えられる。例えば、アブレッシブ（研磨材）の供給量が不安定になり、必要量吐出されずこれがたまたま厚肉部の切断時に発生したことも考えられる。したがって、装置が機能を十分発揮すれば $50 \text{ mm/min} \sim 75 \text{ mm/min}$ の間で完全切断は可能だと考える。

c) コンクリート部分の切断深さについては、本来の切断目標ではなく、二次的な切断となるために特に深く切断する必要はないと思われる。表部の鋼板を切断するために、結果として切断されたという解釈でよいと考える。

② 切断角度

同じ切断速度で比較した場合、 $\theta = 30^\circ$ （後退）の方が鋼板厚肉部の切断深さは若干深くなっていることから、角度の大小は別途検討する必要はあるが切断角度はつけたほうが有利と考えられる。

③ 切断効率

切断効率については、どの部分に基準をおくかで異なってくるが、全体の場合と鋼板のみでは違う。したがって、本来の切断目標である鋼板に基づいた場合、速度を速くする程効率はよくなるが、目標切断肉厚48mmを考えると切断効率は36cm²/minが限度だと考えられる。これをさらにアップさせるには、エアブローノズルの改良、エアブロー圧力のアップ等を図る必要がある。

④ 切断方向

切断角度 $\theta = 30^\circ$ 、 0° を切断効率の点で比較すると、 $\theta = 30^\circ$ （前進）、 $\theta = 0^\circ$ 、 $\theta = 30^\circ$ （後退）の順で高くなってゆくことから後退方向での切断方向が望ましい。

⑤ 切断幅

前項のダムスクリーンモデルでも述べたようにスタンドオフ距離によって広がったジェット噴流の径によって決められるが、できるだけ無駄の少ない切断のためには、スタンドオフ距離を短くして切断幅を狭くして行うことが望ましい。

5.2.3.2 切断反力試験

(1) 火焰ジェットカッター

1) ダムスクリーンモデル

- ① 測定装置においてJ Cセット時の方法を煮詰めていなかったため、ロードセル初期値のズレ等の問題が発生し、反力値に対し誤差を生じる問題を残してしまった。
- ② ROV設計にあたり、X方向反力値については上記問題はあるが、最大値が32.77kgfであることから最大50kgfで設計を行えばよいと思われる。
- ③ Y方向反力についても上記問題はあるが、切断反力はほとんど発生していないという結果を得られた。しかし、ドロスの付着、ホースの引っかかり等を考慮した場合、 $\pm 100\text{kgf}$ 程度をROV設計反力値とする必要がある。

2) コンクリート裏込めモデル

- ① 測定装置においてJ Cセット時の方法を煮詰めていなかったため、ロードセル初期値のズレ等の問題が発生し、反力値に対し誤差を生じる問題を残してしまった。
- ② ROV設計にあたり、X方向反力値については上記問題はあるが、最大値が55.69kgfであることから最大100kgfで設計を行えばよいと思われる。
- ③ Y方向反力についても上記問題はあるが、切断反力はほとんど発生していないという結果を得られた。しかし、ドロスの付着、ホースの引っかかり等を考慮した場合、 $\pm 100\text{kgf}$ 程度をROV設計反力値とする必要がある。

(2) アブレッシブジェット

1) ジェット噴流軸方向反力（X方向反力）

- ① ロードセル初期値のズレ、その他の測定方法に問題はあったと思われるが、計算値で得られる反力と比較して、平均値で考えると大きくかけ離れた数値でもないように思われる。この点に関しては、

設計値が必要になった場合他の文献値でみられるノズル形状からくる係数のとり方を今後検討する必要があると思われる。

- ② 切断中にみられる反力の最大値については、どのように解釈するかは困難であるが、初期のジェット噴流に加わるアブレッシブ（研磨材）からのショックか、あるいは途中に発生しているであろう研磨材供給量の変動、または吐出圧力の変動等々考えられるが今後の検討課題ともなろう。
- ③ 全体的にデータより推測されることは、切断することによって、反力が増加することは考えられない。あくまでもジェット噴射の反作用からくる反力が主であると考えられる。

2) ジェット噴流軸直角方向反力（Y方向）

① ノズル移動方向（切断方向）

- a) 切断時において、切断進行については、切断のための反力は発生しないはずであるが、本試験においては、ダムスクリーンモデル、コンクリート裏込めモデル両方の場合においても一部発生している。これは、ホースの引き廻しやロードセルの設定等によって生じた誤差だと推定される。
- b) ホースの固定の方法を万全にし、ロードセルに他の外力が加わらないように工夫する必要があったと思われる。

② ノズル移動逆方向（切断逆方向）

- a) 一般的に鉄やコンクリートのような硬い材料を切断する際には、切断機を押しつける力が必要となる。これをアブレッシブジェットに置き換えて切断機構を考えた場合、同じように必要となる。本試験においては、ロードセルの設定、ホースの押・引のため正確な値は取得できなかったが、一部のデータにおいては推測どおりの傾向は認められた。したがって、切断のために発生する切断逆方向の反力は十分存在すると考えられる。
- b) 上記切断逆方向の反力については、切断角度を付け、後退方向で切断を行えば、 $\theta = 0^\circ$ 、または前進方向切断に比べて、若干軽減できることも認められた。

3) ROV設計への反力

以上の結果からROV設計のための反力については次の最大値で考えればよいと思われる。

X方向反力 : $60\text{kg}\cdot\text{f}$ （ジェット噴流軸方向）

Y方向反力 : $30\text{kg}\cdot\text{f}$ （ジェット噴流軸直角方向）

5.2.4 考 察

5.2.4.1 火焰ジェットカッタ

(1) 切断性能試験

1) ダムスクリーンモデル

- ① FBの切断においてはFBに対してジェット噴流が斜めに当たり、常にスタンドオフが変化する切断方法となる。そのため、切断速度が定速度の場合、スタンドオフの短い部分では無駄なエネルギーを消費している可能性がある。今後は、スタンドオフの変化に対応させて切断速度を可変させ、切断性能を向上させるためのデータを取得する必要がある。

② 水中切断であることから、ジェット噴流の水中通過時に生じるエネルギー損失が切断性能に対して多大に影響している。このエネルギーを有効利用するために、エアブロー方式の併用等によりエネルギー損失を最小限に押さえる方法を検討していく必要がある。

③ 切断性能を把握するに際し、本試験ケースのみではその数が少ないため、切断深さ・切断幅等にはばらつきが多くみられた。切断性能の詳細を把握するためには同一条件での試験を数回繰り返して実施し、より確実なデータを取得する必要がある。

2) コンクリート裏込めモデル

① 切断性能を決める要因として「削孔現象」、「予熱現象」、「削り現象」の3現象が多大に影響していると推察されたが、本試験ケースのみではその数が少ないため、その発生メカニズムを詳細に把握するのは困難であった。そのため、今後同一条件の試験を数回繰り返して実施し、より確実なデータを取得し、上記3現象の発生メカニズムを把握する必要がある。

② 水中であることから、水の影響により損失しているエネルギー量は多大であると思われる。そのため、今後切断性能を向上させるためには、既切断部への水の流入を防ぎ、削り現象・削孔現象をより影響させる等の方法を検討する必要がある。

③ PL部のみの切断を考えた場合、PL厚板部分は切断速度 $V = 200\text{mm/min}$ で切断可能であり、PL薄板部分は切断速度 $V = 300\text{mm/min}$ においても切断可能であった。よって、PL厚板部分のみ切断速度を遅くし、切断性能を向上させる方法も今後検討していく必要がある。

(2) 切断反力試験

1) 本試験においては、測定装置においてJCセット時の方法を詰めていなかったため、ロードセル初期値のズレ等の問題が発生し、反力値に対し誤差を生じる問題を残してしまった。今後は測定装置の改良を行い、より実践に即した状況での試験を実施し、データを取得することが重要である。

2) Y方向反力については、ドロスの付着やホースの引っかかり等により $\pm 100\text{kgf}$ 程度の反力が発生している。今後はこの状態を解決する方法を検討し、Y方向反力については最小限に押さえることが切断性能向上のためにも望ましい。

5.2.4.2 アブレッシブジェット

(1) 切断性能

1) ダムスクリーンモデルに対して

① ダムスクリーンのような場合、FBが縦に配置されているため、正面からはとても切断しづらい被切断物である。本試験においてノズル角度をつけて、切断肉厚を薄くし、かつノズル移動中にジェットが水区间のみ噴射する無駄を防ぐことにもなり切断は有効に行えた。しかしながら、最もノズルから遠く離れる切断部分では、約 130mm 程度となり、切断のために無駄なエネルギーを要していると考えられる。この方法で行うにしても近い部分では、さらに切断速度をアップできる要素はあるので、今後の検討課題としたい。

② さらに効率よく切断する方法としては、ノズル形状を改良し、直角方向に噴出するタイプとしてF

B間のすき間にノズルを挿入して一枚ずつ横方向に切断を行う方法も検討する必要があると思われる。

2) コンクリート裏込めモデルに対して

① 本試験においては装置の支障と考えられる問題もあり、鋼板部を完全に切断できなかった。適正切断速度を明確にする上では、数種類の速度で再度確認する必要があると思われる。

② また、材料の形状から鋼板厚肉部、薄肉部とあり、薄肉部は $V = 150\text{mm/min}$ で十分切断できており、厚肉部のみ切断速度を遅くする等の方法も検討する必要があると思われる。

(2) 切断反力

1) 反力のおおまかな傾向はつかめたものの本試験の測定装置において問題を残し、その数値をROV設計へ反映する上で過剰設計とならないようにするためには、別の方法においてもさらに正確な測定を行う必要があると考えられる。

2) ホースの引き廻し等についても固定方法に検討の余地があり、これらを改良した上でさらに正確な測定を行う必要があると考えられる。

(3) アプレッシブジェットシステム

1) 本試験においては装置の支障と考えられる件があり、正確なデータにならなかったテストケースが一部あったため、実用面のことも考え合わせると長時間連続運転に対して異常状態を検知するシステム等を確立する必要があると思える。

2) ジェットノズルについては、今回の試験では条件設定を少なくする上で標準的な $\phi 2.4\text{mm}$ のみを使用した。被切断物の肉厚に基づいて将来ノズル径を変化させて行う必要もあると考えられる。

3) 本試験で問題となった反力試験時のホースの取り扱いをさらに容易にするためには、ホース口径をもっと小径化を図る必要がある。

4) 本試験においては浅い水深で行ったが、これが深くなると性能にも差が生じるはずである。今後は、大水深あるいは圧力下のもとの基本性能の把握も必要となる。

(4) ROVとの連動システム

1) 当面は、単純なノズル移動方式でよいと思うが、これまでの実験によって得られた切断性能をさらに効率よくするためには、被切断物の形状にあわせてノズルをスムーズに動かす必要も出てくる。

2) 切断時の研磨材の飛散によって、ROVに支障のないような装置（カバー）、またはできるだけ周辺に研磨材を飛散させず、可能な限り回収するためには、はね返ってくる研磨材をバキュームポンプを利用して吸い上げ、水上に回収する方法等も将来必要となると思われる。

5.3 水中塗装技術の開発（水中塗料の開発及び水中塗装実験）

5.3.1 実験目的

水中構造物の塗装を行うロボットの開発にあたり、水中構造物への塗装作業の確実性、効率化を図るには塗料そのものの性状もさることながら、ロボットの手となる塗装装置の水中での塗布性が重要な課題となる。そこで、本研究では塗料そのものの特性評価実験を行うとともに選定された塗料特性と外圍条件及び運用制限を考慮に入れた水中塗装機にロボットの動きを模擬する試験装置を付加して実験室水槽にて水中塗装実験を行い、水中の塗装方法の技術開発と塗布性の定量化を重点目標に実施することにする。すなわち、水中での塗布性要求に基づく塗装ロボットの必要機能を明確にし、各必要機能の基本計画、試験装置試作及び水中塗装試験を行って水中塗装方法を明確にするとともに、実際のロボットに搭載した場合の動きと塗布性の関係を定量的に見い出すことを目的とする。

5.3.2 実験方法

(1) 水中塗装における外圍温度条件の設定

(2) 塗料の特性評価

1) 下地処理と付着力

下地処理を変えた時の塗膜状態を付着力として定量化

2) 水温と可使時間

混合後の経過時間と粘度の関係より確認

3) 水温と指触及び硬化時間

JIS K5400 6.5に従って指触、硬化時間を測定

(3) 水中塗装システムの試作

1) 水中塗装システム試設計及び試作

先端部塗布用具、材料充填及び供給方法等各必要機能の基本設計と試作

2) 水中塗装システム作動確認

無負荷時移動速度と吐出量（コントロール電圧、移動時間、移動速度より吐出量算出）

(4) 水中塗装実験

塗装時の温度、吐出量、塗装速度の変化のもと、塗装時の確認実験

(5) 水質検査

(6) 海水対応試験

(7) 耐性試験

5.3.3 実験結果と考察

(1) 水中塗装における外囲温度条件の設定

水中塗装を行う水深は100mまでと定義しているので、その深度までの淡水の垂直温度分布を文献により調査した。これより、黒部ダムは日本最高標高にあるダムらしく10℃を超えるのは夏期の水深50mまでで、それ以外はほとんど5℃前後という結果であった。一方、Sダムは標高が低いため水温の差が顕著に表れている。一方、他の調査において、水面標高435mのダムにおける7月の水面温度が22℃、水深25mで18℃であったというデータが出ており、これらのことから標高500m位まではSダムのような傾向を示すと考えられ、この調査結果を参考に外囲温度条件を10～30℃と考えることとした。

(2) 塗料の特性評価

1) 下地処理と付着力

下地グレードと付着力の関係を図-5.3.1に示す。過去の事例から経験的に、付着力については10 kgf/cm²以上必要であるといわれており、これから、St-3以上の下地処理が必要であるといえる。

なお、下地処理グレードについては表-5.3.1のとおりである。

表-5.3.1 SIS 055900による下地処理グレード

さび度合い	A	密着したミルスケールで完全に覆われ、ほとんど錆のない鋼表面
	B	錆び始め、ミルスケールが鱗片状になり始めた鋼表面
	C	ミルスケールが錆落ちたか、またはこすり落とすことができ、しかし、目で見えるピットがほとんどない鋼表面
	D	ミルスケールが錆落ち、目で見えるピットがある鋼表面
ブラスト等洗淨	Sa 0	未処理の表面
	Sa 1	軽いブラスト洗淨
	Sa 2	ブラスト洗淨、すべてのミルスケール、さび、異物を撤去した灰色表面
	Sa 2 1/2	非常に注意深いブラスト洗淨
	Sa 3	白色金属へのブラスト洗淨、錆取り後、表面は均一な金属色となる
ブラッシング等掛け	St 1	軽いワイヤブラシ掛け
	St 2	硬い金属のスクレーパによるきさげ仕上げとワイヤブラシ掛け
	St 3	極端なきさげ仕上げとワイヤブラシ掛け、表面はすばらしい金属光沢を示す

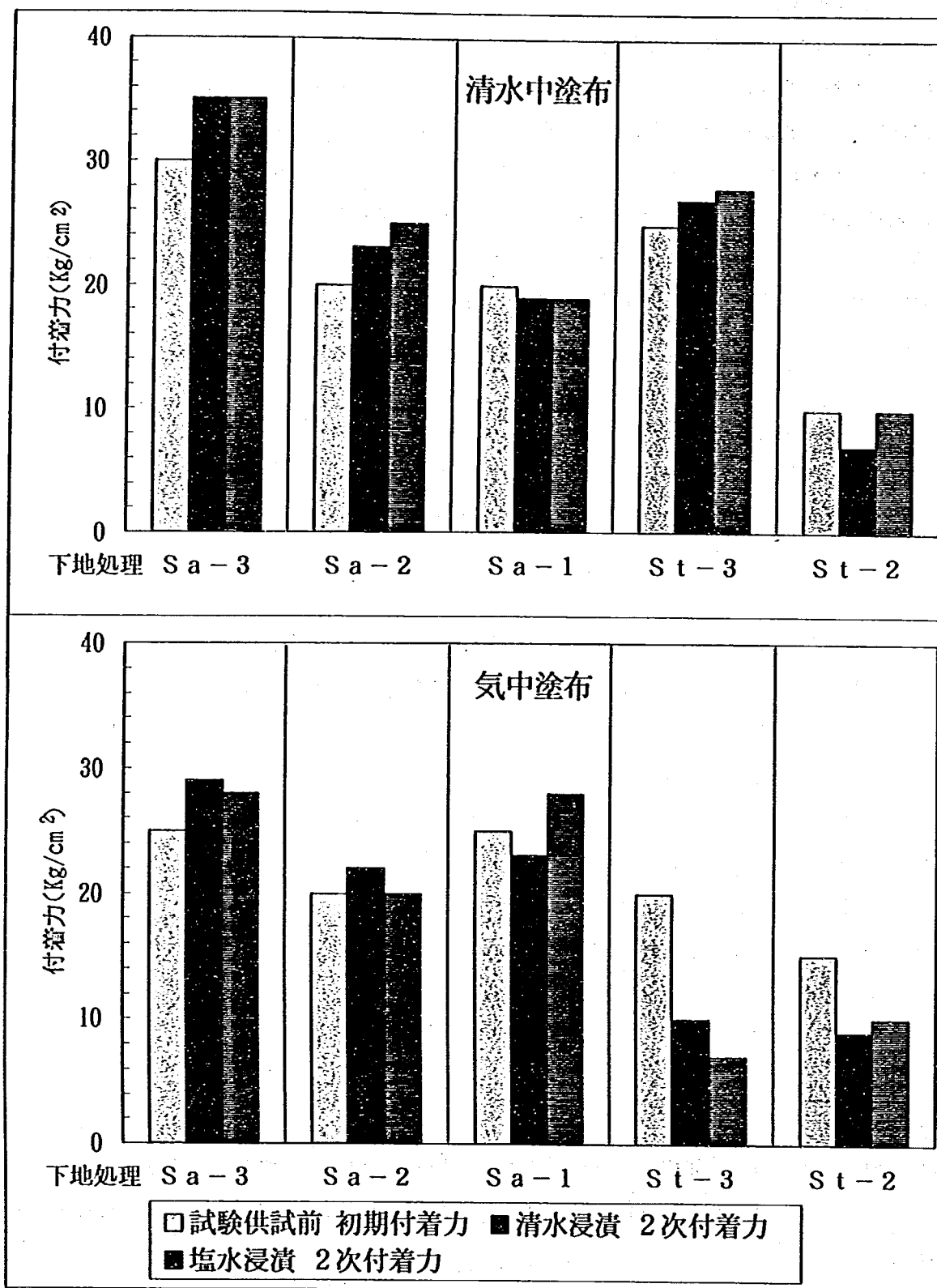
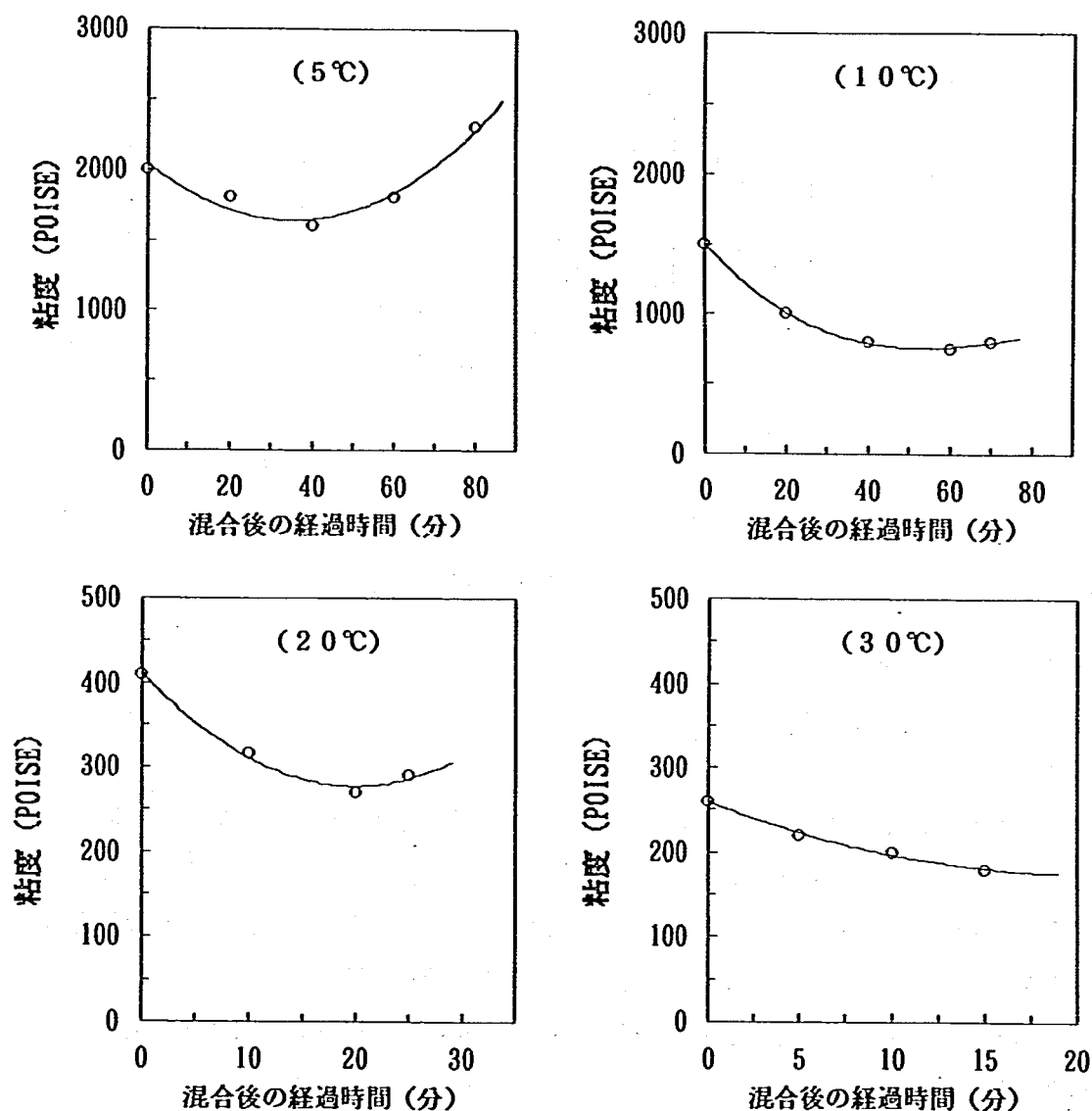


図-5.3.1 下地処理と付着力

2) 水温と可使時間

可使時間については、塗料混合後の経過時間と温度における反応熱上昇曲線から明確な判断は困難であるため、粘度変化により定めた。

5℃時は低温のため、もとの塗料主剤、硬化剤の粘度が高く、主剤と硬化剤の混合後の反応熱による粘度低下は40分程度続き、その後急速な粘度上昇を生じる。これに比べ10℃、20℃、30℃では混合後の粘度上昇が速い傾向であり、温度が高いほど可使時間が短いという結果が得られた。



- ・混合後の経過時間と粘度の関係を実験にて確認し、経過時間ごとに塗布性をチェック、可使時間を設定した。

(可使時間)

5℃	10℃	20℃	30℃
60分	40分	20分	10分

図-5.3.2 水温と可使時間

3) 水温と指触及び硬化時間

一般的に溶剤入りの塗料の場合には、指触時間と硬化時間は明確に分かれ、無溶剤塗料は指触時間と硬化時間がほぼ同じとなる傾向がある。本実験においても無溶剤塗料の性状がうかがえた。

水中塗布：5℃、10℃、20℃、30℃

水中養生：5℃、10℃、20℃、30℃

膜 厚：510～560 μm

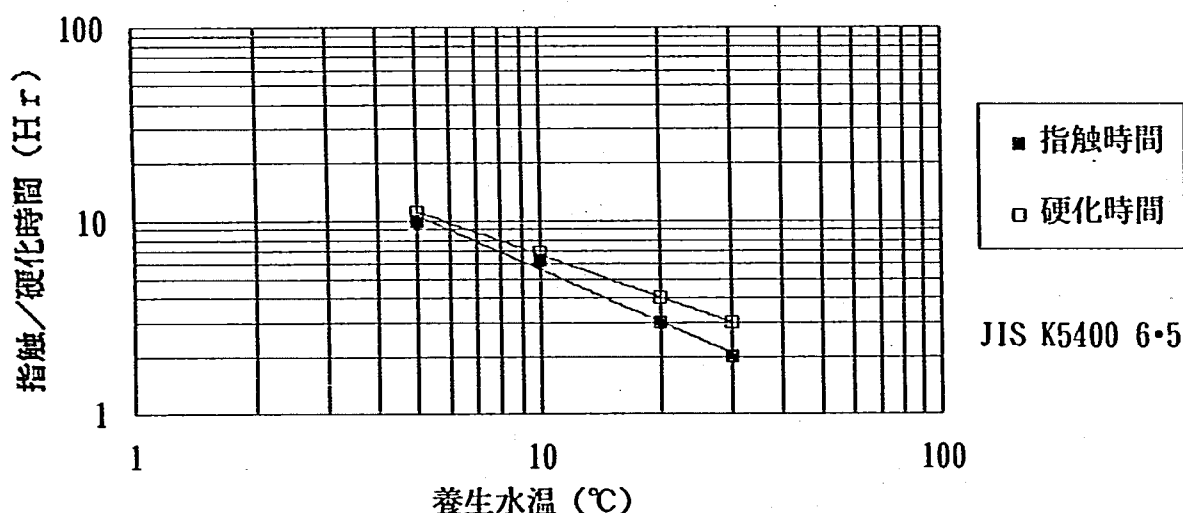


図-5.3.3 水温と指触及び硬化時間

(3) 水中塗装システムの試作

1) 水中塗装システム試設計及び試作

① 塗布機構

本研究で開発した水中塗料の塗布方法は、粘度特性から考えてパテタイプ塗装方法に近いペイントタイプ塗装方法になると考えられる。このような方法においては、刷毛、ヘラ、コテなどの塗装具が一般的であるが、水中ロボットによる塗装作業においては、運動性能からくる制限のため押付力の微妙な制御を要する方法は適していない。したがって、ロボットが塗装具を被塗装面に直角に押しつけながら移動してもそれ自体が回転して塗布できるローラ式が平らな広い面を塗るのに最適と考えた。

② 塗料貯蔵・圧送方法の検討

塗料を貯蔵・圧送する方法としては、①陸上タンク貯蔵・二液パイプ圧送式、②水中タンク貯蔵・二液パイプ圧送式、③水中カートリッジ貯蔵式の3方式が考えられる。今回の開発にあたっては、パイプによるロボットの運動制限もロボットの大型化もなく、塗装終了後の塗剤の回収が不要であるといった得失から水中カートリッジ貯蔵式を採用した。

③ 塗装機駆動装置の検討

塗料用カートリッジの内部をスライドするピストンを押す装置の駆動方法、モータ出力等の検討を行った。塗料用カートリッジは市販のシーリングガンを用いることとした。使用するモータについては水

中用それも耐水深100mという特殊使用であるため一般のモータメーカからの入手は難しく、水中点検ロボットの推進用スラストモータを使用することとした。

④ 水中塗装システムの試作

塗料の吐出に必要な出力軸トルクは、水中モータの回転を減速機構に通して得るものとした。そのトルクをラック／ピニオン機構によりプッシャーの直線運動に換える。また、塗料は中空S字管内を通してローラの中心のローラ支持管内に入り、ローラ表面よりにじみ出る。ローラはモータ等で強制的に回すのではなくローラ支持管の回りを自由に回転するようにし、塗装装置を上下に移動させることで塗装対象物表面との摩擦力により回転しながら塗料を塗布するものである。また、ローラ押しつけ機構は、押しつけ力が塗膜の仕上がりに大きな影響を持っているため、押しつけ力を変化されられるような機構を装備することとした。本機構は、塗装装置本体に支持点を持つ荷重用ワイヤをプーリ機構を通して水槽外の荷重錘の下向き重力にて引っ張るものとした。ローラ上下機構は、ユニット本体に支持点を持つ昇降用ワイヤをハンドルのついたプーリで巻き上げたりゆるめたりすることで塗装機ローラを水槽壁面上を転がして塗料を塗布する機構とした。

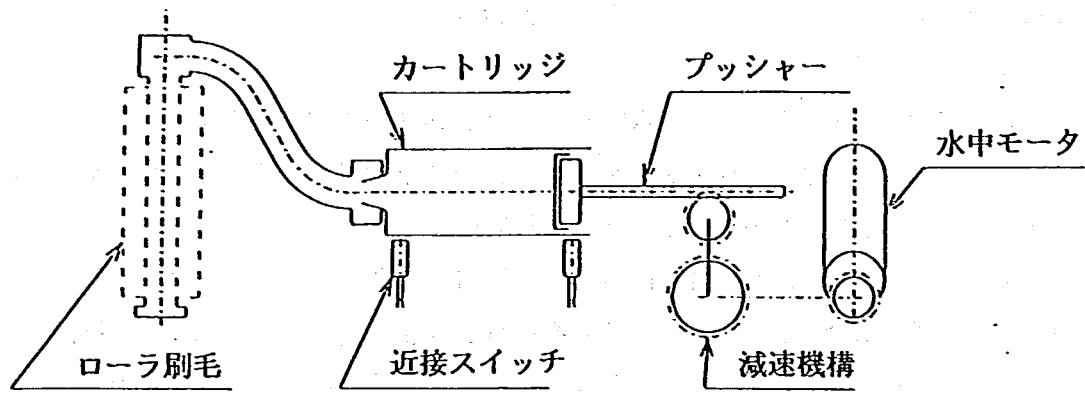
2) 水中塗装システム作動確認

試験用水槽に電気ヒータ、温度制御装置、攪拌機、照明器具を設置し給水した後、水中モータの作動、出力検討を行った。また、無負荷状態でコントロール電圧を変えてピストンの移動速度と移動時間を把握し、カートリッジの容量から吐出量を算出した。表-5.3.2に計測した移動時間と算出した移動速度、吐出量をまとめる。この結果から回帰式を算出したが、最低電圧（1V）と最高電圧（4.9V）で吐出量の若干の低下がみられた。これは、最低電圧付近では小さなモータトルクに比べピストンとカートリッジ間の摩擦抵抗が無視できない値になっているためと、また最高電圧付近ではモータ電流が大きくて、モータ制御回路に組み込まれているトルクリミッタが作動し始めているためと推定される。

表-5.3.2 コントロール電圧と移動時間、移動速度及び吐出量

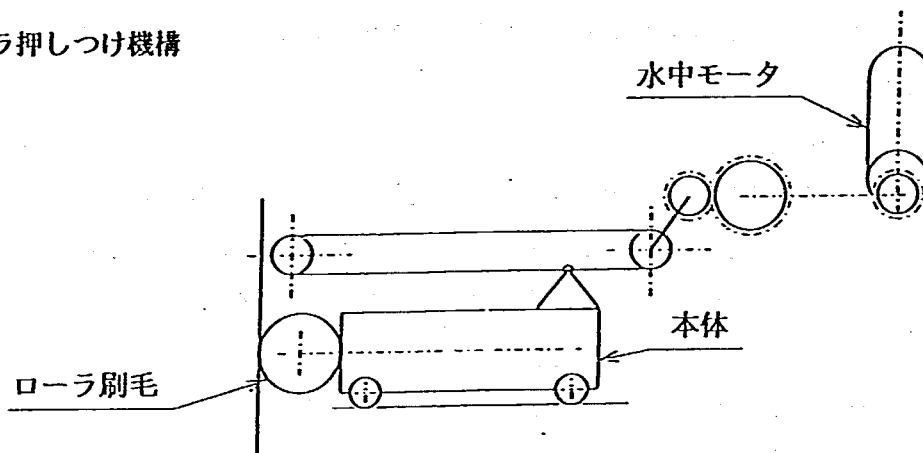
コントロール電圧 V	移動時間 t 秒	移動速度 v mm/秒	吐出量 Q	
			ml/分	ml/分
1.0	213	1.03	1.87	112
1.5	120	1.83	3.32	199
2.0	88	2.50	4.52	271
2.5	69	3.19	5.77	346
3.0	56	3.93	7.11	427
4.0	42	5.24	9.48	569
4.9	35	6.29	11.37	682

1. 塗装装置本体 カードリッジ充填、ローラ刷毛中心吐出型



注) プッシャー引き戻しはモータを逆転して行う

2. ローラ押しつけ機構



3. 上下機構 ワイヤ巻き上げ方式

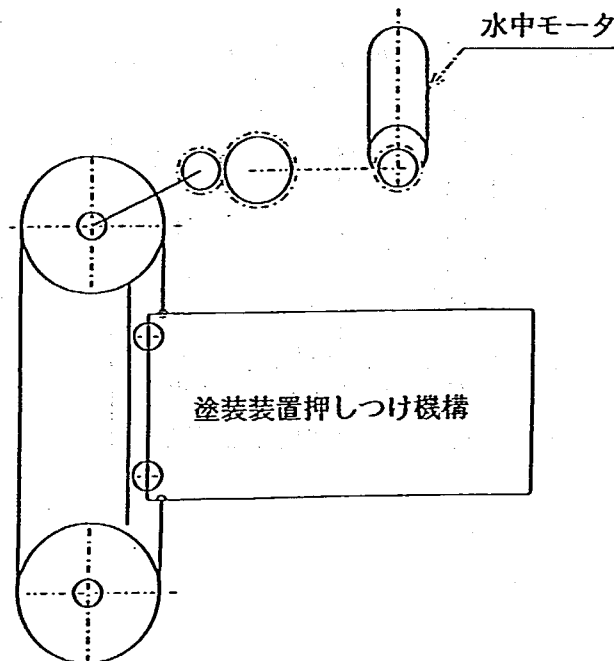
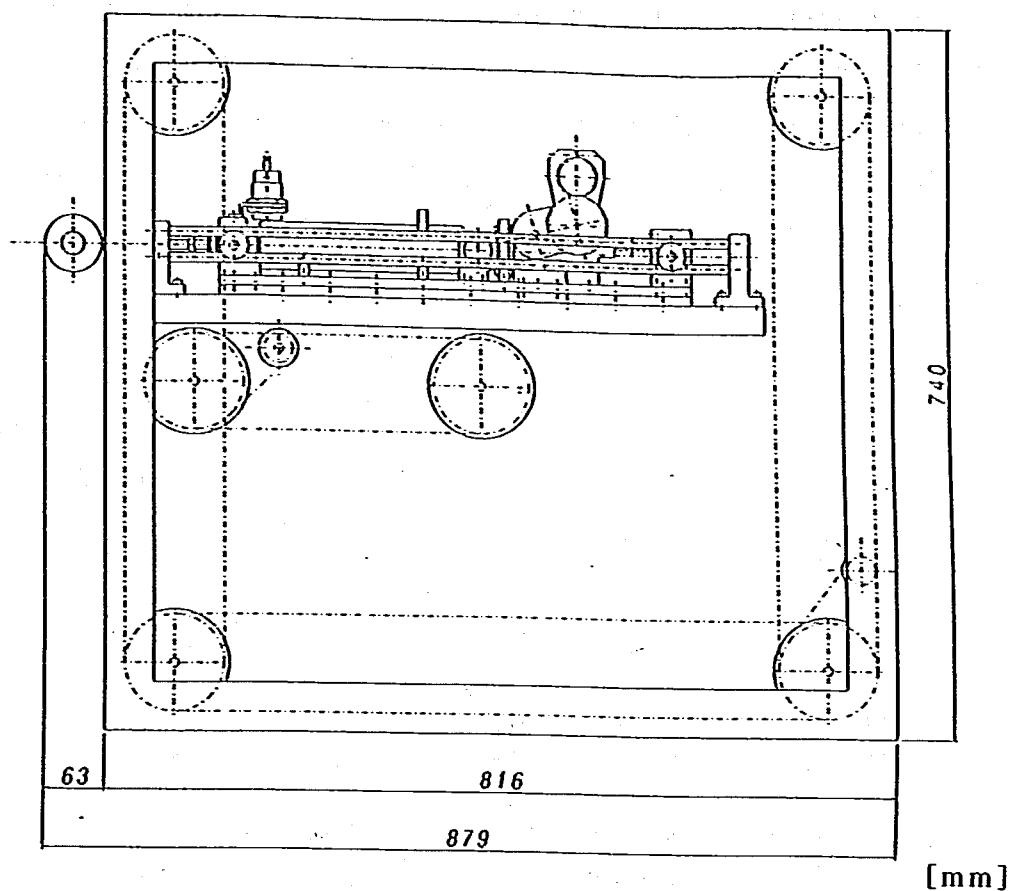
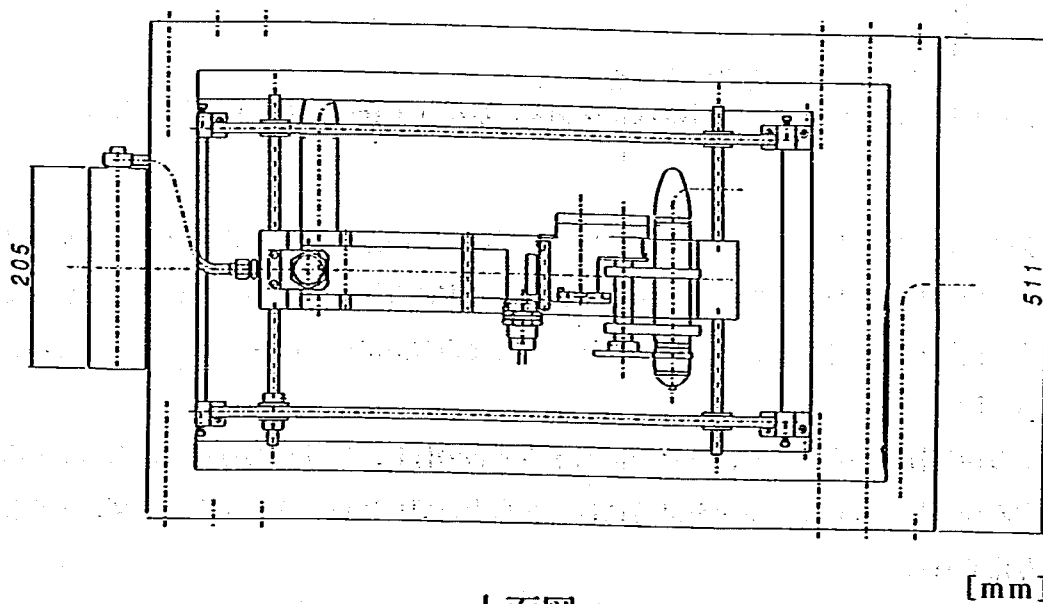


図-5.3.4 塗装装置の機構



侧面图



上面图

图-5.3.5 涂装装置本体图

(4) 水中塗装実験

作動確認試験にてコントロール電圧と吐出量の関係を把握したデータをベースとして、塗装速度を変えて実塗装実験を実施した。また、その際、水温も変化させた。本試験に供した材料は、水温10℃、17.5℃、25℃の各環境に対して、設定した塗装速度、吐出量条件のすべてを満足する結果は得られなかった。10℃においては、材料の高粘性のためカートリッジとピストンのすき間から材料の漏れがみられ十分に先端塗布部分まで供給できなかった。17.5℃と25℃においては、塗面状態を満足する塗装条件が確認できた。

表-5.3.3 水中塗装試験結果

塗装温度 (℃)	電圧 (V)	塗 装 速 度								
		5 cm/秒			10cm/秒			15cm/秒		
		塗装性	塗面状態	塗膜厚 (μm)	塗装性	塗面状態	塗膜厚 (μm)	塗装性	塗面状態	塗膜厚 (μm)
10.0	2.0									
	3.5									
	5.0									
17.5	2.0	不良	×	—	不良	×	—			
	3.5	良好	△	380~500	不良	×	—			
	5.0	良好	○*	420~850	良好	△	370~610			
25.0	2.0	不良	×	—	不良	×	—			
	3.5	良好	○	420~680	良好	△	320~470			
	5.0	良好	○*	340~850	良好	△	280~340			

注1) 塗面状態において、

○: 比較的平滑な面

△: やや塗装むらがある

×: 塗装むらが著しい

*: ややだれ気味

注2)  は水中塗装実施困難領域を示す。

注3) 平成6年度において水中塗料の改良を加え、水温10℃程度でも塗装が可能になっている。

(5) 水質検査

今回の水槽での水中塗装実験では、水面表面層に材料からの浮遊物がみられたため、サンプリングして化学分析を実施した。分析結果としてエポキシ樹脂などの有機物の検出は認められなかったため、安全性には特に問題ないとする。しかし、今後は浮遊物の解消に一層の配慮が必要とする。

(6) 海水対応試験

淡水中での塗装性試験と比較し、被塗面に対する塗料の付着性には変わりなく、海水中での塗装は可能と判断するが、均一な膜厚や塗面を得るには、淡水中と同様にローラのスクィーズコアや装置の改善が必要と考えられる。

(7) 耐性試験

耐水、耐海水浸漬試験において、下地処理と付着力の関係を確認してみたが、経時後、外観上ふくれ、はがれ等の塗膜欠陥はみられず、付着力についても顕著な低下がなかった。

6. 水中作業ロボットの設計

6.1 水中作業ロボット

(1) 開発のコンセプト

水中作業ロボットは、作業目的に応じて本体に作業ユニット（点検・診断ユニット、切断ユニット及び塗装ユニット）を取り替え搭載し、ダムの水中において作業をできるように計画したものである。

(2) 水中作業ロボットの仕様

水中作業システムは、作業ユニットを搭載した水中作業ロボットと、陸上に設置されるロボット制御装置、電源装置及びこれらをつなぐテザーケーブルなどから構成されている。

ここで、水中作業ロボットとは、本体ROVに作業ユニットを搭載したもので、水中で作業を行う装置のことである。本体ROVとは、作業ユニットを搭載するためのベースマシンをさす。作業ユニットとは、点検・診断ユニット、切断ユニット、塗装ユニットなどの各作業の実施にあたっての主たる装置をさす。

水中作業ロボットの主要目を表-6.1.1に示す。

表-6.1.1 水中作業ロボット 主要目

外形寸法 (L×B×H)	約 2.0m×2.1m×1.5m
空中重量	約 740kgf
推進装置	2台 電動式
前後スラスト	1台 電動式
上下スラスト	作業ユニット及び機器搭載用
フレーム構造	作業目的に応じて取り替え搭載
作業ユニット	1式
TVカメラ及び投光器	電力送電及び信号電送用
テザーケーブル	深度計・方位計・傾斜計
位置センサー	
支援設備	ロボット制御装置・電源装置・TVモニター 着・揚収装置（トラッククレーン利用）

(3) 作業手順

水中作業ロボットの作業手順を図-6.1.1に示す。

(4) ユニット搭載計画

図-6.1.2～4に各々点検・診断ユニット、切断ユニット及び塗装ユニットの搭載計画を示す。

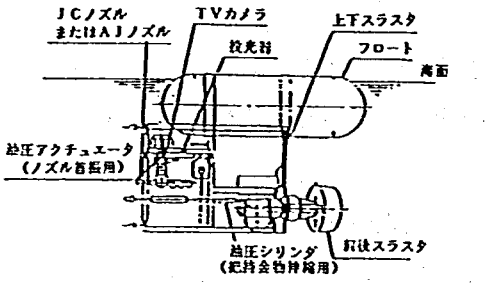
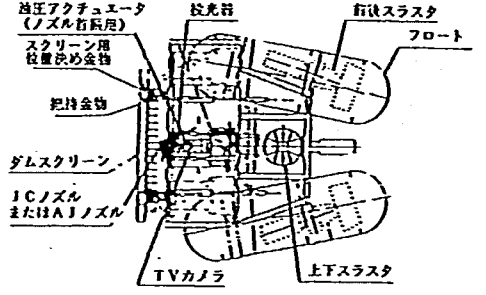
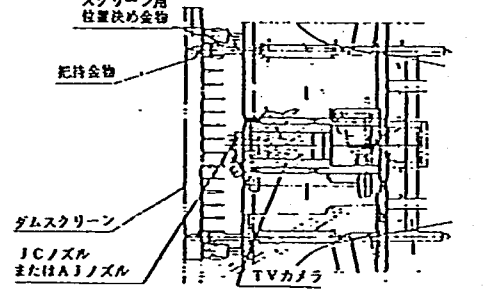
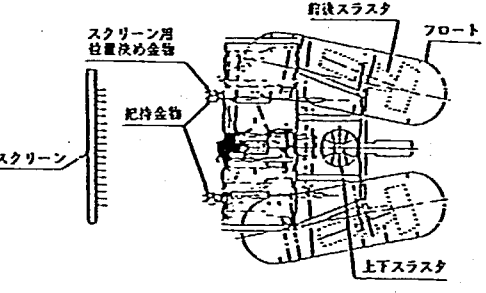
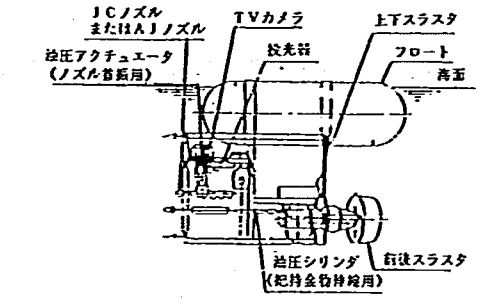
	手 順	状 況	作 業 内 容
1	着水		(1) ロボットをトラッククレーンで吊ってダム水中に着水させる。 (2) 潜水士によりロボットの吊りpeesからロープを切り離す。
2	浮遊位置決め把持		(1) ロボット制御装置によりロボットを操作、浮遊、ダムの作業対象場所へ到達。 (2) 対象物の状況を確認し、ロボットの姿勢・位置を調整する。 (3) 位置決め金物をスクリーンの間に位置させ、油圧駆動によって把持金物をダムスクリーンに固定させる(ダムスクリーンの場合)。吸盤をダムゲートの適当な位置に圧着させ、ロボットを固定する(ダムゲートの場合)。
3	作業		(1) 作業内容及び対象物の状況に応じて、作業ユニットの横移動、上下移動、首振りを行いながら作業を実施する。この間、TVカメラによって作業状況をモニターする。
4	離脱移動		(1) 作業終了後、把持金物を外し、ロボットを作業対象物から離脱させる。 (2) 次の作業場所または揚収場所までロボットを操作して移動させる。
5	揚収		(1) ロボットを水面まで浮上させる。 (2) 潜水士より、ロボットの吊りpeesにロープを取り付け、トラッククレーンで揚収する。

図-6.1.1 水中作業ロボット作業手順

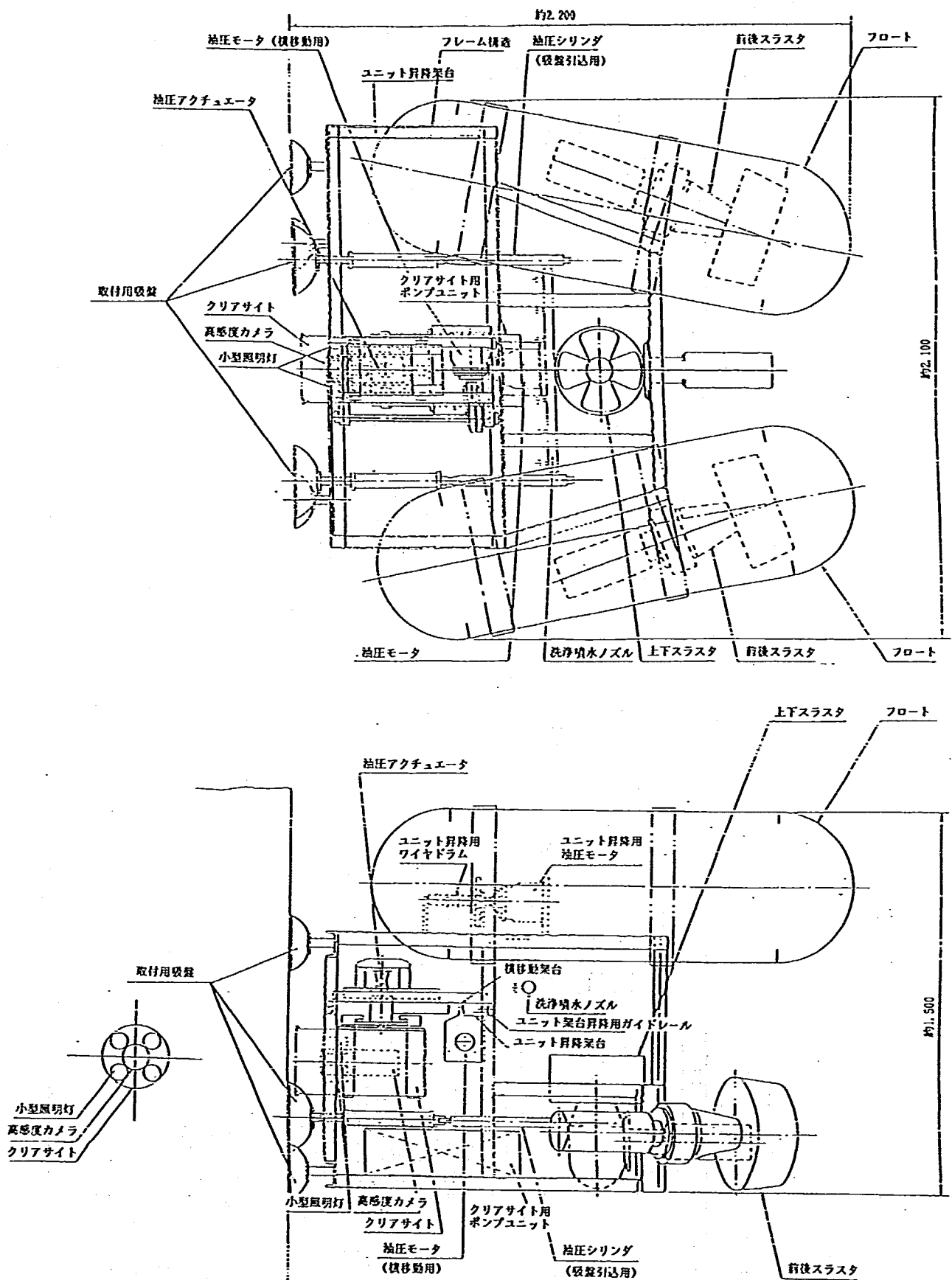


図-6.1.2 点検・診断ユニット搭載 (ミルゾー) 計画

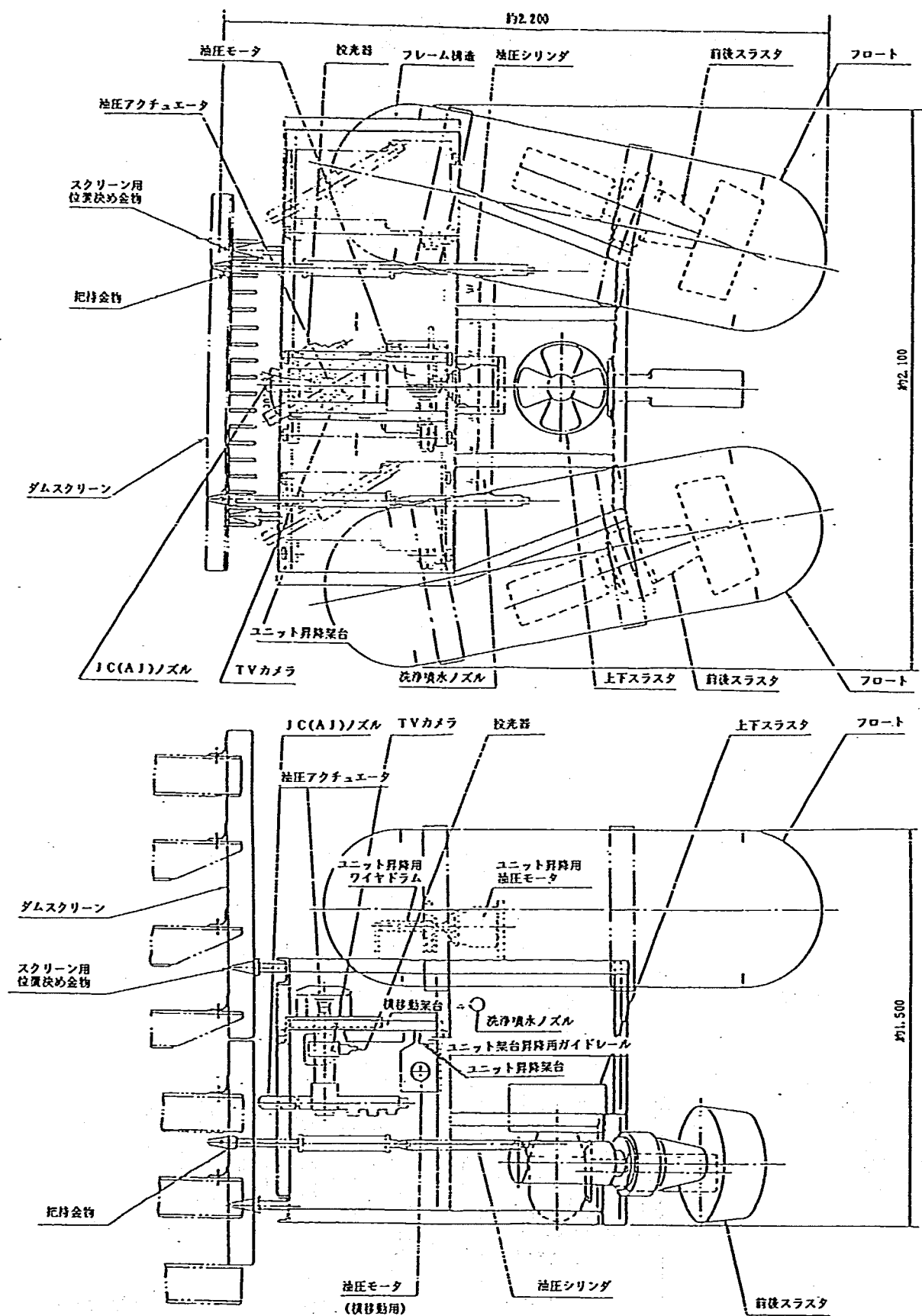


図-6.1.3 切断ユニット搭載（キルゾー）計画

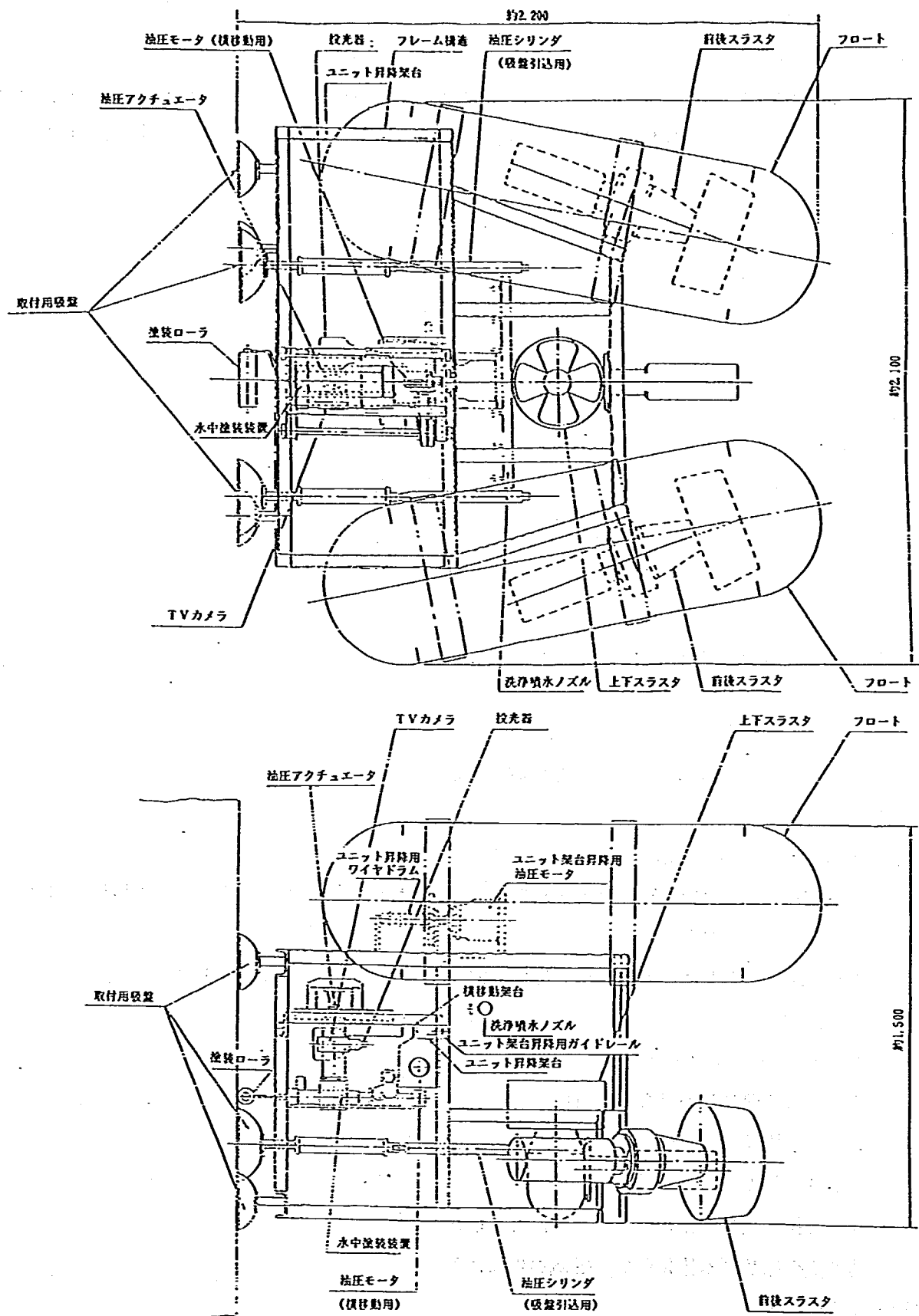


図-6.1.4 塗装ユニット搭載 (ヌルゾー) 計画

6.2 点検・診断ユニット

(1) 開発のコンセプト

水中構造物の点検・診断をするROVの開発にあたりロボットの眼となるTVカメラの視認性が重要な課題であり、特に視認機能向上の制限項目となっている水の濁度対策として次の項目を中心に装置を計画する。

- ・低照明でも視認できる高感度撮像デバイスの選択。
- ・小型、高効率、高演色性光源の選択とライティング技術の採用。
- ・効率の良いクリアサイト技術による精密点検システムの採用。

(2) 点検ユニットの仕様

1) 水中点検・診断作業の作業対象

① 水中点検・診断作業

- ・水中鋼構造物（ダムスクリーン、扉体、鋼矢板、鋼管杭など）
- ・水中コンクリート構造物（ダム堤体、水路、橋脚など）
- ・土砂堆積状況等水中地形

② 水中作業ロボットの誘導作業

- ・作業ロボットを点検対象物に誘導

③ 監視作業

- ・切断ユニット（キルゾーユニット）作業状況の監視
- ・塗装ユニット（ヌルゾーユニット）作業状況の監視

2) 環境条件

① 使用場所：海水、淡水の制限はない

- ・TVカメラ使用：水中構造物全般（ダムスクリーン、扉体、鋼矢板、鋼管杭、ダム堤体、水路、橋脚など）
- ・クリアサイト使用：平面状水中構造物（扉体、鋼矢板、ダム堤体、水路など）

② 水 深：100m

③ 潮流・流速：0.5m/sec以下とする

④ 濁 度：濁水処理なしの場合 10ppm 濁水処理ありの場合 1,000ppm

⑤ 水 温：0～30℃

⑥ 波 高：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存

⑦ 風 速：支援船及び本体ROVの耐風速性に依存

3) 点検・診断作業条件

① 清水置換

a) 水深条件：

送水圧力損失や送水パイプ内保有量、清水タンク容量等を考慮し10m以内の浅い点検箇所。

b) 懸濁物の制限：

無機質サスペンション及び高分子化合物のコロイド等の懸濁物質いずれでも実施可能で懸濁物の制限はないが、特に150ppm以上の高分子化合物コロイドの場合。

c) その他の条件：

清水を十分に供給できる場合。クリアサイト開口面と点検対象物との間で明確にクリアサイトが形成できる。

以上のa)～c)の条件が揃った場合に清水置換を実施し、その方法には以下の2通りの方法がある。

- ・パイプ給水：本体ROVが小型の場合
- ・タンク給水：大型の清水タンクを搭載できる本体ROVの場合

② 凝集置換

a) 水深条件：

深度制限はない。

b) 懸濁物の制限：

- ・無機質サスペンションの場合：初期濁度1,000ppmで凝集剤投入後3～4分で映像識別可能。
- ・高分子化合物コロイドの場合：初期濁度150ppmで凝集剤投入後5分で映像識別可能。150ppm以上では映像識別が困難。

c) その他の条件：

清水を十分に供給できない場合。クリアサイト開口面と点検対象物との間で明確にクリアサイトが形成できる。

以上のa)～c)の条件が揃った場合に凝集置換を実施する。

③ 濁度制限

a) TVカメラの濁度制限

㊤誘導作業：

濁度10ppm以下：高感度カラーTVカメラ+減光式照明灯で十分可能。

濁度10ppm以上：前方探査ソーナー、水中位置検出装置をTVカメラと併用するがTVカメラに比べ精度、作業性が劣る。

㊦点検作業：

濁度10ppm以下：高感度カラーTVカメラ+減光式照明灯で十分可能。

濁度10ppm以上：濁水処理（クリアサイト）+TVカメラ+減光式照明灯で可能。

㊧計測・診断作業：

濁度10ppm以下：高感度カラーTVカメラ+減光式照明灯で十分可能。

濁度10ppm以上：計測状況を視認する必要がなければ可能。センサーをクリアサイトの中に設置すれば点検作業と同等の濁度まで監視可能。

㊨監視作業：

計測・診断、切断、塗装、溶接ユニットの作業状況を監視するが、広い範囲での濁水処理は困難なためTVカメラ+減光/光軸調整式照明灯で監視できる濁度以上では監視不能となる。

b) 清水置換クリアサイトの濁度制限

濁度制限はないが置換清水量などを勘案すれば初期濁度1,000ppmまで。

c) 凝集置換クリアサイトの濁度制限

- ・無機質サスペンションの場合：初期濁度1,000ppmまで。
- ・高分子化合物コロイドの場合：初期濁度 150ppmまで。

4) ユニットの主要目

① 点検・診断ユニット

a) クリアサイト

図-6.2.1の概要図 ㊸の清水置換 と ㊹の凝集置換 の両方を行えるようにする。また図-6.2.2にクリアサイトの構成図を示す。

ハウジング材質：アクリル樹脂製

寸 法：内径200mmφ×長さ500mm

本 体 重 量：約5 kg

濁 水 処 理 量：

㊸ 清水置換の場合

$$T = T_0 \cdot \exp(-Q \cdot t \cdot \beta / V)$$

ただし T : 置換終了濁度(ppm) 通常は10ppm

T_0 : 初期濁度 (ppm)

V : クリアサイト容積 (ℓ)

Q : 置換清水流量 (ℓ/分)

t : $T_0 \rightarrow T$ への置換時間 (分)

β : 置換補正值 (1.13~1.32)

装置及び清水供給量を勘案し上記式より使用可能な初期濁度を決定する。

㊹ 凝集置換の場合

- ・無機系凝集剤 (PAC) : 600ppm
- ・有機系凝集剤 (EDP-301) : 4 ppm
- ・中和剤 (NaOH) : 60ppm

予想される点検回数すなわち濁水処理回数とクリアサイトの容量から必要カートリッジ容量を算出する。

b) カラーTVカメラ

型 式：CCD単板式カラー水中TVカメラ

ハウジング材質：耐食アルミニウム特殊硬質酸化皮膜処理

解 像 度：480TV本 (水平中心部) 以上

最低被写体照度：3.5Lux (F1.2)

レンズ：F=1.4 F=8mm

アイリス：オートアイリス

c) ハロゲンランプ

型式：反射型遠隔操作式減光装置／光軸調整装置付き

出力：150W

d) 診断装置

㊤ 寸法計測装置

測定範囲：0～300mm (距離30cmにおいて)

分解能：0.5mm (距離30cmにおいて)

㊦ 板厚計測装置

測定範囲：0～100mm

分解能：0.1mm

㊧ 塗膜厚計測装置

測定範囲：0～10mm

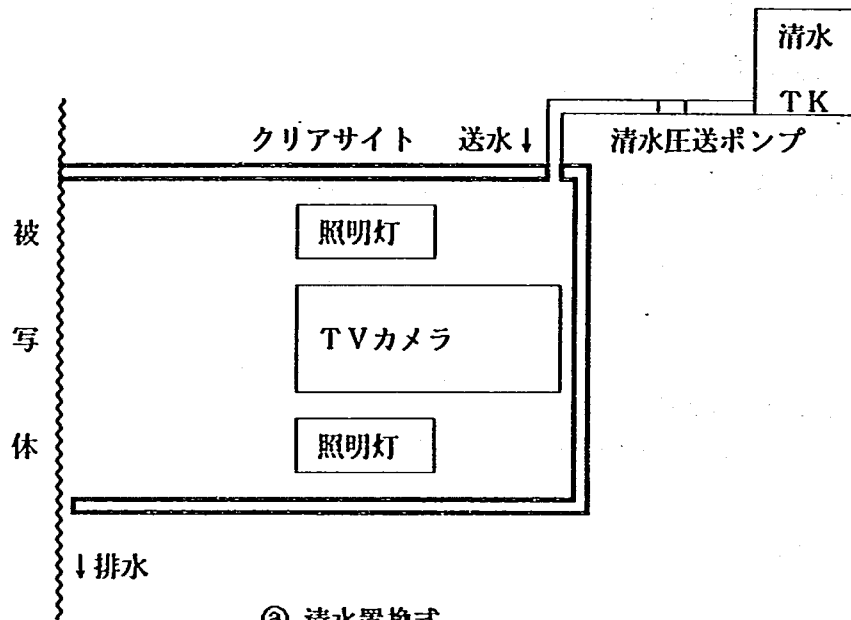
測定精度： $\pm (3\% + 10\mu\text{m})$

㊨ 渦電流クラック検査装置

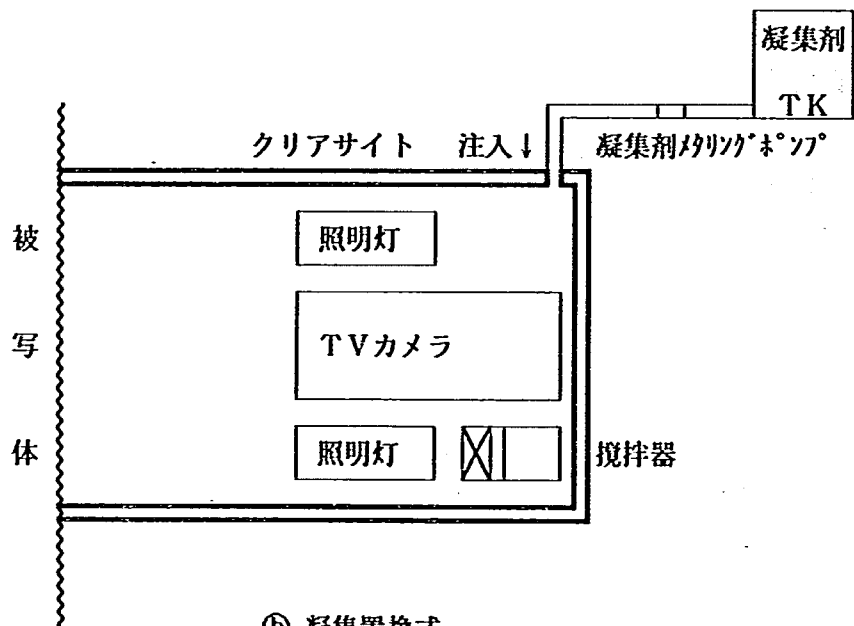
㊩ 外形形状表示装置

探査範囲：0.4～40m

距離分解能： $\pm 1.4\text{mm}$



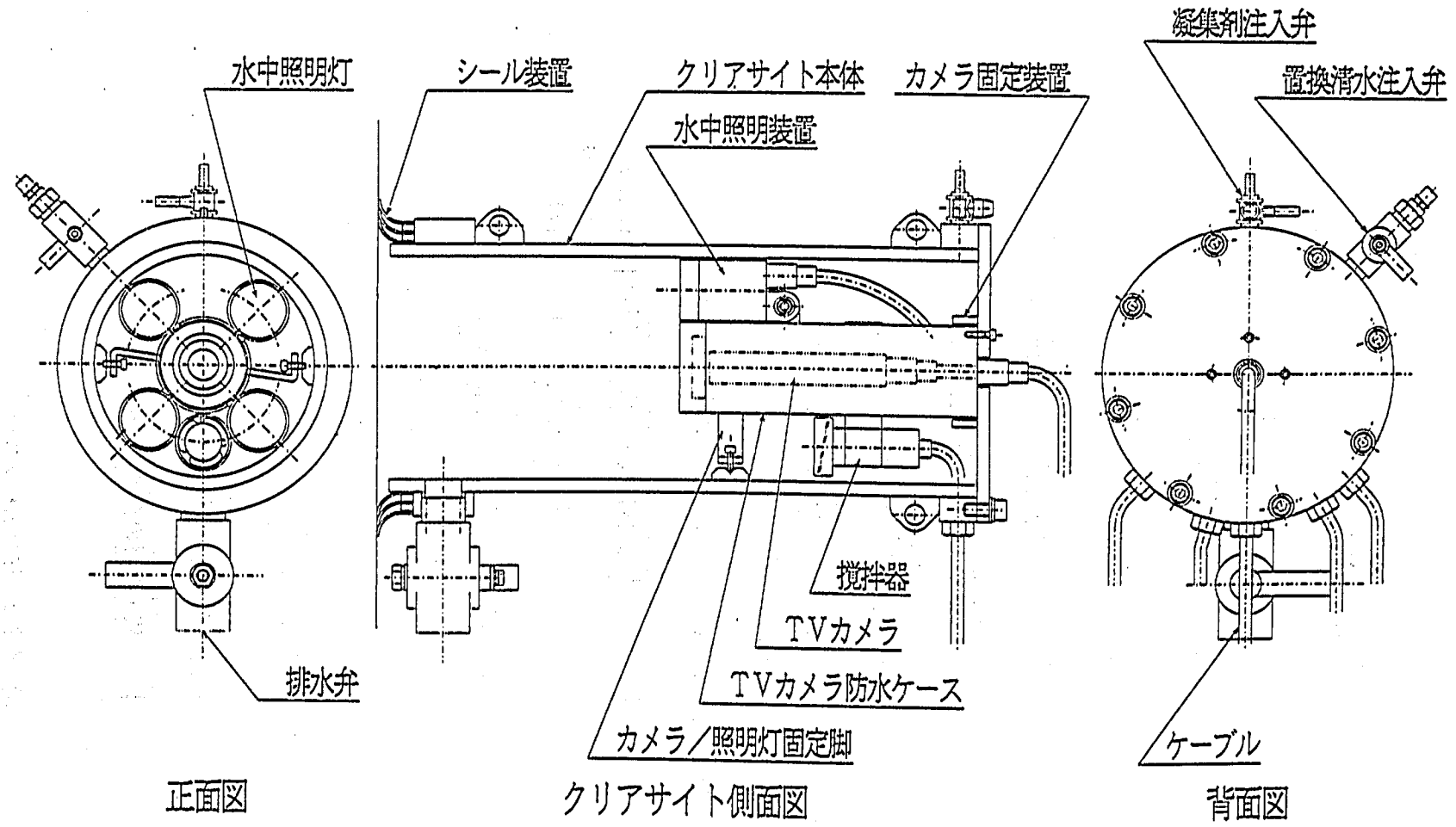
㊤ 清水置換式



㊦ 凝集置換式

図-6.2.1 クリアサイト概要図

図-6.2.2 クリアサイト構成図



(3) 作業手順

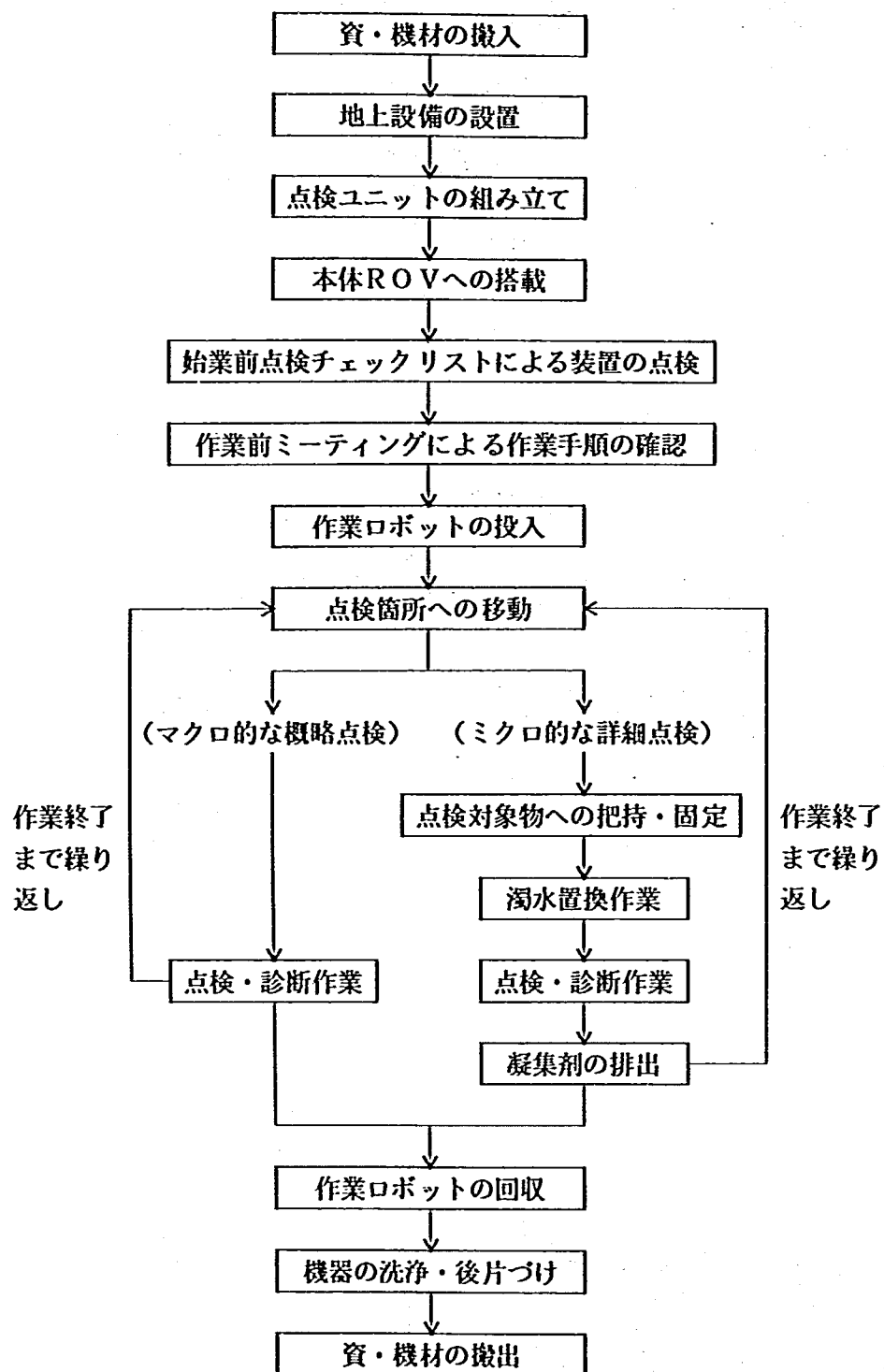


図-6.2.3 作業工程フロー

(4) 従来工法との比較

表-6.2.1 従来工法との比較

	従来工法（気中）	従来工法（水中）	現状開発システム
事前作業	・ダム水位低下	・湖面へのアクセス検討	・機器配置計画 ・湖面へのアクセス検討
主な作業機械、器具、材料	・空中仕様の点検計測機材（カメラ、VTRなど） ・人員、機材移動用車両または作業船 ・作業用足場材 ・移動式クレーン	・水中仕様の点検計測機材（カメラ、VTRなど） ・潜水器具一式 ・人員、機材移動用車両または作業船 ・移動式クレーン	・ROV ・点検ユニット ・清水または凝集剤 ・人員、機材移動用車両または作業船 ・移動式クレーン
作業員数（注1）	・工事管理者 ・点検作業員 ・点検作業補助員 ・普通作業員 合計 4名	・工事管理者（地上） ・主任潜水土士 ・点検潜水土士 ・点検補助潜水土士 ・待機潜水土士 2名 ・普通作業員（地上） 合計 7名（注2）	・工事管理者 ・点検ユニット操作員 ・点検ユニット操作補助員 ・普通作業員 合計 4名
条件、制約	・ダムの水利計画に合致した時期のみ水位を下げられる ・長期の準備が必要 ・点検対象物が最低水位以上に有ること	・水深が限定される ・潜水作業時間が水深、標高で制限される ・リアルタイムに点検できず気中点検よりも精度が落ちる	・複雑な構造物や狭隘な場所では点検できないこともある ・水中ケーブルが水底の異物に引っかかる恐れがある
安全性、作業性	・作業足場の確保が必要 ・通常の作業現場と同様で良好	・水深により危険性が増し、視界不良や水中電話装置の不確実さで安全性が低い ・短い作業時間と多量の作業員が必要	・安全性は良好 ・ROVの投入が現場状況により難しい場合以外は作業性も良好
合理化	・現在以上の期待はあまりできない	・難しい	・システム化が進められ大幅な省人化可能

注1：作業員数は作業内容によっていろいろ変わるが概略の員数を示す。

注2：本例では潜水土士2チームで作業員数を算出したが、作業現場の標高と水深によっては潜水土士が数チーム必要となり、作業員数が数倍に増える。

例）深度52m、1回の作業時間を30分とした場合、浮上時間及び業務間ガス圧減少時間等を考慮すると1チームの1日の潜水回数は2回で作業時間は60分となる。

よって、1日に5時間作業を行うためには5チーム（3名×5チーム=15名）必要である。

※参考資料「高気圧作業安全衛生規則 別表第2、3」

6.3 切断ユニット

(1) 開発のコンセプト

火焰ジェットカッター（J C）またはアブレッシブジェット（A J）用のノズルユニット及び把持装置を本体ROVに搭載し、水中においてダムスクリーン等を切断する装置である。

(2) 切断ユニットの仕様

1) 作業条件

① 作業対象

- ・水中鋼構造物（ダムスクリーン、扉体、鋼矢板、鋼管杭など）
- ・水中コンクリート構造物（橋脚など）
- ・鋼、コンクリート複合構造物

② 適応場所の制限

海水、淡水の制限はない

③ 気象、海象条件

流 速：0.5m/sec

波 高：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存

風 速：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存

温 度：0～30℃

④ 適用範囲

水 深：100m

2) ノズルユニット

表-6.3.1にノズルユニットの仕様を示す。

表-6.3.1 ノズルユニットの仕様

	項 目	仕 様
切 断 作 業 条 件	対象構造物	切断物を横方向のみ切断する。
	ノズル首振り角度	最大35° 陸上より遠隔操作で調整できる。
	ノズル水角度	ノズルと切断物（ダムスクリーン等）の距離をマニュアル調整できる。調整範囲は最大50mm。
	ノズル横移動速度	30～70mm/min
	ノズル横移動距離	ダムスクリーンの幅
	上下移動速度	3～6m/min
	上下移動距離	上120mm/下330mm

3) 火焰ジェットカッターユニット

火焰ジェットカッター工法とは、灯油と酸素の混合ガスを燃焼させることにより発生する高温、高圧の燃焼ガスを、ドウラバールノズルを通すことにより超音速火焰ジェットとし、この火焰ジェットの持つ高温と高運動エネルギーを利用してコンクリートと鋼材を同時に溶断し、コンクリート構造物等を切断、解体する工法である。

4) アブレッシブジェットユニット

切断機は大別して、エンジン+ポンプの水圧発生装置と研磨材供給装置からなり、ポンプから吐出された圧力水は、圧力タンクの研磨材を上部より加圧すると同時に、タンク下部にて研磨材をプレミックスした水が高圧ホース1本より噴出される。

圧力タンクは2基装備し、自動切換えによりこの混合水を連続供給する。システムの制御はエンジンより駆動されるミニコンプレッサーの圧縮空気を使用して行われる。

表-6.3.2 火焰ジェットカッターの仕様

名 称		切 断 機
供給圧力	酸 素	45.0 kgf/m ²
	灯 油	45.0 kgf/m ²
	冷却水	10.0 kgf/m ²
供 給 量	酸 素	2.0 m ³ /min
	灯 油	0.8 m ³ /min
	冷却水	70.0 m ³ /min
材 質	燃料筒	Cu
	ヘッド・ノズル	Cu
	本 体	SUS304
外 径		φ52mm
全 長	TYPE-1	600mm
	TYPE-2	1,000mm
重 量	TYPE-1	12kg
	TYPE-2	15kg

表-6.3.3 アブレッシブジェットの仕様

分 類	仕 様
エンジン	型式：4サイクル6気筒 ターボチャージャー付き 出力：112PS×1,800rpm(連続)
ポ ン プ	型式：横型3連プランジャー 圧力：390kg/cm ² (max) 流量：135ℓ/min (max)
研磨材、 供給装置	運転圧力：350kg/cm ² 以下 研磨材タンク：37ℓ×2基 ホ ッ パ：150kg 制御方法：エアシフトコントロール
重 量	4 ton
エアブロー	エンジンコンプレッサー 出力：100PS

(3) 作業手順

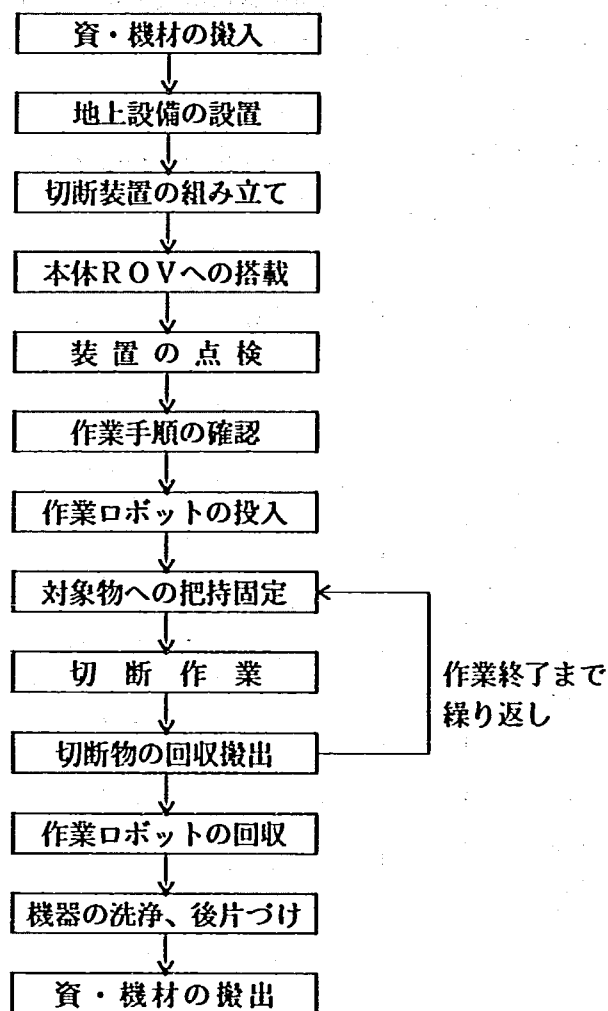


図-6.3.1 作業の流れ

(4) 従来工法との比較

表-6.3.4 従来工法との比較

	従来工法（気中）	従来工法（水中）	現状開発システム
事前作業	・ダム水位低下	・湖面へのアクセス検討	・機器配置計画 ・湖面へのアクセス検討
主な作業機械、器具、材料	・ガス、アーク切断機 ・酸素 ・作業足場材 ・作業船 ・移動式クレーン	・ガス、アーク切断機 ・潜水器具一式 ・酸素 ・作業船 ・移動式クレーン	・JC、AJユニット ・ROV ・酸素、灯油、研磨材 ・作業船 ・移動式クレーン
作業員数（注1）	・工事管理者 ・切断作業員 ・切断作業補助員 ・普通作業員 2名 合計 5名	・工事管理者 ・主任潜水土 ・切断潜水土 ・切断補助潜水土 ・待機潜水土 2名 ・普通作業員 2名 合計 8名（注2）	・工事管理者 ・ユニット操作員 ・補助操作員 ・普通作業員 ・潜水土（注3） 2名 ・潜水補助員 2名 合計 8名
条件、制約	・渇水期しかできない ・長期の準備が必要	・潜水作業時間が水深、標高で制限される	・水中ケーブルが水底の異物に引っかかる恐れがある
安全性、作業性	・良好	・水深により危険性が増す ・閉所、崩壊性の高いところなどの危険箇所では施工できない	・良好 ・危険箇所での施工が安全に行える
合理化	・ある程度までできる	・難しい	・システム化、省人化が図られている

注1：作業員数は作業内容によっていろいろ変わるが概略の員数を示す。

注2：本例では潜水土2チームで作業員数を算出したが、作業現場の標高と水深によっては潜水土が数チーム必要となり、作業員数が数倍に増える。

例）深度52m、1回の作業時間を30分とした場合、浮上時間及び業務間ガス圧減少時間等を考慮すると1チームの1日の潜水回数は2回で作業時間は60分となる。

よって、1日に5時間作業を行うためには5チーム（3名×5チーム=15名）必要である。

注3：この潜水土の役割は、切断物の回収時に切断物の玉掛け作業とその引き上げ時の監視を行う。よって、長時間潜水することはできない。

※参考資料「高気圧作業安全衛生規則 別表第2、3」

6.4 塗装ユニット

(1) 開発のコンセプト

圧送式ローラーブラシ（多孔質構造）及び市販のシーリング材用カートリッジ（塗料貯蔵用）を組み合わせ、水中モーター駆動による塗料搬送を行い、ダム扉体に対して水中塗装を実施できる装置を計画する。

(2) 塗装ユニットの仕様

1) 作業条件

① 作業対象

ダム扉体

② 適応場所の制限

海水、淡水の制限はない

③ 気象、海象条件

温度：10℃以上を原則とする

流速：0.5m/sec以下とする（把持、固定が確実な場合）

波高：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存

風速：支援船及び本体ROVの耐風速性に依存

④ 適用範囲

水深：100m

2) 塗装ユニット

塗装ユニットの作業条件を表-6.4.1に、仕様を表-6.4.2に塗装ユニットの仕様を示す。

表-6.4.1 塗装ユニットの作業条件

塗装作業条件	対象物：ダム扉体 塗装速度：30cm/秒(max) 塗装物形状：平面 塗装厚み：250μ/回以上
--------	---

表-6.4.2 塗装ユニットの仕様

項目	仕様
塗装方法	水中モーター駆動型圧送式ローラ塗装
塗装貯蔵方法	市販シーリング材用カートリッジ
移動方向	上下左右 1m
塗装速度	30cm/sec(max)
ユニットの取付	本体ロボットに搭載式

(3) 作業手順

水中硬化型塗料と塗装ユニット搭載ROVの組み合わせにより、水中塗装作業を実施し、構造物の維

持補修を行う。

① 施工範囲と現状の確認

扉体設計図を基に施工範囲を決定し、腐食状況や土砂の堆積状況を小型LCROV等で調査した後、調査内容と設計図を参考にして作業面積、作業条件を設定する。施工範囲に土砂の堆積がみられる場合は、別途、対策処理を行う。

② 施工仕様書の決定

素地調整方法、グレード、塗布材料、塗膜厚、作業時間帯等を定める。

③ ROVに塗装装置を搭載

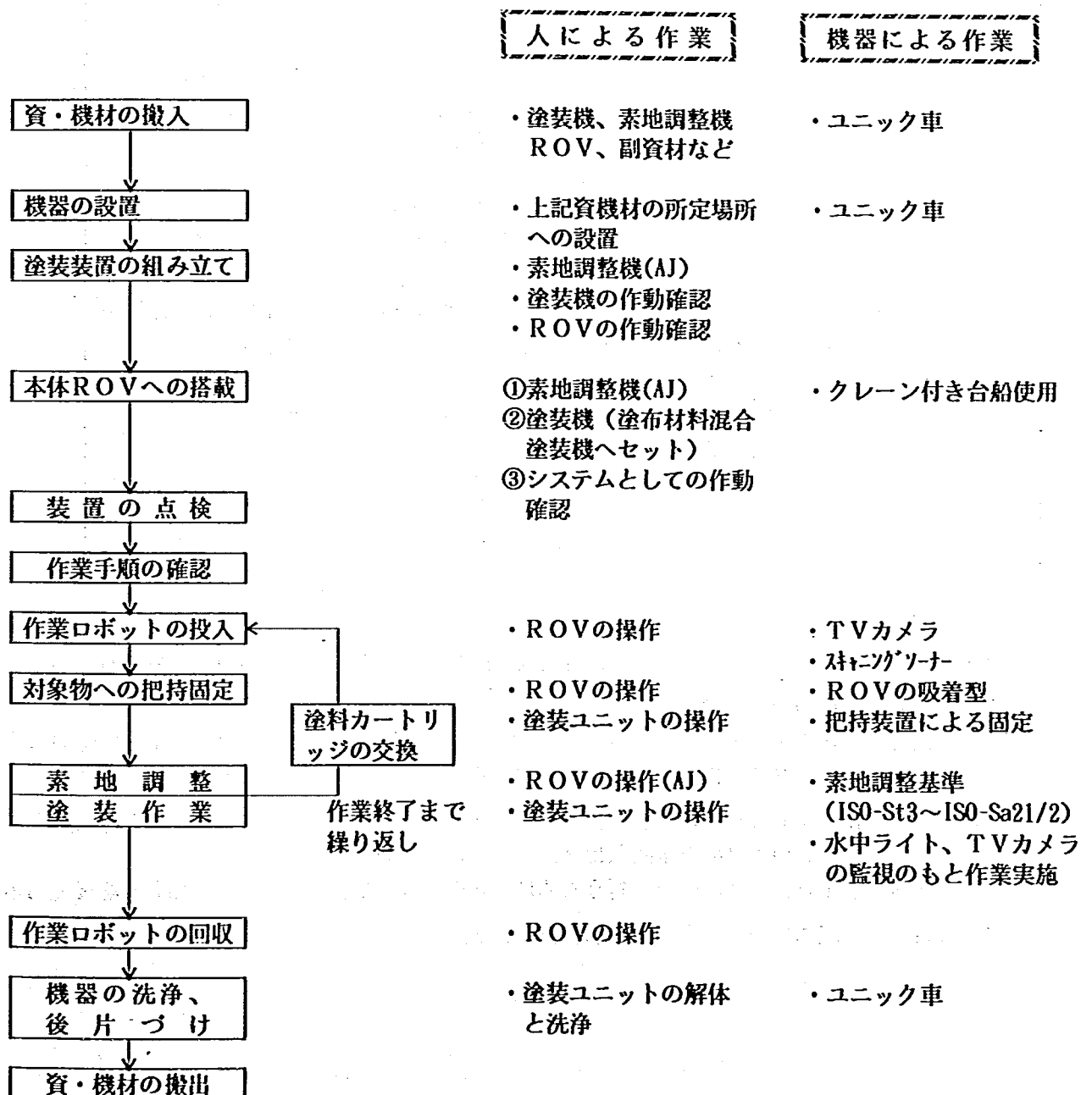


図-6.4.1 作業の流れ

表-6.4.3 従来工法との比較

	従来工法（気中）	従来工法（水中）	現状開発システム
事前作業	・ダム水位低下	・湖面へのアクセス検討	・機器配置計画 ・湖面へのアクセス検討
主な作業機械、器具、材料	・塗装用機材一式 ・作業足場材 ・作業船 ・移動式クレーン	・塗装用機材一式 ・潜水器具一式 ・作業船 ・移動式クレーン	・塗装ユニット ・ROV ・塗装、洗浄材 ・移動式クレーン
作業員数（注1）	・工事管理者 ・塗装作業員 ・塗装補助員 ・普通作業員 合計 4名	・工事管理者 ・塗装作業員（潜水土） ・塗装補助員（潜水土） ・水中監視員（潜水土） ・待機作業員 2名 ・普通作業員（地上） 合計 7名（注2）	・工事管理者 ・ユニット操作員 ・補助操作員 ・普通作業員 合計 4名
条件、制約	・水位低下時 ・長期の準備が必要	・限られた水深までしか作業ができない	・複雑な構造物には適用制限あり
安全性、作業性	・足場の確保が必要 ・通常の作業現場と同様	・水深によって危険性が増す ・作業時間が短い	・良好
合理化	・あまり期待できない	・難しい	・システム化、省人化されている

本システムにより、従来工法では難しかった合理化の推進、省人化、安全性の向上が図れる。

注1：作業員数は概略の員数である。

注2：本例では潜水土2チームで作業員数を算出したが、作業現場の標高と水深によっては潜水土が数チーム必要となり、作業員数が数倍に増える。

例）深度52m、1回の作業時間を30分とした場合、浮上時間及び業務間ガス圧減少時間等を考慮すると1チームの1日の潜水回数は2回で作業時間は60分となる。

よって、1日に5時間作業を行うためには5チーム（3名×5チーム＝15名）必要である。

※参考資料『高気圧作業安全衛生規則 別表第2、3』

7. 施工コストの検討

施工コストの検討は、従来の潜水土作業と水中作業ロボットによる各作業の施工単位数量あたりのコストを比較した。

各作業の共通積算条件を以下に記す。

- ・積算は直接工事費ベース（機械損料、労務費、材料費）で行い、組立・解体・運搬費用は含まない。
- ・ROV本体及び点検、切断、塗装の各ユニット関連機器の損料は、「供用日単位の機械」として扱い、損料算定式及び諸数値は下記に定めるものとする。

償却費率:0.9、維持修理費率:0.95、年間管理費率:0.05、耐用年数:5年、年間供用日数:100日

- ・労務費は、本体ROVと各作業ユニット操作員グループ及び潜水補助作業グループの人件費を計上した。
- ・作業対象は、頻繁な移動を伴わない水門扉のような平板状のものを想定した。

なお、本積算は従来の潜水土作業と水中ROV作業との概略のコスト比較の把握を目的に行ったため、作業数量、作業条件などによって相違が生じることも十分に考えられる。よって、具体的な施工検討を行う場合には、再度精算する必要がある。

7.1 水中心点検作業

水中心点検ユニットの作業能力を1時間あたり300㎡として、本体ROVに水中心点検ユニットを搭載して水中心点検作業を行う場合のコスト試算を行った。

機器損料は本体ROVのほか水中心点検ユニットとしてクリアサイト装置、高感度カラーTVカメラなどを含み、また材料費として凝集剤費用を算出した。

図-7.1.1は、水中心点検作業における潜水士と水中ROV（ミルゾー）の作業水深ごとの費用比較の片対数グラフを示す。図は横軸を作業水深、縦軸を水深10mにおける潜水士作業の費用を1とした費用比で表している。

潜水士による水中心点検作業は50m以深においては、潜水作業効率の低下、潜水可能時間の減少、大水深潜水機器の高度化の相乗効果により施工単価の飛躍的増大を招いているが、水中ROV（ミルゾー）による水中心点検作業は、水深の影響をほとんど受けないため施工単価はほぼ横ばいで一定している。このため、水中ROV作業コストは30m以浅では潜水士作業コストに比べ数倍高いが、30m以深ではかなり経済的であると考えられる。

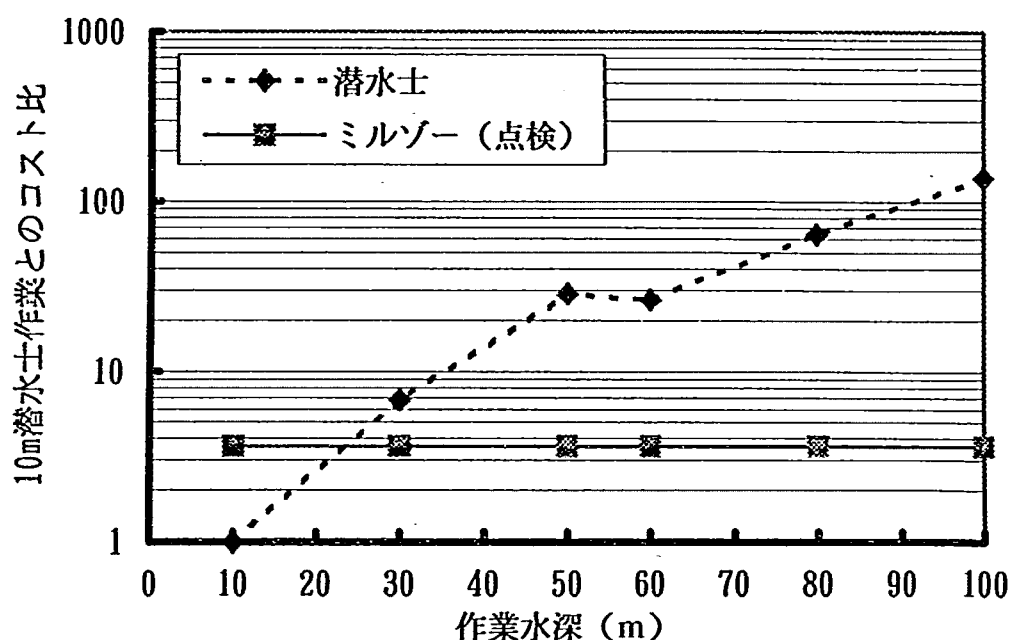


図-7.1.1 潜水士と水中ROV（ミルゾー）の作業水深ごとの費用比較

7.2 水中切断作業

水中切断ユニットの作業能力を1時間あたり3mとして、本体ROVに水中切断ユニットを搭載して水中切断作業を行う場合のコスト試算を行った。

機器損料は本体ROVのほか水中切断ユニットとして火焰ジェットバーナー、同操作・制御盤などを含み、また材料費として酸素、灯油などの燃料の費用を算出した。

図-7.2.1は、水中切断作業における潜水士と水中ROV（キルゾー）の作業水深ごとの費用比較の片対数グラフを示す。

水中ROVによる切断作業コストは、現状では切断物の有効な回収方法または回収作業機器が提案されていないため、潜水士が切断物回収の玉掛け作業のために水中ROV作業水深まで潜るコストが含まれている。そのため他の水中ROV作業とは異なり、作業水深の増大に対し、若干の増加傾向がみられる。それでも水深50m以上の水深では、潜水士による切断作業に比べ、かなり経済的であると考えられる。

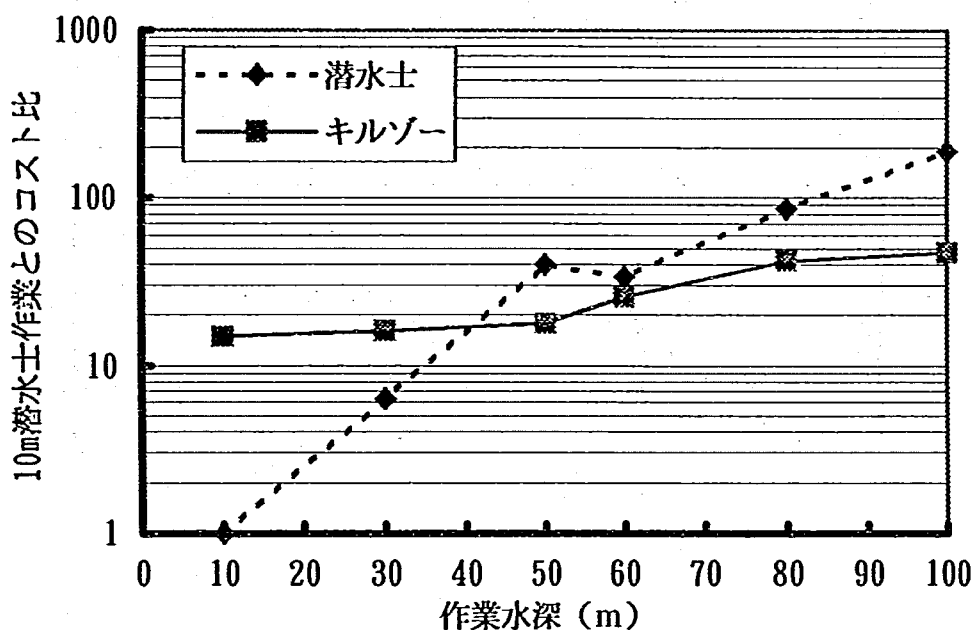


図-7.2.1 潜水士と水中ROV（キルゾー）の作業水深ごとの費用比較

7.3 水中塗装作業

水中塗装ユニットの作業能力を1時間あたり10㎡として、本体ROVに水中塗装ユニットを搭載して水中塗装作業を行う場合のコスト試算を行った。

機器損料は本体ROVのほか水中塗装ユニットと素地調整機、コンプレッサーなどを含み、また材料費として水中塗料、研磨材などの費用を算出した。

図-7.3.1は、水中塗装作業における潜水士と水中ROV（キルゾー）の作業水深ごとの費用比較の片対数グラフを示す。

潜水士による水中塗装作業は50m以深においては、他の潜水作業と同様の理由により施工単価の飛躍的増大を招いているが、水中ROV（ミルゾー）による水中点検作業は、水深の影響をほとんど受けず、施工単価はほぼ横ばいで一定している。このため、水中ROV作業コストは30m以浅では潜水士作業コストに比べ数倍高いが、30m以深ではかなり経済的であると考えられる。

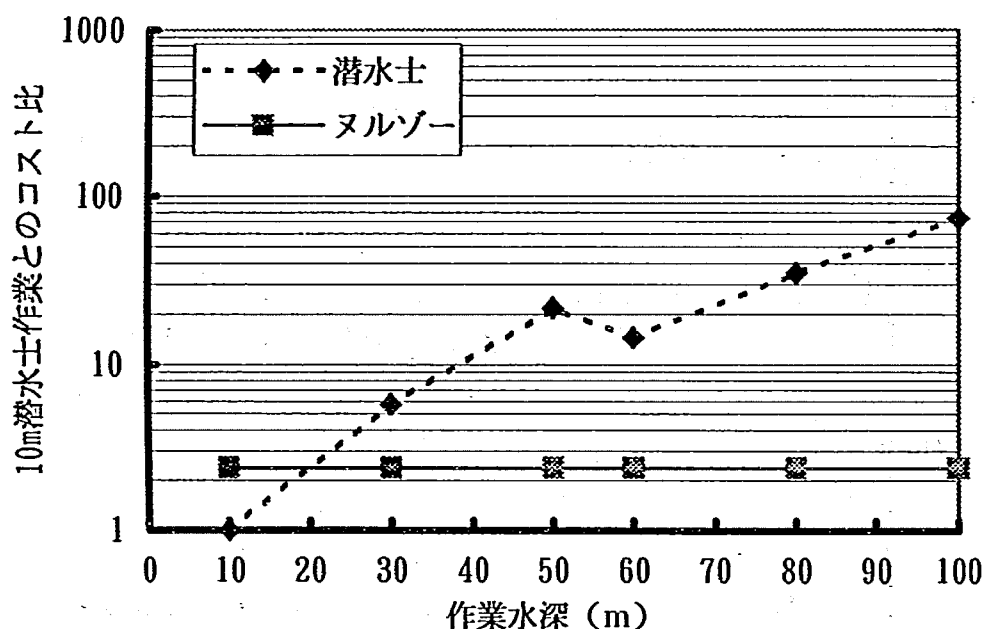


図-7.3.1 潜水士と水中ROV（ミルゾー）の作業水深ごとの費用比較

8. 水中作業システムに関する検討

我が国は山岳地帯やその間を流れる河川が多く、水力を使用する地形に恵まれており、全国的に水力発電ダムを始め農業かんがい・水道用等を兼ねた多目的ダムが多く建設されている。これらは、昭和30年代から50年代までにほとんどが建設され、今日その結果我が国の工業力の発展の原動力となっている。しかし、これらのダムは建設から幾多の年月を経ているため、老朽化に伴う補修工事や能力増強を目的とした改修工事も多く行われている。

これらの改修・補修工事は冬期の渇水期に行われているのが通常である。このため、工事期間が制限されており、作業環境が厳しい中での潜水作業となっている。また、作業水深は20～30m付近が多いが、時には超大型のダムのごときは60～80m近くの場合もある。このような場合においては、一回あたりの潜水時間が制約されるため作業効率が悪く、また危険を伴う作業となっている。

ダム・堰等における水中構造物の状態を正しく把握し、補修することは、それらの維持管理上、非常に重要なことである。しかし、その検査や計測、補修を安全で容易に行う技術や手法は、現在明確にされていない。今後、水中におけるこれらの技術開発を進めていく必要が高く、また期待されているところである。

これらに鑑み、本研究では水中構造物の維持管理に必要とされる点検・診断、切断（撤去等）、塗装の要素技術に関する検討を実施した。これらの技術を現場へ適用するにあたっては、現場の諸条件に合わせたシステムの詳細設計及びその運用等に関する検討が必要となる。

本検討でとりまとめた運用要領（案）は、運用にあたっての流れを大まかに示したものではあるが、今後、本検討をより具体的に進めることにより、潜水士によるこれまでの不規則な水中作業の軽減、施工の合理化に資するものと思量される。

水中作業運用要領（案）

目 次

1. 総論	要領-1
1.1 水中作業システムの特徴	要領-1
1.2 水中作業システムの全体構成	要領-1
1.3 作業条件（適用範囲）	要領-1
2. 水中作業本体ROV（ベースマシン）	要領-2
2.1 開発のコンセプト	要領-2
2.2 水中作業本体ROVの仕様	要領-2
2.3 把持装置	要領-2
2.3.1 把持金物方式	要領-2
2.3.2 吸盤金物方式	要領-3
2.4 作業手順	要領-3
3. 水中点検・診断作業	要領-6
3.1 水中点検・診断システムの特徴	要領-6
3.2 作業条件	要領-6
3.3 点検・診断ユニット	要領-8
3.3.1 開発のコンセプト	要領-8
3.3.2 点検・診断ユニット	要領-8
3.3.3 監視ユニット	要領-12
3.3.4 誘導ユニット	要領-12
3.4 運用方法	要領-14
3.4.1 作業項目	要領-14
3.4.2 作業の流れ	要領-16
3.4.3 人による作業	要領-16
3.4.4 機器による作業	要領-18
4. 水中切断作業	要領-19
4.1 水中切断システムの特徴	要領-19
4.2 作業条件	要領-20

4.3 切断ユニット	要領-20
4.3.1 開発のコンセプト	要領-20
4.3.2 ノズルユニット	要領-20
4.3.3 火焰ジェットカッター工法	要領-20
4.3.4 アブレッシブジェット工法	要領-21
4.4 運用方法	要領-22
4.4.1 作業項目	要領-22
4.4.2 作業の流れ	要領-24
4.4.3 人による作業	要領-25
4.4.4 機器による作業	要領-25
5. 水中塗装作業	要領-26
5.1 水中塗装システムの特徴	要領-26
5.2 作業条件	要領-27
5.3 塗装ユニット	要領-27
5.3.1 開発のコンセプト	要領-27
5.3.2 塗装ユニット	要領-27
5.4 運用方法	要領-28
5.4.1 作業項目	要領-28
5.4.2 作業の流れ	要領-28
5.4.3 人による作業	要領-30
5.4.4 機器による作業	要領-30

1. 総論

1.1 水中作業システムの特徴

本水中作業システムは、これまで潜水士によって行われてきた水中における点検・診断、補修作業の省人化及び安全性の向上を図るものである。また、潜水士による潜水作業が不可能な大水深においても施工可能となり、生産性の向上を図れるものと考えられる。

なお、本水中作業運用要領（案）においては、作業対象をダムに限定し、従来工法との比較等を行っている。各作業の特徴及び詳細については、各論において述べるものとする。

1.2 水中作業システムの全体構成

本システムは、作業ユニットとユニットを搭載するための本体ROV（Remotely Operated Vehicle）及び作業を監視するためのカメラ等から構成されている。作業目的に応じて本体ROVに作業ユニットを取り替え搭載し、ダム等の水中において作業を行うものである。

また、本システムは、作業ユニットを搭載した水中作業ロボットと、陸上に設置されるロボット制御装置、電源装置及びこれらをつなぐテザーケーブルなどから構成されている。

作業ユニットとしては、点検、切断及び塗装ユニットの搭載を計画している。なお、各ユニットの仕様及び詳細等については、各論で述べるものとする。

1.3 作業条件（適用範囲）

本システムは、ダムの点検・診断、補修作業を対象として開発されたものであるため、現段階での使用条件はダムに限定したものとする。

- | | |
|----------|--|
| (1) 使用場所 | ダム |
| (2) 深 度 | 最大100m |
| (3) 水 流 | ほとんとなし（無視できるものとする） |
| (4) 濁 度 | 点検：1,000ppm以下
切断：70ppm以下
塗装：制限なし |
| (5) 水 温 | 点検：0℃～30℃
切断：0℃～30℃
塗装：10℃以上 |

2. 水中作業本体ROV（ベースマシン）

2.1 開発のコンセプト

水中作業システムとは、作業目的に応じて本体ROVに作業ユニット（点検・診断ユニット、切断ユニット及び塗装ユニット）を取り替え搭載し、ダム等の水中において作業をできるように計画したものである。ここで、本体ROVとは、点検・診断、切断、塗装の作業ユニットを搭載する共通のベースマシンをさす。

2.2 水中作業本体ROVの仕様

本水中作業システムは、作業ユニットを搭載した水中作業ロボットと、陸上に設置されるロボット制御装置、電源装置及びこれらをつなぐテザーケーブルなどから構成されている。

水中作業ロボットの主要目を表-2.1に示す。

表-2.1 水中作業本体ROVの主要目

外形寸法 (L×B×H)	約2.0m×2.1m×1.5m
空中重量	約740kgf
推進装置 前後スラスト	2台 電動式
上下スラスト	1台 電動式
フレーム構造	作業ユニット及び機器搭載用
作業ユニット	作業目的に応じて取り替え搭載
TVカメラ及び投光器	1式
テザーケーブル	電力送電及び信号電送用
位置センサー	深度計・方位計・傾斜計
支援設備	ロボット制御装置・電源装置・TVモニター着・揚収装置（トラッククレーン利用）

2.3 把持装置

把持装置は、作業中にROV本体が受ける外力や作業反力による動揺や移動を抑え、作業対象物に強固に固定するために装備する。

把持装置は、スクリーンなどメッシュ状の作業対象物に対しては把持金物方式を、また扉体など平板状の作業対象物に対しては吸着金物方式を装備するように計画する。

2.3.1 把持金物方式

(1) 把持方法：

把持金物をダムスクリーンの格子間に位置させ、把持金物を油圧シリンダで伸ばして格子の間を通し、把持金物の爪の働きによりダムスクリーンに固定する。

(2) 把持金物：

ダムスクリーンの格子に入る寸法とし、爪により格子に固定できる機構を持たせる。

(3) 位置決め金物：

把持装置の位置決めを精度よく行うために、あらかじめ位置決め金物を利用して固定する。

(4) 動力源：

陸上よりホースにて油圧を供給する。

2.3.2 吸着金物方式

(1) 把持方法：

吸着金物を先端に取り付けた油圧シリンダーを伸ばして平板に押し当て、吸着用ポンプを作動させて吸着金物内部を減圧することにより平板に固定する。

(2) 動力源：

陸上よりホースにて油圧を供給する。

2.4 作業手順

水中作業ロボットの作業手順を図-2.1に示す。

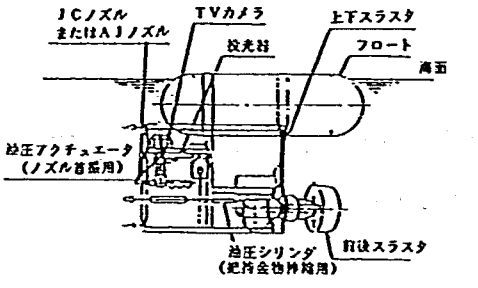
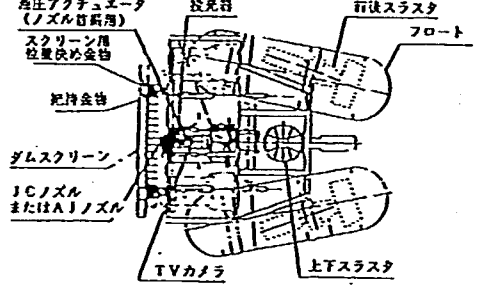
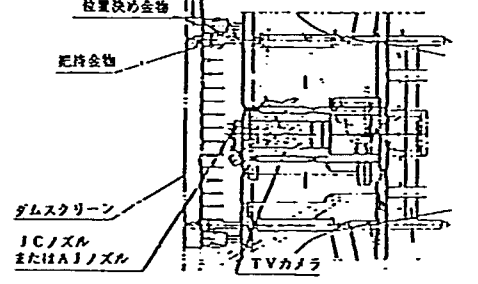
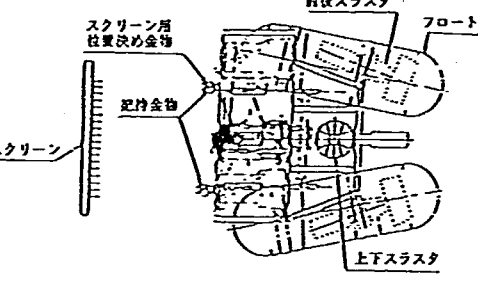
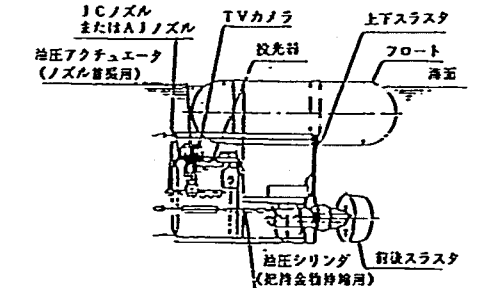
	手 順	状 況	作 業 内 容
1	着水		(1) ロボットをトラッククレーンで吊ってダム水中に着水させる。 (2) 潜水士によりロボットの吊りピースからロープを切り離す。
2	浮遊 位置決め 把持		(1) ロボット制御装置によりロボットを操作、浮遊、ダムの作業対象場所へ到達。 (2) 対象物の状況を確認し、ロボットの姿勢・位置を調整する。 (3) 位置決め金物をスクリーンの間に位置させ、油圧駆動によって把持金物をダムスクリーンに固定させる（ダムスクリーンの場合）。 吸盤をダムゲートの適当な位置に圧着させ、ロボットを固定する（ダムゲートの場合）。
3	作業		(1) 作業内容及び対象物の状況に応じて、作業ユニットの横移動、上下移動、首振りを行いながら作業を実施する。この間、TVカメラによって作業状況をモニターする。
4	離脱 移動		(1) 作業終了後、把持金物を外し、ロボットを作業対象物から離脱させる。 (2) 次の作業場所または揚収場所までロボットを操作して移動させる。
5	揚収		(1) ロボットを水面まで浮上させる。 (2) 潜水士より、ロボットの吊りピースにロープを取り付け、トラッククレーンで揚収する。

図-2.1 水中作業システムの作業手順

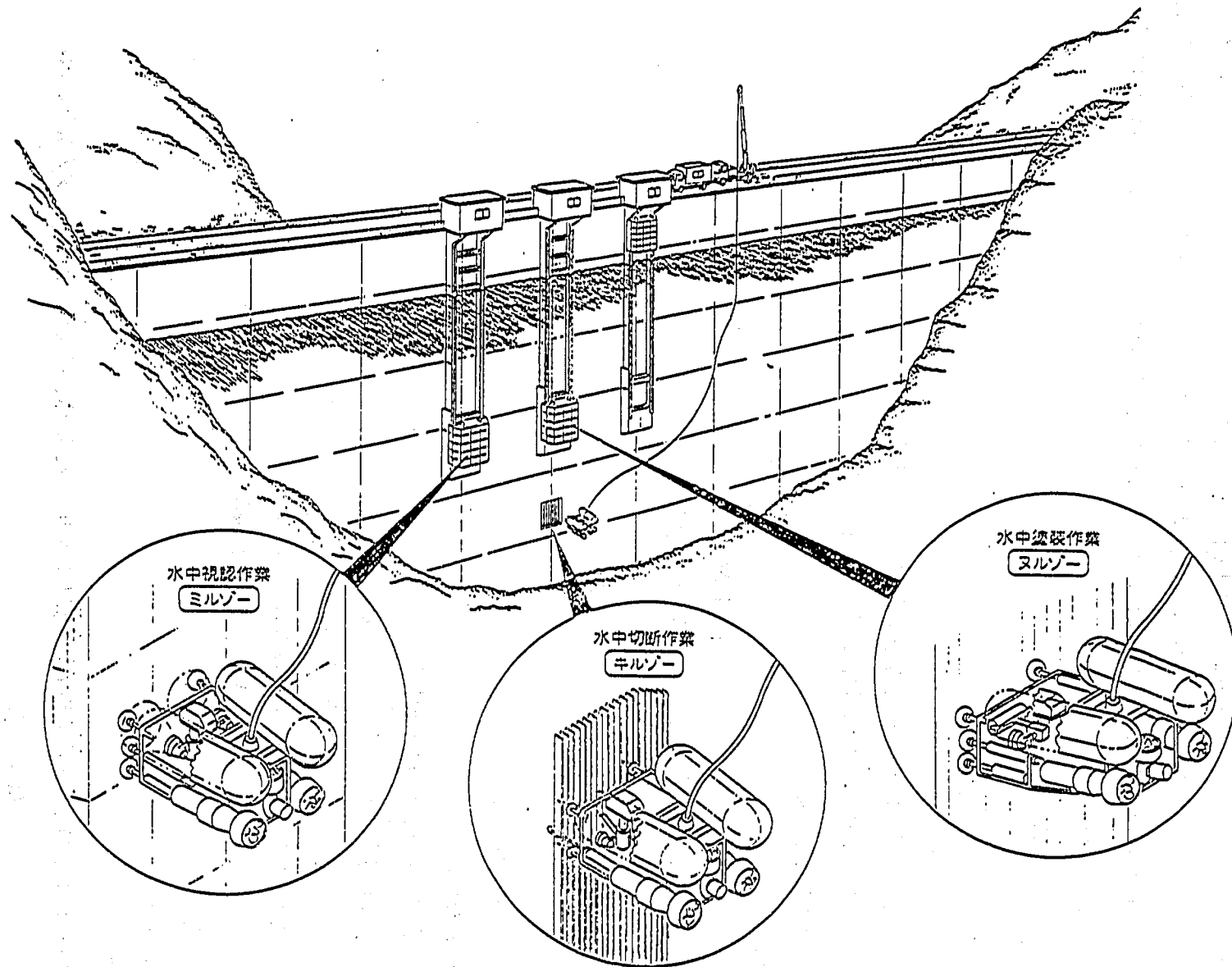


図-2. 2 水中作業の概念図

3. 水中心検・診断作業

3.1 点検・診断システムの特徴

本システムを使用することにより、表-3.1の従来工法との比較にみられるように多くの点で点検作業の制約がなくなり、従来工法では難しかった合理化の推進、省人化、安全性の向上が図れる。また、表-3.2に示すように水中ROV等を利用した従来の水中心検で最大の問題点であった濁度の制限について大幅な改善がみられる。

3.2 作業条件

(1) 作業対象

1) 水中心検・診断作業

- ・水中鋼構造物（ダムスクリーン、扉体、鋼矢板、鋼管杭など）
- ・水中コンクリート構造物（ダム堤体、水路、橋脚など）
- ・土砂堆積状況等水中地形

2) 監視作業

- ・切断ユニット（キルゾーユニット）作業状況の監視
- ・塗装ユニット（ヌルゾーユニット）作業状況の監視

3) 誘導作業

ROVを点検対象物に誘導

(2) 適応場所の制限

海水、淡水の制限はない

(3) 気象・海象条件

- ・潮流・流速：0.5m/sec以下とする
- ・濁度：濁水処理なしの場合 10ppm
濁水処理ありの場合 1,000ppm
- ・波高：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存
- ・風速：支援船及び本体ROVの耐風速性に依存

(4) 適用範囲

水深：100m

点検範囲：

- ・TVカメラ使用：水中構造物全般（ダムスクリーン、扉体、鋼矢板、鋼管杭、ダム堤体、水路、橋脚など）
- ・クリアサイト使用：平面状水中構造物（扉体、鋼矢板、ダム堤体、水路など）

表-3.1 従来工法との比較

	従来工法（空中）	従来工法（水中）	現状開発システム
事前作業	・ダム水位低下	・湖面へのアクセス検討	・機器配置計画 ・湖面へのアクセス検討
主な作業機械、器具、材料	・空中仕様の点検計測機材（カメラ、VTRなど） ・人員、機材移動用車両または作業船 ・作業用足場材 ・移動式クレーン	・水中仕様の点検計測機材（カメラ、VTRなど） ・潜水器具一式 ・人員、機材移動用車両または作業船 ・移動式クレーン	・ROV ・点検ユニット ・清水または凝集剤 ・人員、機材移動用車両または作業船 ・移動式クレーン
作業員数（注1）	・工事管理者 ・点検作業員 ・点検作業補助員 ・普通作業員 合計 4名	・工事管理者（地上） ・主任潜水土 ・点検潜水土 ・点検補助潜水土 ・待機潜水土 2名 ・普通作業員（地上） 合計 7名（注2）	・工事管理者 ・点検ユニット操作員 ・点検ユニット操作補助員 ・普通作業員 合計 4名
条件、制約	・ダムの水利計画に合致した時期のみ水位を下げられる ・長期の準備が必要 ・点検対象物が最低水位以上に有ること	・水深が限定される ・潜水作業時間が水深、標高で制限される ・リアルタイムに点検できず気中点検よりも精度が落ちる	・複雑な構造物や狭隘な場所では点検できないこともある ・水中ケーブルが水底の異物に引っかかる恐れがある
安全性、作業性	・作業足場の確保が必要 ・通常の作業現場と同様で良好	・水深により危険性が増し、視界不良や水中電話装置の不確実さで安全性が低い ・短い作業時間と多量の作業員が必要	・安全性は良好 ・ROVの投入が現場状況により難しい場合以外は作業性も良好
合理化	・現在以上の期待はあまりできない	・難しい	・システム化が進められ大幅な省人化可能

注1：作業員数は作業内容によっていろいろ変わるが概略の員数を示す。

注2：本例では潜水土2チームで作業員数を算出したが、作業現場の標高と水深によっては潜水土が数チーム必要となり、作業員数が数倍に増える。

例）深度52m、1回の作業時間を30分とした場合、浮上時間及び業務間ガス圧減少時間等を考慮すると1チームの1日の潜水回数は2回で作業時間は60分となる。

よって、1日に5時間作業を行うためには5チーム（3名×5チーム＝15名）必要である。

※参考資料「高気圧作業安全衛生規則 別表第2、3」

表-3.2 作業毎の濁度による制限

作業内容		誘導作業		点検作業		計測作業		監視作業		備 考
濁度(ppm)		10>	10<	10>	10<	10>	10<	10>	10<	
従来作業	潜水土	可	不可	可	不可	可	不可	可	不可	長時間作業は困難 深度制限がある
	水中ロボット	可	不可	可	不可	可	不可	可	不可	ソナー搭載機種では 作業の一部は可
本システム		可	可	可	可	可	可	可	不可	

注) 水中濁度欄で 10>は10ppm以下を、10<は10ppm以上を示す。

3.3 点検・診断ユニット

3.3.1 開発のコンセプト

水中鋼構造物の点検・計測・診断をする作業ロボットの開発にあたりロボットの眼となるTVカメラの視認性が重要な課題であり、特に視認機能向上の制限項目となっている水の濁度対策として次の項目を中心に設計を行った。

- ・低照明でも視認できる高感度撮像デバイスの選択
- ・小型、高効率、高演色性光源の選択とライティング技術の採用
- ・効率のよいクリアサイト技術による精密点検システムの採用
- ・ソナーなどの超音波による探査技術の採用
- ・作業ロボットの水中位置計測システムの採用
- ・各種計測・診断装置の搭載

3.3.2 点検・診断ユニット

(1) クリアサイト

図-3.1の概要図に示すように濁水中で視認するために 1)の清水置換 と 2)の凝集置換 の両方を行えるようにし、中にTVカメラと照明灯、攪拌器を装備し、置換水を圧送するための送水パイプ、送水ポンプ、清水タンク及び凝集剤タンク、凝集剤圧送ポンプを装備する。

清水置換と凝集置換の使い分けは以下のとおりである。

1) 清水置換

- ① 水深条件：送水圧力損失や送水パイプ内保有量、清水タンク容量等を考慮し10m以内の浅い点検箇所
- ② 懸濁物の制限：無機質サスペンション及び高分子化合物のコロイド等の懸濁物質いずれでも実施可能で懸濁物の制限はないが、特に150ppm以上の高分子化合物コロイドの場合
- ③ その他の条件：清水を十分に供給できる場合

以上の①～③の条件が揃った場合に実施し、その方法には以下の2とおりの方法がある。

- a) パイプ給水：本体ROVが小型の場合
- b) タンク給水：大型の清水タンクを搭載できる本体ROVの場合

2) 凝集置換

① 水深条件：深度制限はない

② 懸濁物の制限：

a) 無機質サスペンションの場合：

初期濁度1,000ppmでも凝集剤投入後3～4分で映像の識別可能な10ppm以下にできる。

b) 高分子化合物コロイドの場合：

初期濁度150ppmで凝集剤投入後5分で映像の識別可能な10ppm以下にできる。150ppm以上では時間をかけても凝集できない部分が残る、映像識別が困難である。

③ その他の条件：清水を十分に供給できない場合

以上の①～③の条件が揃った場合に実施する。主要目は以下のとおり。

ハウジング材質：アクリル樹脂製

寸法：内径200mmφ×長さ500mm

本体重量：約5kg

濁水処理量：

I) 清水置換の場合

$$T = T_0 \cdot \exp(-Q \cdot t \cdot \beta / V)$$

ただし T ：置換終了濁度 (ppm)

T_0 ：初期濁度 (ppm)

V ：クリアサイト容積 (ℓ)

Q ：置換清水流量 (ℓ/分)

t ： $T_0 \rightarrow T$ への置換時間 (分)

β ：置換補正值 (1.13～1.32)

クリアサイト寸法とカメラハウジング寸法から視認距離は30cm程度となり、その時の視認濁度は30ppmであるが、余裕をみて $T=10\text{ppm}$ とする。

初期濁度500～1,000ppmの場合、クリアサイト容積の3～4倍の置換清水量で映像の識別可能な10ppm以下にできるが置換時間は20～30分かかる。置換時間を5分以下にしようとする15～20倍の置換清水量となるため装置及び清水供給量を勘案し上記式より使用可能な初期濁度を決定する。

II) 凝集置換の場合

懸濁物が無機質サスペンション、高分子化合物コロイドとも、

・無機系凝集剤 (PAC)：600ppm

・有機系凝集剤 (EDP-301)：4ppm

・中和剤 (NaOH) : 60ppm

という微量の凝集剤の投入で濁水を清澄にできるため、カートリッジタンクにそれぞれの薬剤を封入して作業ロボットに搭載する。点検必要箇所で作業ロボットを静止させ、凝集開始ボタンを押すだけでメタリングポンプにより必要時間に必要量を配分してクリアサイト内に注入し、視認可能にする。したがって、地上とを結ぶパイプが必要なく地上に特別な設備も不要で、予想される点検回数すなわち濁水処理回数とクリアサイトの容量から必要カートリッジ容量を算出するだけで運用できる。

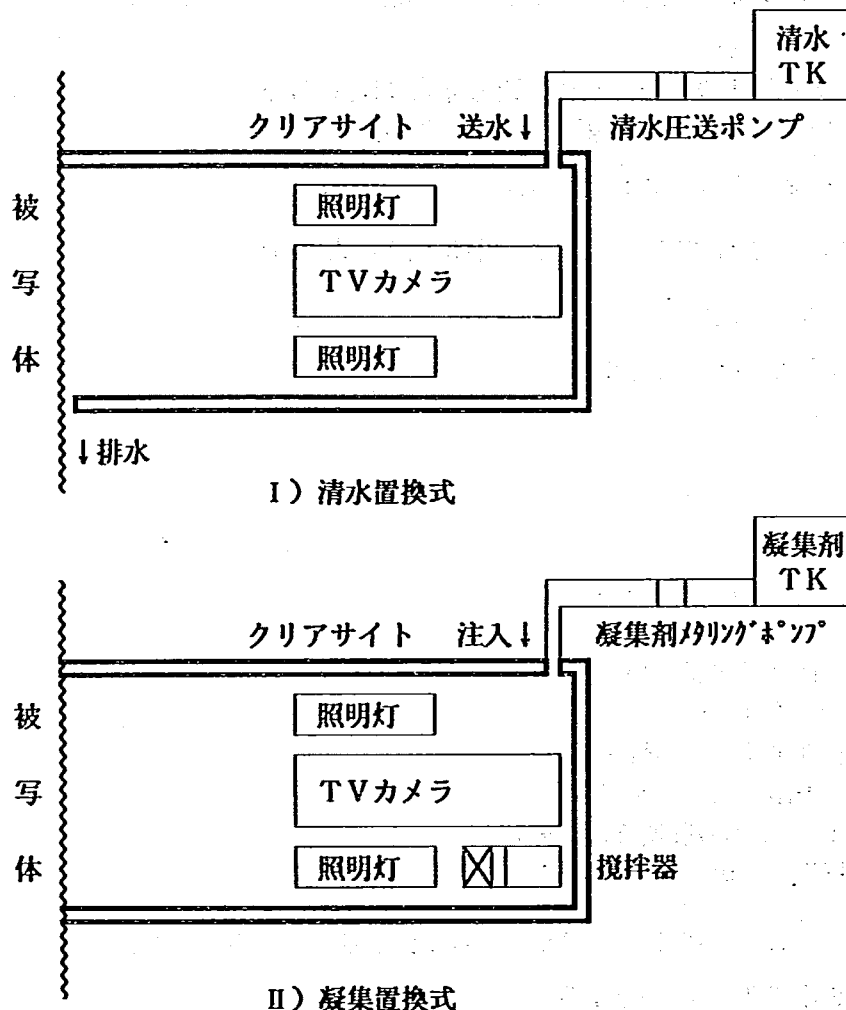


図-3.1 クリアサイト概要図

(2) カラーTVカメラ

型式: CCD単板式カラー水中TVカメラ

ハウジング材質: 耐食アルミニウム特殊硬質酸化皮膜処理

解像度: 480TV本(水平中心部)以上

最低被写体照度: 3.5Lux (F1.2)

レ ン ズ : $F=1.4$ $f=8\text{mm}$

アイリス : オートアイリス

(3) メタルハライドランプ

型 式 : 反射形

出 力 : 150W

平均寿命 : 6,000Hr

(4) 診断装置

以下のもので水中仕様となっているものを搭載可能である。ただし、1) は上記カラーTVカメラで撮影したモニター画像データから船上側で画像処理をするため、特別な測定器は水中部分にはない。

1) 寸法計測装置

型 式 : 画像処理式

測定範囲 : 0~300mm (距離30cmにおいて)

分 解 能 : 0.5mm (距離30cmにおいて)

2) 板厚計測装置

型 式 : 超音波式デジタル表示

測定範囲 : 0~100mm

分 解 能 : 0.1mm

3) 塗膜厚計測装置

型 式 : 電磁式デジタル表示

測定範囲 : 0~10mm

測定精度 : $\pm (3\% + 10\mu\text{m})$

4) 渦電流クラック検査装置

型 式 : 渦電流式アナログ表示

5) 外形形状表示装置

型 式 : 超音波ソナー式アナログ表示

探査範囲 : 0.4~40m

距離分解能 : $\pm 1.4\text{mm}$

(5) データ収集装置

以下のものを装備可能である。ただし、フロッピー式データ記録装置はビデオテープへのスーパーインポーズで代用できるため、オプション的な機能となる。

・VTR装置

・ビデオプリンタ装置

・フロッピー式データ記録装置

3.3.3 監視ユニット

(1) 高感度カラーTVカメラ

濁水の場合は照明装置の照度を落として視認を行うために高感度カラーTVカメラを搭載し、要目は以下のとおり。

型 式：ハーピコン3管式カラー水中TVカメラ

ハウジング材質：耐食アルミニウム特殊硬質酸化皮膜処理

解 像 度：700TV本（水平中心部）以上

最低撮像面照度：約0.04Lux（F1.4、+18dBゲイン時）

レ ン ズ：F=1.7 f=8mm～48mm（6倍ズームレンズ）

アイリス：オートアイリス

(2) ハロゲンランプ

型 式：反射型遠隔操作式減光装置／光軸調整装置付き

出 力：150W

3.3.4 誘導ユニット

(1) 前方探査ソーナー

図-3.2のように任意の方向に超音波を発射し、対象物にあたって反射し帰ってくるまでの時間を測り、対象物までの距離を出し表示するもので、船舶や航空機のレーダーと同じ原理で作動する。真っ暗で濁った水中でTVカメラでは数m程度しか見えない状況の中でも、自分を中心として最大半径200mの範囲で水底地形の判別、水中にある物体の探索ができるため、作業ロボットを点検対象物まで誘導するのに用いる。その要目は以下のとおり。

型 式：スキャニングソーナー

最大探査距離：200m

探 査 速 度：8～40°/秒

表示モード：極座標／サイドスキャンモード

(2) 水中位置検出装置

船上からの指令により作業ロボットに装備した発信器よりパルス状の超音波を発し、この超音波をオペレータのそばに設置した送受波器で受け、どちらの方向からどれだけの時間で到達したかを測定、計算し、ディスプレイ上に位置と直線距離を表示する。これにより水中のロボットがどの方向のどれだけの距離にいるのか一目で確認することができる。位置の判っている3基準点からの距離を計測し、三角測量の要領で計測点の三次元的な位置を求めるLBL（Long Base Line）方式があるが、計測精度を高めるためには、各基準点間の間隔（基線長：Base Line）を長くする必要があり、また計測点と基準点を結ぶそれぞれの線が垂直に近く交わるほど誤差範囲が狭まるため、計測を広範囲に行う場合には基準点を多数設置する必要があるなどの制限がある。そこで図-3.3のように3基準点の間隔を極度に狭く

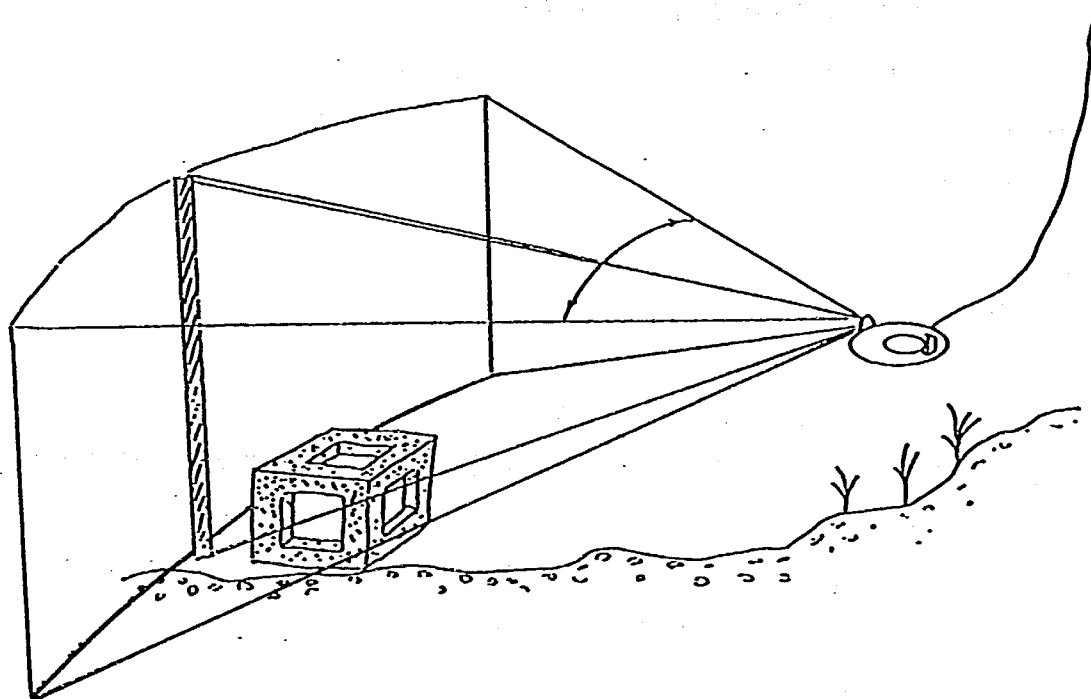


図-3.2 ファンビームスキャンニングソナーの概念図

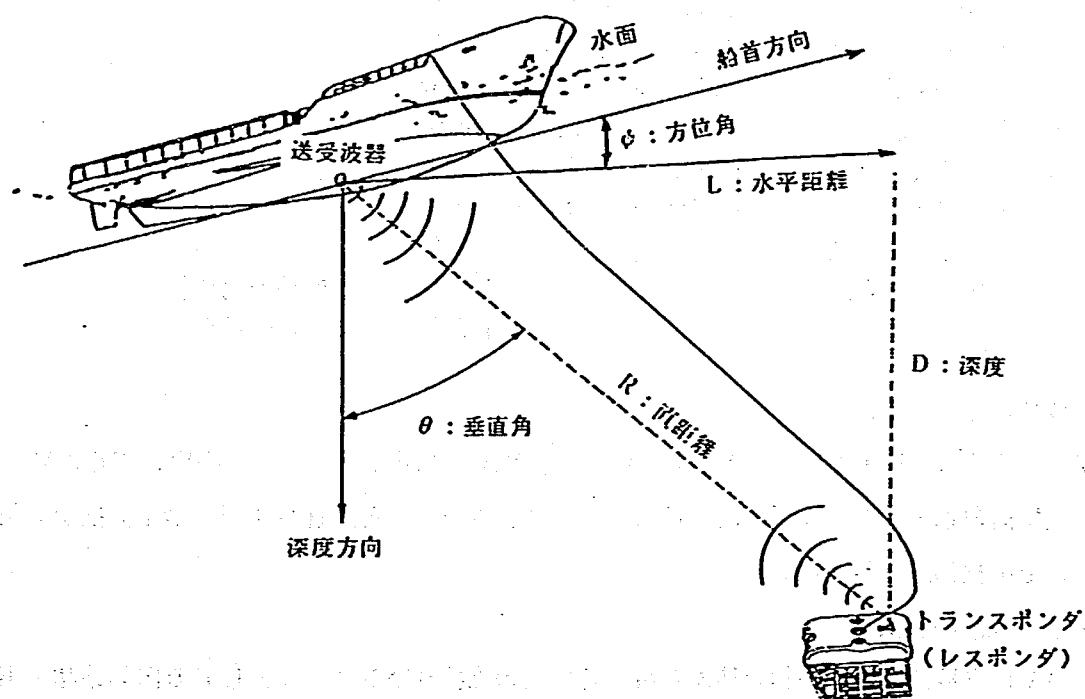


図-3.3 SSBL測位方式の概念図

して1つの計測器の中に納め、音波の位相差計測により計測点の三次元的な位置を精度良く計測するSSBL (Super Short Base Line) 方式を採用する。

検出方式：SSBL (スーパージョートベースライン) 方式

最大測定距離：250m

距離精度：±1m

3.4 運用方法

3.4.1 作業項目

(1) 地上設備の設置

地上作業スペースは以下の項目を考慮して確保する。

- 1) 制御装置：中央制御室に作業ロボット操作盤、切断装置操作盤、塗装装置操作盤などとともに設置する。
- 2) 電源装置：点検装置の電源は点検ユニット単独でも運用でき、切断装置、塗装装置と共用する場合には、その仕様は現場条件によって変わる。
- 3) タンク、ポンプを含む清水置換装置。
- 4) 点検装置の組立作業：切断装置、塗装装置と共用する。
- 5) 移動式クレーン設置：切断装置、塗装装置と共用し、その仕様は現場条件によって変わる。

(地上作業スペース)

① 中央制御室	$2.4\text{m} \times 6.0\text{m} = 14.4\text{m}^2$
② 発電機(単独)	$1.0\text{m} \times 0.6\text{m} = 0.6\text{m}^2$
発電機(共用)	$2.0\text{m} \times 3.3\text{m} = 6.6\text{m}^2$
③ 清水置換装置	$2.0\text{m} \times 5.0\text{m} = 10.0\text{m}^2$
④ ROV組立場所	$15.0\text{m} \times 3.0\text{m} = 45.0\text{m}^2$
⑤ 移動式クレーン	$10.0\text{m} \times 6.0\text{m} = 60.0\text{m}^2$
⑥ 通路等スペース	36.0m^2
作業スペース合計	166.0m ² (電源単独の場合)
	172.0m ² (電源共用の場合)

(2) 本体ROVに点検装置搭載

ROV、点検診断装置ともユニットとして輸送し、現地にて移動式クレーンを用いて組み立てを行う。その際、点検対象物の水深及び置換清水の有無を確認、水中濁度と濁質を予想し清水置換か凝集置換かを決定し、その機器を搭載する。

(3) 点検・診断装置の点検

本体ROVに点検診断装置を組み込んだ後、各装置の点検及びシステムとしての作動確認を実施する。

(点検箇所)

1) クリアサイト

- ① 清水置換の場合：船上側清水置換装置(含む清水量)、ホース、配線配管、圧送装置、調整器、作動

② 凝集置換の場合：凝集剤供給装置（含む凝集剤量）、配線配管、調整器、作動

2) T V カ メ ラ：配線、水密、モニター映像

3) 照 明 灯：配線、水密、瞬間点灯、光軸調整装置作動（装備の場合）

4) 診 断 装 置：配線、水密、各装置に必要な調整（含む0調整）

5) 前方探査ソーナー：配線、水密、装置に必要な調整（性能確認は水中のみ）

6) 位置検出装置：配線、水密、装置に必要な調整（性能確認は水中のみ）

(4) 点検・診断対象物への移動

作業ロボットが大型のため水中への投入・揚収は地上からの大型クレーンによる直接の吊り込み、インクラインまたは傾斜路の利用、作業台船上の小型クレーンの使用などその水中投入仕様は現場条件によって変わる。特に清水置換の場合はホース長さの制限から作業台船が必要となる。水中に投入された作業ロボットは陸上の操作盤と誘導用前方探査ソーナーモニター、水中位置確認装置用モニターを使用しながら、そのスラストを操作して点検・診断対象物に移動する。

(5) 点検・診断箇所の確認

作業ロボットが点検・診断対象物に接近したら水中位置検出装置用モニターを使用して現位置を確認し、水中映像モニターで点検・診断箇所の確認を行う。

(6) 機器の固定

マクロ的な概略点検では作業ロボットを固定させずに水中遊泳させながら点検・診断作業を行う。ミクロ的な詳細点検では本体ROVに装備した把持金物で固定を行うが、点検対象物により以下のように把持金物の形式が異なる。

1) ダムスクリーン等のメッシュ状の構造物

点検対象物に作業ロボットを接触させてから、把持金物伸縮用油圧シリンダを「伸」方向に作動させることにより、シリンダ先端のエンドイフェクタ部に取り付けられた把持金物はメッシュ間を通り抜けて作業ロボットと反対側の構造物内部に入る。次いで把持金物伸縮用油圧シリンダ全体を支えている把持金物回転用油圧アクチュエータを作動させて、把持金物を90°回転させ把持金物の「爪」部を横向きにした状態で、把持金物伸縮用油圧シリンダを「縮」方向に作動させることにより、ROVを点検対象構造物に固定させる。

2) 扉体、ダム堤体等の平面構造物

点検対象物に作業ロボットを接触させてから、把持金物伸縮用油圧シリンダを「伸」方向に作動させることにより、シリンダ先端のエンドイフェクタ部に取り付けられた吸着金物を点検対象物の平面部に押し付ける。次いで吸着用ポンプを作動させて、吸着金物内部を周りの水中より負圧にし、その差圧により、作業ロボットを点検対象構造物に固定させる。

(7) 点検ユニットの移動

作業ロボットを点検対象物に固定後、油圧モータを作動させて点検ユニットの乗った共通台を移動させ、点検または計測箇所にクリアサイトまたは計測センサの位置を合わせる。

(8) 点検・診断

水中の濁りが少ない場合のマクロ的な概略点検は、水中照明灯の光量と光軸調整をしながら高感度カラーTVカメラの水中映像モニターで点検する。マクロ的な概略点検で異常が見られミクロ的な詳細点検が求められる場合や水中の濁りが多い場合には視認できる程度までクリアサイトで濁水置換を行ってから点検する。診断計測する場合には診断装置を操作して計測し、データ収集装置に記録する。

3.4.2 作業の流れ

作業工程フローを図-3.4に示す。

3.4.3 人による作業

(1) 地上設備の設置

地上作業スペースは 3.4.1 (1) 作業項目の地上作業スペースを以下の項目に考慮して確保する。

- ・本体ROVへの点検ユニットの組み付け
- ・作業ロボットの投入
- ・作業員の配置

なお、移動式クレーンの吊り上げ能力、設置場所の検討は本体ROVや地上設備の重量だけではなく、湖面へのアクセスのリーチも考慮する。

(2) 本体ROVへの搭載

点検ユニットの本体ROVへの搭載は移動式クレーンしかアシストしないため、専用治具を装備し普通作業員でも容易に組み付けができるようにする。

(3) 装置の点検、作業手順の確認

清水や凝集剤量などを含めて 3.4.1 (3) 作業項目の点検・診断装置についてあらかじめ作成した始業前点検チェックリストに従って装置の点検を行う。

また、点検現場の状況に合わせてあらかじめ作成した作業手順書により、手順、人員配置、安全事項について作業前ミーティングを作業員全員で実施する。

(4) 作業ロボットの遠隔操作（点検箇所への誘導・固定）

船上からユニット操作員がTVカメラ、前方探査ソナーや水中位置検出装置のモニターで点検対象物を確認しながら、作業ロボットを点検箇所近傍まで遠隔操作により誘導する。濁りの少ない水域で高感度カラーTVカメラによるマクロ的な概略点検では作業ロボットは点検対象物に固定させずに移動させながら点検を行う。濁りが多い場合やミクロ的な詳細点検のためクリアサイトを使用する点検作業、診断装置による計測作業では補助操作員が操作する把持装置で点検対象物に作業ロボットを固定させ、クリアサイトの前面を点検対象箇所に押し当てて濁水置換用の清水または凝集剤が漏れないようにする。

(5) 点検・診断装置の操作

マクロ的な概略点検では水中の濁りの状況に応じて水中照明灯の光量と光軸調整をしながら高感度カラーTVカメラの水中映像モニターで点検する。マクロ的な概略点検で異常がみられミクロ的な詳細点検が求められる場合や水中の濁りが多い場合には清水置換の時には清水を送水し、凝集置換の時には凝集剤投入シーケンスボタンを押して視認できる程度までクリアサイトで濁水置換を行ってから水中映像

モニターで点検する。診断計測する場合には診断装置を操作して計測対象箇所にセンサーを近づけて計測し、データ収集装置に記録する。

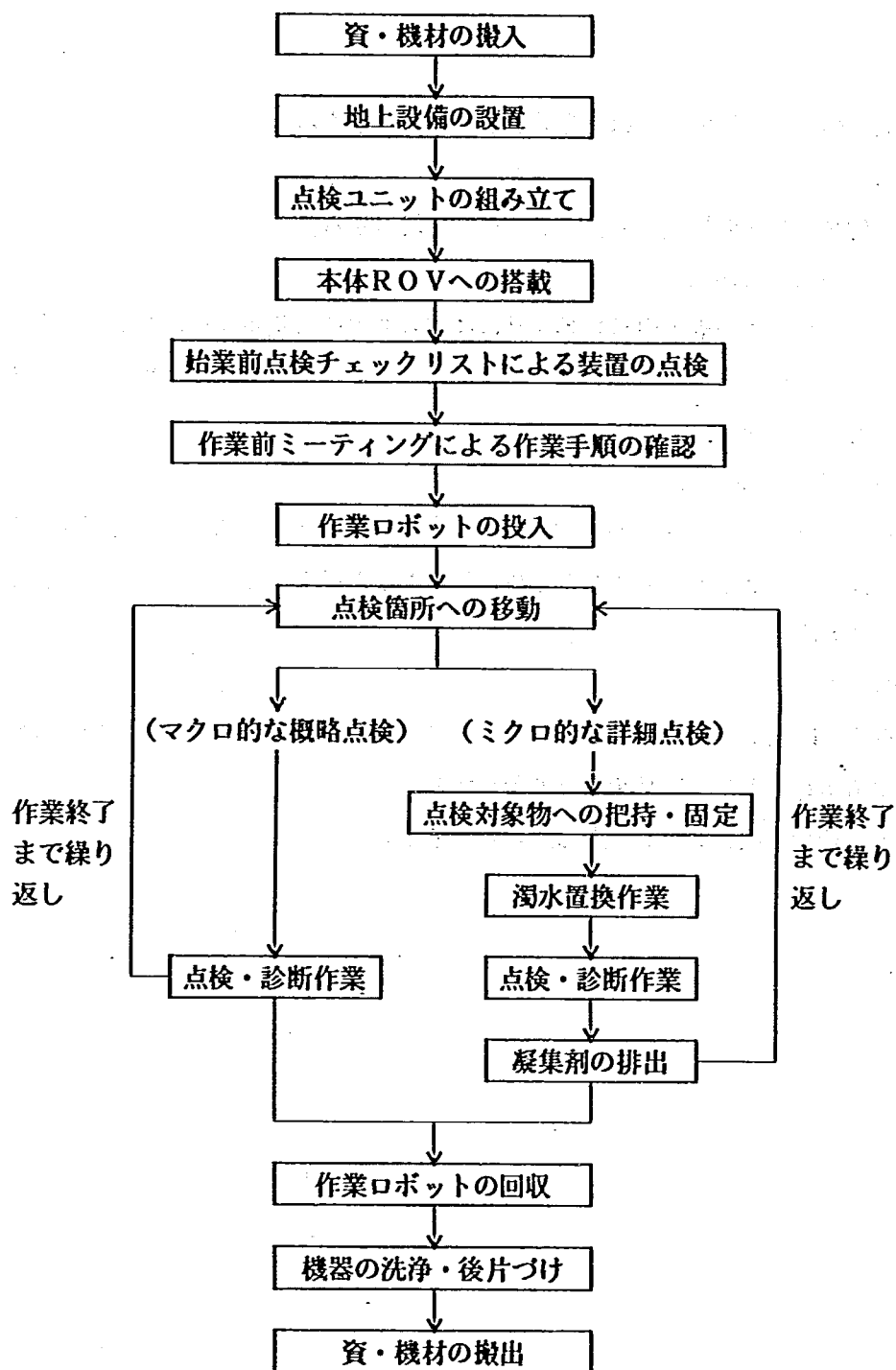


図-3.4 作業工程フロー

(6) 凝集剤の排出

凝集置換による点検終了後は次の点検対象箇所に作業ロボットを移動させる間に攪拌器を操作して凝集したフロックをクリアサイトから水中に排出する。

3.4.4 機器による作業

(1) 地上設備の設置

地上作業スペースへの地上設備の設置は移動式クレーンを使用する。

(2) 本体ROVへの搭載

点検ユニットの本体ROVへの搭載は移動式クレーンを使用する。

(3) 作業ロボットの点検箇所への移動

TVカメラ、前方探査ソナーや水中位置検出装置を使って点検対象物を確認しながら本体ROVのスラストで移動する。その際、清水置換でパイプ給水の場合は本体ROVの運動性能を拘束する送水ホースに中性浮力化の対策を施す。

(4) 作業ロボットの点検対象物への把持・固定

マクロ的な概略点検では作業ロボットを固定させずに水中遊泳させながら点検・診断作業を行う。ミクロ的な詳細点検では作業ロボットに装備した把持金物で固定を行う。その際、点検対象物により把持金物の形状をあらかじめ決めておく。

(5) 点検・診断装置の操作

マクロ的な概略点検では水中照明灯と高感度カラーTVカメラを使用する。ミクロ的な詳細点検ではクリアサイト、水中照明灯とカラーTVカメラを使用する。

診断計測では必要な診断装置とデータ収集装置を使用する。

4. 水中切断作業

4.1 水中切断システムの特徴

本システムは、水中での切断作業を機械化することで、表-4.1に示すように従来工法では難しかった合理化の推進、省人化、安全性の向上が図れる。

表-4.1 従来工法との比較

	従来工法（気中）	従来工法（水中）	現状開発システム
事前作業	・ダム水位低下	・湖面へのアクセス検討	・機器配置計画 ・湖面へのアクセス検討
主な作業機械、器具、材料	・ガス、アーク切断機 ・酸素 ・作業足場材 ・作業船 ・移動式クレーン	・ガス、アーク切断機 ・潜水器具一式 ・酸素 ・作業船 ・移動式クレーン	・JC、AJユニット ・ROV ・酸素、灯油、研磨材 ・作業船 ・移動式クレーン
作業員数（注1）	・工事管理者 ・切断作業員 ・切断作業補助員 ・普通作業員 2名 合計 5名	・工事管理者 ・主任潜水土 ・切断潜水土 ・切断補助潜水土 ・待機潜水土 2名 ・普通作業員 2名 合計 8名（注2）	・工事管理者 ・ユニット操作員 ・補助操作員 ・普通作業員 ・潜水土（注3） 2名 ・潜水補助員 2名 合計 8名
条件、制約	・渇水期しかできない ・長期の準備が必要	・潜水作業時間が水深、標高で制限される	・水中ケーブルが水底の異物に引っかかる恐れがある
安全性、作業性	・良好	・水深により危険性が増す ・閉所、崩壊性の高いところなどの危険箇所では施工できない	・良好 ・危険箇所での施工が安全に行える
合理化	・ある程度までできる	・難しい	・システム化、省人化が図られている

注1：作業員数は作業内容によっていろいろ変わるが概略の員数を示す。

注2：本例では潜水土2チームで作業員数を算出したが、作業現場の標高と水深によっては潜水土が数チーム必要となり、作業員数が数倍に増える。

例）深度52m、1回の作業時間を30分とした場合、浮上時間及び業務間ガス圧減少時間等を考慮すると1チームの1日の潜水回数は2回で作業時間は60分となる。

よって、1日に5時間作業を行うためには5チーム（3名×5チーム=15名）必要である。

注3：この潜水土の役割は、切断物の回収時に切断物の玉掛け作業とその引き上げ時の監視を行う。よって、長時間潜水することはできない。

※参考資料「高気圧作業安全衛生規則 別表第2、3」

4.2 作業条件

(1) 作業対象

- ・水中鋼構造物（ダムスクリーン、扉体、鋼矢板、鋼管杭など）
- ・水中コンクリート構造物（橋脚など）
- ・鋼、コンクリート複合構造物

(2) 適応場所の制限

海水、淡水の制限はない

(3) 気象、海象条件

- ・流 速：0.5m/sec
- ・波 高：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存
- ・風 速：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存
- ・温 度：0～30℃

(4) 適用範囲

水 深：100m

4.3 切断ユニット

4.3.1 開発のコンセプト

火焰ジェットカッター（略称：JC）またはアブレッシブジェット（略称：AJ）用のノズルユニット及び把持装置を本体ROVに搭載し、水中においてダムスクリーン等を切断する装置である。

4.3.2 ノズルユニット

表-4.2にノズルユニットの仕様を示す。

表-4.2 ノズルユニットの仕様

	項 目	仕 様
切 断 作 業 条 件	対象構造物	切断物を横方向のみ切断する。
	ノズル首振り角度	最大35° 陸上より遠隔操作で調整できる。
	ノズル水角度	ノズルと切断物（ダムスクリーン等）の距離をマニュアル調整できる。調整範囲は最大50mm。
	ノズル横移動速度	30～70mm/min
	ノズル横移動距離	ダムスクリーンの幅
	上下移動速度	3～6m/min
	上下移動距離	上120mm／下330mm

4.3.3 火焰ジェットカッター工法

火焰ジェットカッター工法とは、灯油と酸素の混合ガスを燃焼させることにより発生する高温、高圧の燃焼ガスを、ドウラパールノズルを通すことにより超音速火焰ジェットとし、この火焰ジェットの持つ高温度と高運動エネルギーを利用してコンクリートと鋼材を同時に溶断し、コンクリート構造物等を

切断、解体する工法である。

切断装置は、切断機、切断機制御装置、切断機移動装置から構成されている。切断機を図-4.1、写真-4.1に、仕様を表-4.3に、性能を図-4.2にそれぞれ示す。

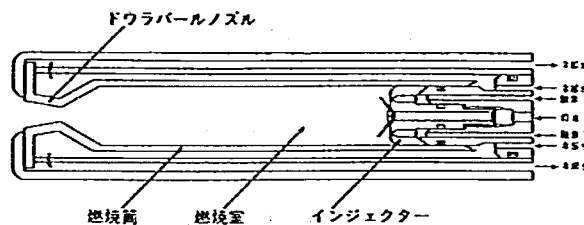


図-4.1 ノズル部の形状

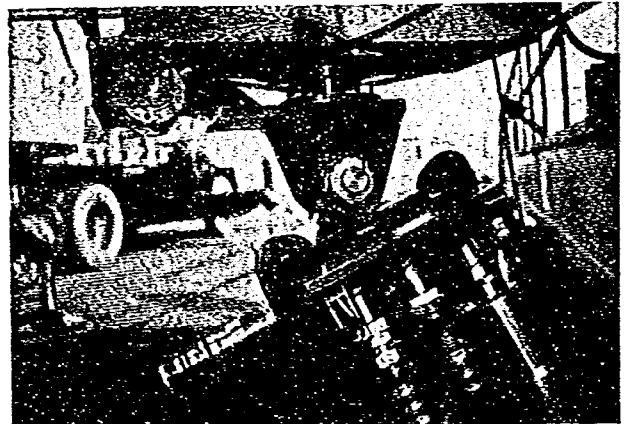
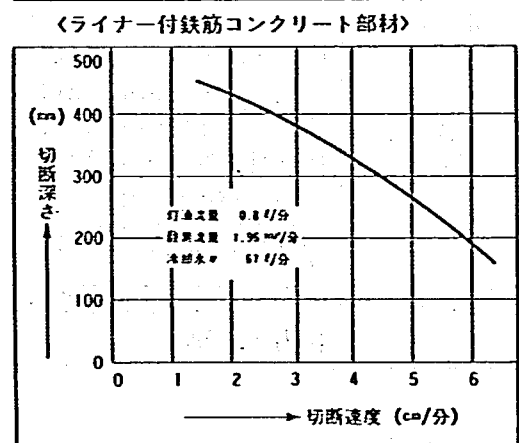


写真-4.1 切断機

表-4.3 火焰ジェットカッターの仕様

名 称		切 断 機
供給圧力	酸 素	45.0 kgf/m ²
	灯 油	45.0 kgf/m ²
	冷却水	10.0 kgf/m ²
供 給 量	酸 素	2.0 m ³ /min
	灯 油	0.8 m ³ /min
	冷却水	70.0 m ³ /min
材 質	燃料筒	Cu
	ヘッド・キック	Cu
	本 体	SUS304
外 径		φ52mm
全 長	TYPE-1	600mm
	TYPE-2	1,000mm
重 量	TYPE-1	12kg
	TYPE-2	15kg



尚、切断のみでなく削孔にも効果的である。

図-4.2 切断性能

4.3.4 アブレッシブジェット工法

切断機は大別して、エンジン+ポンプの水圧発生装置と研磨材供給装置からなり、ポンプから吐出された圧力水は、圧力タンクの研磨材を上部より加圧する。同時に、タンク下部にて研磨材をプレミックスされた水が高圧ホース1本より噴出される。圧力タンクは2基装備し、自動切換えによりこの混合水を連続供給する。システムの制御はエンジンより駆動されるミニコンプレッサーの圧縮空気を使用して行われる。

切断機を図-4.3、写真-4.2に、仕様を表-4.4に、性能を図-4.4にそれぞれ示す。

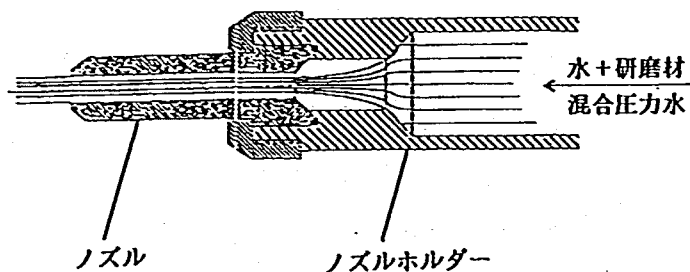


図-4.3 ノズルの形状

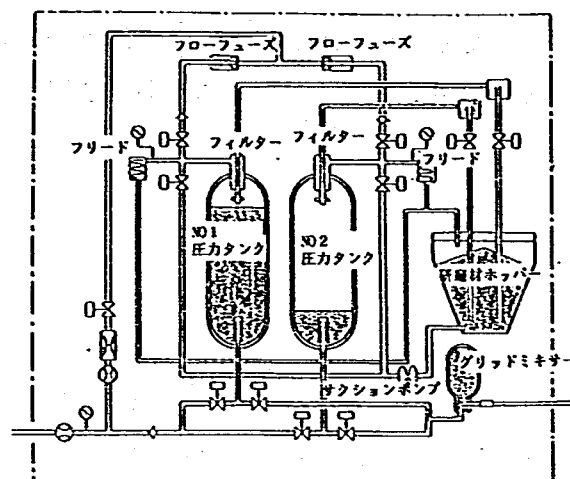


図-4.4 研磨材供給装置

表-4.4 アブレッシブジェットの仕事様

分 類	仕 様
エンジン	型式: 4 サイクル 6 気筒 ターボチャージャー付き 出力: 112PS×1,800rpm(連続)
ポンプ	型式: 横型 3 連プランジャー 圧力: 390kg/cm ² (max) 流量: 135 ℓ/min (max)
研磨材、供給装置	運転圧力: 350kg/cm ² 以下 研磨材タンク: 37 ℓ×2 基 ホッパー: 150kg 制御方法: E7シーケンスコントロール
重 量	4 ton
エアブロー	エンジンコンプレッサー 出力: 100PS

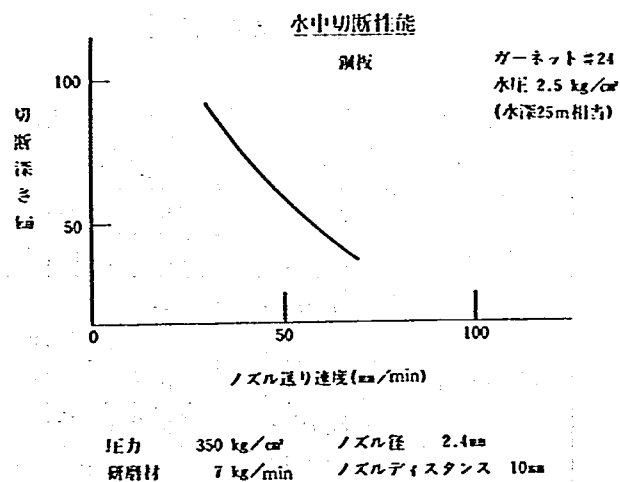


図-4.5 切断性能

4.4 運用方法

4.4.1 作業項目

(1) 地上設備の設置

地上作業設備はダム堤体上に設置し、次の物を考慮してスペースを確保する。

- 1) 中央制御室、切断機制御装置（切断材料供給装置、水圧発生装置、ケーブルハンドリングユニット等）
- 2) 水槽、酸素・灯油・研磨材等の材料
- 3) 発電機、コンプレッサー他必要機材
- 4) 切断装置の組立場所、切断物の置場及び組立用移動式クレーンの設置スペース

（地上作業スペース）

- | | |
|---------------|----------------------------------|
| ① 中央制御室 | 2.4m × 6.0m = 14.4m ² |
| ② 発電機 (55kVA) | 2.0m × 3.3m = 6.6m ² |
| ③ 切断材料他の置場 | 2.0m × 5.0m = 10.0m ² |

④ 切断機制御装置	2.0m × 4.0m = 8.0㎡
⑤ 地上作業スペース	15.0m × 3.0m = 45.0㎡
⑥ 移動式クレーン	10.0m × 6.0m = 60.0㎡
⑦ 通路等スペース	36.0㎡
作業スペース合計	180.0㎡

* 中央制御室には、作業ロボット操作盤・切断装置操作盤・位置確認システム用機器・データ収集用パソコン・水中視認モニター及び机・椅子等を設置するため、部屋の広さとして2.4m×6m程度のユニットハウス（または、コンテナボックス改造）が必要となる。

** 移動式クレーン、発電機の仕様は現場条件により変わる。

(2) 本体ROVに切断装置搭載

本体ROV、切断装置ともユニットとして輸送し、現地にて移動式クレーンを用いて組み立てを行う。

(3) 切断装置の点検

本体ROVに組み込んだ後、各装置の点検及びシステムとしての作動確認を実施する。

点検箇所（JC）：ノズル、ホース、配線配管、供給装置、レギュレータ、酸素、灯油、冷却水

（AJ）：ノズル、ホース、配線配管、供給装置、研磨材、水

（ROV）：配線、切断装置の積載状況、モータの動作確認

(4) 切断対象物への移動

ダム湖への投入揚収は、地上設備に設置した移動式クレーンによって行う。作業船は、作業ロボットと投入揚収ワイヤーの切り離しや、ケーブルの取り回しなどの作業支援を行う。

通常のROVに比べ、本体への電力信号複合ケーブル（テザーケーブル）以外にJCユニットの場合は油圧ホース、灯油ホース、冷却水ホースが、AJユニットの場合は油圧ホース、水圧ホース並びにエアホースが追設される。さらに、地上設備から切断物までの距離が長いことが考えられる。

このため、本体ROVの運動制御は制約を受ける可能性があり、これらホース類の拘束を緩和するため、水中浮力の追加が必要である（中空ホース等の利用等）。

(5) 切断箇所の確認

遠隔操作にて作業ロボットをコントロールする場合、現位置の確認が映像データだけでは難しく、事前に設定した切断箇所への再アプローチを行う必要がある。

このため、映像データによる切断物の確認が可能になるまで、音響測位装置等の位置確認システムで対象物を確認しながら、陸上からの遠隔操作によって、前後・上下クラスタを駆動させることにより水中遊泳し対象物に接近する。

(6) 機器の固定

ダムスクリーンへの接触後、油圧シリンダを「伸」方向に作動させることにより、油圧先端部に取り付けられた把持金物は、スクリーン間を通りスクリーン内部に入る。次に、油圧アクチュエータを作動させて、把持金物を90°回転させ「爪」を横向きにした状態で、油圧シリンダを「縮」方向に作動させることにより、ロボットをダムスクリーンに固定させる。

(7) 切断

ダムスクリーンに固定後、J C、A J ユニットでの操作により各種供給物の圧力及び流量を切断可能状態に設定し、油圧モーターを回転させることにより、油圧モータ及び切断ノズルを取り付けた共通台が移動し、ダムスクリーンを順次切断していく。

(8) 作業の監視

切断状況は、基本的に本体ROV搭載のTVカメラと灯光器で地上にて監視するが、作業全体を監視する等の必要があれば、別途、カメラ搭載LCROVを投入してその作業を行う。

(9) 切断物の回収

切断対象物の回収では、撤去対象物の形態、重量によるが、現状の水中切断システムでは作業アシストは難しい。

したがって、切断物の回収は潜水士による玉掛け及び誘導によって行う。

(10) 切断後の処理

回収した作業ロボットや、切断装置類は清水にて洗浄して、必要な機器の点検などを行い作業を完了する。

4.4.2 作業の流れ

作業の流れを図-4.6に示す。

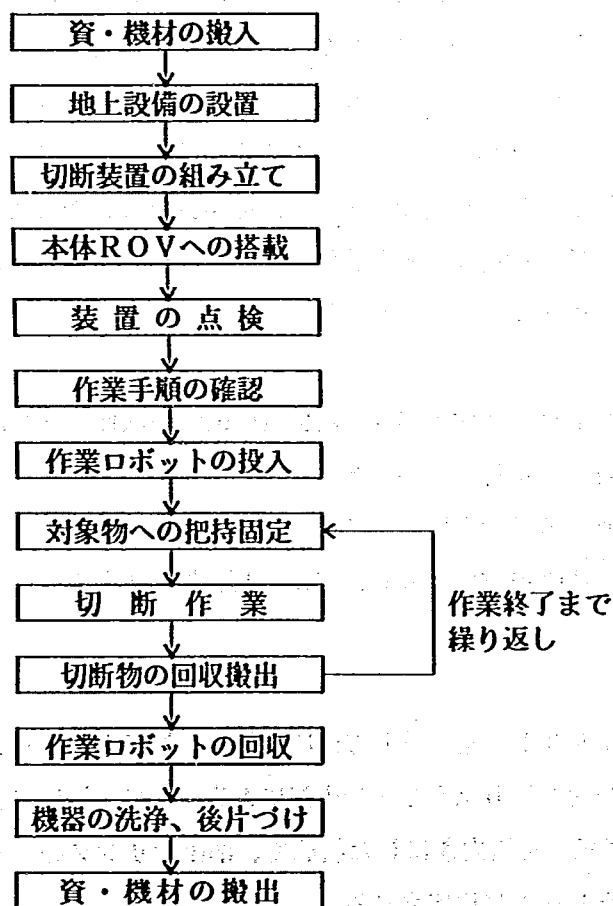


図-4.6 作業工程フロー

4.4.3 人による作業

(1) 地上設備の設置

作業ロボットの投入、材料の搬入・搬出、作業員の配置等を考慮して効率的な配置を検討する。移動式クレーンの能力、設置箇所の検討は本体ROVや地上設備の重量だけでなく、ダムスクリーンの重量も考慮する。

(2) 本体ROVへの搭載

現場では移動式クレーンによるアシストのみと考えられるため、各種作業ユニットの本体ROVへの組み付けには専用治具が必要。

(3) 装置の点検、作業手順の確認

チェックリストに従って、切断材料の数量、水量等の再確認を行う。また、現場に合わせて作成した作業手順書により、手順、人員配置、安全事項について作業前ミーティングを行う。

(4) 作業ロボットの遠隔操作（切断箇所への誘導・固定）

位置確認システムで確認しながら切断箇所近傍に移動する。その後、本体ROV搭載のTVカメラによる映像データにより接近し、把持装置を遠隔操作し切断物に固定する。

(5) 切断装置の操作

切断状況をモニターで観察し、切断制御装置からの切断材料供給圧力、ノズル移動速度等のデータも確認しながら作業を行う。

(6) 切断物の回収

潜水士によって玉掛けした切断物を、地上のクレーンで引き上げ、地上にて搬出可能な寸法にする。

4.4.4 機器による作業

(1) 本体ROVに切断装置を搭載しての切断対象物への移動

(2) 対象物への把持・固定

(3) 対象物の切断

5. 水中塗装作業

5.1 水中塗装システムの特徴

水中構造物の維持補修技術は、点検・診断、切断・撤去、塗装等の一連工程の水中施工が最も望ましい。ここで取り上げる水中塗装技術は水中硬化型塗料を塗布して、長期間の耐久性を期待することで、既存の社会資本を適切に維持、管理していこうとするものである。

表-5.1 従来工法との比較

	従来工法（気中）	従来工法（水中）	現状開発システム
事前作業	・ダム水位低下	・湖面へのアクセス検討	・機器配置計画 ・湖面へのアクセス検討
主な作業機械、器具、材料	・塗装用機材一式 ・作業足場材 ・作業船 ・移動式クレーン	・塗装用機材一式 ・潜水器具一式 ・作業船 ・移動式クレーン	・塗装ユニット ・ROV ・塗装、洗浄材 ・移動式クレーン
作業員数（注1）	・工事管理者 ・塗装作業員 ・塗装補助員 ・普通作業員 合計 4名	・工事管理者 ・塗装作業員（潜水土） ・塗装補助員（潜水土） ・水中監視員（潜水土） ・待機作業員 2名 ・普通作業員（地上） 合計 7名（注2）	・工事管理者 ・ユニット操作員 ・補助操作員 ・普通作業員 合計 4名
条件、制約	・水位低下時 ・長期の準備が必要	・限られた水深までしか作業ができない	・複雑な構造物には適用制限あり
安全性、作業性	・足場の確保が必要 ・通常の作業現場と同様	・水深によって危険性が増す ・作業時間が短い	・良好
合理化	・あまり期待できない	・難しい	・システム化、省人化されている

本システムにより、従来工法では難しかった合理化の推進、省人化、安全性の向上が図れる。

注1：作業員数は概略の員数である。

注2：本例では潜水土2チームで作業員数を算出したが、作業現場の標高と水深によっては潜水土が数チーム必要となり、作業員数が数倍に増える。

例）深度52m、1回の作業時間を30分とした場合、浮上時間及び業務間ガス圧減少時間等を考慮すると1チームの1日の潜水回数は2回で作業時間は60分となる。

よって、1日に5時間作業を行うためには5チーム（3名×5チーム＝15名）必要である。

※参考資料「高気圧作業安全衛生規則 別表第2、3」

5.2 作業条件

(1) 作業対象

ダム扉体

(2) 適応場所の制限

淡水、海水の制限はない

(3) 気象、海象条件

- ・温 度：10℃以上を原則とする
- ・流 速：0.5m/sec以下とする（把持、固定が確実な場合）
- ・波 高：支援船及び本体ROVの耐波高性に依存
- ・風 速：支援船及び本体ROVの耐風速性に依存

(4) 適用範囲

水 深：100m

5.3 塗装ユニット

5.3.1 開発のコンセプト

圧送式ローラブラシ（多孔質構造）及び市販のシーリング用カートリッジ（塗料貯蔵用）を組み合わせ、水中モータ駆動による塗料搬送を行い、ダム扉体に対して水中塗装を実施できる装置である。

表-5.2 塗装ユニットの作業条件

塗装作業条件	対 象 物：ダム扉体 塗装速度：30cm/秒（max） 塗装物形状：平 面 塗装厚み：250μ/回以上
--------	--

5.3.2 塗装ユニット

表-5.3 塗装ユニットの仕様

項 目	仕 様
塗 装 方 法	水中モータ駆動型圧送式ローラ塗装
塗装貯蔵方法	市販シーリング材用カートリッジ
移 動 方 向	上下左右 1m
塗 装 速 度	30cm/sec（max）
ユニットの取付	本体ロボットに搭載式
深 度	100m（max）
水 温	10℃～30℃
流 速	本体ロボットの仕様に準ずる
濁 度	視認ユニットの仕様に準ずる

5.4 運用方法

5.4.1 作業項目

水中硬化型塗料と水中塗装システムの組み合わせにより、水中塗装作業を実施し、構造物の維持補修を行う。

(1) 施工範囲と現状の確認

扉体設計図を基に施工範囲を決定し、腐食状況や土砂の堆積状況を小型LCROV等で調査した後、調査内容と設計図を参考にして作業面積、作業条件を設定する。施工範囲に土砂の堆積がみられる場合は、別途、対策処理を行う。

(2) 施工仕様書の決定

素地調整方法、グレード、塗布材料、塗膜厚、作業時間帯等を定める。

(3) 本体ROVに塗装装置を搭載

本体ROV、塗装装置ともユニットとして輸送し、現地にてクレーン車を用いて組み立てを行う。

(4) 塗装装置の点検

本体ROVに組み込んだ後、各装置の点検及びシステムとしての作業確認を行う。

(5) 塗装対象物への移動

ダム扉体の設置場所は、ダムサイトの中央部付近が多く両岸からのアプローチは距離が長く、また水面レベルへの適切な傾斜地は望めない。また、船からの投入は作業ロボット重量が数百キロになるため取り扱いが難しい。

したがって、ダム湖への投入撤収は、ダム天端またはインクライン、傾斜地等を使って湖面に投入する。作業船は、作業ロボットと投入撤収ワイヤーの切り離しや、ケーブルの取り回しなどの作業支援を行う。

(6) 塗装機器の固定

塗装装置自体の重量は数十キロ程度であるが、本体ROVに固定するには専用の治具が必要である。

(7) 塗装箇所の確認

塗装装置と同時に移動可能な視認機器、位置計測装置等で位置確認をする。

(8) 塗装

塗装対象物の下地処理を実施した後、短時間の内に塗装しないとさびのもどり現象を生じるので、下地処理作業と塗装作業のタイミングを考慮する必要がある。

(9) 塗装後の被膜確認

視認機器による塗りモレ、カスレ等の確認を行う。本体ROVに搭載された視認装置に依存するが、不具合部分の確認には、ズームアップ等で拡大する必要がある。

5.4.2 作業の流れ

本システムによる塗装作業の流れは図-5.1のとおりである。

人による作業

機器による作業

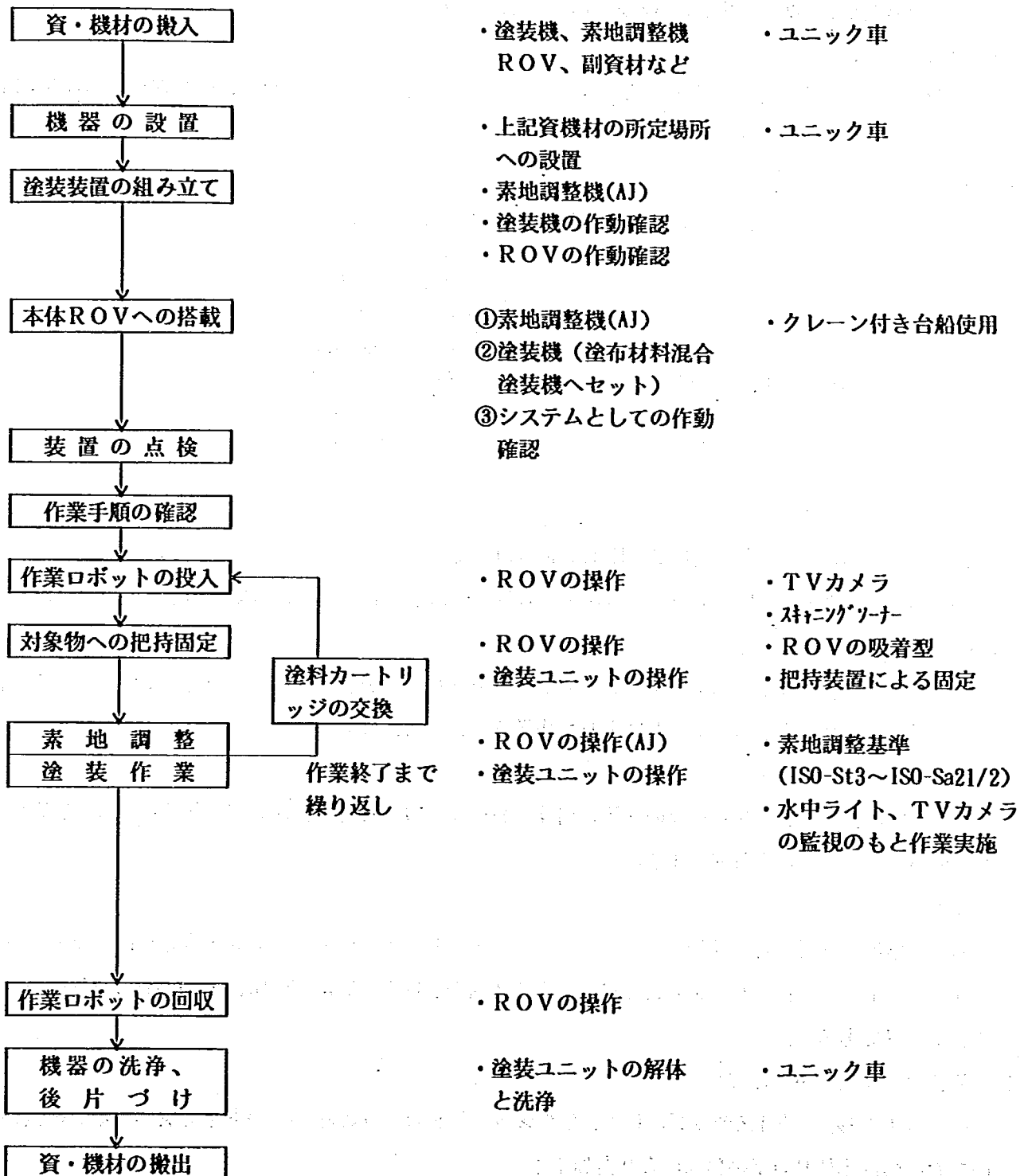


図-5.1 作業工程フロー

5.4.3 人による作業

- (1) 機器設置等の準備作業
- (2) 本体ROVへの搭載及び遠隔操作
- (3) 塗装装置の作動確認
- (4) 塗布材料の混合、カートリッジへの充填及び塗装機へのセッティング
- (5) 塗装装置の作業後の洗浄

塗装用ローラは連続して作業する場合を除き、使い切りとし洗浄は実施せず、塗料供給ノズルを地上（あるいは支援船上）で洗浄する。

(6) 作業面積

① 中央制御室	$2.6\text{m} \times 6.0\text{m} = 14.4\text{m}^2$
② 発電機(55KVA)	$2.0\text{m} \times 3.3\text{m} = 6.6\text{m}^2$
③ 塗料他材料置場	$2.0\text{m} \times 5.0\text{m} = 10.0\text{m}^2$
④ 塗装ユニット	$2.0\text{m} \times 2.0\text{m} = 4.0\text{m}^2$
⑤ 移動式クレーン	$10.0\text{m} \times 6.0\text{m} = 60.0\text{m}^2$
⑥ ROV組立場所	$15.0\text{m} \times 3.0\text{m} = 45.0\text{m}^2$
⑦ 作業通路スペース	<u>36.0m^2</u>
作業スペース合計	176.0m^2

5.4.4 機器による作業

(1) 本体ROVに塗装装置を搭載して塗装対象物への移動

ROVの運動性能上、ROVを拘束しがちな各種ホース類の必要はないので、水中での中性浮力化等の対策も不要となる。

TVカメラ・前方スキャニングソナーで対象物を確認しながら、陸上からの遠隔操作によって、前後・上下スラストを駆動させることにより水中遊泳し、対象物に接近する。

(2) 対象物への把持、固定

ダム扉体に接触後、塗装ローラの扉体に対するローラ反力を設定し、次いで本体ROVの吸盤等からなる把持・固定装置により固定する。

(3) 素地調整

素地調整は塗布材の防食性能、耐久性に大きく影響するため、施工面の現状調査結果に基づき、ウォータージェット装置等により規定されたグレードまで処理を行う（通常IS0-St3～IS0-Sa2 1/2程度が現実的グレードである）。

(4) 塗装機の移動（塗装作業）

塗装は上下移動を第1ステップとして、塗装装置（塗装ローラの移動）の上下で実施する。塗装装置の左右移動は本体ROVの移動により実施する。

なお、上下の移動は塗装の仕上りを考慮し、極力直角になるよう、塗装装置、本体ROVの操作を行う。

塗装状況の確認は視認機器に依存するが扉体の表面形状により塗布量（塗膜厚）が均一になりにくい

箇所もあり得る。あらかじめ扉体構造の確認をし塗布量が減少あるいは、不均一になりがちな箇所は塗装回数の増加等の対応をマニュアル化しておく必要がある。

(5) 作業の監視

塗装作業は本体ROVに装備したTVカメラ及び水中ライトにより、地上にて監視する。

9. 今後の課題

9.1 水中作業ロボット

「ミルゾー」、「キルゾー」、「ヌルゾー」等の作業ユニットの仕様、作動条件を比較検討して、共通の母体となるROVがどのような規模、仕様となるかの検討が必要となる。

各作業項目ごとの全体ROVシステム仕様を検討の上、エネルギー供給ラインの簡素化、共通化等を図り、作業効率、ROVの運動性等に支障がないか見極める必要がある。

検討項目は次のとおりである。

(1) ケーブル等ラインの合理化、簡素化

電源、油圧、水圧、空気圧等の作業装置用各種ラインの合理化、集約化が必要である（∵ROVの運動性、操作性に大きな影響を与え、かつわずかな水流にも影響を受ける可能性があるため）。

(2) 作業ロボットの把持装置

ROVの把持装置は、各種作業に応じてその耐え得る反力の大きさ、方向等が異なる。このため、ROVの把持装置を共通化できるか否か、装置の簡素化のキーポイントとなる。

基本的に、ROVの水中浮力は中性に近いため、大きな反力を受ける場合は足を付けるかスラストによって押さえ込むかとなる。数百キロレベルの反力は、基本は把持装置などの機器にて対応せざるを得ない。

(3) 各作業ユニットのコンパクト化

ROVの積載可能な重量は、浮力付加にて対応する。このため、各作業ユニットの重量が大きくなるとROVの浮力調整装置が大きくなり、ROV本体重量の増加を引き起こし、運動性・操作性の低下に大きな影響を与える。したがって、各作業ユニット重量、寸法は、極力縮小するよう格段の努力を要する。

(4) 陸上監視装置、制御装置の共通化

ダムを設置場所は山奥に存在しておりそのアクセスも考慮する必要がある。このため、各種機能をマルチに監視できるようにブラウン管表示によるマルチディスプレイ及び操作が可能な監視盤並びに制御装置として全体装置寸法をコンパクト化し、設置や操作の容易さを図る必要がある。

9.2 水中心検・診断作業

(1) TVカメラの濁度制限

濁水中で以下の作業を行う場合は懸濁物によるハレーションを減少させるために照明装置の照度を落として視認を行うが、照度不足を補うために高感度カラーTVカメラを搭載したとしても以下のような制限がある。

1) 誘導作業：

濁度10ppm以下：高感度カラーTVカメラ＋減光式照明灯で十分可能。

濁度10ppm以上：前方探査ソナー、水中位置検出装置をTVカメラと併用するがTVカメラに比べ精度、作業性が劣る。

2) 点検作業：

濁度10ppm以下：高感度カラーTVカメラ+減光式照明灯で十分可能。

濁度10ppm以上：濁水処理（クリアサイト）+TVカメラ+減光式照明灯で可能だが以下の(2)で述べる課題がある。

3) 計測・診断作業：

寸法、形状等のセンサーの計測状態が適当であることを監視するが、広い範囲での濁水処理は困難なため高感度カラーTVカメラ+減光式照明灯で監視できる濁度以上では監視不能となる。センサーをクリアサイトの中に設置すれば点検作業と同等の濁度まで監視可能となるがクリアサイト容積が増加し濁水処理が難しくなる。

4) 監視作業：

計測・診断、切断、塗装、溶接ユニットの作業状況を監視するが、広い範囲での濁水処理は困難なためTVカメラ+減光/光軸調整式照明灯で監視できる濁度以上では監視不能となる。

(2) 清水置換式クリアサイトの制限

クリアサイトの開口面と点検対象物との間で明確にクリアサイトが形成できる場合以外は実施できない。無機質サスペンション及び高分子化合物のコロイド等の懸濁物質の種類の制限はないが、初期濁度500~1,000ppmではクリアサイト容積の3~4倍の置換清水量で映像識別可能にするには置換時間が20~30分かかる。置換時間を5分以下にするには15~20倍の置換清水量が必要なため、置換装置及び清水供給量を勘案し使用可能な初期濁度を決定する必要がある。また、陸上給水を行う場合は送水ホースのROVの運動性能への影響を考慮する必要がある。

(3) 凝集置換式クリアサイトの制限

クリアサイトの開口面と点検対象物との間で明確にクリアサイトが形成できる場合以外は実施できない。無機質サスペンションの場合は初期濁度1,000ppmでも、凝集剤投入後3~4分で映像識別が可能になり問題ない。しかし、高分子化合物のコロイド等の懸濁物の場合は初期濁度150ppm以下ならば凝集剤投入後5分で映像の識別が可能となるが150ppm以上では時間をかけても凝集できない部分が残し、映像識別が困難である。

9.3 水中切断作業

(1) 切断装置のノズル形状のコンパクト化

切断装置を設置するトラバース部の構造が大きくなり、小回りが難しくなる可能性がある。このため、ノズル等のコンパクト化が必要である。

(2) ノズル切断位置の適正化

スクリーン形状（板厚、深さなど）の変化に対応して切断ノズル位置等の変更の有無など、ノズル支持方法の合理化のための検討が必要である。

(3) 切断方法の検討

スクリーンの切断部位によっては、切断対象物の在り方が縦方向だけでなく、横方向も考えられる。

また、切断後の撤去部材の大きさ、形状によっては、切断面の形状も実験のような一方向のカットだけでなく、楔型切断を行うことが考えられる。その際に、ノズルの細かい制御の必要性の有無等、全体システムの合理化を検討する上で事前に詰める必要がある。

(4) 切断物の回収

例えば、回収治具と切断物との間にアークを発生させ、両者を溶接して回収する方法が考えられる。また、電気を使用しない接着方法として、二液混合型水中接着剤を利用して切断物と吊り具を繋げる方法もある。

いずれも、潜水士による作業でなく機械化が可能と思われるが、切断物の腐食状態により表面処理等を施すことも考慮しなければならない。

9.4 水中塗装作業

(1) 塗布材供給用カートリッジの取り付け簡素化

本塗装ユニットの塗布材供給カートリッジ方式は、装置ラインの合理化、作業ユニットのコンパクト化に対処し本体ROVの小型化、運動操作性を十分満足し得るよう設計したが、カートリッジの充填、取り替え工程で連続性がなくなり、大面積の塗装に対しては満足するものでない。

施工数量を大きくするためには、大型の開発ロボット用の塗装ユニットとしては、ロボットに搭載した塗料主剤と硬化剤の2つの水中タンクから2本のパイプで別々にロボットに搭載したミキサまで圧送、混合しローラに供給する水中タンク貯蔵・2液パイプ圧送とする必要がある。これらの諸条件を満足させる塗装ユニットについて検討しなければならない（水中タンク2液方式概念図参照）。

(2) 平滑、平坦部以外の被塗面への塗着性向上方法の検討

製作した塗装ユニットでは、塗装ローラがガイドに沿って作動する機構のため、平面塗装に限定され、裏面及び側面を対象にした場合、塗装困難となる。

このため、平面部以外の塗装を行う場合、円錐型ローラを使用することによって凸凹面、湾曲面の処理が可能になると思われる。また、側面に対応させるため、現在使用しているS字管を直管に改良する等の対応が必要である。

(3) 塗膜の健全度（付着力等）確認、不具合塗装部の検出方法の検討

塗装面を品質管理を行うために、塗装作業が良好に行えたか否かを確認するための検査方法、塗装後の塗装不良部分の検出方法等に関する検討が必要と考える。

(4) ケレン後の塗膜処理方法

塗膜の塗り替え作業等に伴うケレン作業を水中で行う場合、ウォータージェットによる水質への影響はないものの、剥離させた塗膜が水質等に悪影響を及ぼすことも考えられるため、これらの回収方法（吸収濾過方法等）について検討を行う必要がある。

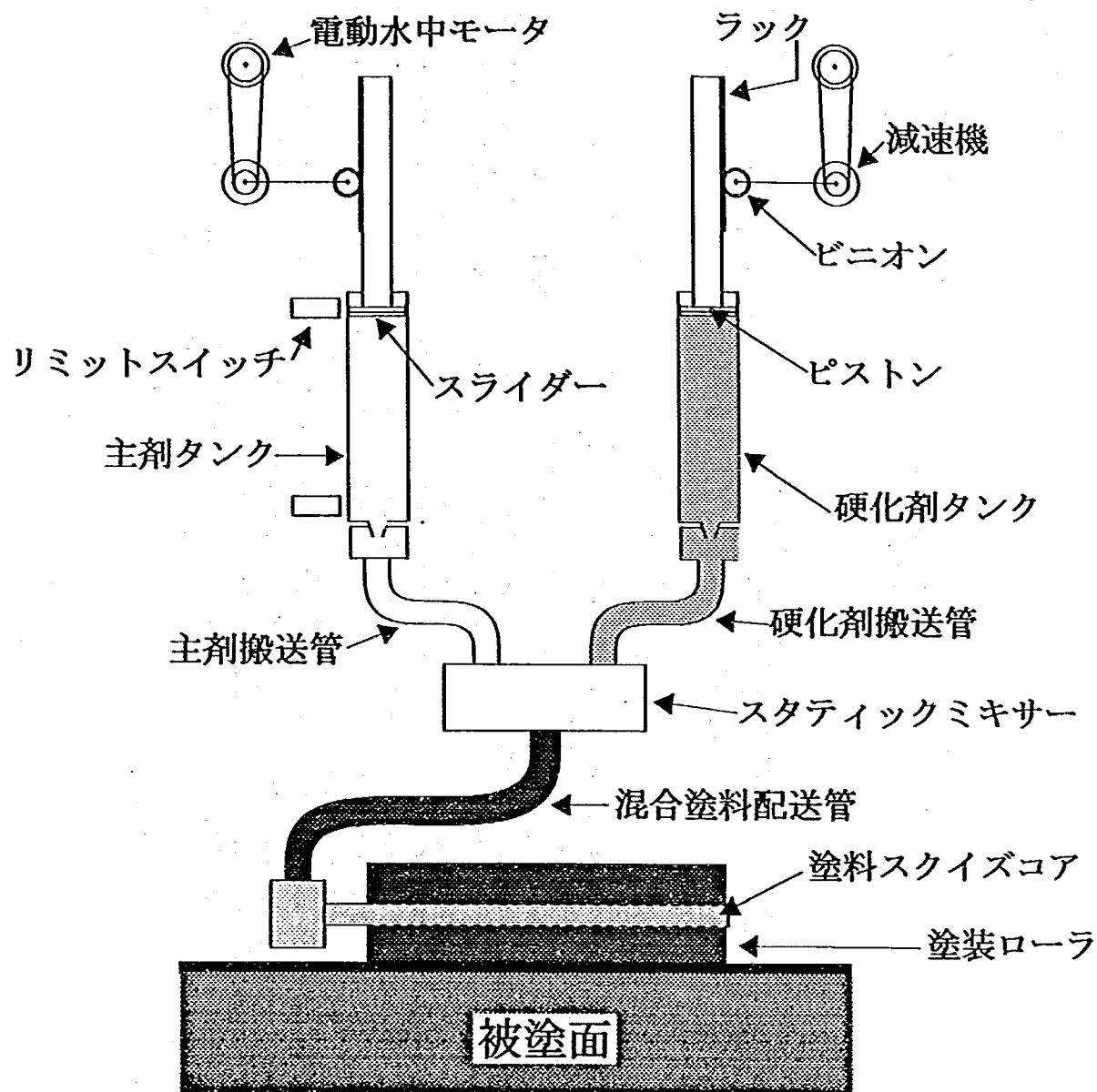


図-9.1 水中タンク 2液方式概念図

表-9.1 水中心検・診断作業に関する問題点とその対応策

要素作業名	これまでの検討事項	研究成果	現場での作業可能範囲	現状の問題点	今後の対応策	最終目標
資機材の搬出入	運用要領の検討	運用要領(案)	ROV等が搬入できれば作業可	問題なし		
地上設備の設置	運用要領の検討	運用要領(案) (必要スペース等)	スペースが確保できれば作業可	問題なし		
機器の組み立て (点検ユニット)	運用要領の検討	運用要領(案) [ミルゾー用: クリアサイト TVカメラ キルゾー、ヌルゾー用: 監視TVカメラ]	ROVへの取付スペースが確保できれば作業可能	ROVの向きを変えずに対象物を見るためのパンチルト装置が必要	水中パンチルト装置: 高価 耐圧殻内パンチルト装置: 大型でクリアサイト容量が大きくなる	パンチルト装置の整備 ・簡便な水中型 ・小型耐圧殻内空中型
ROVへの搭載	概念設計	運用要領(案)	スペースが確保できれば可	問題なし		
点検箇所への移動	広域視認方法の検討	・高感度TVカメラ(必要による) ・前方探査ソーナー ・水中位置検出装置	カメラ視認距離: 10m以内 ソーナー探査距離: 200m以内 水中位置検出距離: 250m以内	・高価なハープ管TVカメラ ・マルチパスによる水中位置計測不能の発生	各種の水中位置計測装置の複合化による精度の向上	ROVの水中絶対位置の計測
点検対象物への把持・固定	把持機構の検討	・吸盤式固定方法 ・スラストによる押しつけ方法	作業反力を生じないため対象物が平面でなくても固定可能	問題なし		
濁水置換作業	ミクロ的濁水中視認試験	清水置換方法: 3~4倍の置換清水量で初期濁度の1/100程度に低減可 凝集置換方法: 無機及び有機系の複合凝集剤と中和剤の投入後、3~4分で識別可能な濁度(10ppa)以下に低減可	清水置換方法: 初期濁度1,000ppa以下(20~30分後) 凝集置換方法: 無機質浮遊物: 1,000ppa以下(3~4分後) 高分子化合物コロイド: 150ppa以下(5分後)	・クリアサイトの形成 ・対象物の清掃方法 ・清水の圧送方法 ・多量の清水の確保 ・長い清水置換時間 ・凝集剤の投入方法 ・凝集フロックの巻上 ・凝集フロックの排出	・クリアサイトの先端部材質の検討 ・周囲清水の利用方法の確立 ・安定した凝集フロックを形成する凝集剤及びクリアサイトの選定	送水管やタンクのない大容量清水置換で、ある程度濁度を下げたクリアサイト内に凝集剤を入れ、凝集フロック量を減らしクリアな映像が得られる複合式の確立
点検・診断作業	・マクロ的濁水中視認試験 ・照明方法の検討 ・計測装置の検討	通常感度のTVカメラも低照度TVカメラも映像識別距離に差はほとんどなく、照明方法に影響される	・実用限界としては濁度10ppaで映像識別距離0.9m ・水中用に適用された計測装置は使用可能	・対象物を照明する際カメラと対象物の間の水中浮遊物によるハレーション ・計測項目の整理	・小型で演色性のよい照明方法とその配設方法の検討 ・超高感度カラーTVカメラによるハレーション防止	・小型メタルハライドランプ ・ハープ管式高感度カラーTVカメラ

表-9.2 水中切断作業に関する問題点とその対応策

要素作業名	これまでの検討事項	研究成果	現場での作業可能範囲	現状の問題点	今後の対応策	最終目標
資機材の搬出入	運用要領の検討	運用要領(案)	ROV等が搬入できれば作業可能	問題なし		
地上設備の設置	運用要領の検討	運用要領(案) (必要スペース等)	スペースが確保できれば作業可能	問題なし (必要に応じて台船等を利用)		
機器の組み立て	運用要領の検討	運用要領(案)	ROVへの取付スペースを確保できれば作業可能	問題なし		
ROVへの搭載	運用要領の検討	運用要領(案)	スペースが確保できれば可	問題なし		
切断装置の試運転・調整	運用要領の検討	運用要領(案)の検討	基本的な技術指導を行うことによって作業可能	問題なし		
切断対象物への移動	運用要領の検討	運用要領(案) (ホースの取り回し等)	ユニットから切断物までの距離が短い場合は移動可能	・ユニットの設置場所 ・台船の組立場所 ・ホースの長さ		
切断対象物への把持・固定	把持・固定機構の検討	・把持、固定方法 ・概念設計図	対象物の形状・材質が均一であれば施工可能	・対象物の形状変化 ・切断方法の変化への対応		
切断作業:切断	「ダムスクリーン」モデルの水中切断実験	「鉄」、「鉄+コンクリート」の2条件を切断	・水深10m以内では切断可能 ・ホースの長さにも制限がある	・大水深での切断 ・ホース、ケーブルの取り回し ・気中での高レベルなジェット音	・30m程度での検討 ・中空ホース等を使用し浮力を増す ・ホースの長さをなるべく短くする ・着火後すぐに水中に投入	・燃料、冷却水等の供給圧力の検討 ・高水圧下での切断実験 ・ホース、ケーブルの水中浮力の中性化 ・水中着火
切断作業:ノズル移動	移動装置の検討	ノズルの移動装置の概要図	対象物の形状などを考慮して移動方法を設定して施工	切断箇所の視認不良の場合、移動操作が難しい	均一形状の物を施工切断部分で移動パターンを設定する	ミルゾーにて、切断対象物の画像処理を行いノズル移動をシステム化して自動切断
切断物の回収・搬出	運用要領の検討	運用要領(案) (ROV以外の補助が必要)	・潜水夫が切断物への玉掛け ・フローティングクレーンで水上に引き上げを行う	水中での無人施工	回収用ROVの開発	サポート作業潜水士の不要
機器の解体・洗浄、後片づけ	運用要領の検討	運用要領(案)	スペースが確保できれば作業可能	問題なし		

表-9.3 水中塗装作業に関する問題点とその対応策

要素作業名	これまでの検討事項	研究成果	現場での作業可能範囲	現状の問題点	今後の対応策	最終目標
資機材の搬出入	運用要領の検討	運用要領(案)	R O V等が搬入できれば作業可	問題なし		
地上設備の設置	運用要領の検討	運用要領(案) (必要スペース等)	スペースを確保できれば作業可	問題なし (必要に応じて台船等を利用)		
機器の組み立て (塗装ユニット)	ローリ等塗装具の改良、 水中塗装機の製作、塗 装速度、吐出量等作業 確認を含めた検討	塗装ローラと塗料貯蔵用カートリ ッジの組合せによる水中塗料方式	R O Vへの取付スペースが確保 できれば作業可能	潜水士のサポートが必 要	半自動化である現在の塗 装機の改良	自動化
R O Vへの搭載	概念検討	運用要領(案)	スペースが確保できれば可	問題なし		
塗装対象物への 移動	運用要領の検討	運用要領(案)	ユニットから塗装物までの距離 が短い場合は移動可能	・ホースの長さ		
作業ロボットの 被塗物への固定	固定方法の検討	吸盤式の固定方法で把持可能	対象物表面が平面であること	凹凸がある面は固定で きない(潜水士依存)	凹凸面の塗装方法と合わ せて固定方法の検討が必 要	被塗物に影響されない 水中塗装技術
素地調整作業、 塗装作業	・素地調整 ・水槽内でローラとカ ートリッジを装着し た半自動塗装機を使 用し水中塗装実験を 実施	素地調整をした塗装面に対して、 水温10℃以上の条件下で塗装可能	・対象物表面が平面部分 ・カートリッジ内の塗料量に依 存するため小面積の補修に限 定	・素地調整を潜水士に 依存 ・平面部以外の塗装が 困難	・A Jを用いた素地調整 ・塗料の低粘度化 ・スクリーン等複雑形状 への適用 ・大面積に対し連続供給 が可能な塗装機の検討	・水中素地調整技術 ・低温時塗装可能な材 料 ・大面積、連続供給可 能塗装機
機器の解体・洗 浄、後片づけ	運用要領の検討	運用要領(案)	スペースが確保できれば作業可	問題なし	洗浄機構の簡素化	

あとがき

本報告書は、建設省の総合技術開発プロジェクト「社会資本の維持更新・機能向上技術の開発」の一環として平成3年度より着手した「水中構造物の維持更新・機能向上技術に関する共同研究」の研究成果をとりまとめたものである。本研究は土木研究所機械研究室と(社)日本建設機械化協会及び五洋建設(株)、住友建設(株)、三井造船(株)、大日本塗料(株)の各社との共同研究体制で実施したものである。

本研究において、既存要素技術の水中作業への適用検討及び水中での要素実験を実施し、適用可能であることを確認するとともに、システムの設計に必要な諸数値等を把握することができた。また、研究対象としてきた水中心検、水中切断及び水中塗装の要素技術についてシステムの試設計を行い、さらに最終年度においては運用方法に関する要領(案)をとりまとめ、各作業の現場施工における一連の流れを大まかに把握することができ、今後開発が望まれる技術等を再確認することができた。

水中に没している構造物の維持管理は、気中とは作業条件や環境が異なるため技術的にも難しく、水中作業全般について解決することは容易ではないと思われる。しかし、水中構造物の状態を的確に把握し補修を行うことは、それらの構造物の維持管理上、非常に重要なことである。本研究の成果が今後の水中作業に関する技術開発に寄与することを念願する。

最後に、アンケート調査にあたりご協力いただきました各地方建設局、北海道開発局、沖縄総合事務局、水資源開発公団に感謝の意を表する。

研究担当者名簿

機関・企業名	氏 名	役 職 名	担当年度
建設省土木研究所	久 楽 勝 行	材料施工部長	H3.4~H5.2
	徳 丸 徳 治	"	H5.2~H5.3
	池 村 雅 司	"	H3.4~H6.3
	岡 崎 治 義	"	H6.4~H7.3
	藤 沢 侃 彦	企画部 先端技術開発研究官	H4.4~H6.3
	杉 山 篤 篤	材料施工部 機械研究室長	H3.4~H5.3
	吉 田 正 正	" 機械研究室長	H5.4~H7.3
	野 村 正 一	" 機械研究室 主任研究員	H3.4~H5.3
	藤 野 健 一	" " 研究員	H5.4~H7.3
	竹 田 英 一	" " 研究員	H3.4~H4.3
(社) 日本建設機械化協会	山 中 勇 樹	" " 研究員	H3.4~H5.3
	米 村 克 己	" " 研究員	H4.4~H7.3
	渡 辺 和 夫	専務理事	H3.4~H7.3
	内 田 保 之	技 師 長	H3.4~H7.3
五洋建設(株)	星 野 日 吉	調査部長	H5.4~H7.3
	香 取 佳 人	技術部次長	H3.4~H5.3
	中 丸 英 司	技術研究所 第四研究開発室 室長	H3.4~H7.3
	田 坂 哲 美	" " 課長	H3.4~H6.3
住友建設(株)	田 中 正 樹	" " 課長	H3.4~H7.3
	日 笠 晃 幸	" " 課長	H5.4~H7.3
	落 合 博 幸	" 機械部設計課 主任	H3.4~H5.3
大日本塗料(株)	松 田 博 賢	取締役 技術本部長	H3.4~H7.3
	清 水 博 彦	技術本部 技術管理部 次長	H3.4~H7.3
	久 保 正 彦	新規事業部 開発グループ 副参事	H3.4~H7.3
	林 敏 晴	" " 主事補	H3.4~H7.3
三井造船(株)	高 橋 俊 輔	物流・IT総括部 営業部 部長	H3.4~H7.3
	佐 野 健 一	" 昭島エンジニアリング部 課長補佐	H4.4~H6.3
	関 本 敏 彦	" " 主任	H4.4~H6.6

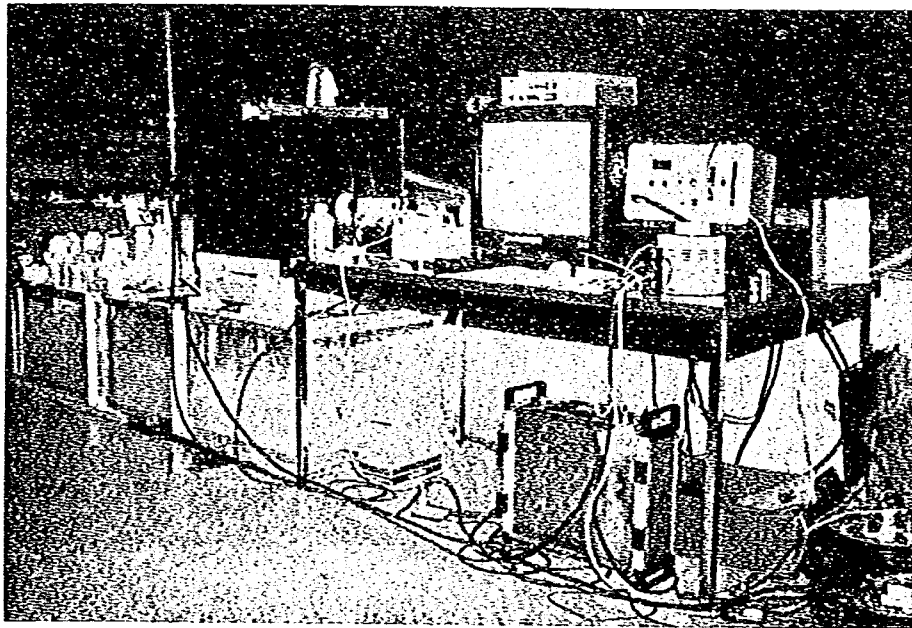
注1) 所属部署については、平成7年3月現在のものとしている。

注2) 役職名については、研究に携わった最終年度における役職を記している。

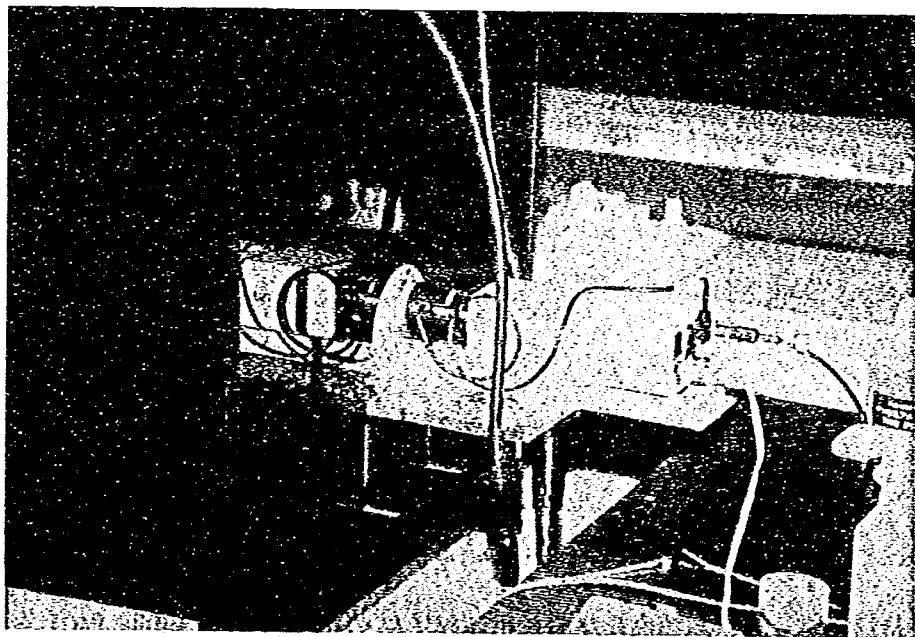
付 録 1 各 要 素 実 験 写 真

- ・ 水中視認性実験写真
- ・ 水中切断実験写真
- ・ 水中塗装実験写真

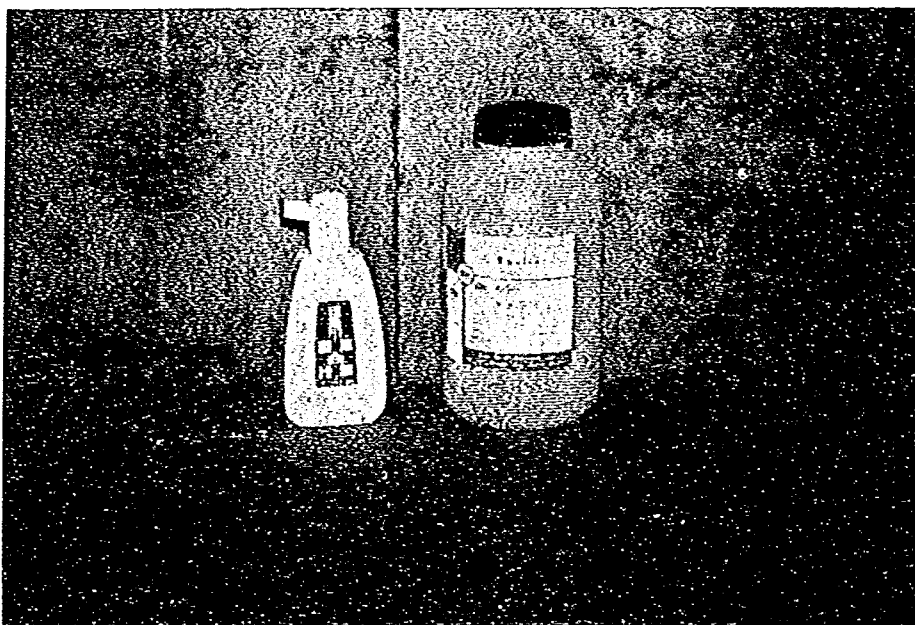
水中視認性実験写真



付録写真-1 試験用装置全景



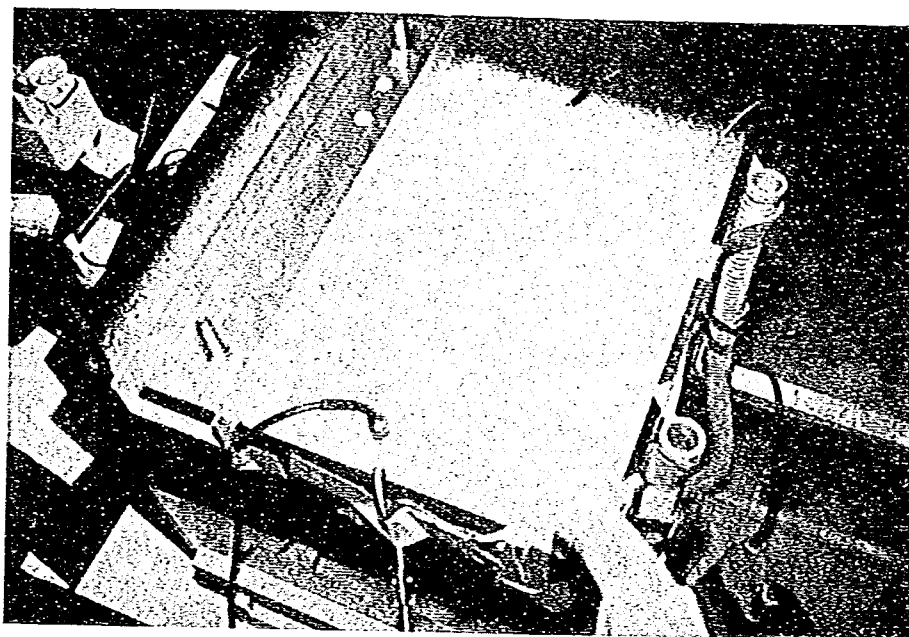
付録写真-2 試験用水槽へのカメラの取り付け



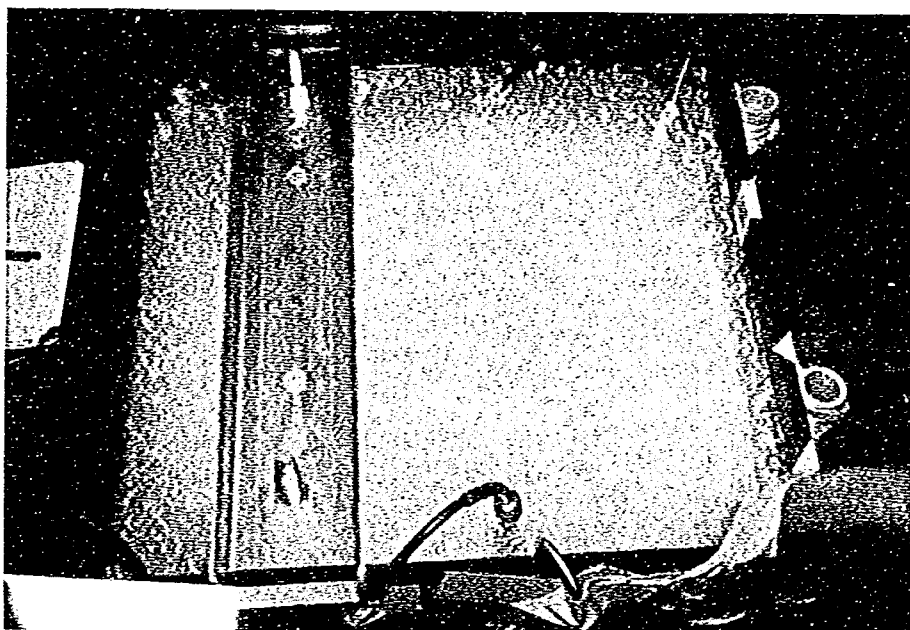
付録写真－３ 懸濁物（左：白墨汁、右：カオリン）



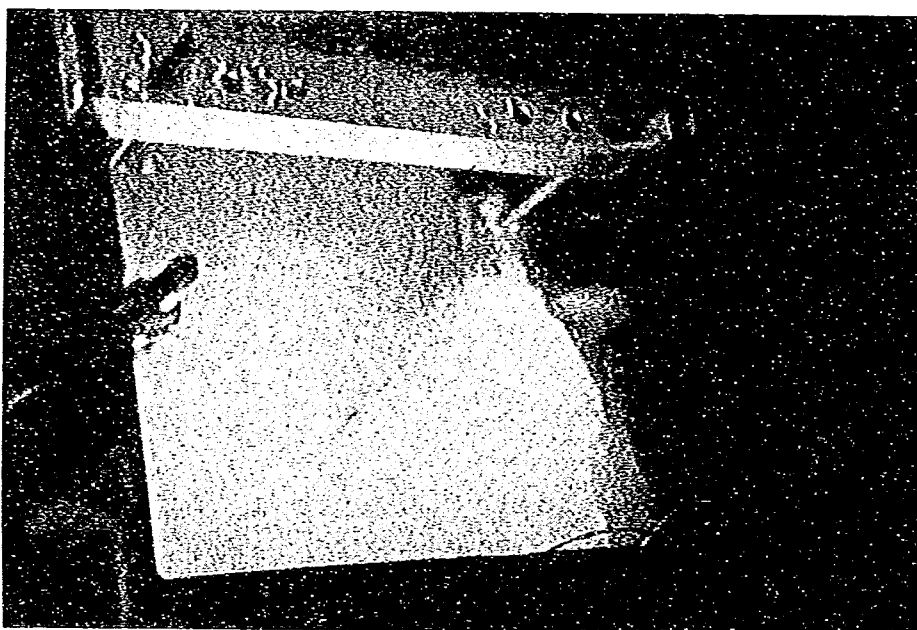
付録写真－４ 凝集剤及び凝集補助剤（左：EDP301、中：NaOH、PAC）



付録写真-5 凝集剤投入、攪拌後の水槽



付録写真-6 凝集中間の水槽

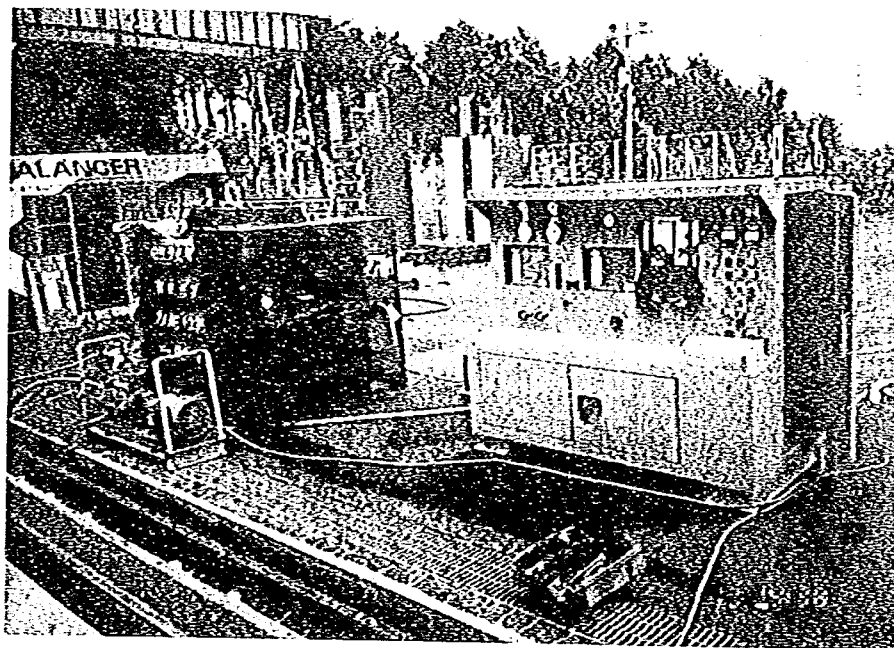


付録写真－7 凝集終了間近の水槽

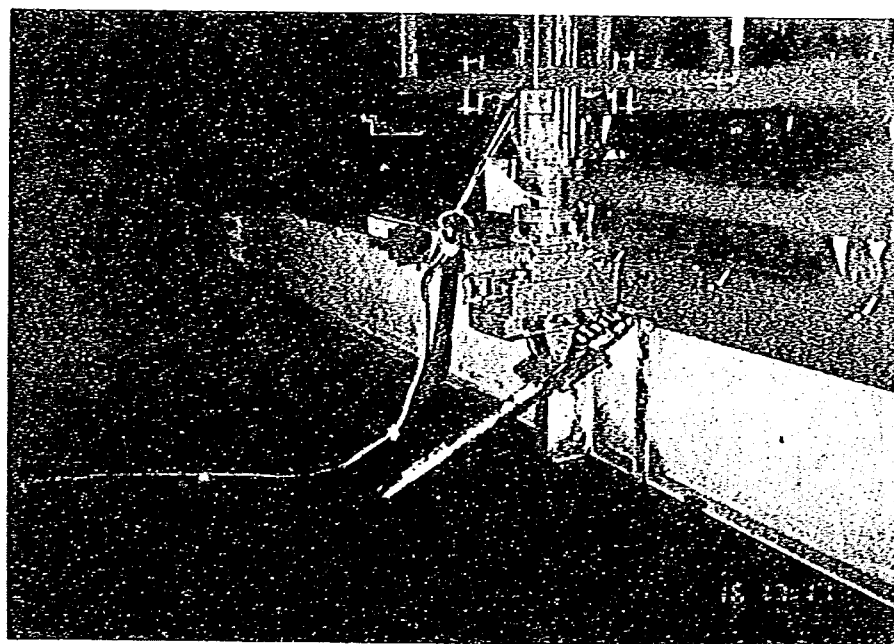


付録写真－8 凝集終了時の写真用解像度チャート

水中切断実験写真



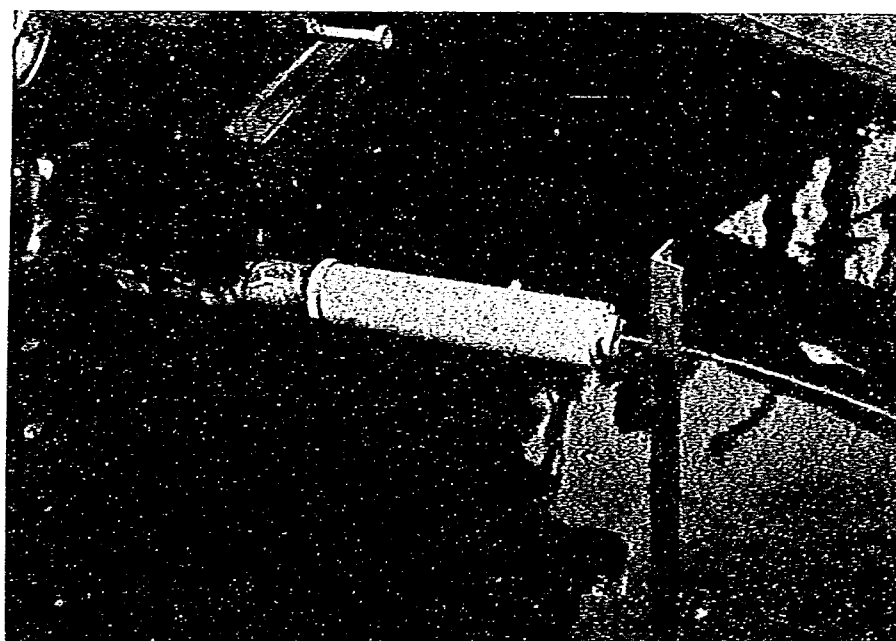
付録写真－９ 火焰ジェットカッター装置（ＪＣ）



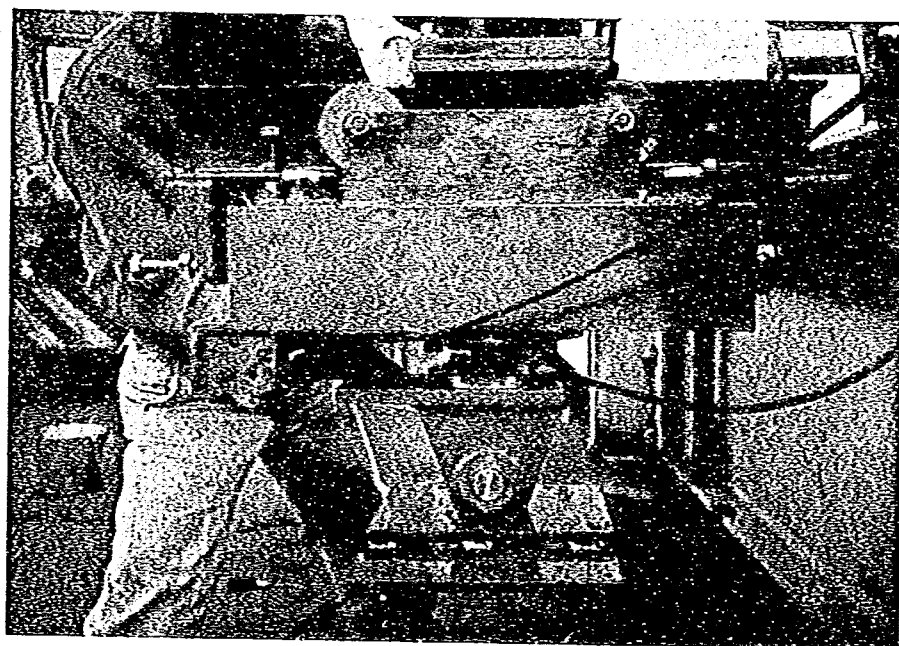
付録写真－１０ 火焰ジェットカッターノズル



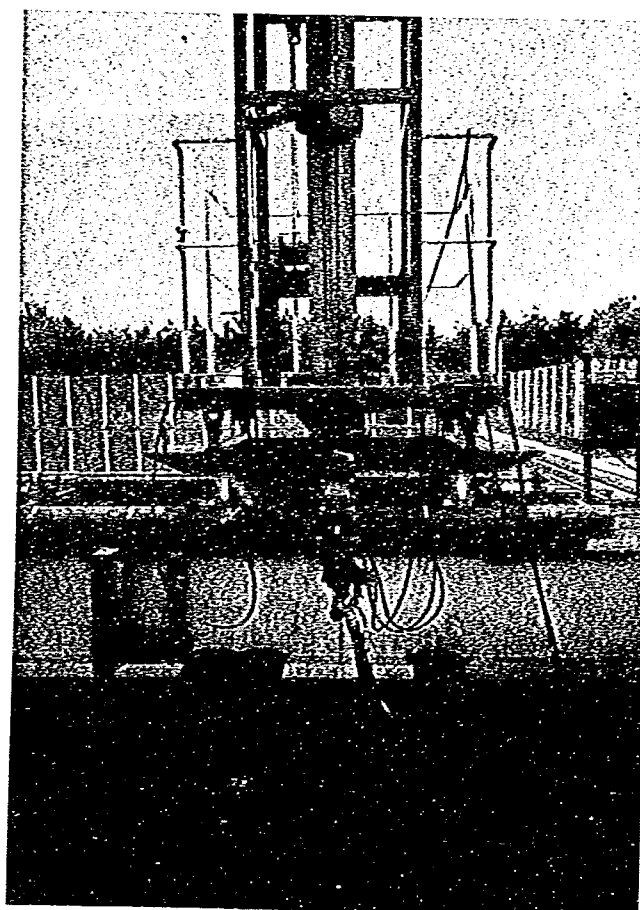
付録写真-11 アブレッシブジェット装置 (A J)



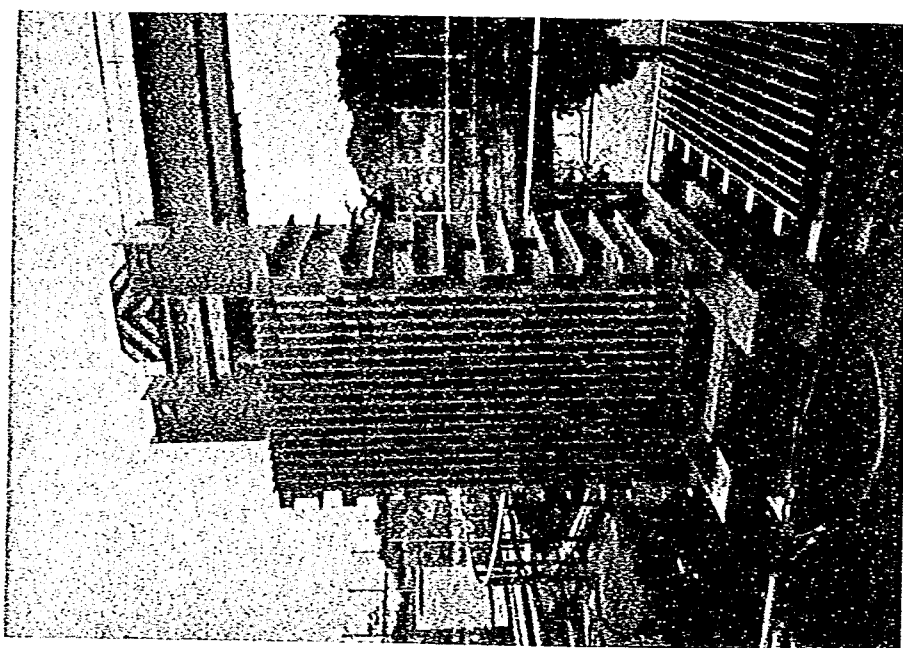
付録写真-12 アブレッシブジェットノズル



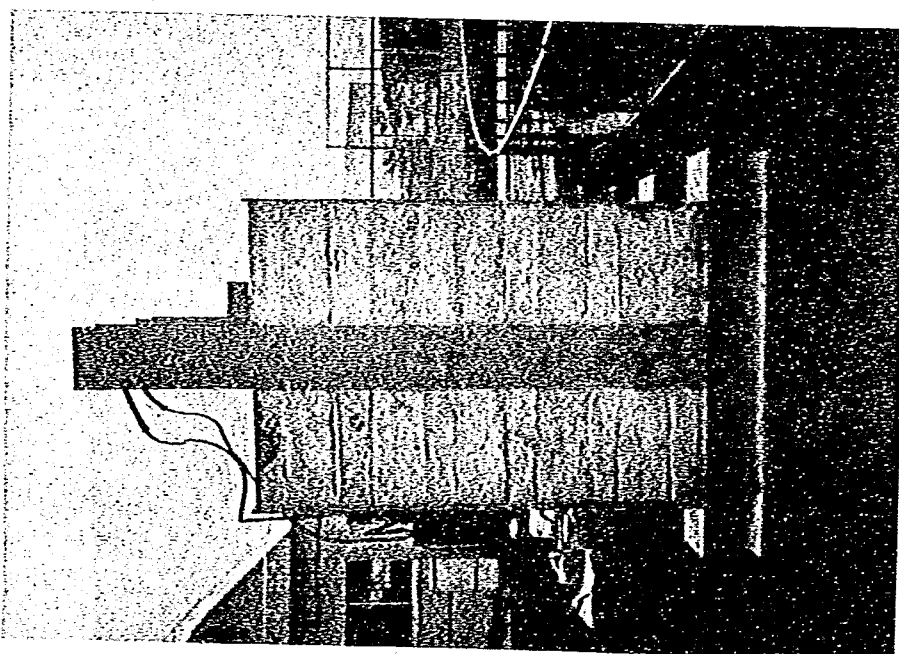
付録写真－１３ ノズル反力測定装置



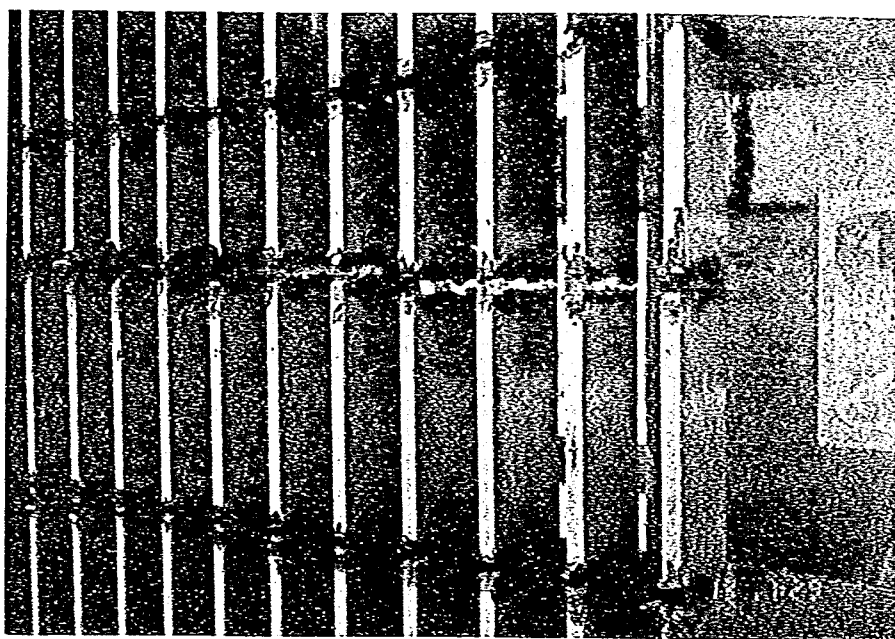
付録写真－１４ 切断機移動装置



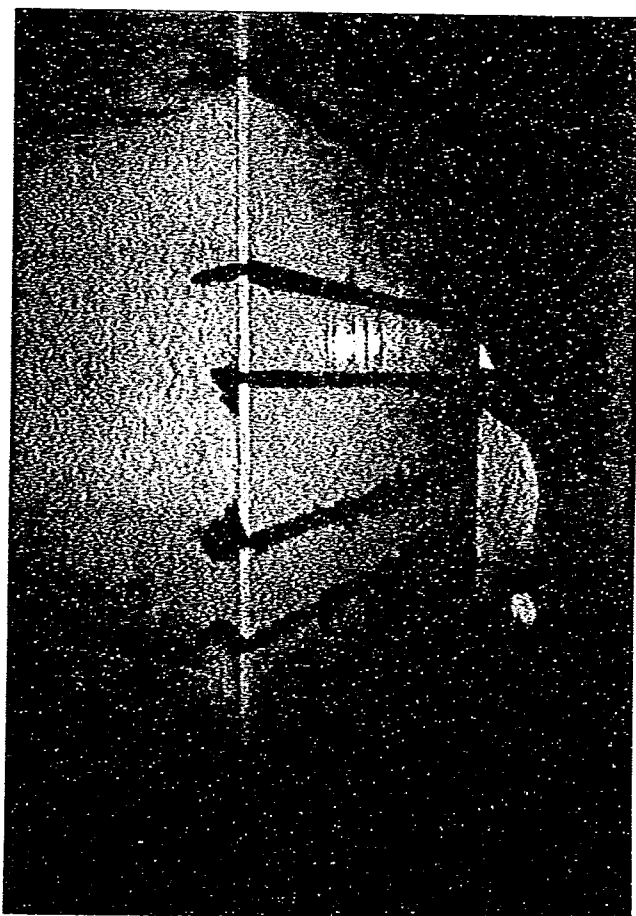
付録写真－１５ ダムスクリーンモデルの供試体



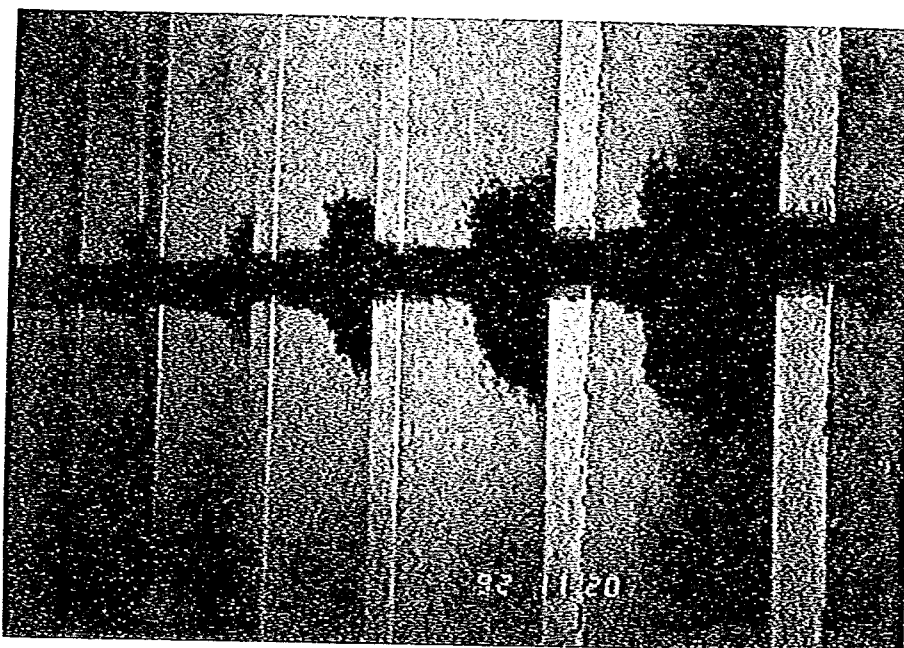
付録写真－１６ コンクリート裏込めモデルの供試体



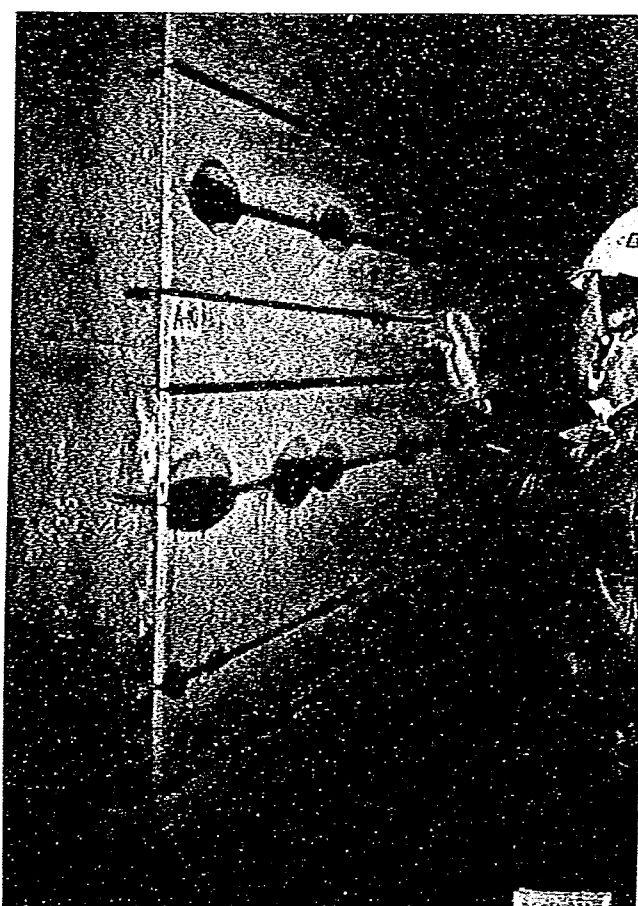
付録写真-17 J Cによるダムスクリーンモデル切断面



付録写真-18 J Cによるコンクリート裏込めモデル切断面

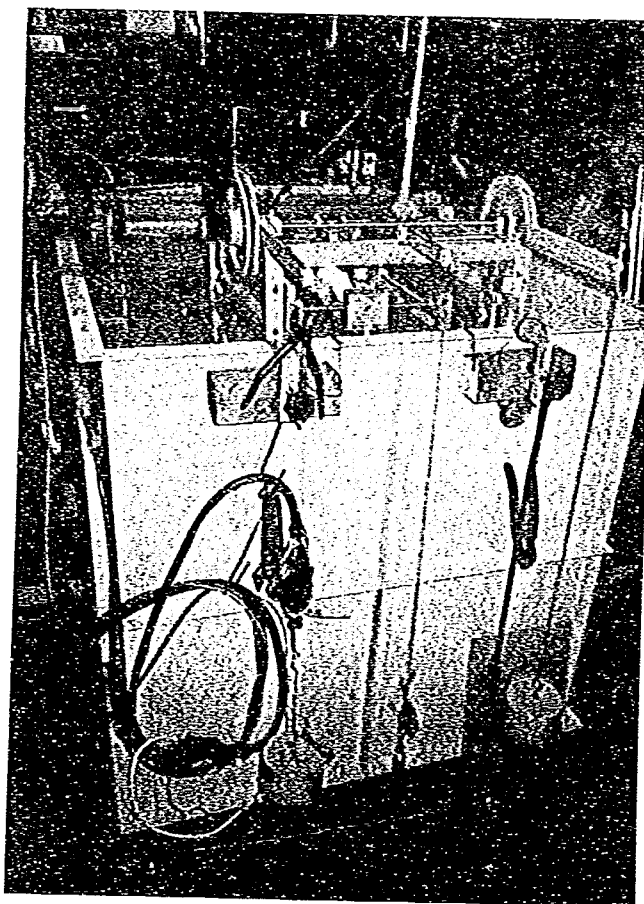


付録写真－１９ ＡＪによるダムスクリーンモデル切断面

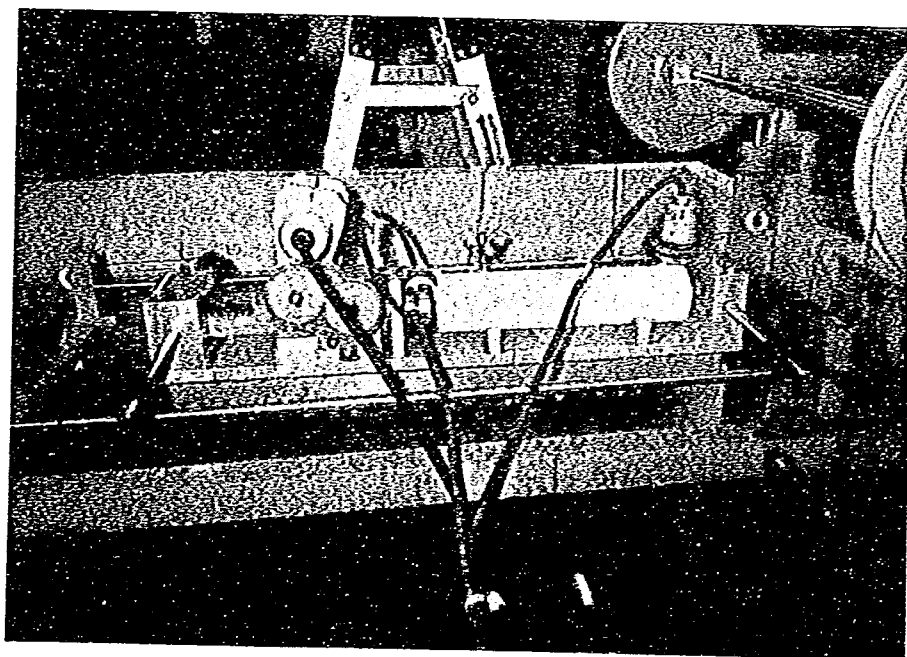


付録写真－２０ ＡＪによるコンクリート変込めモデル切断面

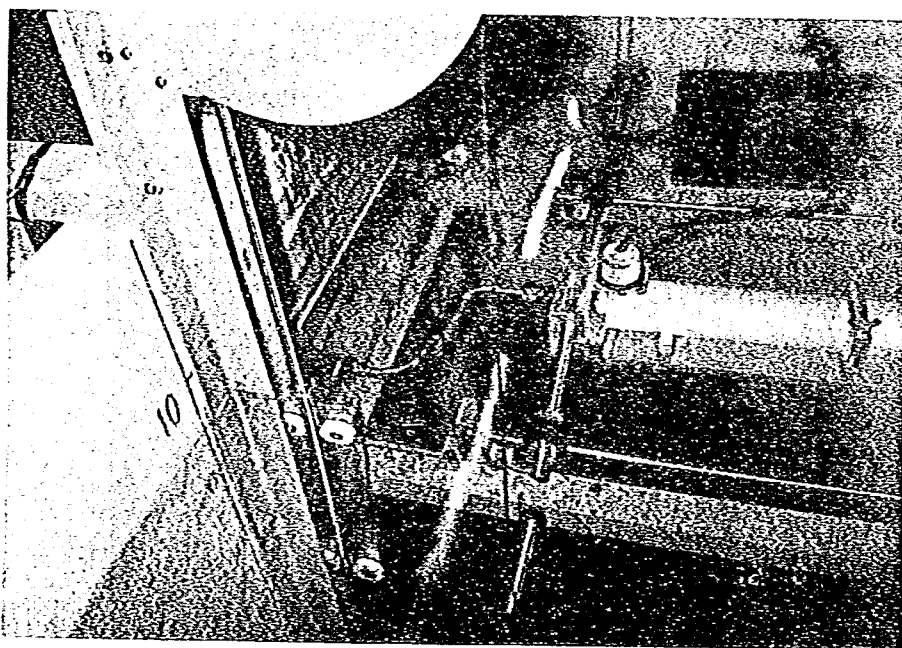
水中塗装実験写真



付録写真－21 塗装装置全体



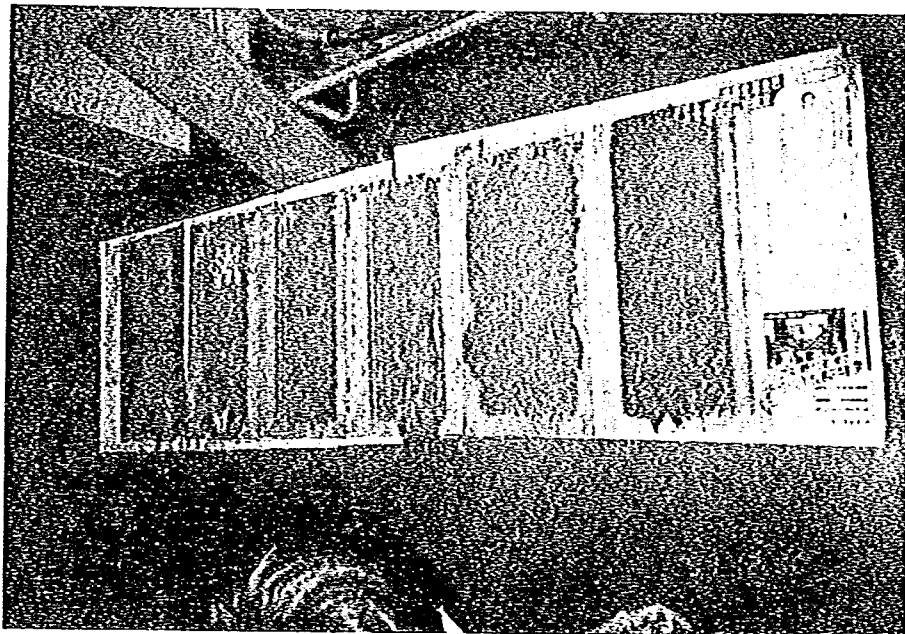
付録写真－22 塗装装置本体



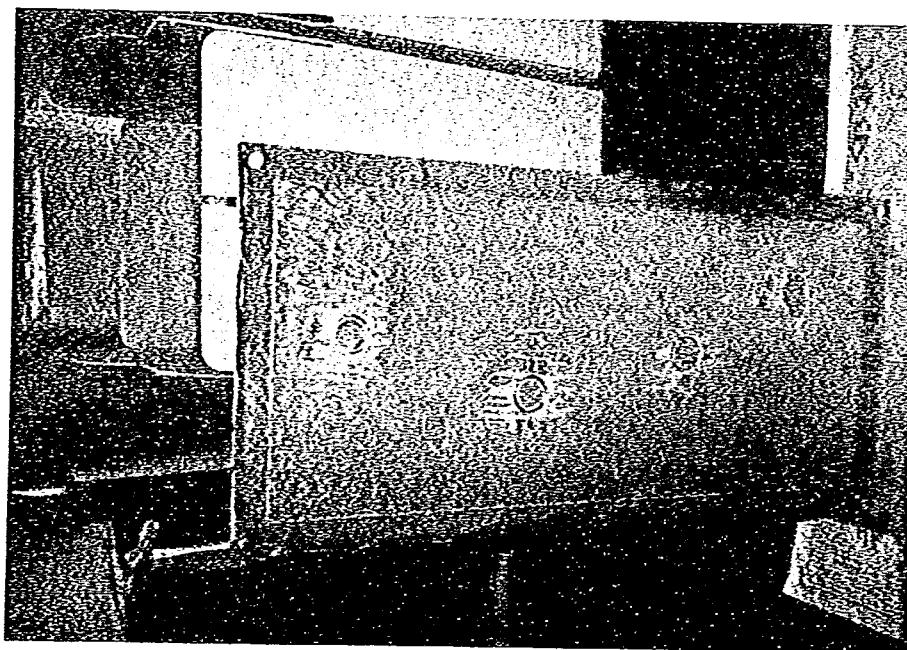
付録写真－２３ 塗料のにじみ出し状況



付録写真－２４ 耐性試験

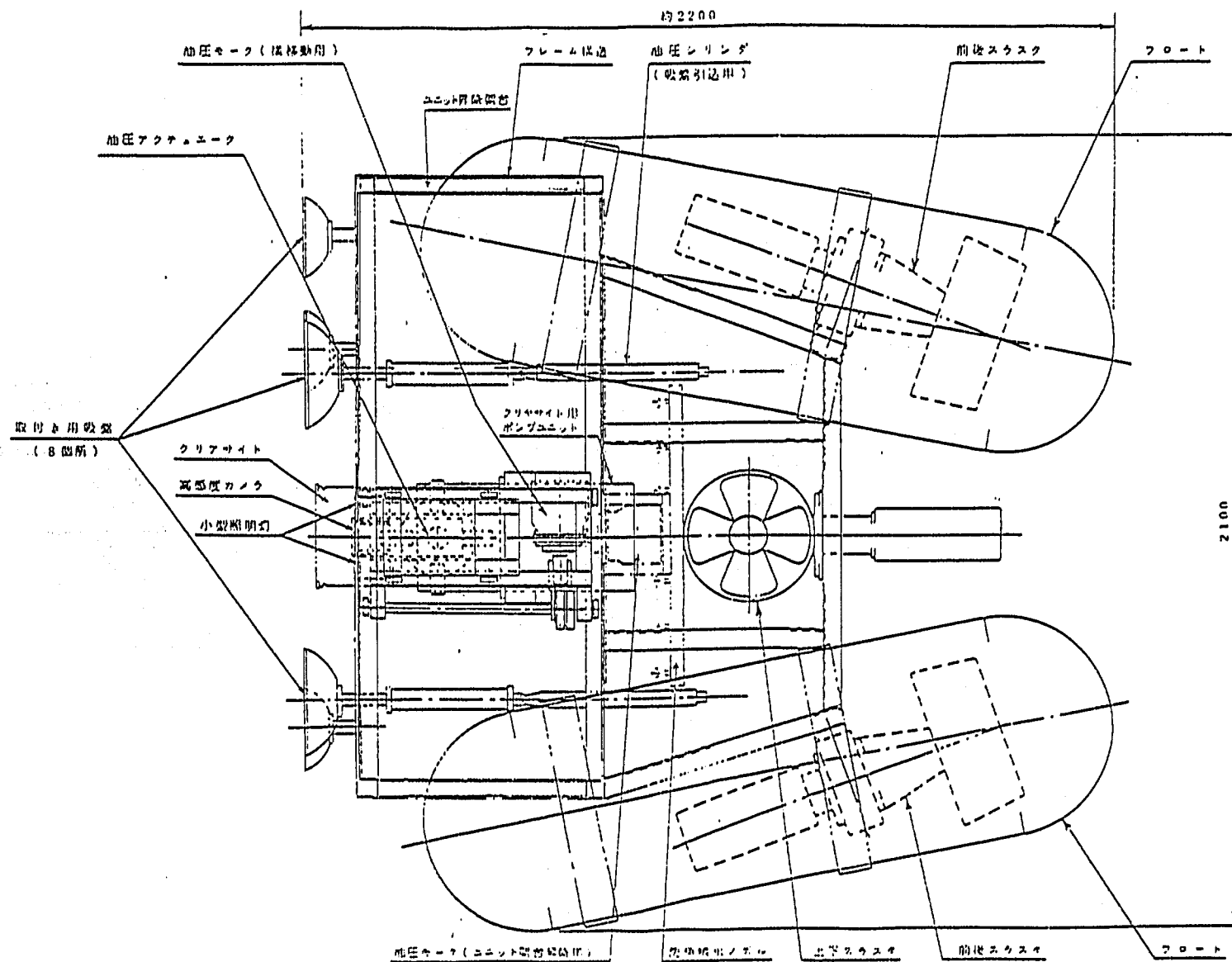


付録写真－２５ 水中塗装による塗膜状況

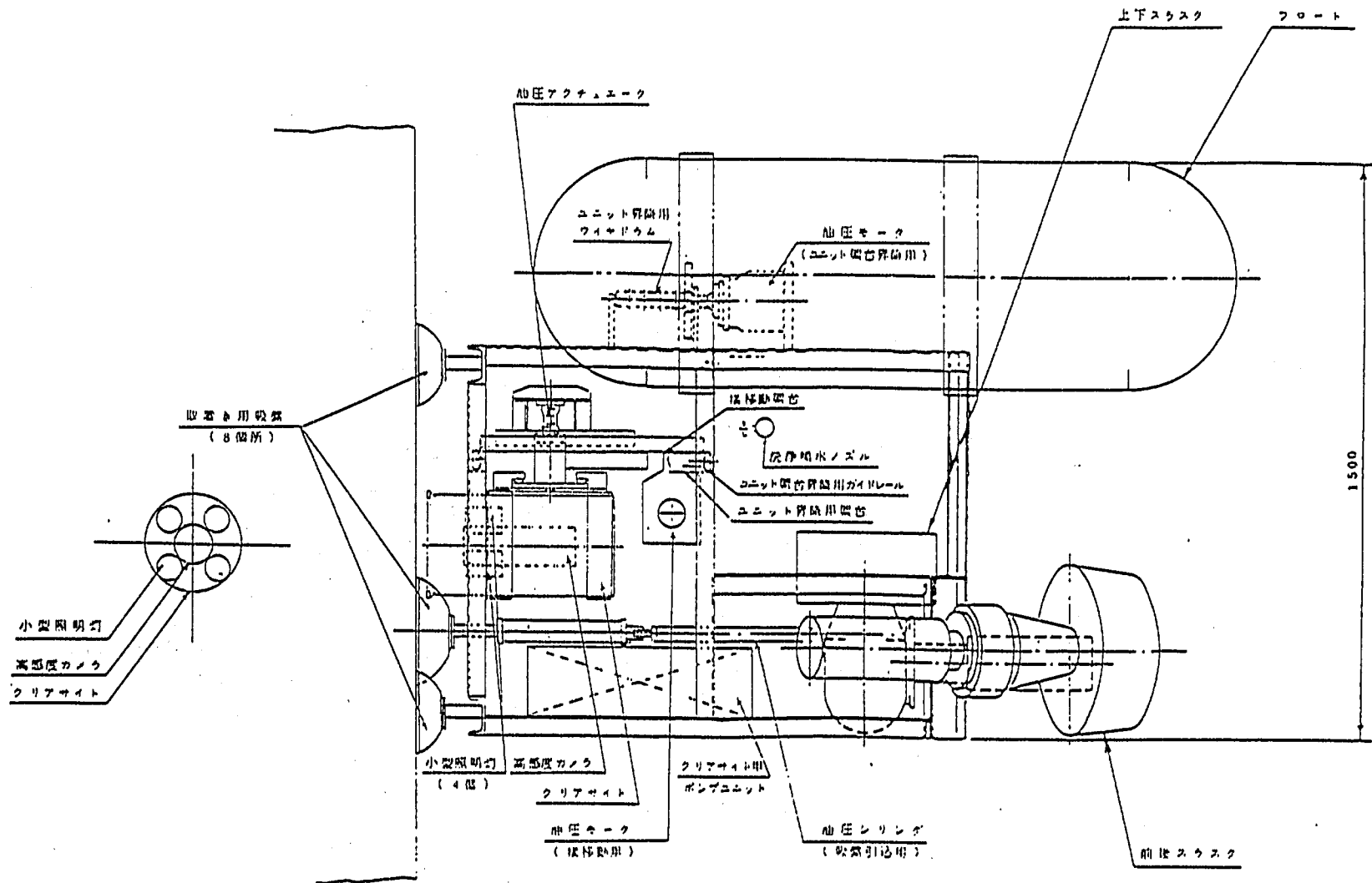


付録写真－２６ 付着力の確認

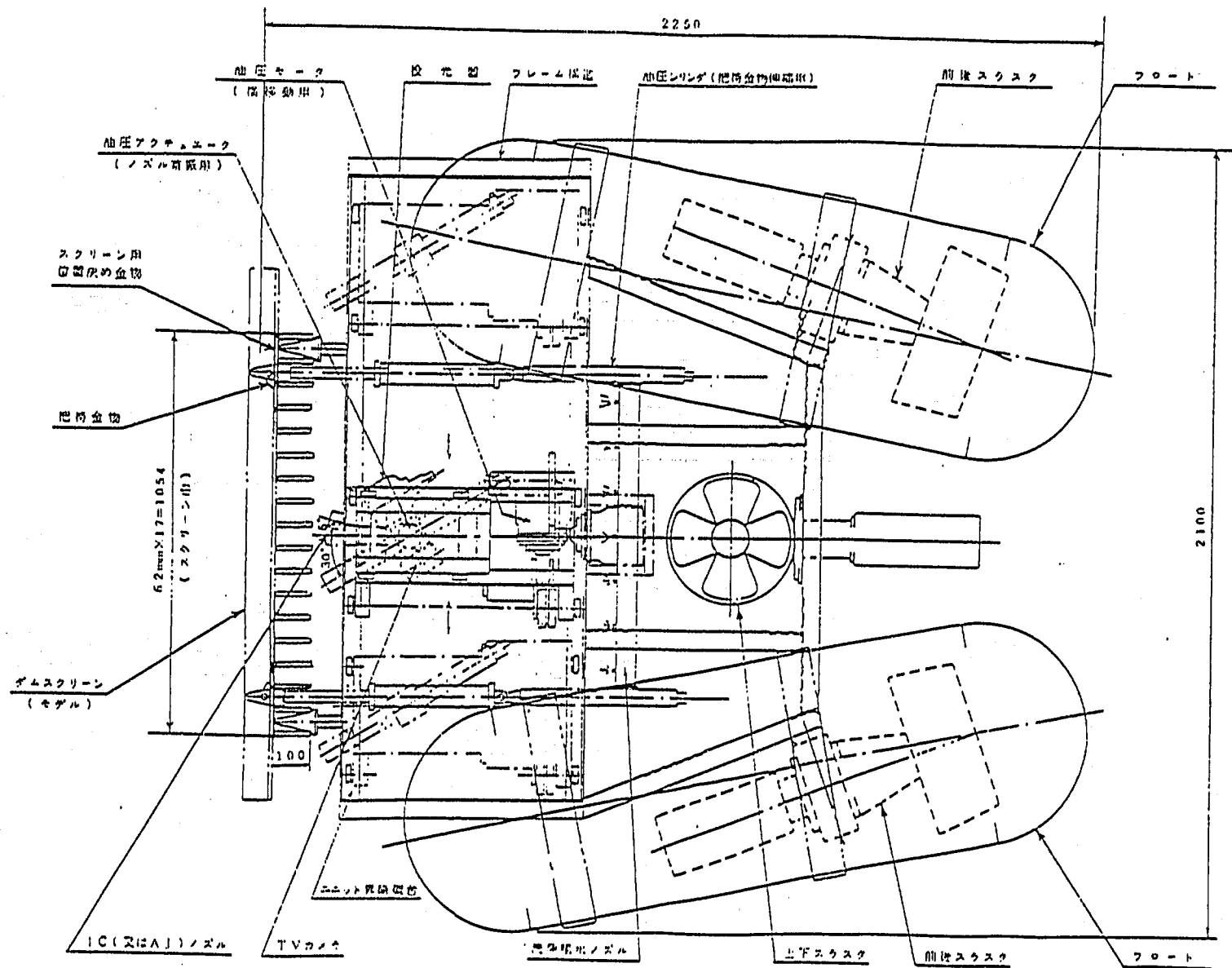
付 録 2 図 面



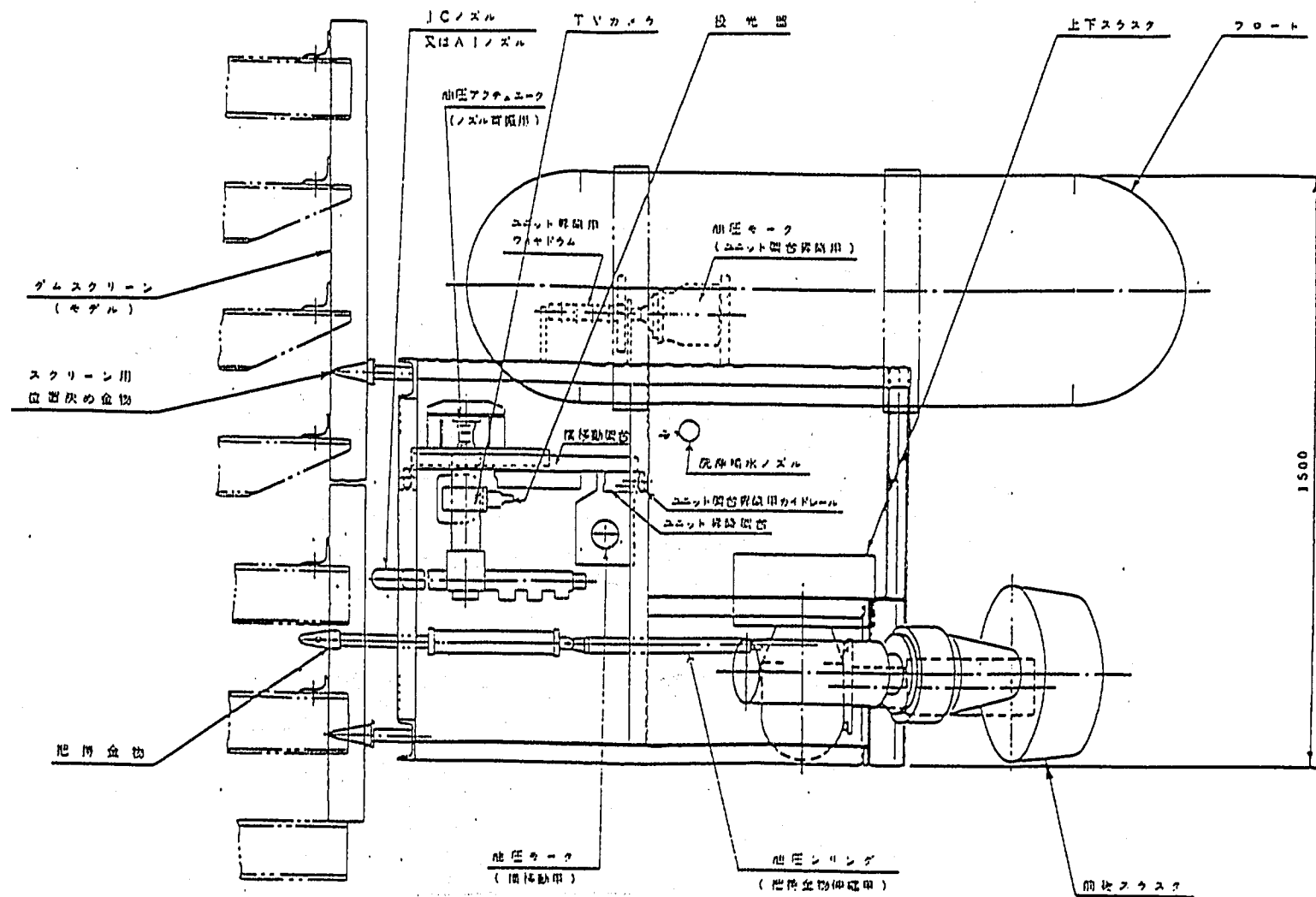
視認ユニット搭載ROV概念図 (平面図)



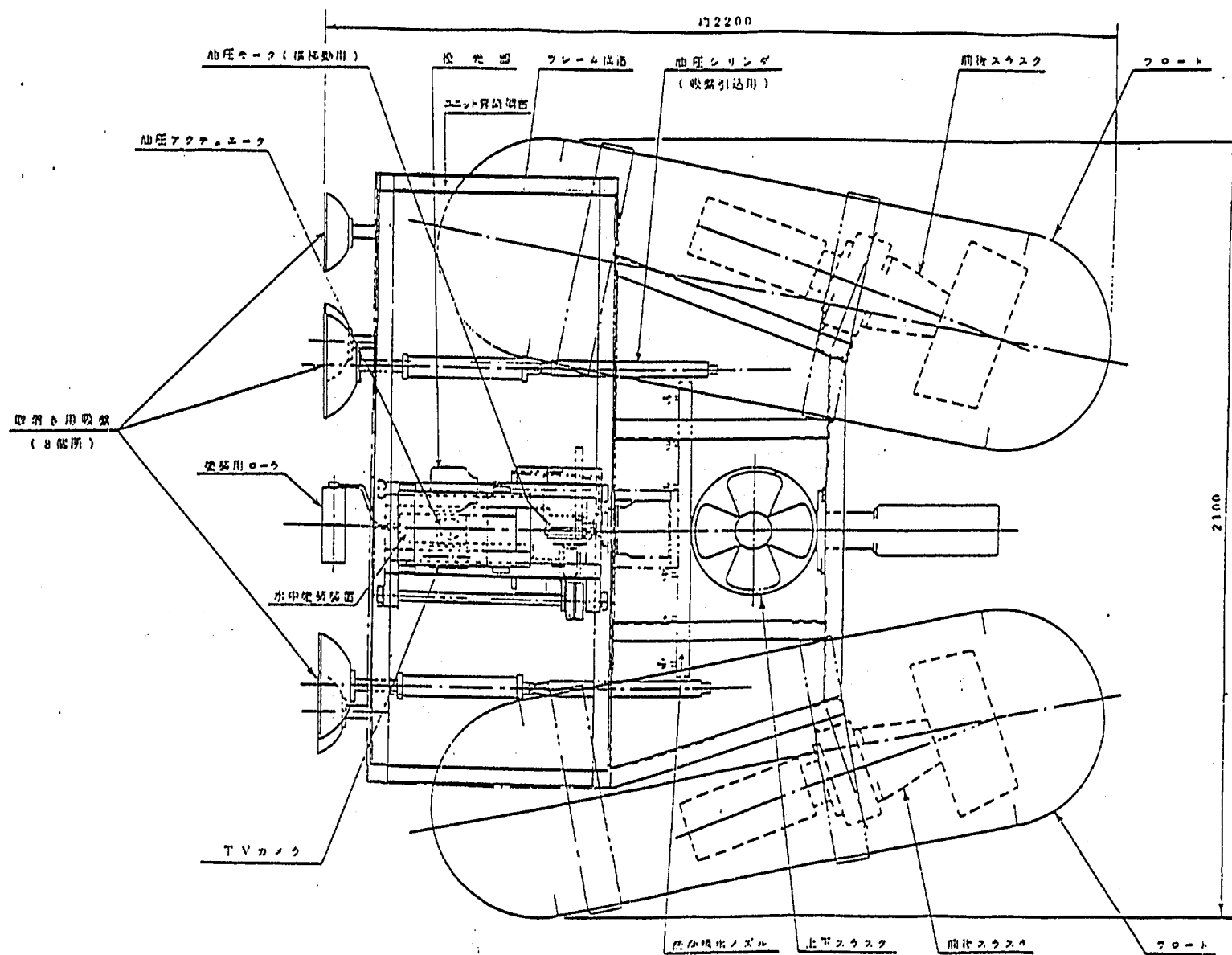
視認ユニット搭載ROV概念図 (側面図)



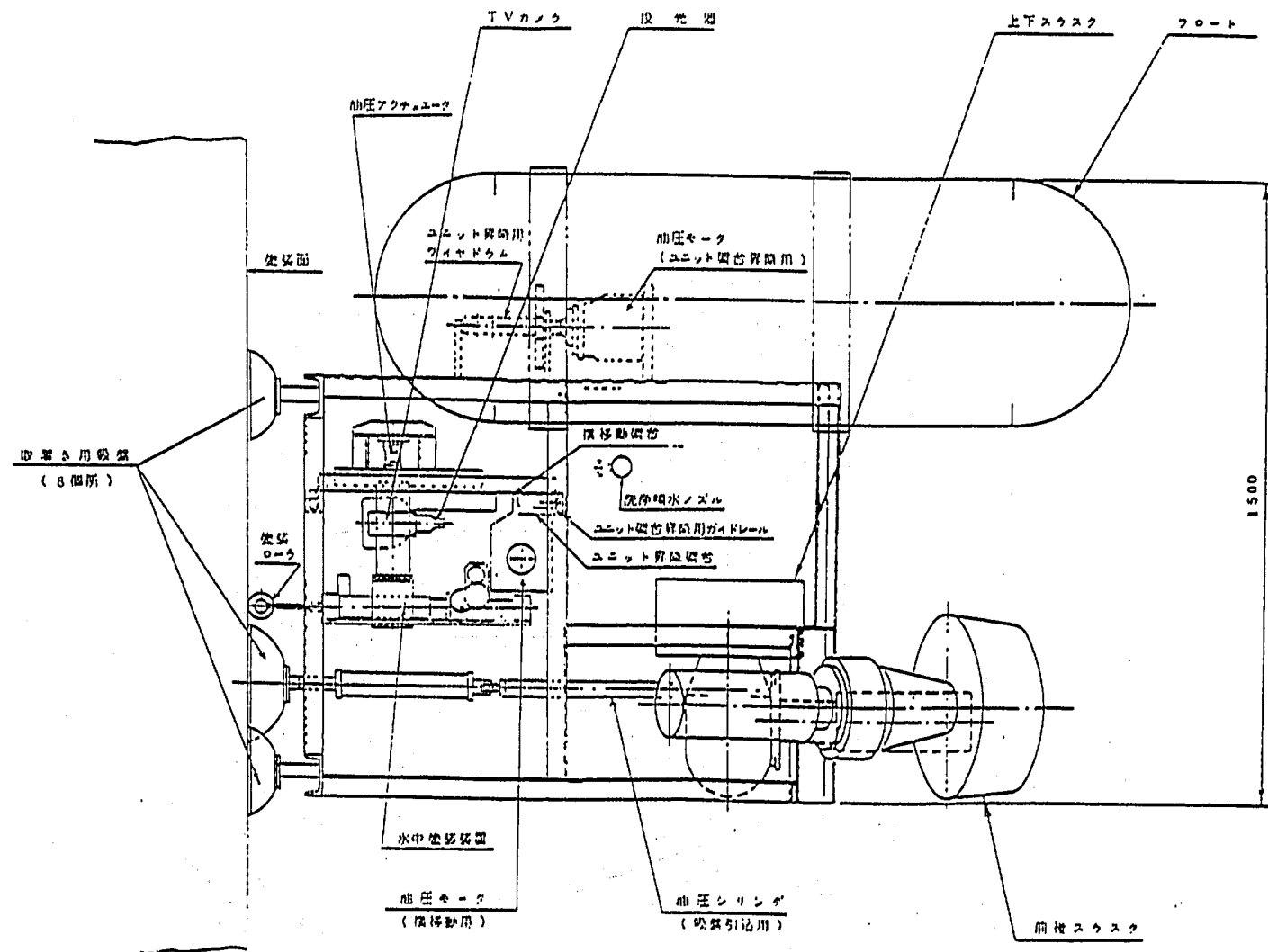
切断ユニット搭載ROV概念図 (平面図)



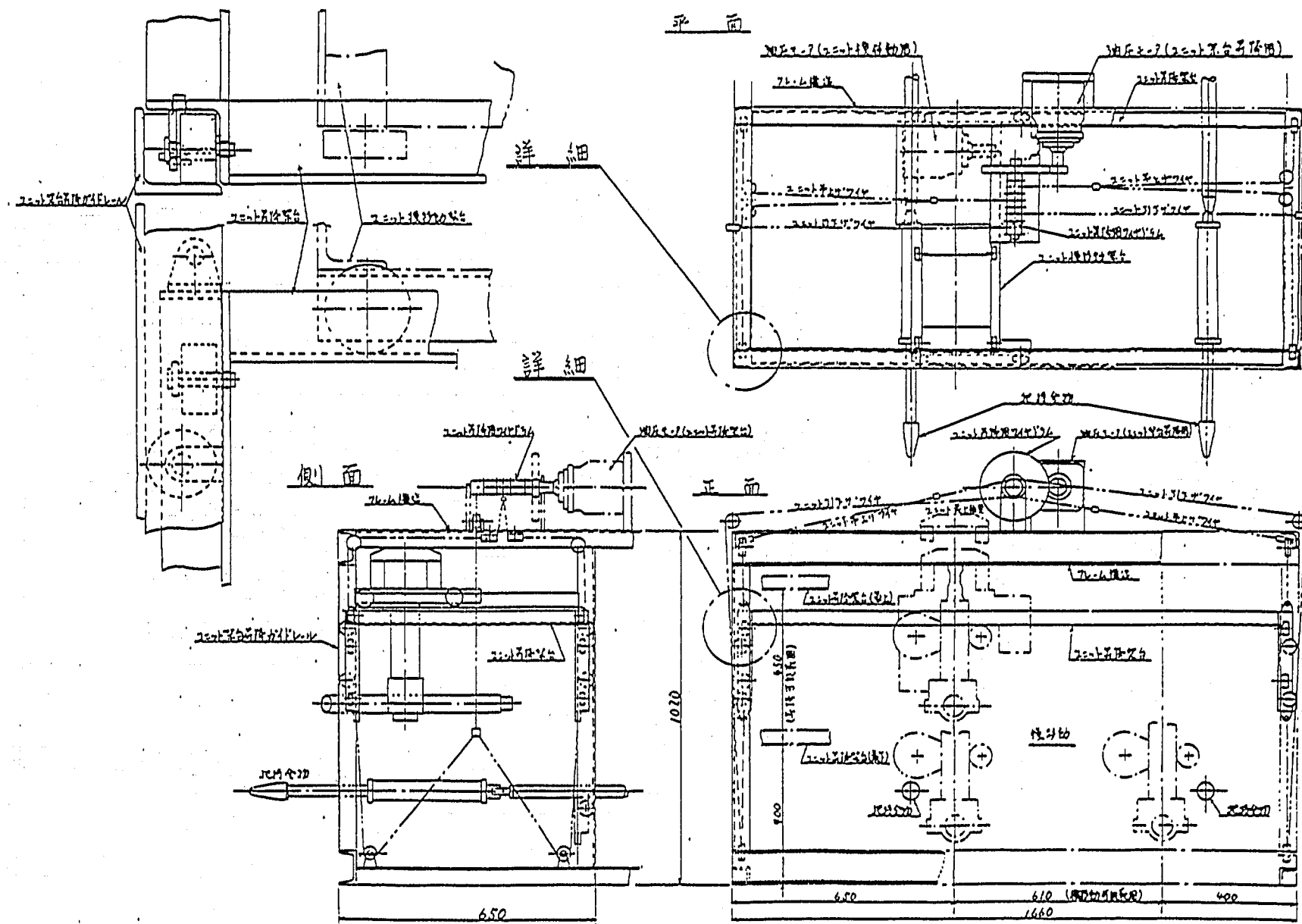
切断ユニット搭載ROV概念図(側面図)



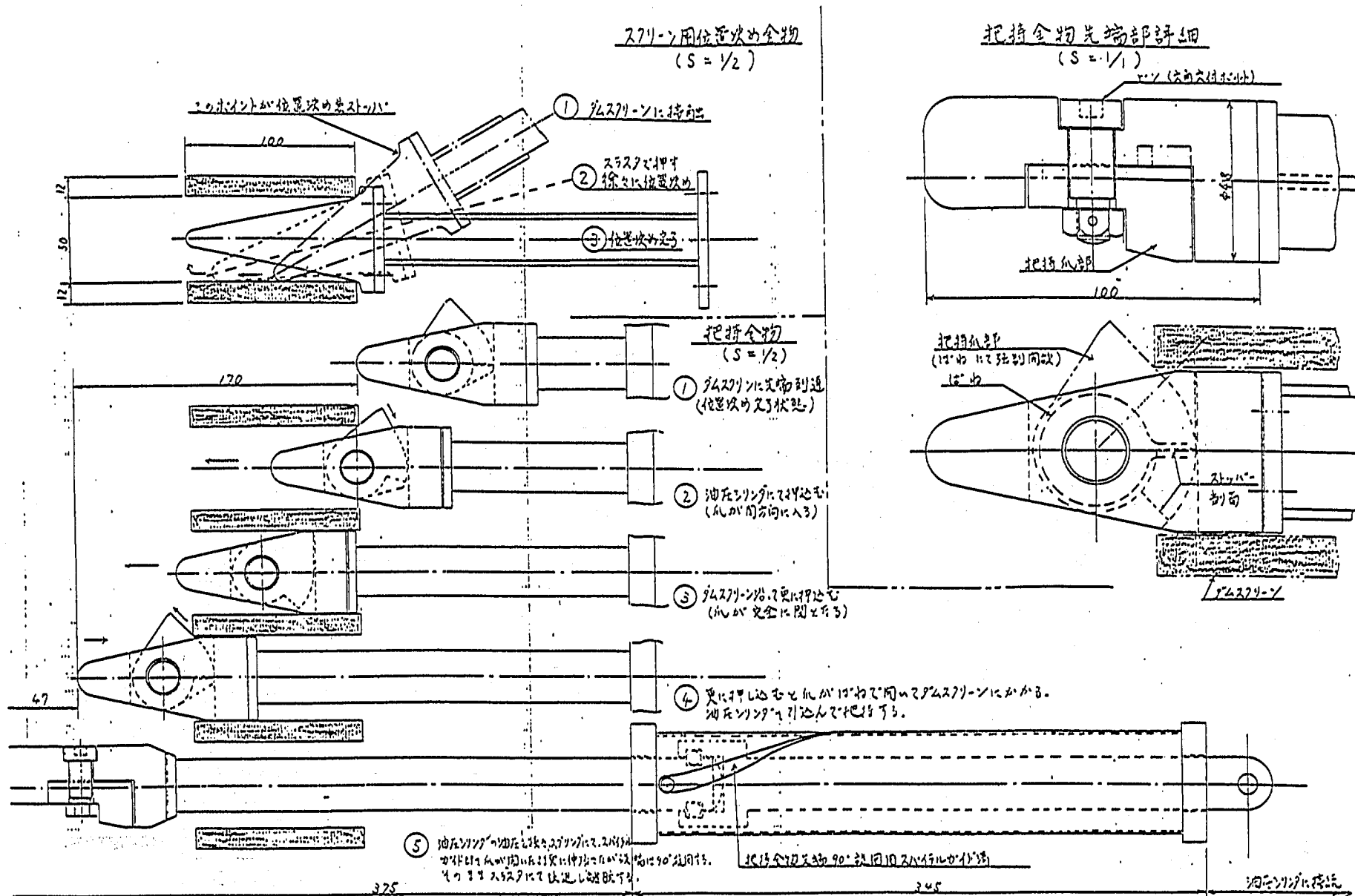
塗装ユニット搭載ROV概念図 (平面図)



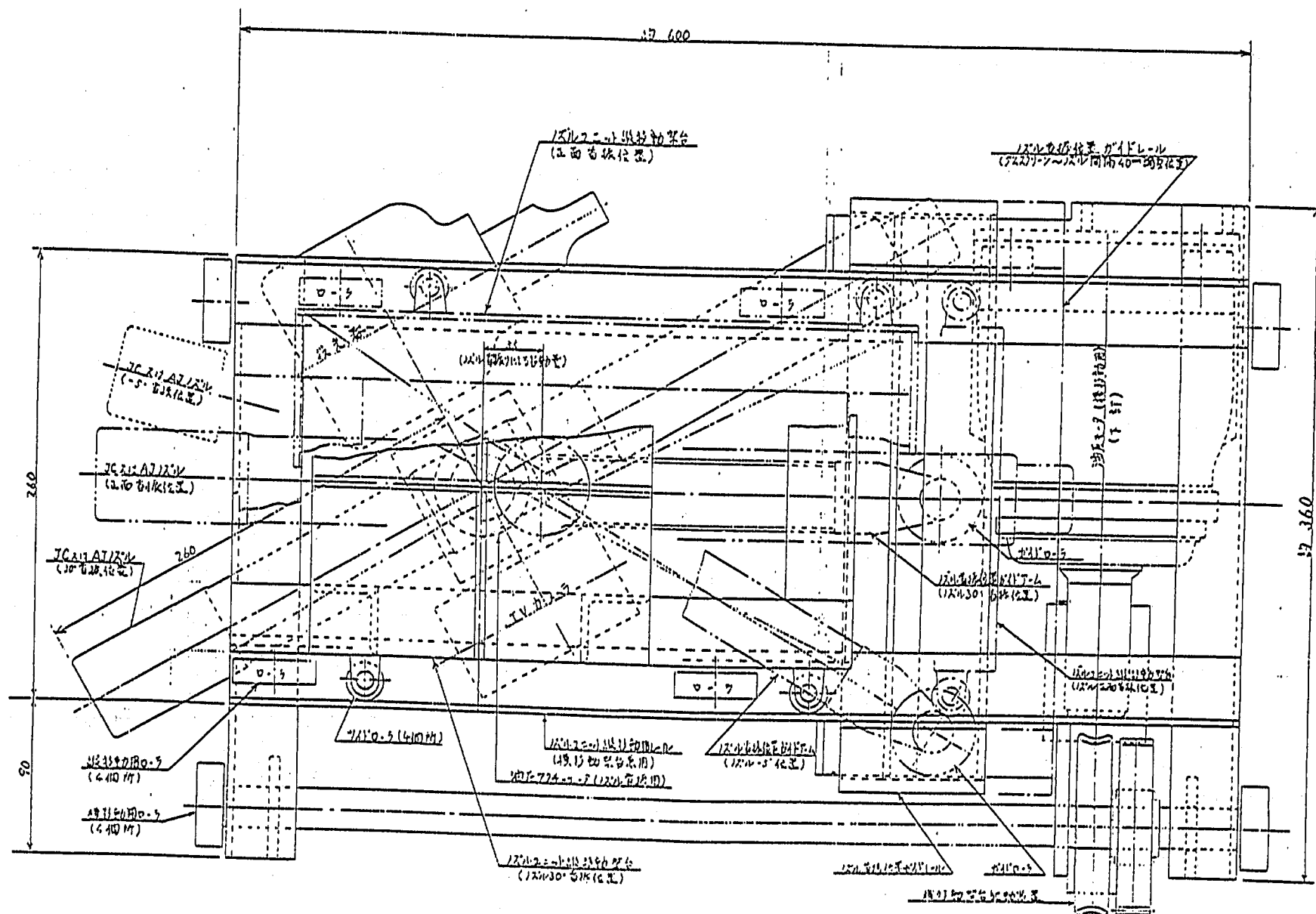
塗装ユニット搭載ROV概念図（側面図）



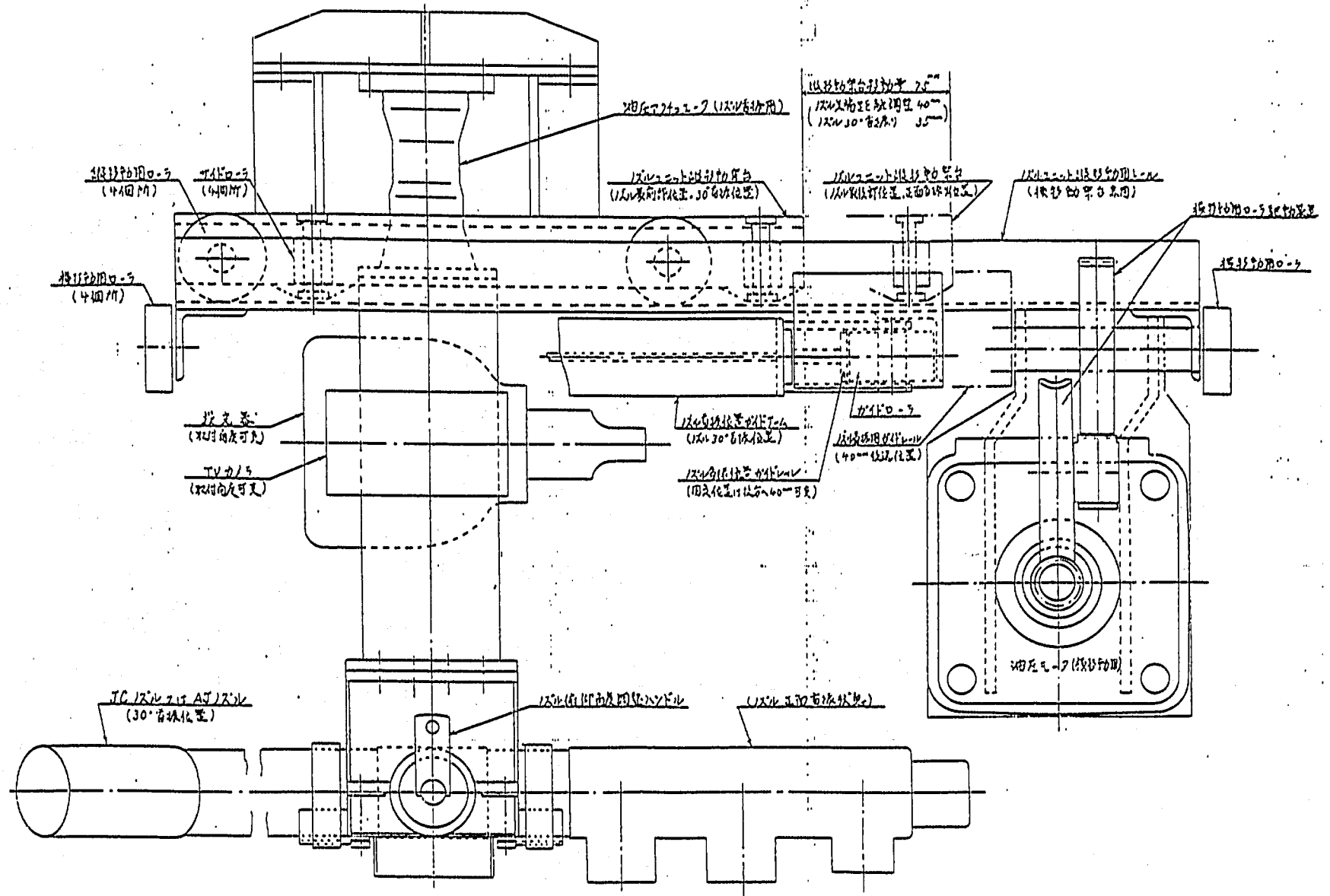
ユニット昇降架台計画図



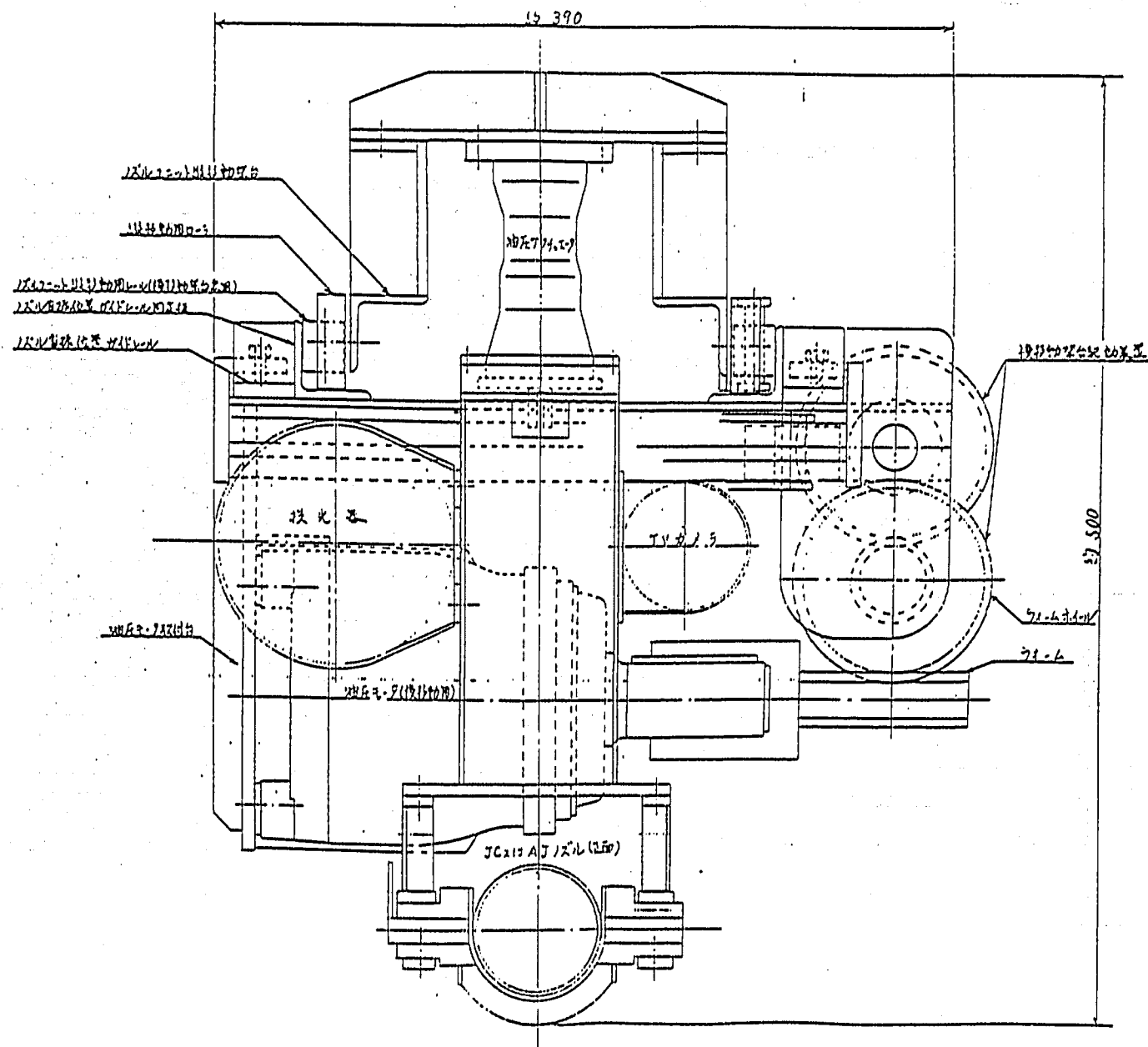
把持装置構想図



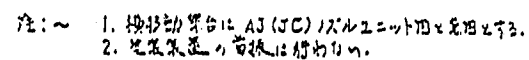
A J (J C) ユニツト計画図 (平面図)



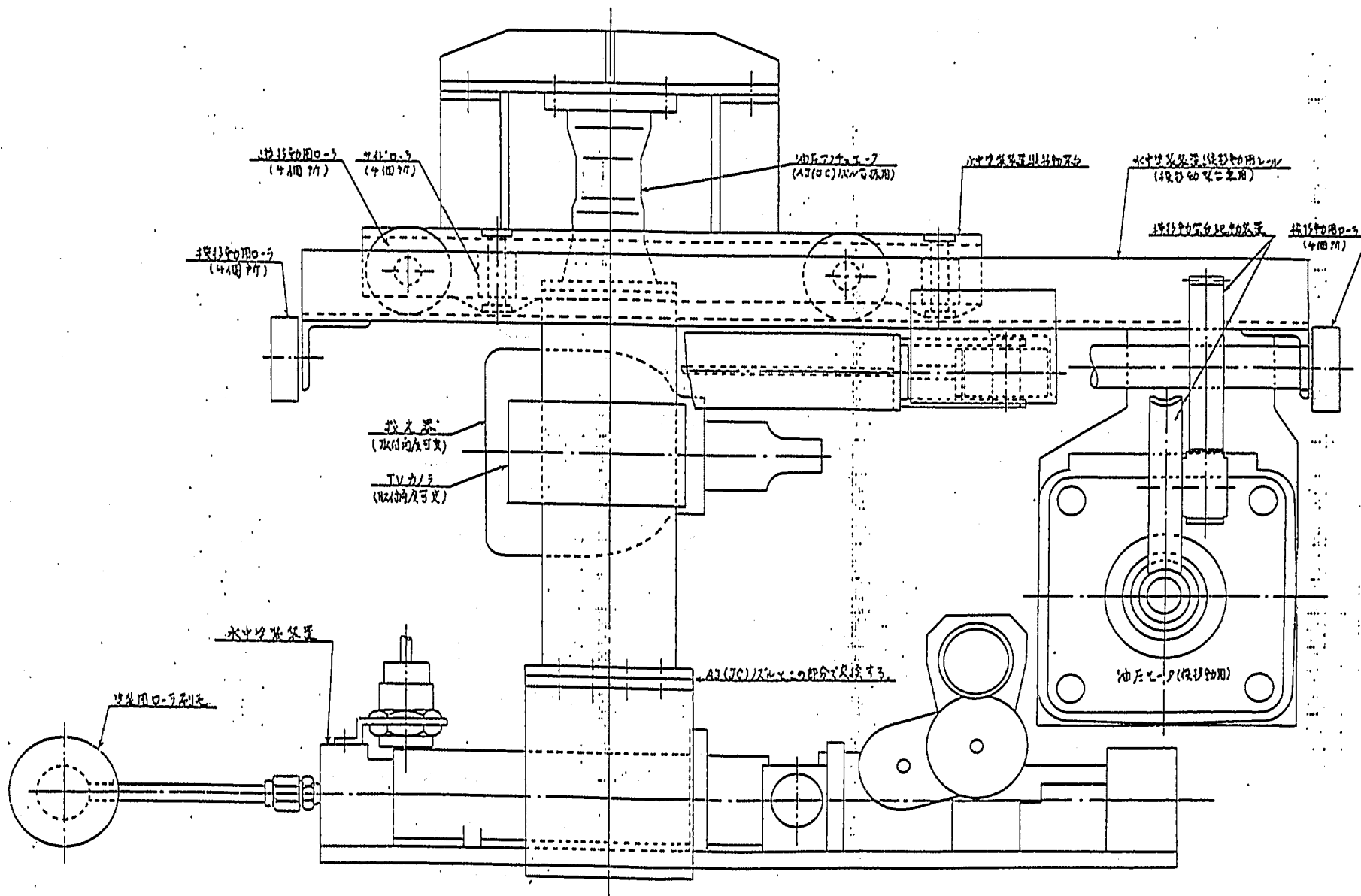
A J (J C) ユニツト計画図 (側面図)



AJ (JC) ユニット計画図 (正面図)

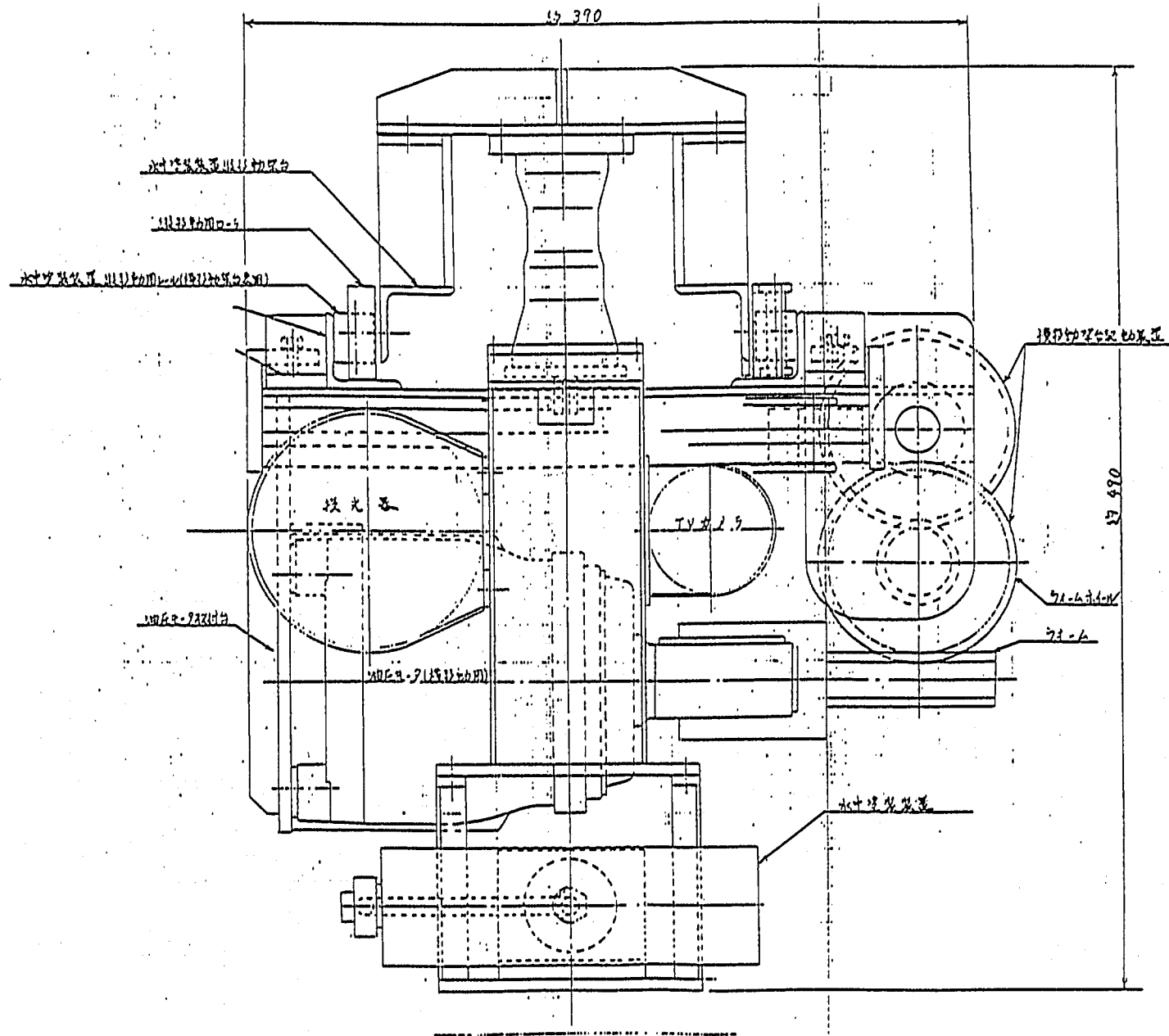


塗装装置ユニット計画図（平面図）

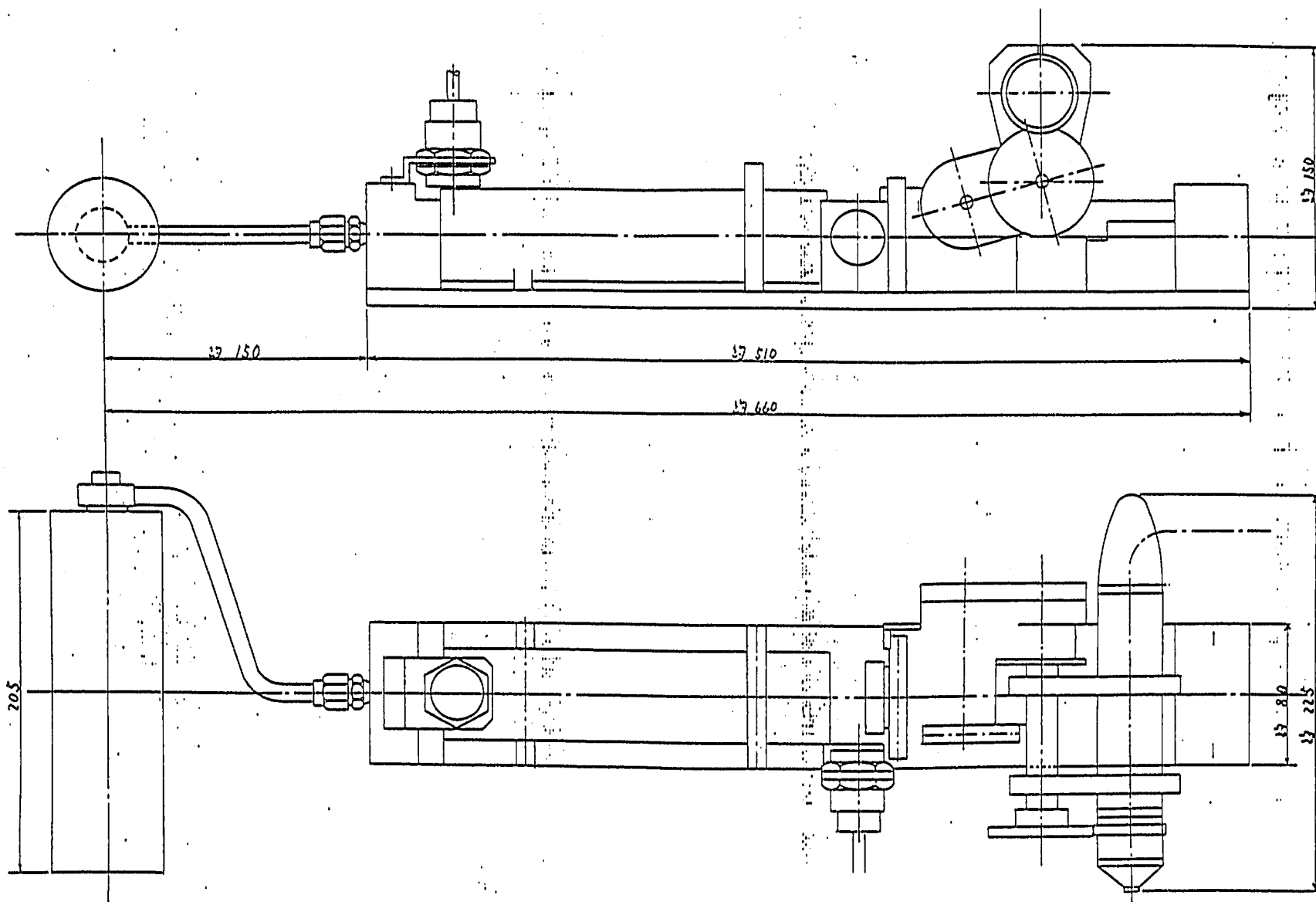


注: ~ 1.) 換り物架台は AJ(JC)ノズルユニット同て取用せよ。
2.) 換り物架台は AJ(JC)ノズルユニット同て取用せよ。

塗装装置ユニット計画図（側面図）



水中塗装ユニット計画図（正面図）



水中塗装装置本体

水中構造物の維持更新・
機能向上技術に関する
共同研究報告書

共同研究報告書 第135号
平成7年(1995)

戦後の高度成長期に整備された公共施設等の社会資本ストックは老朽の時期を迎えており、今後、社会の発展に合わせた新たな整備だけでなく、老朽化した社会資本を良好な状態で維持していくことが必要となっている。

本研究は、ダムや堰等の水中構造物の維持管理に伴う点検、補修等に関する技術開発を目的として着手したものである。本研究により、水中心検、水中心断及び水中塗装に関する要素技術の水中への適用性を実験的に明らかにすることができた。また、現場施工を想定し、システムの設計及び運用に関する要領(案)のとりまとめを行うとともに今後の課題等の整理を行った。

キーワード：水中作業、水中構造物、ダム、維持管理、水中心検、水中心断、水中塗装、潜水士、安全性、省力化、言説性、ROV

郵便はがき

50
円切手
をはって
下さい。

305.□□

茨城県つくば市大字旭一番地

建設省土木研究所

材料施工部機械研究室

No. 36

No. 36

配布先氏名

配布先住所

○

土木研究所資料 第135号 部

上記のとおり受領しました。

所 属 (住所)

氏 名 印