

深海形水中ブルドーザシステムの開発

Development of a Deep-Type Underwater Bulldozer System

須之部 量寛* 泉 久* 川崎 寛司*
 Kazuhiro Sunobe Hisashi Izumi Hiroshi Kawasaki
 安齊 太郎** 村田 敏雄*** 安井 厚***
 Tarô Anzai Toshio Murata Atsushi Yasui
 大和 和夫****
 Kazuo Ôwa

A deep sea type underwater bulldozer system has been developed by the Hitachi Group companies (including Hitachi, Ltd., Hitachi Construction Machinery Co., Ltd., and Hitachi Cable, Ltd.) This system has been designed for underwater bulldozing at a depth of 5 to 60 meters. It is equipped with sonar eyes and can perform bulldozing easily and accurately by the remote control from the water surface even when the sea-bed conditions are inclement. In the performance and durability tests the system has been confirmed to display its design performance to satisfaction.

The underwater experiments were carried out by Japan Development and Construction Co., Ltd.

1. 緒 言

日立製作所は、さきに日本国土開発株式会社との共同研究により、水深5mまでの浅い海中で土木作業を行なうことのできる浅海形水中ブルドーザシステムを開発したが、このたび各種の港湾工事や海中の橋脚の基礎工事などに使用することを目的として、水深5～60m前後の海底で土木建設工事を行なうことのできる深海形水中ブルドーザシステムを新たに開発した。

浅海形の場合は、海底で作業を行なっているブルドーザの位置を船上から目視することができ、また姿勢や排土板の高さも水上に出ている標識柱により判断することが可能であったが、深海形の場合はブルドーザが全く海中に没しているため、水中の位置や姿勢を目視することは不可能であり、各種の検出装置を用いて船上の操縦室に表示し、操縦者はこれを見ながら海底のブルドーザの挙動を推測して、遠隔制御によりブルドーザを操縦し工事を行なうという方式を採っている。

現在までに数回の海中試験を行なった結果、ほぼ当初の目的を達成し、海底で若干の排土作業を実施することができた。また、この開発により遠隔制御で操縦される水中作業機械についての基礎技術を得ることができた。

2. 構造と機能

2.1 システムの構成

この深海形水中ブルドーザシステムは概念図に示されるように、非自航形母船と水中ブルドーザにより構成されており、両者は水中ケーブル、空気ホースおよびワイヤロープにより結合されている。ブルドーザは母船上の操縦室から水中ケーブルを介して電気動力ならびに制御信号を受けて遠隔制御され、海底を走行して各種の土木作業を行なう。

ブルドーザには浮力タンクを設け、これに空気を満たすことにより海面に浮かすことができるので、基地から作業現場へ浮上したまま曳航(えいこう)し、現場に到着した後は、浮力を減らして

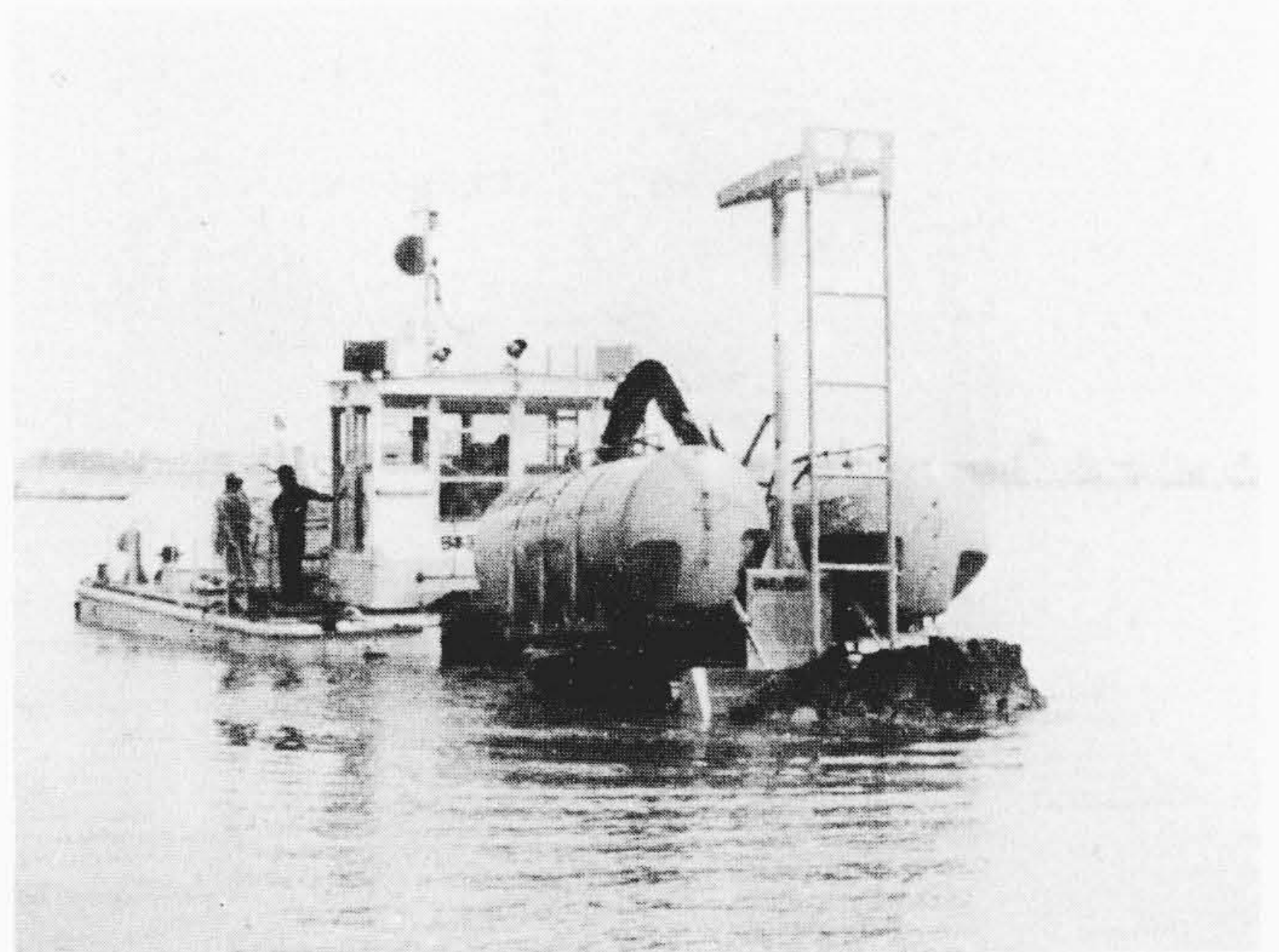


図1 浅海形水中ブルドーザシステム

海底にウインチでつり降ろす方式としてある。海底でへどろや岩石などのため走行が困難になり、海底を離れる必要が生じた場合や、または台風などの気象条件の悪化により作業現場から離れる場合にも、この浮力タンクとウインチにより容易につり上げて浮上させることができる。

2.2 水中ブルドーザ本体

水中ブルドーザは日立T-20B形ブルドーザをベースマシンとして、これを水中用に改造したもので、駆動方式は電気油圧駆動方式である。すなわち、母船から三相交流3,300V、60Hzの電源を受けて150kVAの水中電動機を駆動し、これに結合された2台の可変容量形ポンプから生ずる油圧により、左右に1台ずつ配置された定容量形低速モータを駆動してクローラを動かし走行する。またこのほか水中電動機は作業機用の油圧ポンプを駆動して排土板、リッパを操作する油圧を発生する。

走行速度は前後進とも最高3km/hであり、速度は可変容量形ポンプの斜板角を船上から遠隔制御により停止から最高速まで無段階で変えることができる。油圧機器、油圧タンク減速歯車装置などは海水の浸入を防ぐため、作業水深の水圧に耐えられる水密動力箱に収容されている。

* 日立製作所機械研究所
 ** 日立製作所戸塚工場
 *** 日立建機株式会社
 **** 日立電線株式会社

クローラを駆動する駆動軸が終段減速機箱から海中へ露出する部分は、海水および土砂の浸入が予想されるため、減速機箱の内部に海水圧に等しい空気圧を加えて、作業中にこの部分から浸水しない構造としてある。

ブルドーザには浮力を加減するため、2個の主空気タンクと1個の補助タンクを備えており、主空気タンクに空気を満たすことにより、ブルドーザの水中重量を約2tに減らし、小容量のウインチによりつり上げつり降ろしを可能にしている。さらに補助タンクに空気を満たすことにより海面に浮上させることができる。この浮力タンクはまた海底の土質が軟弱である場合に接地圧を調整することができる。

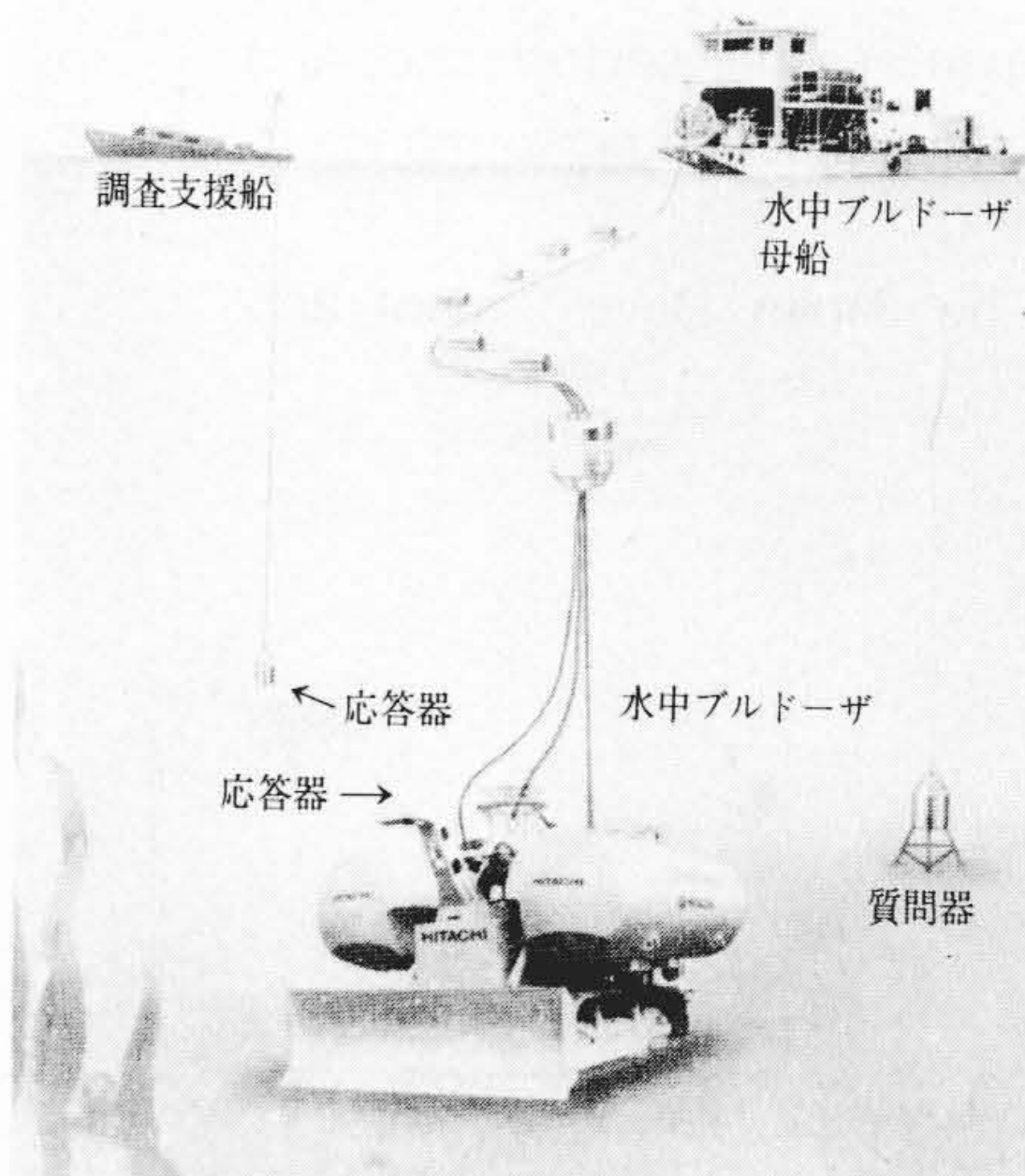


図2 深海形水中ブルドーザシステム概念図

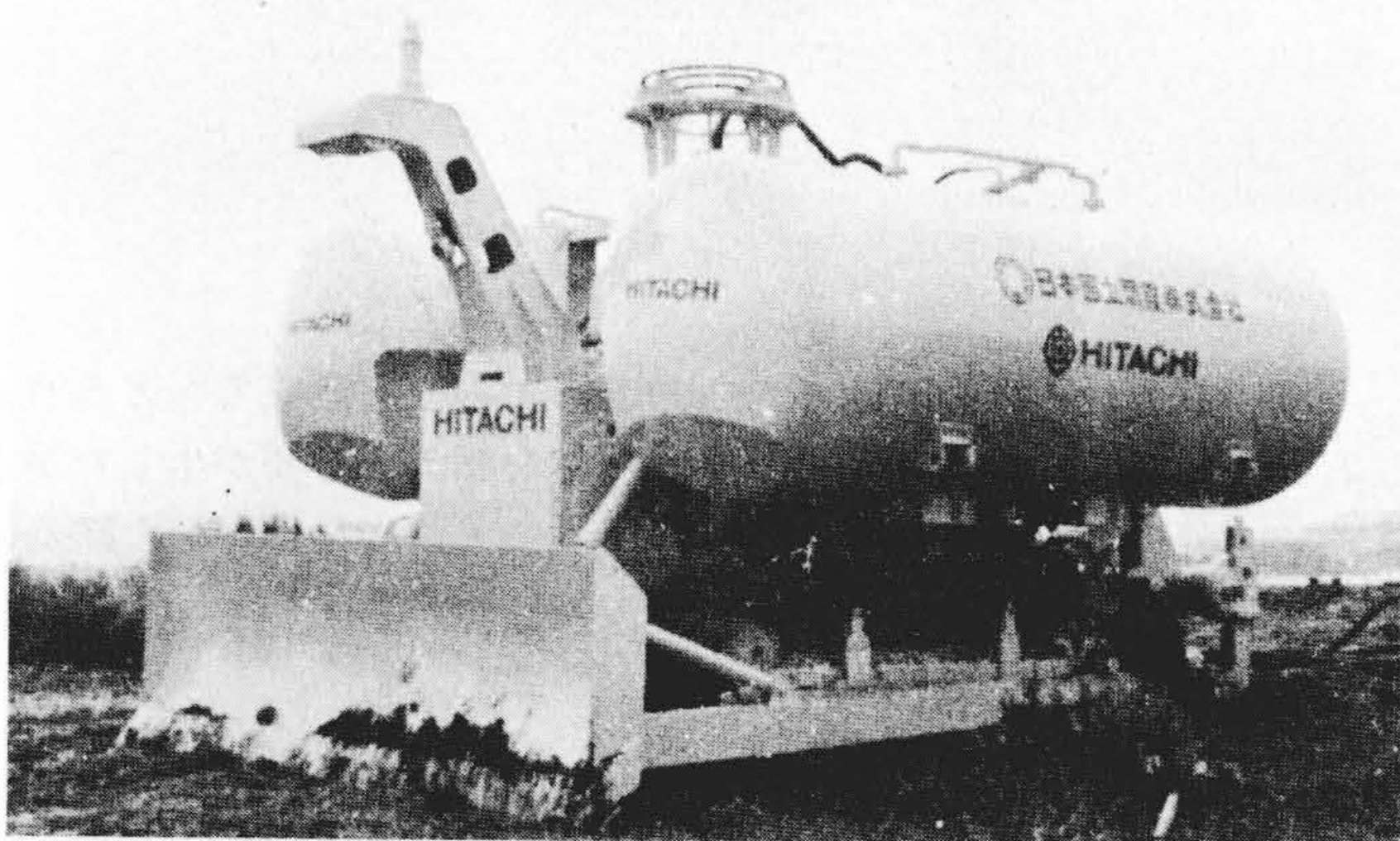


図3 水中ブルドーザ

2.3 母 船

水中ブルドーザが海底の作業現場で土木作業をしている間、母船は大きく移動することができないので、母船を非自航とし、作業中は四方にアンカーワイヤを張り位置を確保する。また若干の移動を要する場合にはウインチによりアンカーワイヤを巻き取り移動する方式である。作業現場と基地間を移動する場合には、ブルドーザを浮上させるか、または母船からつり下げたままでタグボートにより曳航される。

このため母船には電源として主発電機(300kVA)、補助発電機(20kVA)、蓄電池、配電盤などを収めた発電機室、また空気源と

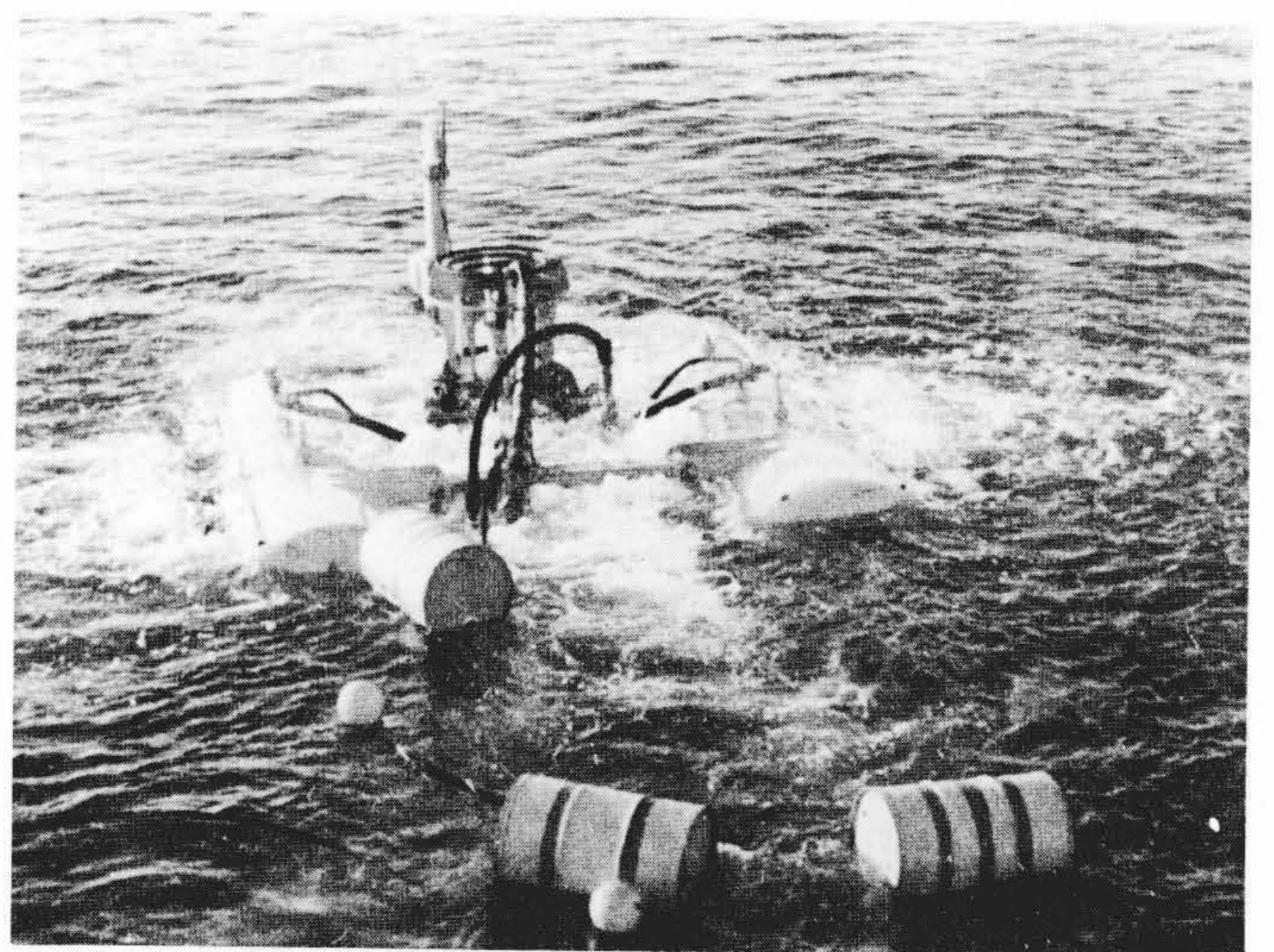


図4 海面に浮上した水中ブルドーザ

して7気圧用空気圧縮機と150気圧用小形高压圧縮機のほか、水中ケーブル用ドラム、空気ホース用ドラム、ワイヤロープ巻取用ウインチ、操船用アンカーワイヤウインチ、超音波質問器用ウインチ、操縦室、休憩室、便所、シャワー室など作業に必要な諸設備を備えている。



図5 水中ブルドーザ母船

2.4 水中ケーブル

主ケーブルは長さ110m、直径74mmの複合キャプタイヤケーブルで、3,300Vの動力線3回路と低圧の計測、制御線49回路とが同一のケーブルに収めてある。主ケーブルの母船側の端は高压と低圧とに分けてコネクタが取り付けられており、船上のコネクタに接続される。水中ブルドーザ側の端には水密のつなぎ箱を設けて、この中で各回路ごとに分け、水中電動機など個々の電気機器までの間を補助水中ケーブルと水密コネクタにより接続する方式である。

2.5 操縦室および操縦用機器

操縦室は母船のブリッジに設けられており、操作用パネル、警報監視盤などが配置されている。操作用パネルは図6に示されるような形状で次の計器および機器が組み込まれている。

すなわち、水中ブルドーザ位置監視装置、排土板前方地形監視装置、水中ブルドーザ方位計、水中ブルドーザ傾斜計(ピッチ角、ロール角)、母船～ブルドーザ間の相対角度表示計、水深計、排土板昇降計、水中聴音器、ブルドーザ作業油圧計各種、浮力タンク用空気圧計、高压空気ポンプ用圧力計、操縦用ハンドル、水中電動機起動停止用ボタン、ウインチ操作用ボタン、各種通話装置な

どである。

上記の計器および機器の機能は次のとおりである。

(1) 水中ブルドーザ位置監視装置

システムの概念図に示すように、母船から作業現場付近の海底に超音波質問器を降ろし、作業区域を超音波ビームで走査する。一方、ブルドーザの上部に取り付けられている応答器は質問器からのビームを受けると応答信号を出すので、このときの超音波ビームの方向と応答信号を受けるまでの経過時間から求められる距離により、監視装置のブラウン管に極座標の形で水中ブルドーザの位置を輝点として表示する。概念図に示されている支援船からつり下げられた応答器は作業区域に対して基準の方向を決定する場合に使用されるものである。この装置には自動追尾機構が設けられており、いったん、水中ブルドーザの位置を見いだすと、その後はブルドーザを自動的に追尾して常時その位置をブラウン管上に表示することができる。このブラウン管にはまた方位計からの信号によりブルドーザの方位が矢印で表示される。

このほかに水中を走行した記録を残すために、3個の水中マイクロフォンと計算回路により水中ブルドーザの位置を直交座標値で求め、X-Yレコーダに記録する装置が開発されたが、この装置は水中の雑音にも強く、単に作業記録が得られるだけでなく、操縦ならびに作業の監視用としても使用できる。

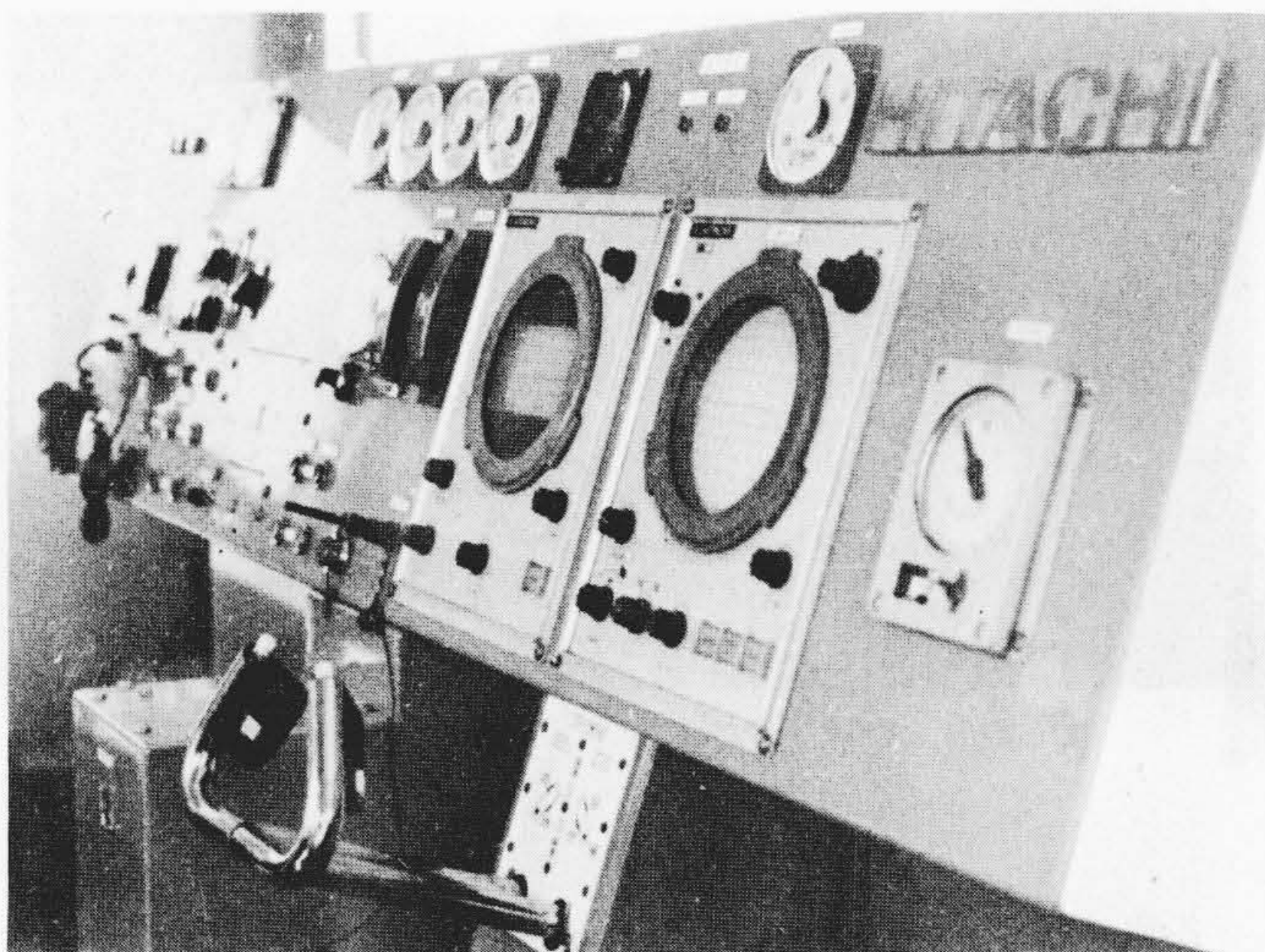


図6 操作パネル

(2) 排土板前方地形監視装置

水中ブルドーザが海底を進行する場合に、排土板の直前の海底地形を知るため、水中ブルドーザの前方に突出した梁(はり)の先端に下向きに取り付けた超音波送受波器から超音波ビームを出して海底を走査する超音波ビームの方向と海底からの反射信号とにより、前述の位置監視装置と同様の極座標の形でブラウン管に海底の状況を表示することができる。この装置にはブルドーザが前後方向に傾斜した場合に備えて、ピッチ角を修正して海底の形状を正しく表示できる補正機構が設けてあり、この装置により海底の起伏が船上で正しく判断できるほかに、排土作業をする場合には排土板の概略の高さと排土板直前の土量の概略を知ることができて作業に便利である。

(3) 水中ブルドーザ方位計と回転計

ブルドーザが水中で、どの方向を向いているかを知るためには、ジャイロコンパスを使用した、小形船舶用ジャイロコンパスを水密ケースに封入して、水中ブルドーザに搭載(とうさい)し、操作パネル上のレピータに方位角を表示している。また

母船と水中ブルドーザとの相対角度が360度を越えると、レピータから相対角度を知ることが困難になり、ワイヤと水中ケーブルがからまるおそれがあるので、方位信号を利用して、正逆それぞれ5回転までの相対角度が表示できる回転計を付属させている。

(4) 水中ブルドーザ傾斜計

ブルドーザの前後の傾斜角(ピッチ角)、左右の傾斜角(ロール角)を知るためには、バーチカルジャイロを使用している。前述のジャイロコンパスと同一の水密ケースに封入して取り付け、船上の操作パネルには航空機に使用されるものと同形の表示装置を取り付けてある。1個の計器でピッチ角とロール角が同時に判断できる点で効果がある。

(5) 水深計

水深計の検出部として圧力計形のものを使用している。操作パネルの表示計には縦形の計器を使い、上端を水深ゼロにするなど判断しやすいようにしてある。また海底のならし作業などに便利なよう、基準水深の設定ダイヤルと、基準水深と実際の水深との差を拡大し表示する精密水深計が設けられている。

(6) 排土板昇降計

排土板の高さは、排土板の取り付けられているわく組みと、このわく組みの支点となっている耳軸との相対角度を水密形ポテンシオメータで検出し、操作パネル上に縦形の計器により表示する。

(7) 水中聴音器

陸上でブルドーザを操作する場合、操縦者は周囲の状況を目視して認識するほかに、音を聞くことによっても状況の変化を知ることができるように、水中ブルドーザにおいても水中聴音器を設け、操縦室内で水中音を聞くことができるようにしてあるが、水中電動機の起動音、海底を走行するクローラ音、排土板にあたる砂の音などがわかり、作業状況を推定する場合に非常に有効であった。

(8) ブルドーザ油圧計

ブルドーザが海底で直進しやすいようにするため、左右のクローラを駆動する油圧モータ回路の油圧と、左右の油圧の差を指示する計器を、操作パネルに設け運転操作の便宜を図った。

(9) 空気圧力計

浮力タンク用の空気圧力計と、浸水防止のための空気源として使用する高圧空気ポンプ用圧力計が設けられている。

(10) 操作ハンドル

操作ハンドルは左右2本の棒状をしており、にぎり部を持ち前後に押し引きすることにより水中ブルドーザを前後進させることができる。このハンドルの先端には排土板とリッパの操作ボタンが取り付けられており、ハンドルを操作しながらボタンを押すことにより、排土板、リッパを上昇、下降および浮動状態とすることができる。

(11) ウインチ操作ボタン

水中ブルドーザの浮力タンクに空気を入れ、ウインチによりつり上げつり下げを行なう場合、ウインチの操縦者は、浮力タンクに空気が満たされているか、水中ケーブル、ホース、ワイヤーロープに異状はないか、海底に着底したか、または海底をばなれたか、など操縦室内および室外の前後の状況を見ながらウインチ操作を行なう必要があるため、スイッチボックスを移動式とし手に持って歩行しながら操作することもできるようにしてある。

(12) 警報監視盤

警報監視盤には主発電機の電圧計、電流計、周波数計などのほか、漏水、漏油、そのほかの故障警報ランプがあり、故障の際には

点灯と同時にブザーが鳴り、故障の種類、場所などがただちに理解できるようにしてある。また、安全性には特に配慮し、漏電防止など各種のインターロック装置を設けてあるので、操縦者は操縦室内の各種計器から得られる情報により、水中ブルドーザならびに母船上の各種機器の動作状況を的確に把握（はあく）し、水中ブルドーザを安全に操縦することができる。

3. 深海形水中ブルドーザシステムの仕様

3.1 ブルドーザ本体（浮力タンク付き）

全備重量 陸上32 t 水中24 t

寸法 長さ7.2×幅5.1×高さ4.2(m)

走行速度 前後進とも 0～3 km/h

走行駆動 電動油圧式 可変容量形ポンプ+定容量形低速モータ 油圧モータ (210kg/cm² 100PS×2)

水中電動機 150kVA 3,300V 60Hz

作業水深 最大60m

3.2 母船（水中ブルドーザ用発電指揮船）

非自航バージ 全備重量 120 t

寸法 長さ16.5×幅10.2×高さ1.8(m)

積載機器

主発電機 360PS ディーゼルエンジン付き

300kVA 3,300V 60Hz

補助発電機 26PS ディーゼルエンジン付き

20kVA 220V 60Hz

ブルドーザつり上げ用ウインチ 電動油圧式

アンカーワイヤ用ウインチ 電動式

3.3 水中ケーブル

特殊複合キャブタイヤケーブル 直径 74mm 長さ 110m

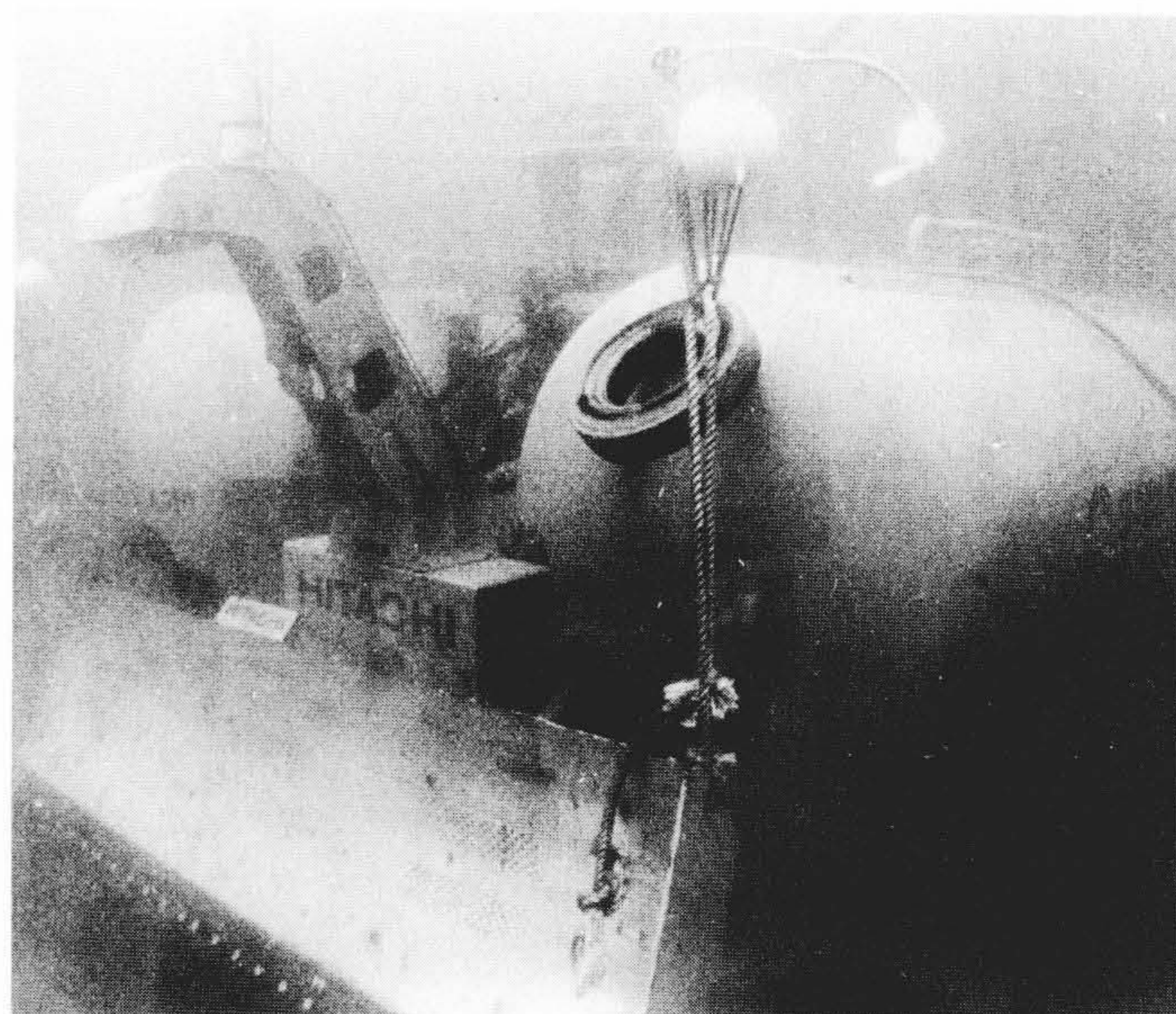


図8 海底の水中ブルドーザ（久里浜港内 水深15m）



図9 海底で土砂を掘削する水中ブルドーザ

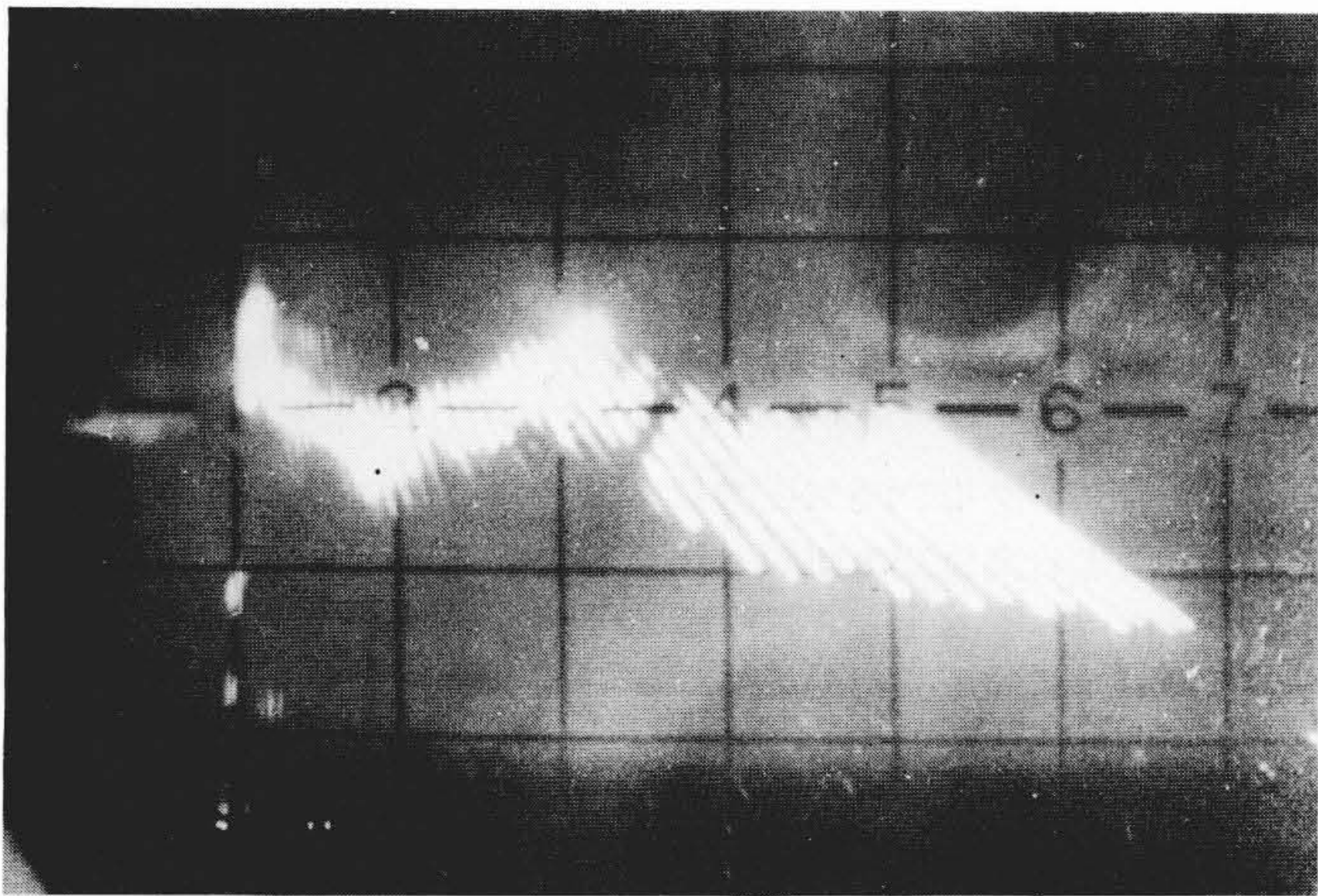


図7 ブラウン管に示された海底の地形

4. 海中試験

各種の計器だけをたよりに、直接には目視できない海底のブルドーザを遠隔操作して、海底で土木工事を行なうという、今までに経験したことのないまったく新しい試験であったが、共同研究者である日本国土開発株式会社海洋開発部のかたがたにより、東京湾内で数回の海中試験が行なわれた。その際に得られた資料をもとにしてさらに作業性を高めるため若干の改良を加えた結果、当初の目標をほぼ達成することができ、水深15mで1時間に約100 m³の砂を掘削することができた。試験は現在も続けられており、操作訓練や土木作業試験が行なわれている。

5. 結 言

各種の港湾工事や海中橋脚の基礎工事などを対象として、5～60m前後の海底で使用される水中ブルドーザシステムを開発し、下記の諸問題についての基礎技術を確立した。

- (1) 電気油圧方式により海底を走行する水中ブルドーザの水密駆動装置
- (2) 浮力タンクと小容量ウインチによる水中ブルドーザのつり上げつり降ろし方式
- (3) 超音波装置およびジャイロスコープなどを使用した水中位置姿勢表示装置
- (4) 海底にあつて目視できない水中ブルドーザの計器による遠隔制御技術
- (5) 特殊複合ケーブルによる動力および信号の伝送
- (6) 水中ブルドーザと母船により構成されるシステムを使用した水中土木作業方法

これらの問題は、深海形水中ブルドーザシステムの開発により基本的には解明され、今後さらに改良が加えられ性能の向上が図られる予定である。

終わりにあたり、この開発に際し海中試験を担当し共同研究をしていただいた、日本国土開発株式会社・伊丹常務取締役はじめ関係各位に厚くお礼を申し上げる。