

港湾空港技術研究所 資料

TECHNICAL NOTE
OF
THE PORT AND AIRPORT RESEARCH INSTITUTE

No. 1098

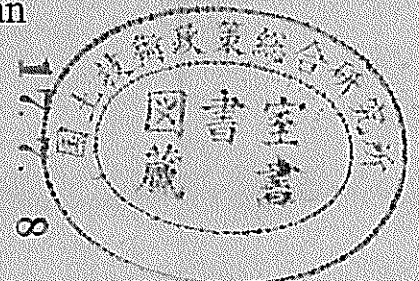
June 2005

ブロック移設作業の無人化・省力化を目的とした網チェーン式ブロック移設技術の開発

野口 仁志

独立行政法人 港湾空港技術研究所

Independent Administrative Institution,
Port and Airport Research Institute, Japan



目 次

要 旨	3
1. まえがき	4
2. 網チェーン式ブロック移設装置の概要	4
2.1 装置の構成と概要	4
2.2 ブロックの吊り上げ原理	5
2.3 装置の特長及び期待される効果	5
3. 種々の視認条件下での模型ブロック移設実験	5
3.1 模型実験	6
3.2 水槽模型実験	9
4. 既設ブロック撤去工事	10
4.1 ブロック撤去装置	10
4.2 撤去工事方法	10
4.3 施工結果	11
4.4 吊り上げ所要時間の分析	12
5. 種々の作業条件下での時間効率・コストの試算	12
5.1 作業時間効率の検討	12
5.2 作業コストの検討	13
6. 種々の浮遊物・沈没物の回収作業への活用	14
7. 結論	16
謝辞	16
参考文献	16

Development of Transfer Method of Blocks Using Block Transfer Device with Net Chain to Automate and Save labor

Hitoshi NOGUCHI*

Synopsis

In the removing work of wave-dissipating concrete blocks placed in harbors and the shore, the worker or the diver has been done the wire multiplication to the space of them generally.

But, the staging is an unstable, and it is dangerous work.

Therefore, a block transfer device with net chain was designed, the model device was produced, and the transfer experiment was done until now.

In this research, the transfer experiment of blocks out of sight and block transfer work were executed using block transfer device with net chain.

Moreover, the lifting experiment of the models of various forms other than a block was tried.

As a result,

- In the model experiment under out of sight, the time efficiency by improving of the operating method was 145 seconds/piece and that by improving device was 93 seconds/piece, while the time efficiency in sight was 75 seconds/piece.

- In transfer work of the underwater block in sight, the time efficiency of this device was 5 minutes/piece that was better than 6.1 minutes /piece of the conventional method by divers.

- By arranging the work condition suitable for the characteristic of this equipment, working time efficiency in sight situation will become about 3 minutes /piece, that out of sight situation will become about 4 - 6 minutes/piece, and the transfer cost for a block will become about 1/3 of the conventional human power method of work of a for.

- This equipment can be expected applying also to the block buried in the sea bed, and object recovery of various form.

Key Words: net chain, block, transfer,

* Head, Fluid Mechanics Division, Construction and Control Systems Department
3-1-1 Nagase, Yokosuka, 239-0826 Japan
Phone : +81-468-445065 Fax : +81-468-440575 e-mail:noguchi@pari.go.jp

ブロック移設作業の無人化・省力化を目的とした 網チェーン式ブロック移設技術の開発

野口 仁志*

要 旨

港湾および海岸に設置されている消波ブロックの撤去は、従来は、一般には、作業員あるいは潜水士が、消波ブロックの隙間にワイヤーロープを通して玉掛けを行い撤去しているが、足場が不安定で危険な作業である。

そのため、前報では網チェーンを用いたブロック移設装置を考案し、無人でブロックを撤去・移設できることを模型実験等により実証した。

本稿では、本装置を用いて、ブロックが視認出来ない状況での撤去模型実験を行うとともに、ブロック撤去工事での活用事例を報告し、作業時間効率、コストについて検討した。また、ブロック以外の種々の形状の物体の模型回収実験を試みた。

その結果、

- ・ブロック不視認下の模型実験においては、視認可能な場合の時間効率が 75 秒/個に対し、装置の運用方法を工夫した方法では 145 秒/個、装置の形状等を工夫した方法では、93 秒/個であった。
- ・視認可能な水中ブロックの移設工事においては、本装置の作業効率は、5 分/個と潜水士による従来方法の 6.1 分/個を上回った。
- ・工事の作業方法を本装置の特性が十分発揮できる形態にすることで、作業効率は、ブロックが視認できる状況では、約 3 分/個、視認できない状況では約 4~6 分/個、コストは、従来の人力工法の 1/3 程度に抑えられる試算結果となった。
- ・本装置は、水底に埋没したブロック、及び種々の形状の物体回収にも適用することが期待できる。

キーワード：網チェーン、ブロック、視認、移設、撤去、埋没物、浮遊物

* 施工・制御技術部 流体技術研究室長
〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1 独立行政法人 港湾空港技術研究所
電話：046-844-5065 Fax：046-844-0575 e-mail:noguchi@pari.go.jp

1. まえがき

港湾および海岸においては膨大な数の消波ブロックが、防波堤もしくは護岸の前面または海底に据え付けられている。港湾および海岸の整備の進捗等に伴い、機能上不要となったり、景観上の観点から撤去、移設する必要が生ずる場合も多い。

従来は、一般には、作業員あるいは潜水士が、消波ブロックの隙間にワイヤーロープを通して玉掛けを行い撤去している。しかし、この作業は、足場が不安定で、ブロックに海藻が着生していたりすると危険である。また、消波ブロックは、機能上、背後の防波堤、護岸等に強大な波力が直接及ばないようにそれらの前面に据え付けられており、強大な波の力を直接受ける場所での作業である点でも危険である。

そのため、前報では網チェーンを用いたブロック移設装置を考案し、無人でブロックを撤去・移設できることを実証した¹⁾。

本稿では、本装置を用いて、ブロックが視認出来ない状況での撤去模型実験を行うとともに、ブロック撤去工事での活用事例を報告し、作業時間効率、コストについて検討した結果を報告するものである。

2. 網チェーン式ブロック移設装置の概要

2.1 装置の構成と概要

図-1に示すように、装置は吊り下げ用支持フレームに網状チェーンを吊り下げた構成である。

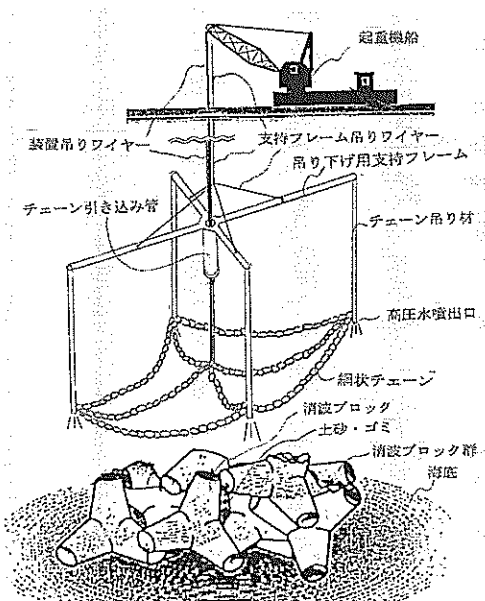


図-1 網チェーン式ブロック移設装置図(吊り上げ前)

吊り下げられた網状チェーンを移設しようとする消波ブロックの上に覆いかぶせるように支持フレームの位置を調整する。すると、網状チェーンの周囲部は、自重により、絡み合った周囲の消波ブロックとの間の僅かな隙間にも滑り込み、移設しようとする消波ブロックの脚に網の目が絡む。

装置吊りワイヤーを引き上げると、網状チェーンはチェーン引き込み管より引き込まれ、それに伴い網の目が絞り込まれブロックの脚をしっかりと把持してブロックを吊り上げることができる(図-2)。

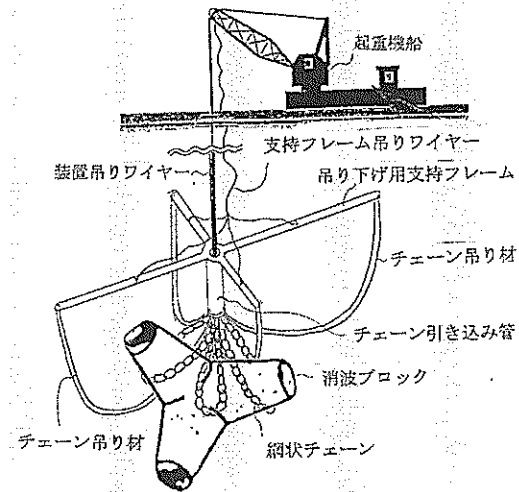


図-2 網チェーン式ブロック移設装置図(吊り上げ時)

ブロックの開放は、ブロックの仮置き場所に角材等により凹凸を設けておき(写真-1)、凹部に下側の網チェーンが掛かっている脚を降ろす。その後、クレーンの主巻きワイヤーを緩めるだけで無人で簡単にブロックを解放できる構造となっている(写真-2)。

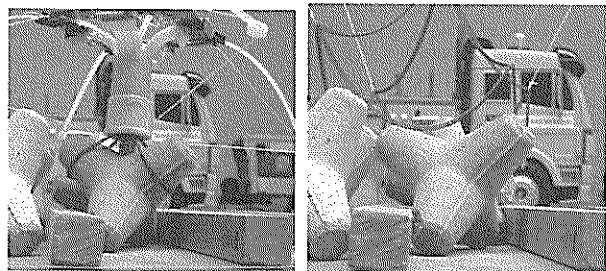


写真-1 凹部にブロック着地 写真-2 ワイヤーを緩め解放

また、砂に埋没したブロックの周囲の土砂、ゴミを除去するための高圧水噴出機能も必要に応じ設けることを想定している(図-1)。

2.2 ブロックの吊り上げ原理

(1) 一つのチェーン網目の場合

まず、1本のチェーンで一般に弾力性のない物体をその外側より単純に縛って吊り上げる場合を考える。物体とチェーンの摩擦力を考えない場合、物体が落下しないように吊り上げるには、物体は凹形状であり、その凹部にチェーンを巻いて、物体がすり抜けられないような長さ以下に縛っておく必要がある。

4脚消波ブロックの2本の脚を下に向けた状態において、各高さにおける水平方向断面積を定性的に示したものを、図-3に示す。

図中において、相当断面積は中央部分が凹部の分布形状を示しているのので、中央部分に水平方向にチェーンをかけて絞るとブロックは落ちることなく吊り上げることが可能となる。

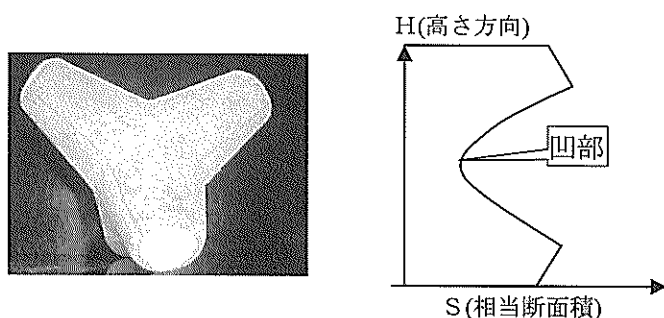


図-3 ブロックの相当断面積の高さ方向分布

本装置を用いる場合は、網の目状チェーンの目の1つがブロック脚の2つをまとめて絡む状態となり、その状態を保ったままで、網の目の大きさを絞り込んでいけば、ブロックがどのような体勢に回転しようともチェーンの網から抜けることなく吊り上げることが可能となる。

(2) 複数のチェーン網目の場合

本装置のように複数のチェーンの目を有する場合、複数のチェーンの目で、ブロック脚の2本をまとめて絡むような効果を得ても、旨くブロックを吊り上げることが

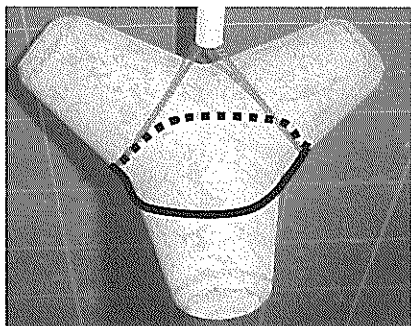


写真-3 2つのチェーンの目による吊り上げ

可能となる。写真-3に示すように、2つのチェーンの目がそれぞれ1つの脚に絡んだ状態では、実線と破線で示すような、一本の仮想チェーンが2脚をまとめて縛っている効果と同様の効果となり、ブロックを旨く吊り上げることが可能となる。

(3) ブロックの吊り上げ条件

上述の(1)(2)より、4脚のブロックを本装置で確実に吊り上げるための条件は、

- i) 1つ(以上)の網の目が、2つの脚を一緒に絡める。あるいは、
- ii) 2つ(以上)の網の目が、各々1つの脚を絡める。状態にして、網の目の大きさを絞り込んでいくこと、とまとめることができる。

2.3 装置の特長及び期待される効果

①無人化施工が可能

ブロックの吊り上げ及び開放作業に、人力作業の支援は不要である。

②構造が簡易で軽量

基本構造は網の目状のチェーンとそれを吊り下げる支持フレームのみであり、軽量である。

③動力部を有しない

クレーンに吊し、吊りワイヤーの巻き上げ下げにて作動させるので、モータ等の動力装置は不要である。

④操作が簡単

基本的に吊り下げているクレーンの操作のみである。

⑤安全性・効率性の向上

従来のような、潜水士がワイヤー掛けする作業が不要となるので、作業の安全性および作業効率の向上が図れる。

⑥種々の形状の物体回収への活用

ブロックだけでなく、種々の形状の海面浮遊物あるいは海底落下物等の回収作業への活用が期待出来る。

水深が深い場合、電動あるいは油圧駆動等による回収装置では耐圧構造が大きな課題となるが、本装置の場合は、水深、水圧に影響されない構造となっているので、大水深においても吊り上げるワイヤー長を伸ばすだけで対応可能となる。

3. 種々の視認条件下での模型ブロック移設実験

実際の工事では、対象となるブロックが視認できるかどうかにより作業効率は大きく異なる。海中のブロックであっても水中カメラを吊り枠に設置して状況が視認できれば作業効率にはあまり影響はない。しかし、現場

の海水の透視度が低く、水中カメラでは、ブロックの状況が視認できない状況も十分想定される。

近年、超音波映像装置の性能が向上し、海底に設置されているブロック群の個々のブロック脚輪郭まで明確に把握できる装置も開発されており、このような装置を用いることにより状況を把握することは技術的に十分可能と考えられる。しかし、このような超音波映像装置は現段階では高価な装置であることから、本研究においては、一般的に普及して安価な水中カメラの利用を想定し、水中カメラでも視認困難な濁水中では、撤去装置の運用方法を工夫したり、装置の構造を改造することによる対応を試みることにした。

3.1 模型実験

(1) 実験装置

乱積みした消波ブロック模型（高さ 6.6cm 重さ 184g : 6.3t型ブロックの 1/32）群の山を、トラッククレーン車模型に吊り下げた網チェーン式ブロック撤去装置模型を用いて、クレーンの操作のみにより移設した。ブロックの解放場所は角材を配して凹凸を設け、チェーンを緩めるだけでブロックが外れるようにした（写真-4）。



写真-4 模型ブロック移設実験全景

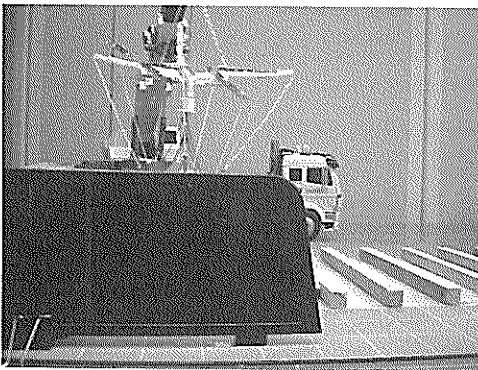


写真-5 操縦者からの視界

濁水中を想定したケースでは、衝立を設け、操縦者はブロック見えないようにして実験を行った（写真-5）。

(2) 実験方法及びケース

海面上あるいは、透視度が良い海域においては、クレーンの操作者が撤去するブロックをどの程度認識できるか等によって効率に影響する。

そのため、①直接視認できる場合、②クレーンブーム先端に設置したカメラ映像による場合、③視認可能な場所にいる指示者からの音声指示による操作の場合、を設定した。

さらに、完全な濁水中（透視度 0m）を想定し、水面上の状況だけからブロックを撤去する方法を2つ試みた。

第一の方法は、④撤去装置の操作方法を工夫してブロックの位置を探索する方法である。

網チェーンを広げた状態で装置を濁水中に降ろす（写真-6）。チェーンの下端がブロック群に接触した位置（海面上のチェーンの動きで把握）で降下を止め、装置全体を水平方向に移動する。少し移動させると、チェーンの下端がブロック脚に引っかかり装置の動きが引き留められる（写真-7）。その位置付近まで撤去装置の位置を戻して、装置全体を降下させる（写真-8）。網チェーンを引き絞り（写真-9）、ブロック脚を絡めて引き上げるというものである（写真-10）。

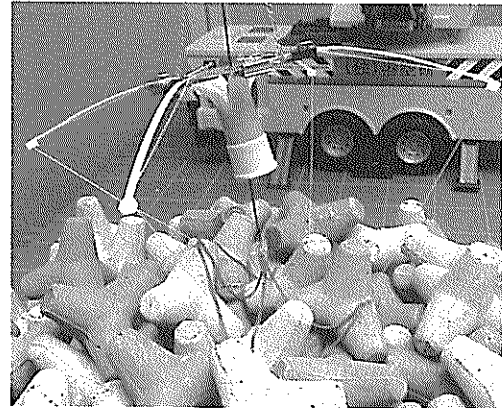


写真-6 網チェーンの降下

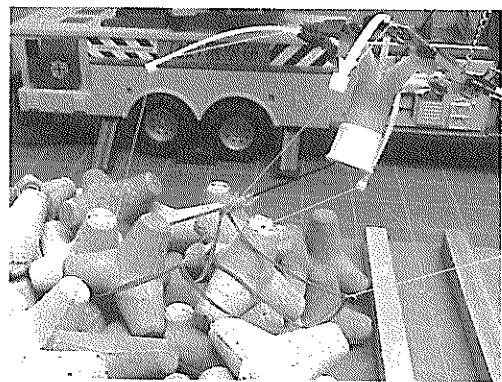


写真-7 水平移動によるブロック脚の引っ掛け

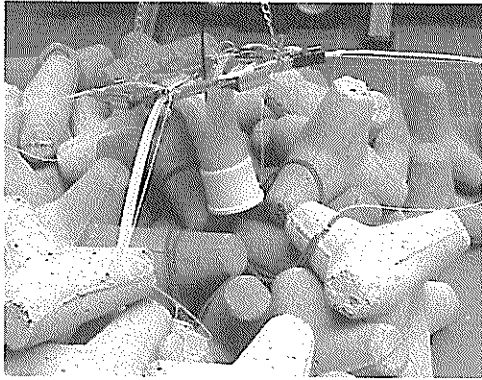


写真-8 装置を元位置まで戻し、降下.

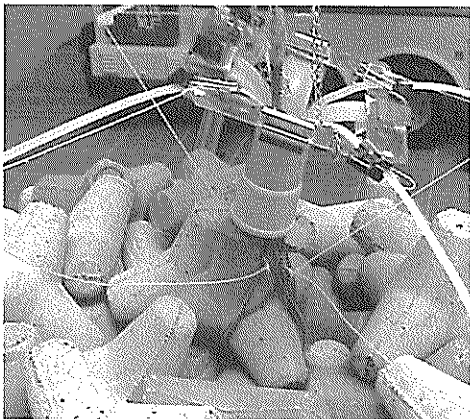


写真-9 網チェーンの引き絞り

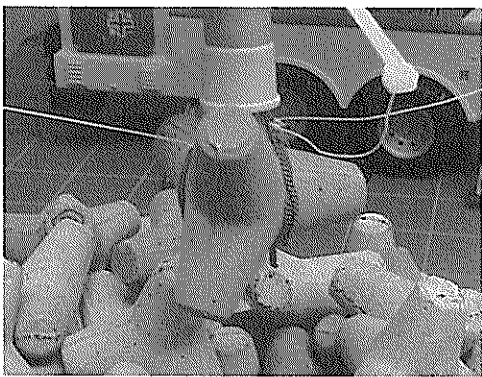


写真-10 ブロック吊り上げ

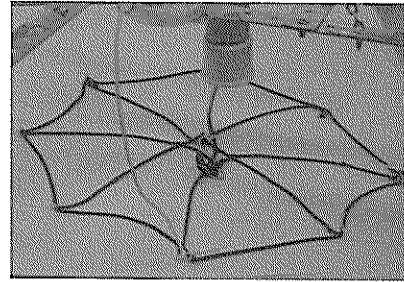


写真-11 8目網チェーン模型 (広さ従来の4倍)

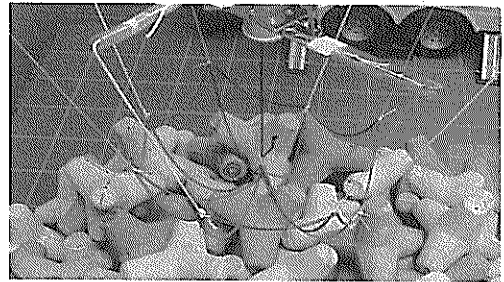


写真-12 網チェーンを広げて降下



写真-13 絞り・緩めを繰り返し、絞り込み

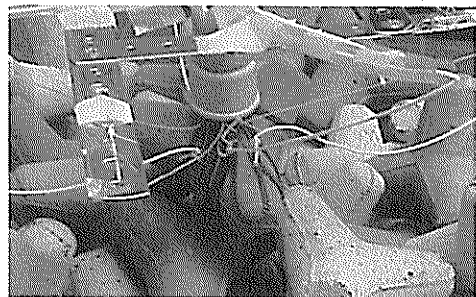


写真-14 網チェーンを引き絞る.



写真-15 ブロック吊り上げ

第2の方法は、⑤網状チェーンの大きさを従来の4倍程度の広さにし、網目の数も8目に増やすことで(写真-11)、任意の位置に降ろしても、1つのブロック全体は網チェーンの下に位置するようにする(写真-12)。なお、隣接ブロック脚にも網目が掛かり、吊り上げの支障となる場合も生じるので、網チェーンの絞り緩めを繰り返し替えて(写真-13)、1つのブロックだけを絡める状況(吊り荷重等より判断)にして(写真-14)吊り上げる(写真-15)。

各実験ケースの状況を整理したものを表-1に示す。

表-1 ブロック模型撤去実験ケース一覧表

想定現場状況	実験状況	装置形式	ケース
海面上及び透視度良の海水中ブロック	直接視認	4網目	①
	カメラ映像		②
	指示者の音声指示		③
完全な濁水中ブロック	衝立により遮蔽	4網目	④
		8網目大	⑤

実験回数としては、ケース①及び④⑤については、1回の作業で連続して10~15個撤去する作業を数回、ケース②③では1回繰り返し、各所要時間を計測した。

また、適宜、実験状況をビデオに撮影し、その画像より各所要時間の内容を分析した。

(3) 実験結果

各実験ケースにおいて、1個ブロックを吊り上げて移設する平均所要サイクルタイム時間を図-5の各棒グラフ全体の高さとして示す。この値は、総作業時間を移設したブロックの総数で除した値である。

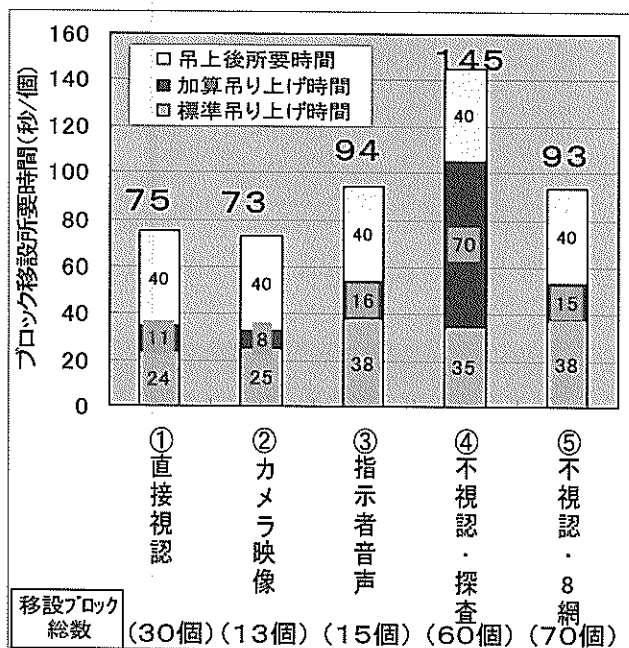


図-5 ブロック模型移設平均所要時間

ブロックを視認できる条件下の実験では、①直接視認:75秒/個と②カメラ視認:73秒/個と、ほぼ同等の結果となった。③指示者音声では94秒/個と、①直接視認より約20秒時間がかかる結果となった。不視認状態において操作方法で対応した実験④は145秒/個、網目数及び広さを増加した装置での実験⑤は93秒/個で、直接視認実験①75秒/個と比べて70秒/個及び23秒/個、時間を要

する結果となった。

各グラフの内訳であるが、まず、各平均時間において、ブロック群の上方において網チェーンを開いている状態を作業開始時点として、それから、ブロックを掴み引き上げるまでを「吊り上げ所要時間」とした。そして、旋回して、所定の仮置き場所にブロックを置き、網チェーンを緩めてブロックを解放し、再び作業開始位置のブロック群上方の位置まで旋回して戻るまでの時間を「吊り上げ後所要時間」として分類した。

ブロックの吊り上げ作業は各ケースの条件によって異なるが、ブロックを吊り上げた後の作業については、全てのケースがほぼ同様の作業で、時間効率も同等と考えられる。ケース①について、ビデオ画像を基に、吊り上げ作業後の所要時間について、分析したが、あまりばらつきはなく、平均40秒/個であった。ケース①③④は網チェーン形式が同様で、ブロック吊り上げ後は、操縦者が状況を視認しながら、クレーンを旋回、ブロック解放、再度旋回と作業内容も全く同等である。ケース⑤は網チェーンの網目数が異なるが、解放作業は網チェーンを緩めるだけで、他のケースと作業は同じである。ケース②は、カメラ映像による作業であるが、ほとんど操作作業に影響なく、また、全体の所要平均時間もケース①とほとんど同等であった。また、各ケースにおいて、吊り上げ後の所要時間が分析できる記録・データがある場合において分析したが、特に有意な差は認められなかった。そのため、ここでは、全てのケースにおいて、吊り上げ作業後の平均所要時間をケース①と同じ40秒/とした。

そして各実験ケースにおいて、平均所要時間から吊り上げ後の所要時間を差し引いたものを吊り上げ所要時間とした。

個々の吊り上げ所要時間は、1回で旨く吊り上げられれば短い、失敗を繰り返すと長くなり、ばらつきが大きい。そこで、各ケースについて、失敗なく1回で旨く吊り上げられたケースについて、その所要時間を平均して、標準吊り上げ時間とした。そして、吊り上げ所要時間から、標準吊り上げ時間を差し引いた残りの時間を加算吊り上げ時間とした。加算吊り上げ時間は、1回当たりの平均的な吊り上げ失敗に要した時間を示す値である。

そして、各ケースにおいて、これらの内訳を図-5に合わせて示した。

「②カメラ映像」では、直上から網チェーンがブロック脚に掛かる状況が視認できるため、吊り上げ失敗が少なく、加算吊り上げ時間も最小となっている。

一方、「④不視認・探査」では、不視認の状況で、ブロックを吊り上げようとするため、失敗も多く、加算吊り

上げ時間も多し結果となっている。

3.2 水槽模型実験

(1) 実験方法

海水にブロックの高さ程度の透視度がある場合を想定し、撤去装置のチェーン引き込み口付近に水中カメラを設置し、①透視度 6cm (実海域では 2m 相当) の濁水中の実験を行った。また、②透視度 0cm の完全な濁水中における実験も実施した。

さらに、③海底の砂に埋没したブロックを想定し、水槽に砂を敷きブロック模型を埋没させた状態にして、網チェーンの四隅から水を噴出して砂を流動化させて網チェーンをブロックに絡め吊り上げる実験を行った。

(2) 実験結果

透視度 6cm の濁水水槽実験における状況を写真-16 に示す。ブロックの一部は認識できるため、その画像よりそのブロックの中心位置等は容易に推定可能と考えられる。そのため、濁水中であっても水中カメラを設置しておけば、近傍の状況は把握できるため有効と考えられる。なお、本実験では、水中カメラはブロック重量と同程度の重量のため、ブロックを網チェーンで拘束してもクレーン模型の吊り能力が小さいため水面上へは吊り上げることができず、その作業時間効率等の把握は困難であった。

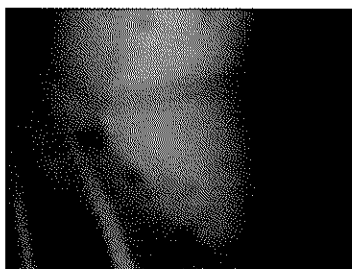


写真-16 透視度 6cm 濁水中映像

透視度 0cm の完全な濁水中においても、前節に示した方法や 8 目網チェーンを用いて、やや時間を要するが、ブロック撤去は可能であった (写真-17, 18)。



写真-17 透視度 0cm 濁水中実験：ブロック探査

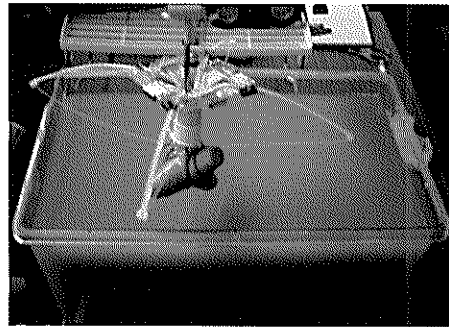


写真-18 透視度 0cm 濁水中実験：ブロック吊り上げ

また、水底に埋没したブロックも水噴出効果により撤去可能であった (写真 19-21)。

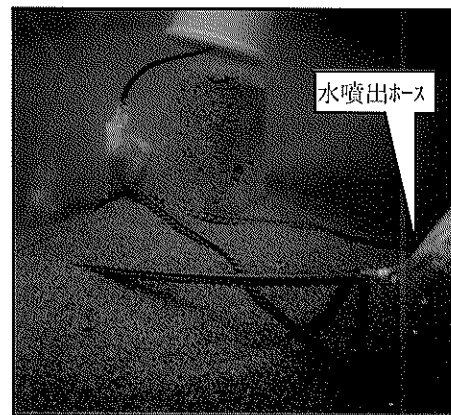


写真-19 網チェーンを埋没ブロック上へ

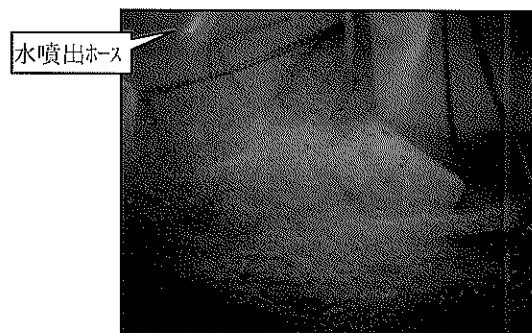


写真-20 ホースより水噴出



写真-21 ブロック吊り上げ

4. 既設ブロック撤去工事

岸壁の前面に設置されている既設消波ブロックの撤去に本装置が活用された。撤去対象のブロックは海面上及び海面下に位置している。各状況における撤去作業を、従来の作業員及び潜水士によるワイヤーを用いた玉掛け作業と対比しつつ記述する。

- ・場所：島根県河下港護岸前面
- ・時期：平成 16 年 4 月中～下旬
- ・対象ブロック：4 脚ブロック（6.3 t 型テトラポッド及び 6 t 型シェイクブロックがほとんどである）
- ・使用クレーン：100 t 吊りクローラクレーン

4.1 ブロック撤去装置

最大ブロック重量が 6.3t あることから、チェーンは使用荷重 6.4t のチェーンを用いて、ブロック撤去装置が製作された（写真-22）。吊り枠は、大きさ一辺 3.8m 四方で、H 形鋼により構成されている。

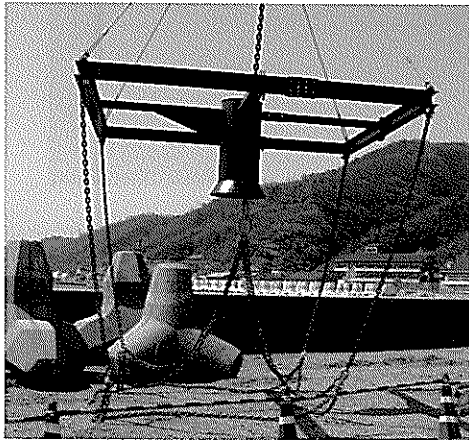


写真-22 網チェーン式ブロック移設装置

4.2 撤去工事方法

ブロック撤去装置は 100 t 吊りクローラクレーンから吊り下げた。吊り枠は補巻きワイヤーに、網チェーンの中心部は主巻きワイヤーにそれぞれ連結されている。クローラクレーンが岸壁上に配置され、岸壁前面の海面上及び海面下の 4 脚消波ブロックを順次吊り上げ、クレーンブームのリーチの範囲内の地面に仮置きされる。

消波ブロックは、護岸壁によって遮蔽されクレーン運転席からは見えない状況にあった。そのため、指示者が状況を見ながらクレーン運転手に無線で指示を出しながら撤去作業が行われた（写真-23）。

海中のブロックは、全体が海面下に没していても岸壁上の指示者が概ねの位置を視認出来る場合は、指示者からの指示により撤去が行われた（写真-24, 25, 26）。

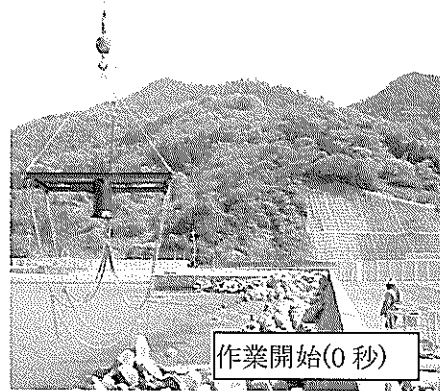


写真-23 ブロック撤去作業開始

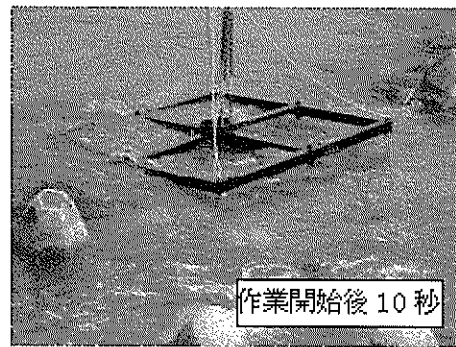


写真-24 網チェーンをブロック上へ降下



写真-25 海中ブロックの吊り上げ作業中



写真-26 吊り上げ作業完了

海面下の深い位置にあり、岸壁上の指示者からは、その存在位置が確認出来ないブロックについては、本装置には、水中カメラ等を設置していないことから、潜水士が海中より状況を確認して連絡しながら作業が行われた。

吊り上げたブロックを地面に仮置きするときの網チェーンの解放については、今回の現場では、作業員が解放作業の支援を行った。

解放作業は、吊り上げ作業と比較すると、陸上の平坦な場所で行われるので足場の状態も良く、作業も簡易で危険性も少ないものである。



写真-27 破損ブロックの吊り上げ

4.3 施工結果

全体を通じ網チェーンは破損することはなく同じ網チェーンが用いられた。また、網チェーンがブロック間に挟まれ抜けなくなるようなトラブルも特に生じなかった。

3つの状況、つまり①海面上のブロック、②海中のブロックにおいて陸上の岸壁上の指示者から視認が可能なブロック及び③陸上から視認不可能な海中のブロック、について各々、従来の作業員及び潜水士によるワイヤーを用いた玉掛け工法による作業状況と対比しつつ記述する。

なお、本装置を用いた撤去作業に際し、事前に数時間の試験施工として16個のブロックを撤去した。

(1) 海面上ブロック撤去

97個のブロックを2日間、延べ作業時間11.5時間(1日目4時間で30個、2日目7.5時間で67個)で撤去した。

作業時間効率としては、撤去ブロック1個当たりの平均所要時間は1日目8分/個、2日目6.7分/個となる。

まだ、本装置に十分慣れていないため、慎重に作業を行っていたことや、映像カメラを装着せず、指示者がクレーン運転手に操作指示を行うための時間等もあり、作業時間効率としては、十分向上の余地があると思われる。

一方、従来の作業員による2本のワイヤーを用いた玉掛け方式では、作業時間効率は、撤去ブロック1個当たり4.3分/個であった。足場の状態も良く、クレーンが旋回をして吊り上げたブロックを仮置き作業中にブロック上の作業員が次のブロックの脚にワイヤーを掛けており、吊り上げ作業においてはクレーンの待ち時間がほとんどなく、この方式としての時間的作業効率としては、ほぼ最高に近い値と考えられる。

(2) 海中視認可能ブロック撤去

12個のブロックを作業時間1時間で撤去した。なお、この中には、脚が破損したブロック1個が含まれている(写真-27)。

ブロック全体が完全に海面下に没しているブロックにおいても、その存在位置を岸壁上の指示者が概ね把握出来れば、撤去が可能であった。

作業効率は、12個/時、1個当たり5分に向上した。本装置は、ブロックが視認可能であれば、海面下に没していても作業方法・手順に変化はない。そのため、作業に慣れ、時間効率は、海面上ブロック撤去作業と比較して向上した結果となった。

海中のブロックには、海藻が表面全体を覆っているものもあったが、特に支障も無く撤去可能であった。ブロック表面が滑りやすい状態でも、2本の脚に網チェーンがきっちり掛かれば落下することなく撤去可能である。

なお、既設ブロックでは、長年の設置によりブロックの隙間にゴミが溜まっている場合もあり、ブロックの隙間が完全にゴミで埋まっている場合もある。この場合は沖側の位置のブロックから撤去することで、波が作用することによりゴミもややバラける。なお、ロープ等が多数、ブロック間に渡って絡み付いている場合には、事前に取り除く必要がある。

一方、従来の潜水士による2本のワイヤーを用いた玉掛け方式では、作業時間効率は、9.9個/時、1個当たり6.1分/個であった。

(3) 海中視認不可ブロック撤去

30個のブロックを半日間、作業時間3.5時間で撤去した。なお、撤去ブロック数30個には、脚が破損したブロック5個が含まれている。作業時間効率としては、8.6個/時、1個当たり7.0分であった。

一方、従来の潜水士による2本のワイヤーを用いた玉掛け方式では、作業時間効率は、9.9個/時、1個当たり6.0分/個であった。

(4) 施工結果まとめ

(1)から(3)に述べた施工結果を表-2にまとめる。

表-2 ブロック撤去作業結果

工法 状況	本開発装置		従来人工工法		共通事項
	玉掛	玉掛	玉掛	玉掛	
海面上ブロック	1日目：8.0分/個 (30個を4.0時)	無人	4.3分/個	2人	○クレーンへの指示 岸壁上作業員が無線で指示 ○玉外し作業 平地にて。 作業員3人
	2日目：6.7分/個 (67個を7.5時)	無人			
海面下ブロック (視認可)	5.0分/個 (12個を1時間)	無人	6.1分/個	潜水士 2人	
海面下ブロック (視認不可)	7.0分/個 (30個3.5時間)	無人	6.0分/個	潜水士 2人	○クレーンへは潜水士が指示

本開発装置工法において、海面上ブロックと海面下ブロックの作業効率を比較すると、海面上の方が効率が悪い結果となっている。これは、海面上ブロック撤去の際には、事前の試験施工として16個のブロック撤去を試行しただけであり、クレーンのオペレーター及び作業員は、本装置の基本的な作動方法は把握できたが、ブロックを効率的に旨く掴むコツ等を十分把握するまでには慣熟していなかったことが挙げられる。そのため、海面上ブロック撤去1日目は、8.0分/個、2日目6.7分/個、そして、海面下ブロック（視認可能）では、5.0分/個と施工を重ねる毎に作業効率は向上している。

4.4 吊り上げ所要時間の分析

表-2において、本開発装置を用いた視認可能な海面下ブロックの吊り上げ作業においては、その状況をほぼデジタルビデオ映像及びデジタルカメラ写真110枚（撮影時刻が分単位で記録）に記録しており、デジタルビデオ映像の未撮影時間帯、及び、録画停止状態の時間ロスをデジタルカメラ写真撮影時刻で補いながら、その内容を分析した。

作業開始（海面上で網チェーンを広げた状態）からブロックを海面上まで吊り上げるまでを吊り上げ時間として、分析した（図-6）。12個のブロックの総吊り上げ時間は、26分1秒（平均吊り上げ所要時間：2分10秒/個）であった。12個のうち失敗なく1回の作業で吊り上げられたものは7個で、残りの5個は1～3回の作業失敗の後、吊り上げられたものである。総吊り上げ時間のなかには、この失敗の時間、つまり吊り上げを試みたが、チェーンが脚から外れたり、周囲のブロックが邪魔になり吊り上げられなかった時間等も含まれておりそれらの時間は、11分25秒を要していた。その時間を除くと、14分36秒、平均1分13秒/個となり、これは、模型実験で定義した、標準吊り上げ所要時間に該当するものである。

以上をまとめて、分単位で表示すると、12個の平均移

設所要時間は、5.0分で、その内訳は、標準吊り上げ時間1.2分/個、加算吊り上げ時間0.9分/個、そして吊り上げ後所要時間2.9分/個となる。

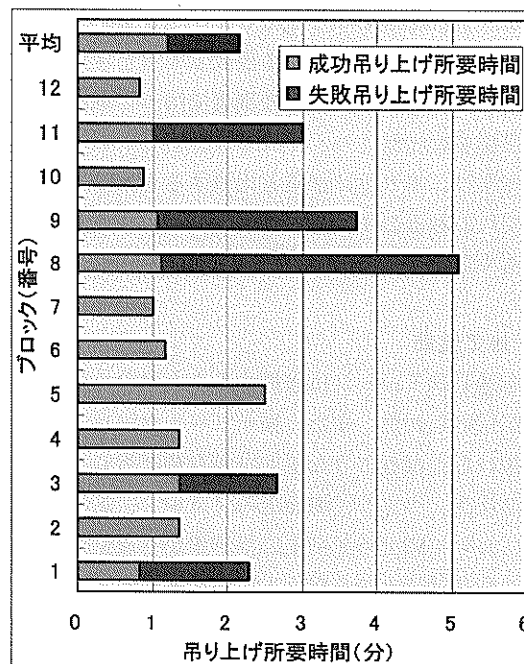


図-6 海面下ブロック（視認可）吊り上げ時間分析

5. 種々の作業条件下での時間効率・コストの試算

今回の工事では、ブロック解放作業は平坦地で作業員の補助を得る方法で、クレーンの操作は、状況が視認できる指示者からの無線指示で行われた。また、本装置に十分慣熟していない状況での作業も見受けられる。

そのため、ある程度、作業にも慣れて、吊り上げ作業状況がビデオ映像に記録されている、視認可能な海面下ブロック撤去作業の施工実績データを基に、模型実験における作業効率データを用いて、種々の作業条件・形態下での、作業時間効率及び所要コストの試算を行った。

5.1 作業時間効率の検討

本開発装置による視認可能な海面下ブロック撤去作業の作業効率実績を基本として、状況①とする。

本撤去工事では、クレーンの運転席からは、ブロックの状況が視認できないため、岸壁上からの作業員の無線指示によりクレーン操作が行われ、視認用カメラは使用されなかった。クレーンのブーム先端あるいは、吊り枠に視認用カメラを取り付け、この映像を見ながらクレーン操作者が操作する状況を想定したものを状況②とする。

模型実験では、カメラ映像を用いることにより、他の指示者からの音声指示の場合と比較して、吊り上げ作業

が21秒（標準吊り上げ作業が13秒、加算吊り上げ時間が8秒）短縮されている。音声で指示を受けて、クレーンの操作に至るまでのタイムロス、模型実験及び実工事でも同等と考えられることから、実工事でも、21秒の吊り上げ作業時間短縮は可能と想定した。

次に、状況②において、ブロックを解放する場所の状況は、平坦ではなく、土壌あるいは架台等により凹凸が設けられ、作業員の補助なくブロックを解放する方法を状況③とする。

模型実験では全てのケースで、凹凸のある場所で無人でブロック模型を解放しているが、その作業時間効率、吊り上げ後所要時間でみると、カメラ映像による実験ケースでは標準吊り上げ時間の1.6倍（40秒/25秒）の時間しか要していない。クレーンの旋回性能は、模型は、2.3rpmで、実際のクレーンの旋回性能約2.3~2.6rpmと同等であり旋回性能による所要時間の差異は無いと考えられる。そのため、本工事でも吊り上げ後の所要時間は同程度の効率で行えると想定すると、吊り上げ後の所要時間は、170秒が96秒に短縮される。

さらに、状況③において、本装置の操作に慣れた状況を状況④とする。カメラ映像による実験ケースでは、失敗等による加算吊り上げ時間は、標準吊り上げ時間の32%であったが、同程度に操作技術が向上すると想定すると、加算吊り上げ時間は、30秒短縮することが期待できる。

本装置では、無人でブロックを吊り上げる構造のため、対象ブロックが海面上か海中であるかによって、作業方法に差は無く、基本的には、所要時間も同じである。作業時間に大きく影響するのは、対象ブロックが、水中カメラ映像で視認できるかどうかである。海水中でも水中カメラで視認できれば効率は劣らない。水中カメラを吊り枠に設置するとして、ブロックの高さの3倍程度の透視度（6tブロックの高さ約2mなので約6m）があれば、海面上と同様な効率で作業が可能であろう。

それ以下の透視度、例えば1m程度のかかなり濁った海域でも、吊り枠の隅の4箇所水中カメラを設置して、吊り枠を下げてブロックに接近させ、ブロック脚にチェーンが掛かっているかどうかを確認するだけでも、作業効率上、有意義なものである。

ここでは、水中カメラによる映像が全く期待できない透視度1m以下の海域を想定し、模型実験で行った不視認状況での探査による方法、および8目網チェーン装置を用いた場合を、それぞれ、状況⑤、⑥とする。

状況⑥に関して、模型実験において、不視認・探査ケースでの標準吊り上げ時間は、カメラ視認のケースの

1.4倍（35秒/25秒）要しており、加算吊り上げ時間は、標準吊り上げ時間の2倍（70秒/35秒）要している。この比率を適用すると標準吊り上げ時間は84秒、加算吊り上げ時間は、168秒と試算される。

同様に状況⑥では、標準吊り上げ時間は91秒、加算吊り上げ時間は、36秒と試算される。

これらの試算結果を、従来の人力による海面上及び海面下ブロック移設時間効率を状況⑦、⑧として、合わせて図-6に示す。

海面上のブロック移設作業では、従来の人力作業では、258秒/個（4.3分/個）を要していたが、約180秒（3.0分/個）程度まで短縮が期待できる。

海面下のブロック移設作業では、従来の人力作業では、366秒/個（6.1分/個）を要していたが、水中カメラで視認できる透明度の場合には、約180秒（3分/個）程度、透明度が1m以下と低く、水中カメラが役に立たない場合でも、4~6分/個程度の作業効率が期待できうる試算結果となった。

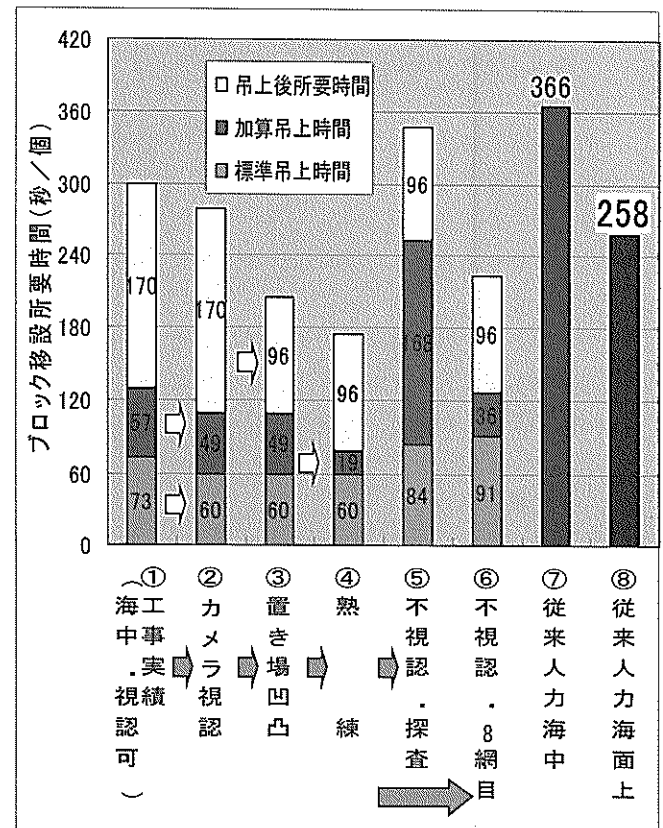


図-7 種々の作業条件における移設所要時間試算

5.2 作業コストの検討

前節の状況①~⑧における、1日（8時間作業）当りの作業コストを、従来の人力工法によるコストを100として比較したものを内訳も含め、図-8に示す。

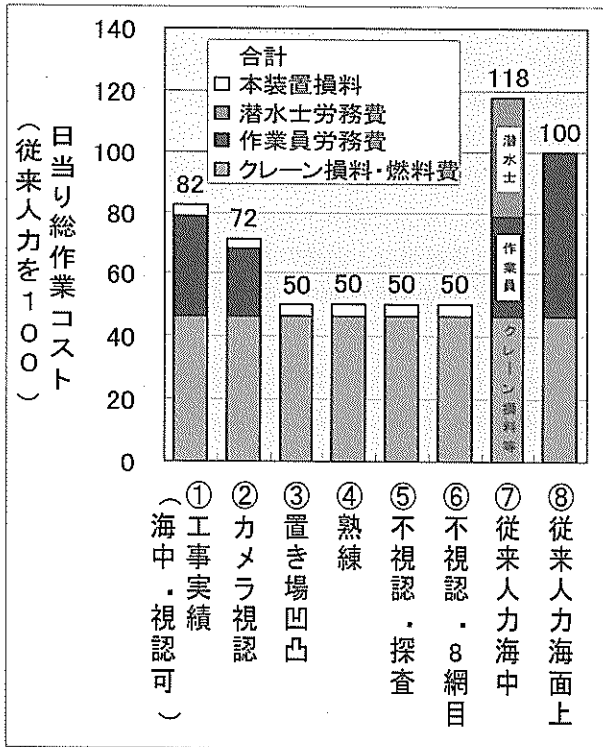


図-8 種々の作業条件における作業コスト

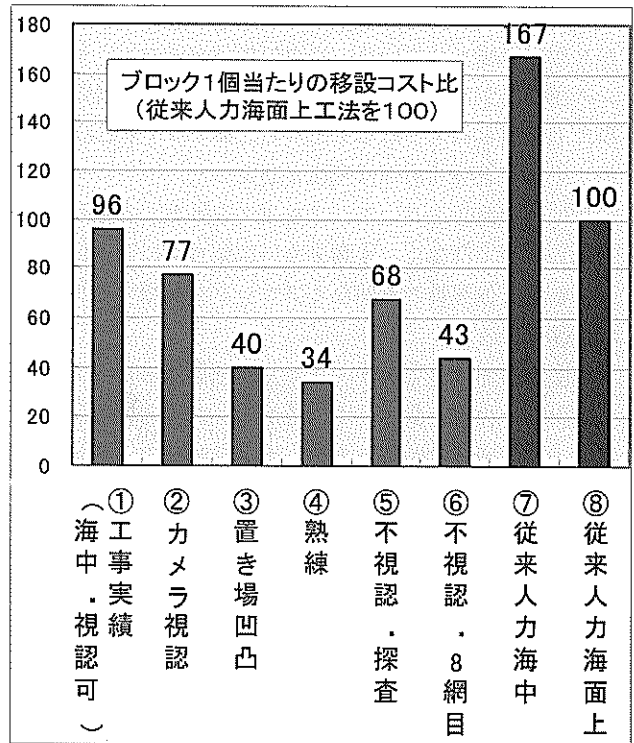


図-9 各想定作業条件におけるコスト比較

吊り上げるホイールクレーンの損料及びその燃料費は、全状況で同様とした。なお、当工事では、他の工事との関係から、100t吊りクレーンが用いられていたが、ここでは、ブロック重量6tに相応の25t吊りクレーンとして算定した。

労務費としては、従来人力工法では海面上ブロックの場合、指示者1人、ブロック吊り上げ作業2人、ブロック解放作業2人の計5人を要している。海面下ブロックの場合は、その内、ブロック吊り上げ作業員2人が潜水士2人に置き換わる。

状況①-⑥では、本装置(水中カメラ等を含む)の損料が付加されるが、作業員、潜水士の労務費は、大きく減少する。

図-7,8に示す各状況におけるブロック移設作業時間及び作業経費より、各状況における1個当りのブロック移設コストを比較したものを図-9に示す。従来の海面上ブロックの人力工法を100として各状況を比較したものであるが、ブロックが視認できる状況では、本装置を活用することによって1/3程度までコストが削減できることが期待できる試算結果となった。

従来の海面下ブロックの人力工法は167のコストを要しているが、ブロックを視認できない状況であっても本装置を活用することによって同様に1/3程度までコストが削減できることが期待できる試算結果となった。

6. 種々の浮遊物・沈没物の回収作業への活用

本装置はブロックだけでなく、種々の形状の浮遊・漂流物あるいは海底落下・埋没物等の回収作業への活用が期待出来る。対象となる海面浮遊物として、ゴミ等が想定される。また、海が荒れている場合や水温が低く、ダイバーが海に入り回収対象物(漂流ボート等)に吊り上げ用フックを掛けることが困難な状況では、本装置を活用することにより回収が容易となる場合も想定される(写真-28,29)。

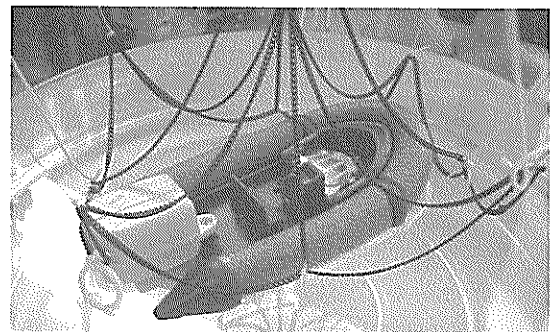


写真-28 漂流ボート模型の回収

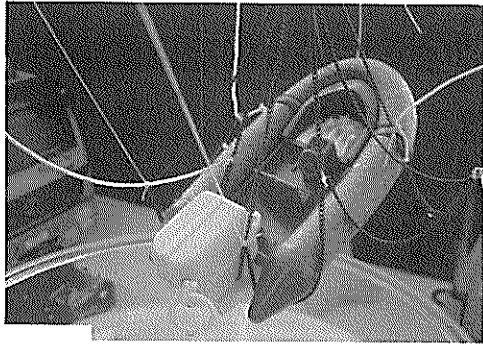


写真-29 漂流ボート模型の吊り上げ

本装置は、くびれを有する形状の物体であれば、そのくびれに網チェーンのチェーンが掛かれば外れることなく確実に吊り上げることが可能である。また、くびれをもたない樽のような形状でも確実ではないが十分に吊り上げが可能である（写真-30,31）。

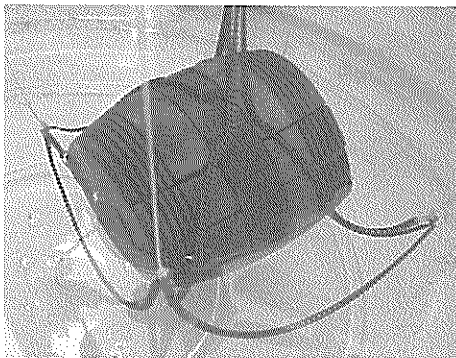


写真-30 漂流樽模型の回収

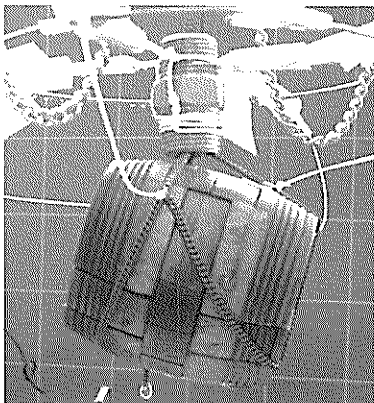


写真-31 漂流樽模型の吊り上げ

吊り上げがもっとも困難な表面が滑らかな球体でも、バランスがとれれば、吊り上げは不可能ではない（写真-32,33）。

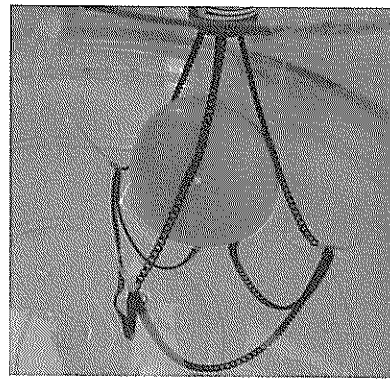


写真-32 浮遊ピンポン球の回収

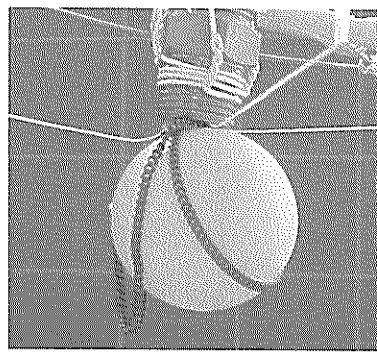


写真-33 浮遊ピンポン球の吊り上げ

海底の落下物の一例として、水底に埋没した状態の乗用車模型の回収実験状況を写真-36～38に示す。

給水ホースを設け、網チェーンの四隅から水を噴出して砂を排除・流動化させ網チェーンを車に絡めて撤去した。

水深が深い場合は、電動あるいは油圧駆動等による回収装置では耐圧構造が大きな課題となる。しかし、本装置の場合は、水深、水圧に影響されない構造である。対象物及びチェーンの絡み状況等がカメラ等を用いて把握できれば、基本的には、吊り上げるワイヤー長を確保することで対応が可能と考える。

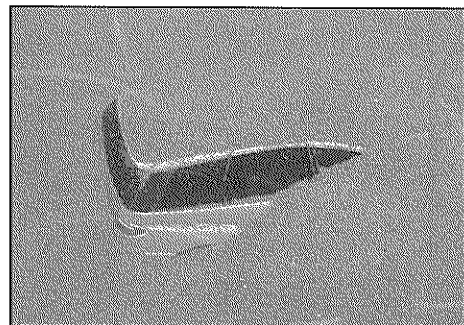


写真-34 水底埋没車両模型

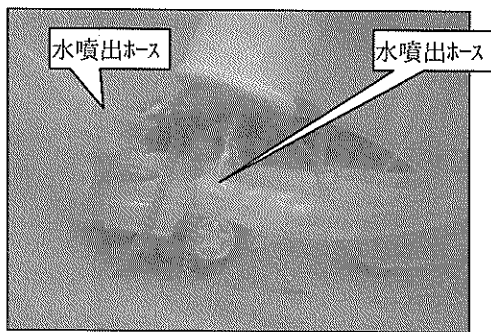


写真-35 水底埋没車両模型周囲に水噴出

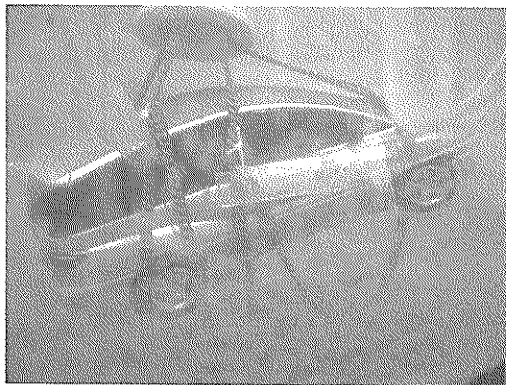


写真-36 水底埋没車両模型の吊り上げ

7. 結論

本研究で得られた結論を以下に記す。

- ・ブロック不視認下の模型実験においては、視認可能な場合の時間効率が 75 秒/個に対し、装置の運用方法を工夫した方法では 145 秒/個、装置の形状等を工夫した方法では、93 秒/個であった。
- ・視認可能な水中ブロックの移設工事においては、本装置の作業効率は、5 分/個と潜水士による従来方法の 6.1 分/個を上回った。
- ・工事の作業方法を本装置の特性が十分発揮できる形態にすることで、作業効率は、ブロックが視認できる状況では、約 3 分/個、視認できない状況では約 4~6 分/個、撤去コストは、従来の人材工法の 1/3 程度に抑えられる試算結果となった。
- ・本装置は、水底に埋没したブロック、及び種々の形状の物体回収にも適用することが期待できる。

(2005年3月11日受付)

謝辞

本開発装置によるブロック撤去工事は、「島根原子力発電所大型ブロック製作工事 大成・間・中国高圧・鴻池・竹中・テトラ共同企業体」によって実施され、本開発装置の活用及び工事データの提供等を頂きました。

また、工事状況の記録及びコストの検討等に当たっては、藤田雄治氏（流体技術研究室研修員）の協力を頂きました。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 野口 仁志：軽量型網チェーン式ブロック移設装置の開発、港湾空港技術研究所資料No.1063、平成15年12月、pp.1-15

港湾空港技術研究所資料 No. 1098

2005. 6

編集兼発行人 独立行政法人港湾空港技術研究所

発行所 独立行政法人港湾空港技術研究所
横須賀市長瀬3丁目1番1号
TEL. 046(844)5040 URL. <http://www.pari.go.jp/>

印刷所 昭和情報プロセス株式会社

Copyright © (2005) by PARI

All rights reserved. No part of this book must be reproduced by any means without the written permission of the President of PARI.

この資料は、港湾空港技術研究所理事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、複写は港湾空港技術研究所理事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。