

異型ブロック撤去装置(Grab式)の開発

Development of Armour Block Removing Equipment (Grab Type)

加藤 久雄* ・中道 正人** ・田室 正秋* ・近藤 敏夫***

Hisao. Kato, Masato. Nakamichi, Masaaki. Tamuro, Toshio. Kondo

中塩 紘一*** ・宮田 康弘**** ・今野 正耕**** ・佐藤 弘和*****

Koichi. Nakashio, Yasuhiro. Miyata, Seiko. Konno, Hirokazu. Sato

Recently, enlargement of port facilities towards offshore zones or reconstruction of existing facilities has been requiring the removal or replacement of armour blocks used in breakwaters or quay walls. During the blocks removal, usually a diver slings a wire rope around each block and then crane lifts it. This task may be therefore inefficient and very dangerous for the diver. In this paper, the authors introduce an improved orange peel type grab bucket which makes the removal of armour blocks safe and efficient. The results obtained from tests performed with both a model of this equipment and its prototype are also presented.

Keywords : (Armour block removing equipment, Grab bucket, Model test, Field test)

1. はじめに

近年、港湾の沖合展開や再開発等に伴い、消波等の目的で使用されている異型ブロックの移設や撤去の要請が多くなっている。異型ブロック撤去工法の現状は、作業員・潜水士が一つ一つのブロックにワイヤーを掛けてクレーンで吊り上げているために作業時の危険性が高く、また効率もあまりよくない。このため、撤去作業に際しての安全性や施工性の一層の向上が求められている。

新潟西海岸では、侵食対策として離岸堤および突堤群が設置されてきたが、現在、この沖合に新たに幅広潜堤を施工しており、将来は養浜を施工して面的に海岸を防護する計画である。このため、離岸堤および突堤群の異型ブロックは機能上不要となり、景観や施工に支障となるブロックは約50,000個と推定されている。

運輸省第一港湾建設局新潟機械整備事務所では、これらの異型ブロックを有効活用するため、安全かつ効率的に移設する装置を開発することを目的として、昭和63年度より本開発内容に精通した有識者から成る、異型ブロック移設技術の調査研究委員会を設置し、調査研究を実施してきた。平成元年度には種々の撤去方法を提案、評価した結果、「つかみ機構」の実用性、安全性等の面より「Grab式」および「チェーン式」の2方式を実現性の高いものと評価し、この2方式についてそれぞれ解決すべき技術課題を抽出した。

「Grab式」の開発は、平成3年度より、新潟機械整備事務所と民間2社（五洋建設株式会社および日本テトラポッド株式会社）の共同技術開発の体制をとって実施したものである。開発における研究・開発事項をフロー図として図-1に示す。本報文においては、模型実験装置による基礎実験およびプロトタイプ機による現地撤去実験結果を中心に報告する。

2. 開発目標

主な撤去対象ブロックは6.3 t型テトラポッドとし、遠隔操作により安全かつ効率的に撤去できる装置を開発することとした。異型ブロック撤去装置の開発目標等を整理すると以下のとおりである。

①ブロックの状況

- ・撤去すべきブロックは、乱積み状態にある。
- ・撤去すべきブロックは、撤去の際に崩れる心配がある。
- ・撤去すべきブロックは、水面上および水面下にある。

②現状（作業員・潜水士のワイヤー掛けおよび既存装置）の施工能力を上回る。

③現状の工費以下であること。

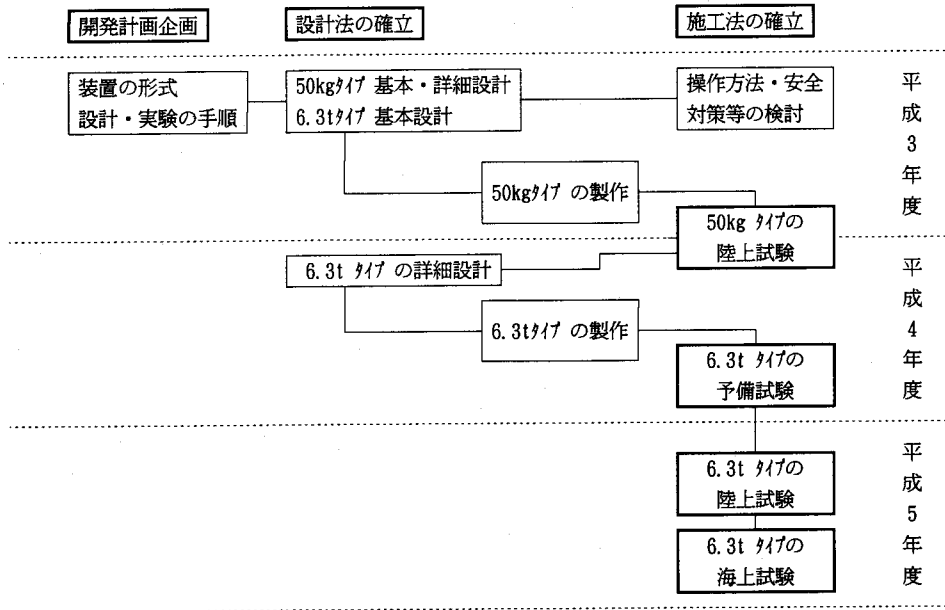
* 運輸省 第一港湾建設局 新潟機械整備事務所

** 正会員 運輸省 第一港湾建設局 新潟機械整備事務所

*** 五洋建設株式会社

**** 日本テトラポッド株式会社

***** 正会員 日本テトラポッド株式会社 応用水理研究所（〒300 茨城県土浦市東中貫2-7）



図－１ 異型ブロック撤去装置（グラブ式）開発計画全体フロー

３．撤去装置の基本構造および特徴

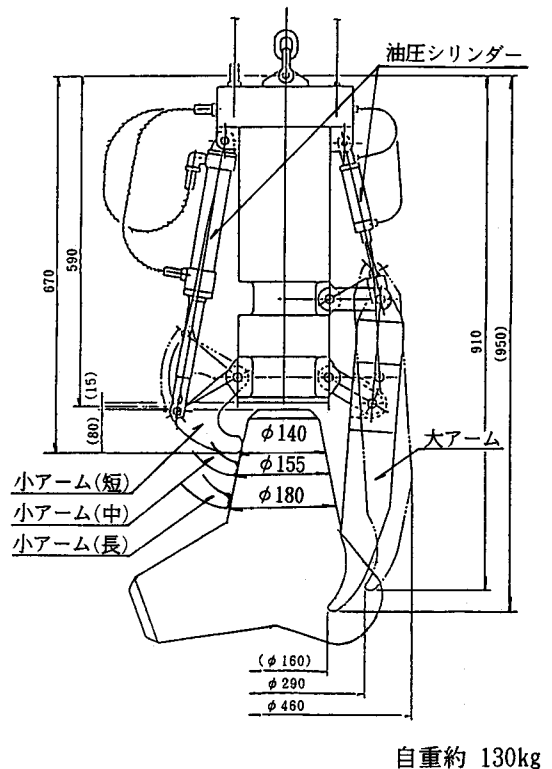
グラブ式異型ブロック撤去装置の基本的構造は電動油圧式オレンジピール型グラブバケットのアームを改造したものを基本とし、つかみ能力・作業効率・安全性等を高めるようにつかみ機構・付属装置・作業方法等を開発するものとした。構造は、6本爪オレンジピール型グラブバケットのアームのうち3本を小アームとしてテトラポッド頭部をつかむ構造とし、他の3本は大アームとしてテトラポッド全体を抱え込むようにしてつかむ構造とした。即ち、3本の大アームでつかむものとする、アーム間の幅が大きくなり、その間からこぼれ落ちるケースもあるので、大アームの間を小アームで保持する。また、アームが従来のヒンジ機構の場合、開き角度によっては余分なつかみ幅となって作業効率の低下を招き、必要なつかみ力を得にくいケースも考えられた。これをダブルリンク機構とすることによりつかみ幅とつかみ力の問題を解決した。さらに、アームの形状およびリンクの寸法は、アーム先端の力を理論的に検討するとともに、最適な軌跡をシミュレーションにより求め決定した。構造は図－２に示すとおりつかみ装置本体に組み込まれた油圧シリンダーの伸縮により大アームおよび小アームを動かし、消波ブロックをつかむもので、現在特許申請中である。本装置の特徴は以下のとおりである。

- ① クレーンに吊り下げて遠隔操作を行うため、安全性が確保でき、汎用性も高い。
- ② 油圧回路により、つかみ力や落下対策を自由に設定することができる。
- ③ 6本爪のためブロックの保持が確実である。
- ④ 目視不可能でもつかめる可能性がある。
- ⑤ 従来バケットと同様、堅牢で海上工事に適する。

４．模型機による陸上実験

４-１．実験目的および内容

模型機（実用規模の1／5程度、図－２）による陸上実験は、実機製作の設計基礎データを得るため、シリンダー油圧と各アームのつかみ力・吊り上げ能力等の基本特性を計測してつかみ理論による設計の検証を行うとともに、50kgの模型ブロックに対するつかみ実験（写真－１）を実施し、効率的な装置の構造・つかみ方法を検討したものである。なお、小アームの長さ（つかみ位置）



図－２ 模型実験装置

は3種類設定して撤去効率等の相違を検討した。各実験の調査項目は次のとおりである。

- 予備実験：油圧と各アームのつかみ力、油圧と吊り上げ能力、アームとブロック間の摩擦係数
- つかみ実験：単体ブロック、乱積ブロック（水上および水中想定）

4-2. 予備実験結果

模型実験装置のつかみ力は各アームとも油圧の増加とともにほぼ直線的に増加しており、絶対値もほぼ理論計算値に一致した。装置の吊り上げ能力はブロックのつかみ位置および姿勢により異なるが、大アームで正立ブロック1個をつかんだ場合、設計油圧でブロックの2〜3倍以上の重量を吊り上げ可能である。

鉄（撤去装置アーム）とコンクリート（ブロック）の間の摩擦係数測定結果は表-1のとおりである。鋼板（乾燥）の上にコンクリートをのせた場合の摩擦係数は0.45〜0.47で、方塊のように面同士で接している場合の方がやや小さい。また、水中を想定して湿潤状態で行った場合には乾燥状態より5%程度小さくなる。小アームによるつかみ力と吊り上げ能力との関係から逆算した摩擦係数は0.4程度で直接測定した値よりやや小さい。

4-3. ブロックつかみ実験結果

単体ブロックによるつかみ実験結果の結果では、ブロックの姿勢、アームの併用等にかかわらず、ブロックの吊り上げが可能である。しかし、小アームを併用することによりブロックをつかんだ時の安定性が大幅に向上している。

乱積ブロック（水上部分）を想定し、撤去対象ブロックが見える状態で実験をした場合のつかみ効率（撤去個数÷試行回数、試行回数=1+つかみ直し回数）を表-2に示す。なお、単体ブロックによるつかみ実験結果から小アームは、小アーム（中）および小アーム（長）を用いた。大アーム単独および大小アーム（中）併用の場合の効率は80%程度であるが、大小アーム（長）を併用した場合にはさらに効率が向上している。小アーム（中）を併用した時のつかみ効率は大アーム単独の場合の効率と大差がないが、ブロックをつかんだ時の安定性が大幅に向上しており、現地ではアームの併用が効果的と考えられた。

乱積ブロック（水中部分）を想定し、撤去対象ブロックが見えない状態で実験を行った場合のつかみ効率を表-2に示す。アーム併用・小アームの長さ（中、長アーム）・操作手順の効果が顕著にあらわれており、小アーム（長）を併用し、小→大アームの手順で操作した場合のつかみ効率は大アーム単独の場合の2倍程度になっている。つかめなかったケースは

- ①大アームの先端が対象ブロックや隣接するブロックにあたってアームがブロックの隙間に落ちず、本体が倒れる
- ②アーム3本がブロック間の同一空隙に入り込む
- ③大アームが下層のブロック頭部をつかみ、吊り上げ



写真-1 乱積みブロックつかみ実験状況（水中想定）

表-1 鉄とコンクリートの摩擦係数

	鋼板(乾燥)	鋼板(湿潤)	エキスパンドメタル
テトラポッド	0.47	0.45	0.58
方塊	0.45	0.42	0.55

エキスパンドメタル：爪先の硬化肉盛を考慮

表-2 ブロックのつかみ効率

	大アーム単独	大、小(中)アーム併用		大、小(長)アーム併用	
		大→小	小→大	大→小	小→大
水上部分	79.4	78.1	78.1	86.2	87.7
水中部分	28.0	39.0	38.0	45.0	55.0

単位：%

表-3 ブロックの引抜き力係数

		大アーム単独	大、小(中)アーム併用		大、小(長)アーム併用	
			大→小	小→大	大→小	小→大
水上部分	最大引抜き力(kgf)	94.0	119.0	108.0	159.1	178.1
	最大引抜き係数	2.09	1.98	2.13	3.25	3.79
	平均引抜き係数	1.24	1.17	1.21	1.32	1.36
水中部分	最大引抜き力(kgf)	157.0	160.0	160.0	176.0	198.0
	最大引抜き係数	3.27	3.48	3.48	3.59	4.21
	平均引抜き係数	1.72	1.51	1.76	1.45	1.49

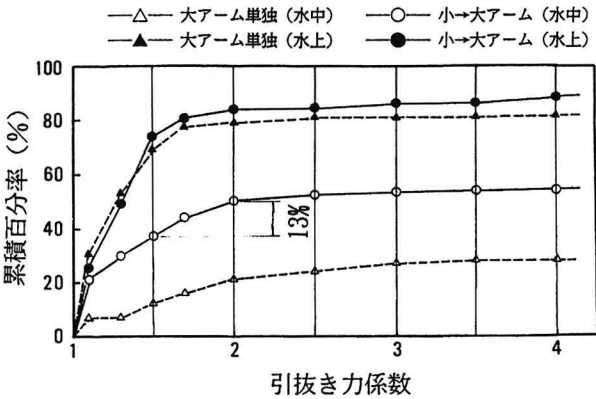


図-3 引抜き力累積加積曲線

能力以上となってアームがすべる場合が多い。

乱積みブロックの撤去実験時に求めたブロックつかみ時の引抜き力係数（引抜き力とブロック重量の比）を表－3に示す。水中部分のブロックを想定した場合、アームを併用することにより、平均引抜き力が小さくなり、最大引抜き力は大きくなっている。これは、アームの併用によりブロックがつかみ易くなったとともに、単独では吊り上げられなかったブロックも撤去できることを意味しており、大小アーム併用の効果がうかがえる。

大アーム単独および大小アーム（長）併用（小→大アーム）におけるブロックつかみ時の引抜き力係数の試行回数に対する累積百分率を図－3に示す。水上部のブロックを想定した場合、両者の相違はあまりみられないが水中部分のブロックを想定した場合にその相違が明瞭である。水中部における大小アーム（長）併用（小→大アーム）の場合、引抜き力係数が1.5と2ではつかみ回数の累積百分率は試行回数に対して13%（全つかみ回数に対しては24%）も異なり、撤去装置の吊り上げ能力は少なくともブロック重量の2倍程度にする必要があるものと考えられた。

4-4. 模型実験結果のまとめ

実用規模の1/5の撤去装置による模型実験の結果、以下の項目が明らかとなった。

- ① 模型機の基本特性（つかみ力、吊り上げ能力）は理論計算値にほぼ一致し、設計の妥当性が検証された。
- ② 大小アーム併用の効果、小アームの長さや操作手順がつかみ効率やブロック引抜き・安定性に対して大きく影響することが明らかとなった。
- ③ ブロック引き抜き時の装置にかかる荷重とつかみ効率との関係から、試作機的设计吊り上げ能力を設定した（ブロック重量の2倍）。

5. プロトタイプ機による現地実験

5-1. 実験目的および内容

本実験は、異型ブロック撤去装置の6.3t型試作機（図－4）により、実物大の異型ブロック（6.3t型テトラポッド）のつかみ実験を行い、試作機の機械的性能を確認するとともに、その実用性を把握したものである。各実験の主な調査項目は次のとおりである。

予備実験：各アームのシリンダー油圧とつかみ力、吊り上げ能力

陸上実験：陸上クレーンによる対象ブロックのつかみ状態、つかみ効率、サイクルタイム

海上実験：現地海域の波浪観測、対象ブロックの現況、海上クレーンによるブロックのつかみ効率、サイクルタイム

5-2. 予備実験結果

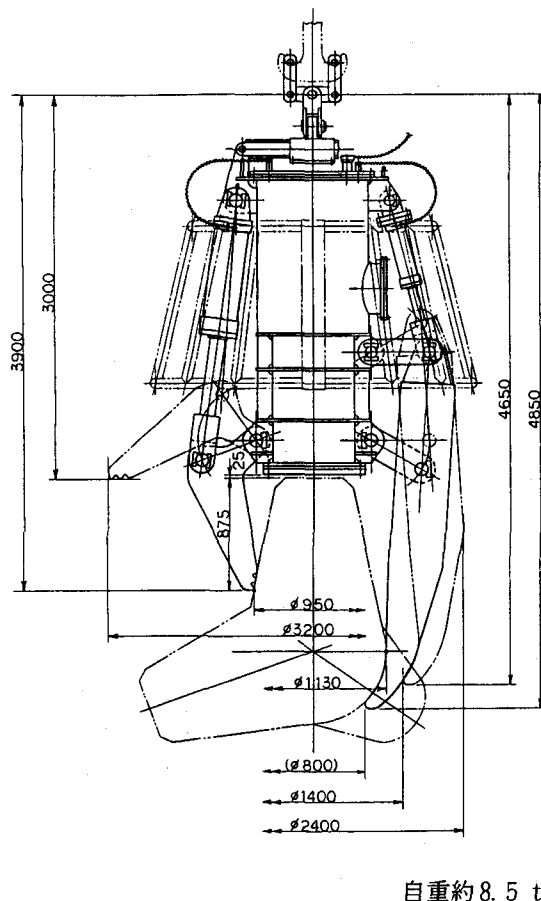
つかみ力の測定結果を図－5に、吊り上げ能力の測定結果を図－6に示す。大アーム、小アームともつかみ力は油圧の増加とともに直線的に増加しており、絶対値も計画値にほぼ一致している。

小アームの吊り上げ能力は、計画値よりやや大きく、油圧が高いほどその傾向が顕著である。その要因はアーム爪先の硬化肉盛により摩擦力が大きくなるとともに、実験の繰り返しによりアームがブロックを削って溝ができたためと考えられる。一方、大アームの吊り上げ能力はつかみ位置により大きく異なり、4倍以上の違いがでている。これは、 $\phi 1130$ では大アームがブロックを抱え込んでいるためと考えられる。

5-3. 陸上実験結果

陸上実験は、プロトタイプ機を150t吊りクローラークレーンに装着し、乱積み状態（2～3段積み）のテトラポッド（6.3t型）を合図者の指示に従って90°旋回して転置し、つかみ効率およびサイクルタイムを把握したものである（写真－2）。

ブロックのつかみ状態は対象ブロックの姿勢により異なるが、いずれの場合も安定したつかみ状態であった。ブロックが正立に近い状態では、大小6本のアームと装置中心部のゴム緩衝板で保持し、最も安定したつかみ状態となった。また、ブロックが正立で傾斜角度が大きいものについては、大アーム2本がブロック下部を支持し、



図－4 プロトタイプ機

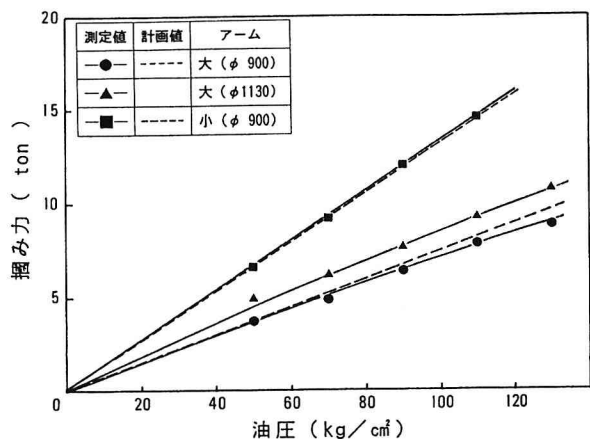


図-5 つかみ力測定結果

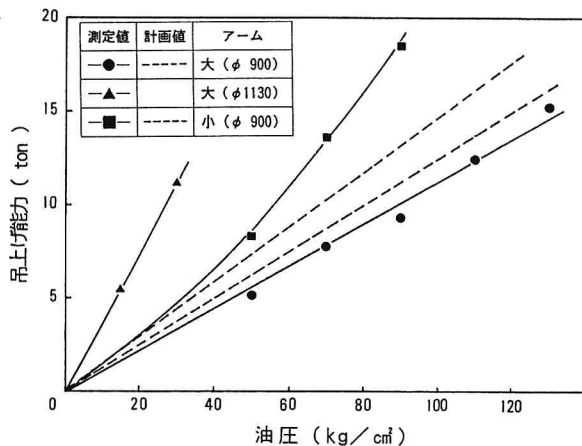


図-6 吊り上げ能力測定結果

対面する小アームがブロック上部を保持するケースが多かった。一方、ブロックが倒立の場合は、大アーム3本のみでブロックの脚の根元を保持し、安定したつかみ状態となった。つかみ効率、サイクルタイム等の陸上実験結果を表-4に示す。

つかみ効率は全体の平均値で90%を越えており、模型機の実験結果に比較すると大幅に向上している。これは、実験に用いたブロックが仮置中の未使用ブロックであり、実験によるブロックの損耗を防止することを考慮して比較的正立に近い姿勢で3段以下に積み上げたためと考えられる。また、不可視状態のケースにおいてもブロックの損耗を防止するために合図者をおいており、これによりつかみ効率が大幅に向上している（模型実験では合図者をおいていない）。

可視状態のサイクルタイムは2分30秒程度であるが、不可視状態や倒立状態の場合には1分以上長い。これは、大アームをブロック間に挿入する際の位置決めに時間を要したものと考えられる。

5-4. 海上実験結果

海上実験は、プロトタイプ機を120t吊自航起重機船に装着し、新潟西海岸の既設離岸堤の6.3t型テトラポッドを対象として撤去作業を行い、つかみ効率およびサイクルタイムを把握したものである（写真-3）。つかみ実験実施時の波浪（有義波）は1日目で0.6～0.8mとやや高かったが、2日目は0.2～0.3mと比較的穏やかであり、海水の透明度も良好であった。現地離岸堤の消波ブロックは、据付時から約20年間にわたる繰り返し波浪の影響で、圧密沈下および損耗が進行しており、空隙率は著しく低下しているものと推定された。また、隣接ブロックとの接触部の磨耗、クラック、断面欠損等が随所にみられ、折損した脚部が空隙部を閉塞させている状況が水面上でも確認され、ブロック撤去に対する大きな障害となった。また、つかんだブロックは正立の姿勢になっていないことが多く、そのまま撤去装置のアームを開放すると船上においてブロックを損傷する恐れがあるため、1段目のブロックの積み込みの際には予め用意した緩衝材の上にブロックを一旦仮置き、つかみ直して所定の位置に積み替えた。つかみ効率、サイクルタイム等の海上実験結果を表-5に示す。

つかみ効率は水上部で72%、水中部で28%であり、模型実験結果や陸上実験結果と比較するとかなり低い。この要因としては、対象ブロックの空隙率の差やかみ合わせの進行、ブロック姿勢の違い（倒立等が多い）があげられる。水上部におけるサイクルタイムは、積み替え時間を除くと約5分であり、陸上実験で倒立のブロックを転

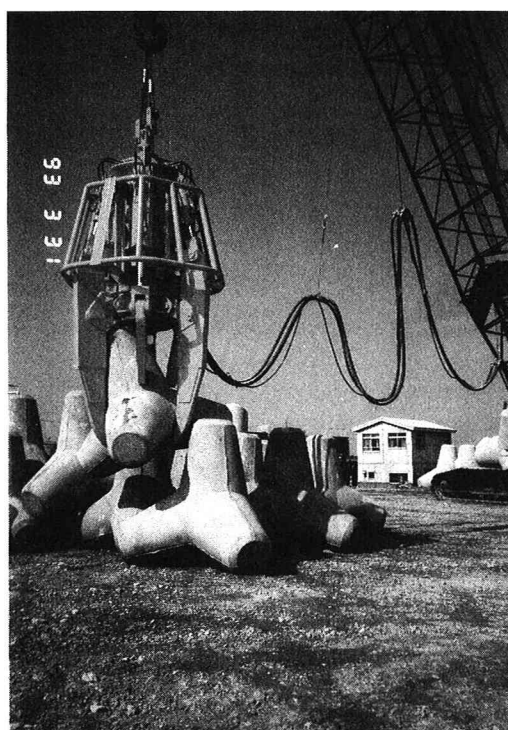


写真-2 陸上実験状況

表-4 陸上実験結果

項目	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4	ケース5
視認状況	可	視	不可視	可視	可視
アーム閉合	大→小	小→大	大→小	小→大	小→大
ブロックの状況	正立		0～30°		倒立
試行回数	46	38	25	25	9
撤去個数	43	36	21	24	8
つかみ効率	93%	95%	84%	96%	89%
サイクルタイム	2'18"	2'27"	4'03"	3'31"	3'54"

置した場合より約1分長い。その原因として、対象ブロックの空隙率の差や作業時の海上クレーンの動揺等が考えられる。水中部については積替え時間を含めて平均で7分40秒であった。

5-5. 現地実験結果のまとめ

本撤去装置は6.3t型テトラポッドを対象としたプロトタイプ試作機を製作し、陸上実験および海上実験を実施した結果、安全性、効率性等についての成果が得られた。実験結果をまとめると以下のとおりである。

- ①試作機の基本特性（つかみ力、吊り上げ能力）は計画値にほぼ一致し、設計の妥当性が検証された。
 - ②つかみ作業はクレーン運転士および合図者のみで可能であり、遠隔操作のため、作業員等がブロックに近づく必要がないことから、安全性は従来工法に比べて大幅に向上した。また、省力化が可能となった。
 - ③限られたデータではあるが、効率性は水上部、水中部とも従来工法を上回った。
 - ④損耗度の激しい脚のないブロックも撤去できた。
- しかしながら、水中部のブロック撤去については、水上部と比較して撤去効率が多少低くなっている。この原因としては、
- ①水中部のブロックは、圧密、磨耗、折損により空隙が少なく、アームが挿入しにくい
 - ②撤去装置がブロックをつかむ状況をオペレーターが確認しにくい

こと等が考えられる。この解決策としては、1) 施工方法の改善、2) 撤去装置の改良、3) 水中視認装置の導入等の検討が必要となるが、これにより水中撤去作業の効率性、安全性の向上が十分に期待できる。

6. おわりに

本撤去装置は、ほぼ実用化の目処がつき、実工事での供用を待つ段階に至っているが、さらに実用性を高めることが望まれており、水中部での効率向上、装置仕様（重量）の適正化、油圧ユニットの改良等についての課題が提起されており、実工事等を通して本装置の改良を図るとともに、実工事の中で供用できる付属装置の導入等についても積極的に検討していきたい。

また、本撤去装置は据付作業への応用が可能と考えられ、その実用範囲をさらに拡大することについても期待されている。

本開発に際し、「異型ブロック撤去技術調査研究」委員会の谷口武志委員長はじめ関係各位には多大な御尽力を戴いた。また、模型試験装置およびプロトタイプ機の製作は三菱長崎機工（株）が実施した。ここに記して感謝の意を表する。

参考文献

1. 運輸省第二港湾建設局横浜機械整備事務所：構造物撤去グラブの開発，作業船第 145号，1983，pp.38-46.
2. 今里雅之：テトラポッド撤去工と安全，建設の安全 No.284，1992，pp.6-9.
3. 運輸省第一港湾建設局新潟機械整備事務所・五洋建設株式会社・日本テトラポッド株式会社：異型ブロック撤去技術（グラブ式）開発について— 50kg 型模型装置による陸上実験— 報告書，1992.5
4. 運輸省第一港湾建設局新潟機械整備事務所・日本テトラポッド株式会社・五洋建設株式会社：異型ブロック撤去装置（グラブ式）6.3t型試作機実験報告書，1993.5
5. 加藤久雄：異型ブロック撤去装置の開発，作業船第 212号，1994，pp.28-35.



写真－3 海上実験状況

表－5 海上実験結果

項 目	ケース1	ケース2	ケース3	ケース4
撤去位置	水 上 部		水 中 部	
ブロックの積替	積替あり	積替なし	積替あり	積替なし
試行回数	20	26	6	30
撤去個数	17	16	2	8
つかみ効率	85%	62%	33%	27%
	72%		28%	
撤去時間	4'50"	5'00"	7'32"	6'57"
積替時間	1'20"	—	1'23"	—
サイクルタイム	6'11"	5'00"	8'55"	6'57"
	5'36"		7'42"	