

網チェーン式回収装置による既設消波ブロック 及び水深180mの水中翼回収

HOLDING DEVICE WITH NET CHAIN APPLYING TO BLOCK REMOVAL AND
A HYDROFOIL SINKING TO THE SEABED WITH DEPTH OF 180M

野口仁志¹
Hitoshi NOGUCHI

¹正会員 工修 (独)港湾空港技術研究所 施工・制御技術部 (〒239-0826 横須賀市長瀬3-1-1)

A holding device for removing wave-dissipating blocks was developed using net chain to allow for automation and labor saving. In block removal work, the device showed good time and cost efficiency. A hydrofoil of ship sank to seabed for accident. Since the area was as deep as the depth of 180m, the recovery by divers was difficult. Therefore, holding device with net chain used. Recovery work of the hydrofoil was carried out in the southwestern area in the Sea of Japan on July 22, 2007. The recovered hydrofoil was 4t in weight, and 6.3m in length. From this result, it was proved that the device was effective also in recovery of the falling object in deep sea.

Key Words : NET Chain, Holding, Hydrofoil, Wave-dissipating block, Recovery

1. はじめに

網チェーン式回収装置は、潜水士等の支援を必要とせず、吊りワイヤーの巻き上げ下げ操作だけで種々の形状の対象物を掴み上げることができ、既設消波ブロックにおいては数件の回収実績がある¹⁾²⁾³⁾。電力・油圧等の動力及び耐圧構造は不要で簡易な構造のため、大水深においても吊りワイヤーの長さを延長するだけで対応できるものである。

本論文は、網チェーン回収装置は、既設消波ブロックの回収の他、潜水士での作業が不可能な強潮流下の大水深域においても船上からの吊りワイヤーの巻き上げ下げの操作で、種々の形状の物体を簡易に回収できたことを報告するものである。

構造となっている。

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。

ブロックの解放は、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、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(写真-1)。

なお凹凸を設けにくい台船上では安全で作業員も容易に接近できるので、各網目にフックを挿入しておきフックを作業員が解放する。

2. 網チェーン式回収装置の概要

(1) 装置の構成と運用方法

港湾・海岸工事における既設消波ブロックの回収作業例を主体に、その構成及び運用方法等を示す。

装置の構成は、図-1に示すように、吊り下げ用支持フレームの四隅から、網状チェーンが広げられた状態で吊り下げられている。網状チェーンは、4つの網目を有しており、中央部の結節点が、クレーンの吊りワイヤーによりチェーン引き込み管の中へ引き込まれることにより、4つの網目が絞り込まれる

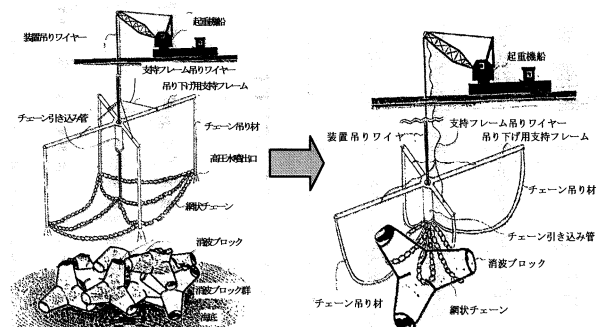


図-1 網チェーン式回収装置 (左: 吊上前, 右: 吊上後)

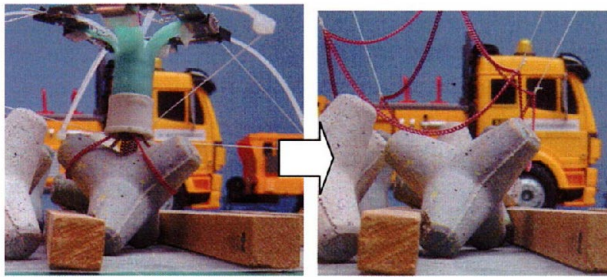


写真-1 網チェーンの解放

(2) 特長及び期待される効果

- ①無人化施工が可能
- ②種々の形状の物体回収が可能
- ③構造が簡易で軽量
- ④動力は吊りワイヤー上下のみで専用の駆動力不要
- ⑤基本的にクレーン操作のみで操作が簡単.
- ⑥潜水士等の作業不要による安全性・効率性の向上.

3. 既設ブロック撤去工事への活用

網チェーン回収装置は、浅海域の作業である既設消波ブロック撤去工事ではこれまで、表-1に示すように4件の活用実績があり、ブロック質量は2~25t、ブロック形状は4脚ブロック、5m長10脚ブロック、破損ブロック等の回収実績がある。解放場所も海底、陸上及び台船上の各ケースがあった。

表-1 網チェーン回収装置によるブロック撤去実績

年月	対象物（質量形状:回収数等）	解放	港 名 等
2003年 6月	2t4脚ブロック：15個	海底	横須賀港 久里浜地区
2004年 4月	6.3t型4脚ブロック:139個 (6個破損ブロック)	陸上	島根県 河下港.
2008年 5月	12.5t~5m長10脚ブロック3個 10t~4m長8脚ブロック等4個	台船	青森県 鯉ヶ沢漁港
2008年 8月	25t4脚ブロック：36個 (破損ブロック多し)	台船	北海道 留萌港

以下、各工事での活用の概要を記す。

(1) 2t型4脚（テトラ）ブロックの移設

網チェーン装置により実物のブロックを把持できることを確認するため実施した（写真-2）。

ブロックは、2t型4脚ブロックで質量は1.84トンであった。10トン吊りラフタークレーンを用いて、装置の作動状況等を確認しながら慎重に約5時間（昼休み1時間挟む）を掛けて15個を移設した。そのうち脚が折れたブロックも1個移設した。吊り上げたブロックはクレーン旋回範囲内の近傍の海底面上へ解放した。

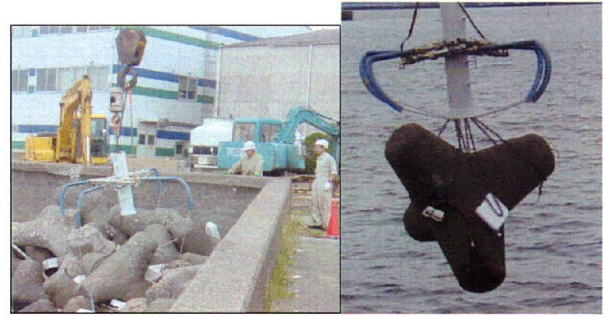


写真-2 2t用網チェーン装置による作業状況

(2) 6.3t型4脚ブロック撤去工事

6.3t4脚ブロック139個を特にトラブルもなく回収した。作業結果を表-2に、状況を写真-3~5に示す。

表-2 ブロック撤去作業結果

状況	工法	本開発装置		従来人工工法	
		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時間)	無人	4.3分/個	作業員 2人	
	2日目:6.7分/個 (67個を7.5時間)	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	



写真-3 6t用網チェーン装置(左)と作業開始(右)



写真-4 作業開始後10秒(左)及び開始後50秒(右)



写真-5 作業開始後60秒(左)及び破損ブロック回収(右)

(3) 12.5t型縦長5mブロック等の回収

5mの縦長ブロック(コーケンブロック)等を台船上に回収した(写真-6,7)。網チェーンは2節の工事で用いた網チェーンを使用した。強度的には12.5tブロックでも対応可能な強度であったが、長さとしては5mを想定していなかったため、杵を縦長の長方形杵として網チェーンがブロックにかかりやすいように改造して対処した。作業時間約3時間(昼休み1時間挟む)であった。

ブロック回収内訳は下記のとおりである。

- ・ 6脚-7.5t : 3m長 : 1個回収
- ・ 8脚-10t : 4m長 : 3個回収
- ・ 10脚-12.5t : 5m長 : 3個回収



写真-6 12.5t-5m 長ブロック回収



写真-7 10t-4m ブロック回収(左)及び解放(右)

(4) 25t-4脚ブロックの回収

対象は既往最重の25tブロックであり、破損ブロック多く、折れた脚部がブロック間にあり、チェーンが掛かりにくい状況であった(写真-8)。

作業日数計2日(全日1日, 半日2日)にて36個のブロックを台船上に回収した(写真-9)。



写真-8 25tブロック破損状況及び回収作業



写真-9 吊り上げ(左)及び台船積み込み(右)

(5) 施工効率、経済性の検討

2節の6tブロック撤去工事において、視認可能な海面下ブロック回収作業にけるデータを基に効率性・経済性について試算を行った。

その結果、平均移設所要時間は5.0分であった。内訳は、標準吊り上げ時間(失敗を含まない吊り上げ所要時間)1.2分/個、損失吊り上げ時間(吊り上げ失敗による損失時間)0.9分/個、吊り上げ後所要時間2.9分/個であった。

この結果を基に、②TVカメラを用いてクレーン運転手が状況を視認できる場合、更に、③ブロックの解放場所に凹凸設けて、作業者の支援なしに解放する場合、更に④作業に熟練して吊り上げ失敗が少なくなった場合を想定し、別途実施した模型実験結果等よりその時間効率を試算すると、図-2の②③及び④となり、作業条件が整えば、作業効率2.9分/個が期待でき、従来の海中潜水士作業の6.1分/個、海面上人力作業の4.3分/個を上回る試算結果となった。

1日(8時間作業)当りの標準的な作業費用を、従来人力工法での費用を100として比較した(図-3左)。

図-2,3(左)に示す各状況における作業時間及び作業経費より、1個当りのブロック撤去費を、従来の海面上ブロックの人力工法を100として比較したものを図-3(右)に示す。ブロックが視認できる状況では、本装置では34と従来の人力工法の1/3以下までコスト削減が期待される試算となった。

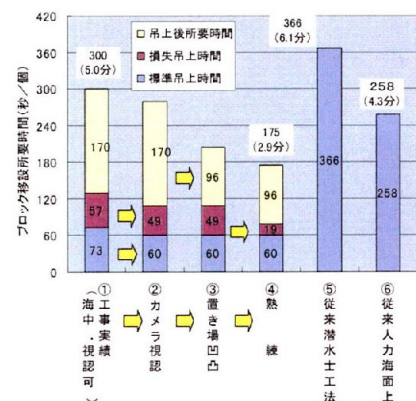


図-2 種々作業条件における作業時間試算

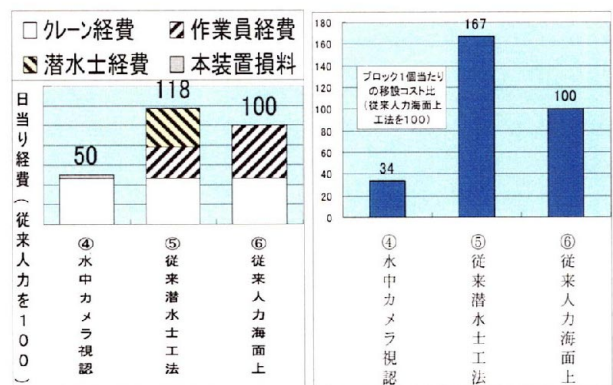


図-3 日当たり経費及び1個当たり撤去費

4. 大水深海域での適用を想定した模型実験

大水深海域での活用を想定すると、本装置は船からワイヤーで吊り下げた状態で運用するため、特に強潮流域では網チェーン回収装置の水平方向の位置を制御して対象物の上に覆い被せることが課題となる。

その対応策として、網チェーン部の一部を海底に接触させることで動揺を抑制して静止させ、静止した位置から対象物の方向へ母船を移動させることにより対象物に接近させる。海底との摩擦力は、吊りワイヤーを上下させることで海底に接する網チェーン部の長さを制御することで調整可能である。対象物に遭遇せず通り過ぎた場合には母船を停止して、その位置から再び対象物の方向へ母船を移動させて対象物に網チェーンを被せるものである。

高さ6cm縮尺1/30の消波ブロック模型を高さ10m（300m相当）の高さに位置するクレーン模型を操作して回収する模型実験を実施してその有効性を確認した（図-4）。その結果、通常の0.2m高さにおけるブロック回収時間効率1.3分/個に対し2.9分と時間はやや要するが、チェーン下部をブロックに接触させることで揺れを抑制して水平方向に1-2cm程度の精度での位置制御ができ、ブロック模型回収は十分可能であった。

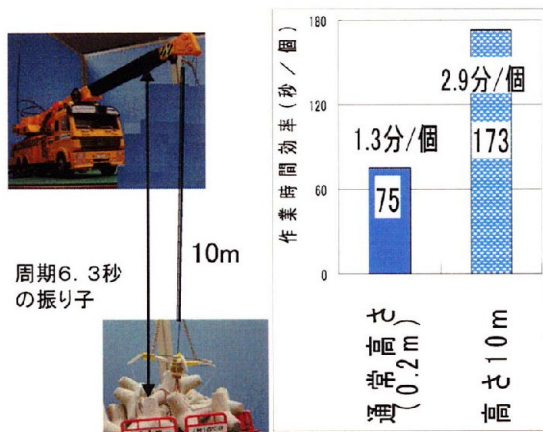


図-4 10m模型実験状況及び実験結果

5. 水中翼回収作業その1

(1) 潜水土作業の限界と活用の経緯

高速船の水中翼が事故により船体から離れ海底に落下した。対象海域は水深180mと深く潮流も大きいため潜水土による回収は困難な状況であった。

一般に潜水土による圧縮空気を呼吸ガスとする水中作業は、通常水深60m程度までとされている。それより深い水深では、呼吸ガスとしてヘリウム酸素混合ガスを使用する潜水か大気圧潜水器の使用（ロボットのよう形状の耐圧性がある金属性の容器を、

ぬいぐるみのように着用）が考えられるが、潮流0.5kt以下でなければ作業は困難である。

そのため、引き揚げ作業を行うサルヴェージ会社より、網チェーン式回収装置の活用の要請があった。

(2) 水中翼回収作業概要及び強潮流下での位置制御

2007年7月22日、日本海の南西海域にて回収作業が行われた。回収装置の吊り枠に水中カメラ及び水中位置計測装置が搭載され、作業台船から回収装置を海底に吊り降ろす形で行われた（写真-10、図-5）。網チェーンは、水中翼の質量が6t未満のため3章2節のブロック撤去工事に用いたものが使用された。吊り枠は、新たに製作された。

作業台船は、長さ80m、幅26m、深さ5mで、DPS（自動船位維持装置）を装備している。

海底に到達後、回収装置の水平位置の制御は、作業台船の位置を制御することにより行われた。水中翼の位置座標は、事前に水中位置計測装置及び水中カメラを搭載したROV（遠隔操縦ビークル）による調査において、GPS（人工衛星を用いた位置計測システム）による作業台船の位置座標及び作業台船とROVの相対位置座標から求められていた。その位置座標を目標として、回収装置を作業台船が引きずるような形態で移動させた。



写真-10 回収装置の装備

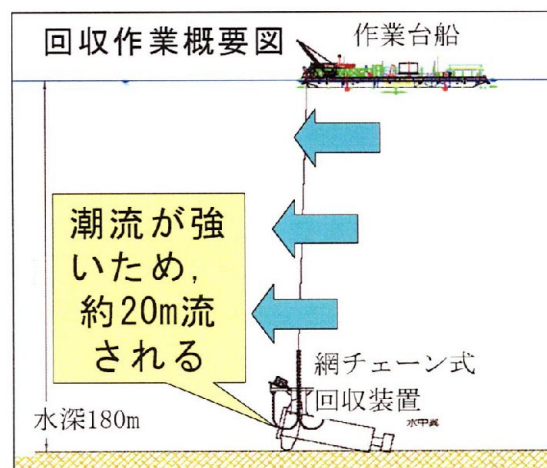


図-5 作業概要図

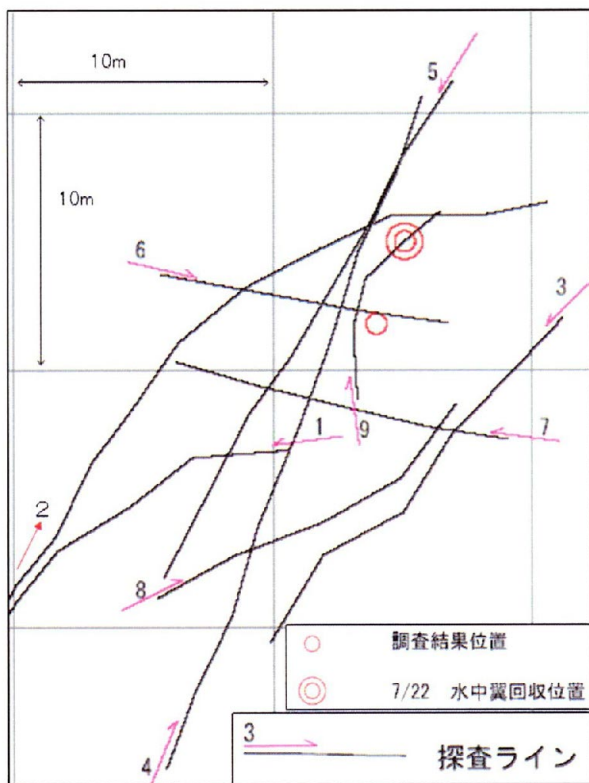


図-6 海底移動航跡図

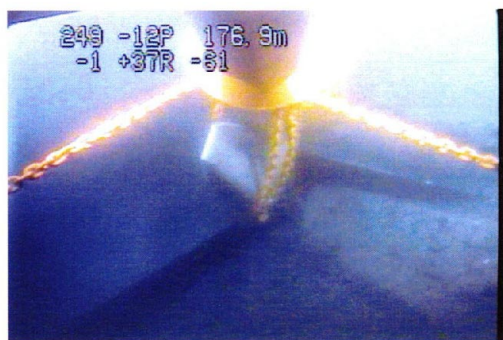


写真-11 水中翼の拘束状況

潮流のある状態では、単に吊り下げただけの状態では水深180mにある回収装置は約20m程度流され、長い振り子のように振れるため水平位置を正確に制御するのは困難であった。しかし、回収装置の網チェーンの部分を海底に接触させることで、揺れの抑制が可能となる。回収装置の海底での位置座標を船上の位置座標表示モニター画面で確認し、その位置から目標とする水中翼の方向へ作業台船を移動させることで、回収装置も網チェーンの一部を海底へ接触させながら引きずられるような状態で移動する。海底と接触する網チェーン部の長さが長すぎると摩擦抵抗が大きすぎて回収装置は動かず、短すぎると抵抗が小さくて揺れが止まらずに位置制御が困難となるが、繰り出す吊りワイヤーの長さを操作することで、網チェーンが海底に接する長さを調整することが可能である。

図-6が回収装置の海底の移動航跡図である。○印が事前調査結果による水中翼の位置座標である。この○印を目標に、海底上の回収装置を移動させて探査した。探査した順番に、ラインに番号と探査方向を示す矢印を記す。探査作業に慣れるに従って回収装置の位置制御精度も向上し、約1m程度の精度での制御が可能であった。探査ライン6では、○印の目標位置の直上を通過しているにもかかわらず、水中翼を確認できなかった。その後探索を続け、探査ライン9の◎印において、水中翼を回収装置に搭載したROVの水中カメラで確認することができた。

水中翼を水中カメラの画像で確認してから、約20分後に水中翼を網チェーンによりしっかり掴んだ(写真-11)。そしてその25分後には作業台船上に引き揚げられた(写真-12)。回収された水中翼は、質量4 t、長さ6.3mであった。

以下に主な作業の時間経緯を記す。

- ・ 9:00 網チェーン回収装置を海中へ降下。
- ・ 9:30頃 水中翼の搜索開始。
(昼休み約1時間を含む)
- ・ 12:45 水中翼を発見。
- ・ 13:05 水中翼を網チェーンで拘束。
引き続き、引き揚げ作業開始。
- ・ 13:30 水中翼を作業台船上に回収。



写真-12 船上への回収

6. 水中翼回収作業その2

サルヴェージ会社より、再度網チェーン式回収装置の活用が要請があった。高速船とクジラと推定される物体との衝突事故は年に数件発生しており、前節と同様に海底に落下した水中翼の回収作業に活用されることとなった。2008年6月5日、場所も前回とほぼ同様の日本海の南西海域であった。

使用機材、作業形態は基本的には前回と同様であるが、今回は海底で水中翼を探すのに水中ソナーが

網チェーン回収装置の吊り枠の上に搭載された。水中ソナーは半径50m以内に水中翼があればリアルタイムにその方位と距離を確認する事ができる。ただし、水中ソナーは海底から約2.5mの高さに位置しているため、足元近くの距離10m以内になると探査ビームの走査角度幅の外となり、確認ができなくなる問題点があった(写真-13)。

今回は視界が悪く水中カメラから1m程度の範囲しか視認できない状況であり、水中ソナーも10mの範囲内では探査ビーム範囲外のため、手探りの状況での探査であった。そのため探査には時間を要したが、着底の50分後には、水中翼に網チェーンを掛けることができ、吊り上げを開始することができた(写真-14)。回収された水中翼は質量約7t、長さ約5mであった(写真-15)。



写真-13 水中ソナーの画像

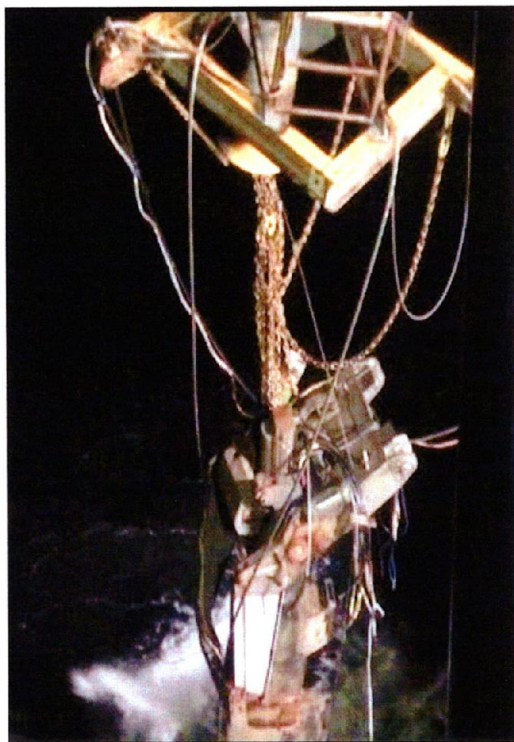


写真-14 水中翼の引き揚げ



写真-15 回収された水中翼

以下に主な作業の時間経緯を記す。

- ・ 19:00 網チェーン回収装置の海中降下開始。
- ・ 20:00 着底。水中翼の搜索開始。
- ・ 20:50 網チェーンに張力反応あり。水中カメラで辛うじて水中翼の一部を視認。網チェーンの引き揚げ開始
- ・ 22:00 水中翼を作業台船上に回収。

7. まとめ

本研究で得られた主な成果を下記にまとめる。

- ・ 網チェーン回収装置は、潜水土等の支援を必要とせずに対象物を掴み上げることができ、既設ブロックの撤去においては、2-25t ブロックまでの数件の実績がある。
- ・ 強潮流域下の大水深海域での適用においては、水平方向の位置制御精を網チェーンの一部を海底に接触させて動揺を抑えるという簡易な運用方法によって対応可能であることが、2回の水中翼の回収に成功したことで実証された。

謝辞: 水中翼の回収作業に関しては、回収作業を実施した日本サルヴェージ(株)より、データ・資料等を提供いただいた。またブロック撤去工事においては各工事関係者の方々に協力をいただいた。ここに謝意を表します。

参考文献

- 1) 野口仁志: ブロック移設作業の無人化・効率化を目的とした網チェーン式ブロック移設装置の開発, 土木学会論文集F, Vol. 63 No. 1, pp. 131-140, 2007.
- 2) 野口仁志: 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, 港湾空港技術研究所資料, No. 1098, pp1-16, 2005.
- 3) 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, pp1-15, 2003.