

「えひめ丸」引き揚げに参加して

構造解析研究グループ

竹本 博安

1. まえがき

漁業練習船「えひめ丸」は、昨年2月に米海軍原潜 Greenville と衝突、沈没し乗員35名の内9名が行方不明となった。2月下旬、米海軍は行方不明者搜索のために「えひめ丸」引き揚げ実現の可能性について技術的検討（Feasibility study：FS）を開始、3月中旬、環境影響評価を条件としながらも「えひめ丸」引き揚げは技術的に可能であると発表した。この後、米連邦政府およびハワイ州政府の関係機関による環境評価を経て、「えひめ丸」引き揚げの準備は本格的に進められ、8月上旬から現場海域での作業が開始された。「えひめ丸」船体引き揚げの海底作業は様々な困難に出会ったが、作業開始から約2ヶ月半後の10月中旬この一連の作業は成功し「えひめ丸」は600mの深海から約45mの浅海へ引き揚げられた。

筆者は、米海軍が実施した「えひめ丸」引き揚げのFSの段階では、日本政府が派遣した専門家ミッションの一員として引き揚げの技術的検討に参加し、また、米海軍の Ehime Maru Recovery Project に関しては、日本政府派遣のオブザーバとして現場海域での引き揚げ作業に参加した¹⁾。文字通り、

この間に見聞した「えひめ丸」引き揚げ作業の技術的側面について概要を紹介させて頂く。

なお、本文中で関係機関、機器類等の名称は適当な和訳がない場合が多いので英文のまま、あるいはその略号を使用することをお許し頂きたい。また、関連するURLとして次のものを挙げておく。

<http://www.cpf.navy.mil/greenville.html>

<http://www.ehime-np.co.jp/uwajima/>

2. 「えひめ丸」引き揚げのFSと環境評価

過去に水深600mの海底から水中重量約700トンの船体を引き揚げた例はなく、そのFSは工学的に非常に興味深いものであった。ビデオによる海底の「えひめ丸」の損傷状態の調査（図-1）に基づいて、船体の損傷を拡大しないことを基本方針として、引き揚げ方法を検討し船体引き揚げのワイアのかけ方、ワイアの数と場所を検討した。特に「えひめ丸」の船体中央より少し前の主船体構造が座屈崩壊しており、衝突による船底部分の損傷状態が未確認であるため、船体の残存強度についてはかなり安全側の推定値を用いている。3月中旬に「えひめ丸」引き揚げは技術的に可能であ

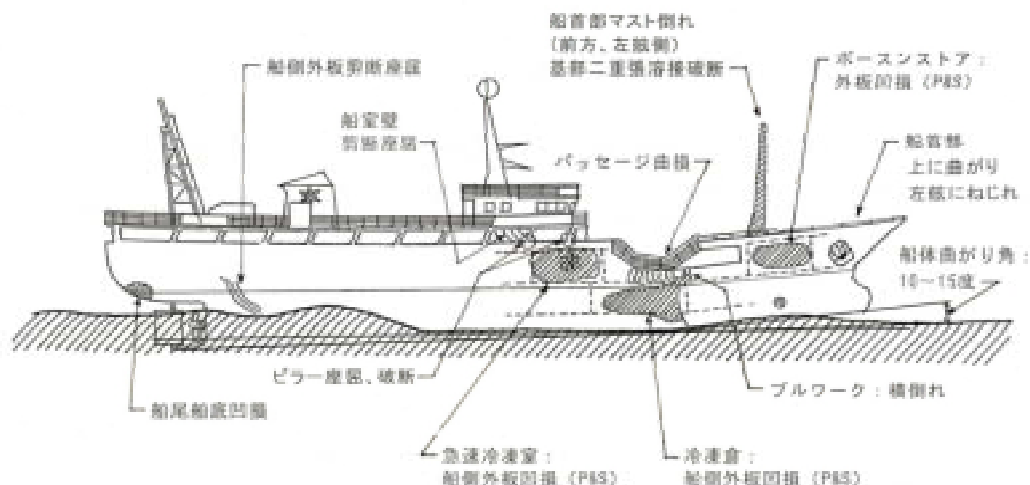


図-1 海底の「えひめ丸」の状況調査結果

るといふ FS の結果が発表されたが、引き揚げの環境影響評価を実施することが求められた。「えひめ丸」引き揚げの環境影響評価は米連邦政府、ハワイ州政府等の関係機関により、6月中旬までかけて実施された。その結果、特に深海域から浅海域への引き揚げ、移行を日照時間と満潮時間に合わせることで、引き揚げ時の油流出対策を準備することなどが要求された。この報告書は前出の URL に公開されている。

3. Ehimemaru Recovery Project の体制

(1) 米海軍はホノルルに Ehimemaru Command Center (ECC) (Klemm 少将指揮) を設置した。深海作業船 Rock Water 2 上では、Marsh 大佐が指揮をとった。

(2) この Project の主契約社は SMIT International である。関連の SMIT TAK 社はオランダのサルベージ会社で、実質的にこのプロジェクトの監督と Linear Winch などの機器の操作を担当した。2次契約の Canyon 社は ROV などを担当した。

(3) 船上の Project 関係者は船の運航関係(約40名)を含めて 100 名前後であった。

4. 深海作業船と主要機器

(1) 深海作業船：Rock Water 2：RW2(Lpp：99.1m、B：18m、D:7.8m、d:5.5m、排水量：約 8342ton) 深海作業船 RW2(写真1)には2基のクレーンが装備されており、このうち1基は吊りあげた物体に対する船体動揺揺影響補正機能が付いている。

また、本船にはダイナミック・ポジショニング・システム：DPS が装備されている。本船には船尾に2基の電動式ポッド・プロペラ、船首部に3基のサイドスラストがあり、船の位置を複数の人工衛星と地上局による Differential GPS により計測し、これらを用いて船位を制御している。

(2) 深海位置計測システム

超音波式のトランスポンダ(Computer Telemetry Transponder：COMPATT)が海底の機器類の位置計測のために用いられ、これらは海底 10 カ所と「えひめ丸」、ROV 及び海底に設置される主要機器に取り付けられている。RW2 の船上とこれらの COMPATT 間の通信によって各機器の位置を実時間



写真1 ホノルル港で準備工事中の RW 2



写真2 岸壁で仕上げ作業中の Lifting Plate

で計測できる。この情報は各 ROV 制御室や Command room などに2次元平面図あるいは3次元の鳥瞰図で表示される。

水深 600m の海底の暗闇の中で、ROV のオペレータはこの画像情報と ROV のテレビカメラの映像とにより ROV の位置及び他の目標との位置関係を把握して作業を行うことができる。

(3) Linear Winch: LW

両舷に設置された2基の LW は重量物を吊り上げるための装置で、吊り上げ能力は1基当たり 500ton、使用するワイアロープの直径は 117mm、その長さは 1800m である。吊り上げ速度は 1m/min.である。

(4) Remotely Operated Vehicle：ROV

RW2 には Work-class ROV 2台とビデオカメラのみを持つ小型 ROV 1台の合計3台が搭載されている。Work-class ROV は2台共ほぼ同じ大きさで機能を持っており、作業時のトラブルに対して相互にバックアップが可能であり非常に効果的であった。

(5) Lifting plate

「えひめ丸」引き揚げは図1の船体損傷状況等を考慮しワイアで船体を傷つけないことを目的に、船体とワイアロープの間に鋼板を挟む方法が採られ、Lifting plate と呼ばれる装置が考案された。幅 1.28m、板厚 12.8mm の高張力鋼製帯板の裏側に2本のワイアが通されており、両端に吊り上げ用のワイアがついている。

(6) Spreader assembly と Top bar

「えひめ丸」を吊り上げるワイアの上端位置の幅を船に合わせるために Spreader assembly が考えられた。これはその幅を狭くすると船体に損傷を与える恐れがあるためである。Spreader assembly には自重を越える浮力体に取り付けられ、水中では4隅のウェイトがついたワイアにより一定の高さに浮くようになっている。

Top bar はピンによりタブの部分で Spreader assembly と着脱できる。滑車に LW のワイアロープを通して吊り上げる。この Spreader assembly と Top bar の方式は、緊急避難時に RW2 を作業中の「えひめ丸」から容易に切り離すことができるように考案されたものである。

(7) Coil Tubing Unit : CTU

CTU は、「えひめ丸」船体の下に Lifting plate を通すために開発された Water jet を利用したトンネル掘削装置である。CTU は鋼製パイプの地面に対する入射角、送り速度、初期変形（パイプに曲率を与える）の調整が可能で、掘削する地質に応じて調整できる。テキサスで前もって行われた実験には成功している。

CTU は今回の引き揚げで期待通りの成果を上げることはできなかったが、サルベージ関係者はこの技術の将来性に強い期待を持っているようである。

5. 「えひめ丸」引き揚げ作業のプロセス

引き揚げ作業の第1段階は、Lifting plate を船体に取り付ける作業である。第2段階では Spreader assembly を水中に浮いた状態で「えひめ丸」の上に設置し、これと Lifting plate を接続する。第3段階で RW2 の LW のワイアロープで吊り下げられた Top bar を Spreader assembly を接続する。この状態で吊り上げが可能になる。



写真3 バージから降ろされる Spreader assembly

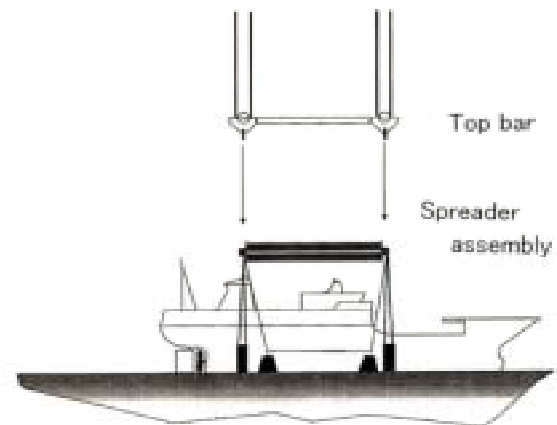


図2 Top bar と Spreader assembly の接続

以下に作業経過を示す。

(1) 船体への Lifting plate の取り付け

1) CTU によるトンネルの掘削

Lifting plate 取り付け位置は荷重の関係から FR.15 (船尾から約 8.25m)、Fr.61 (船尾から約 33.5m) の2点に決まった。CTU を用いて「えひめ丸」下の海底に Messenger wire を通すトンネルの掘削を開始、パラメータの変更など様々な工夫をしながら掘削を続けたが、全く見通しがたたない状態に陥ったためこの方法を断念した。

2) 船首から Messenger wire をずらす方法

図1に示すように船首部船底は地面に出ているので、ここから目標位置までワイアをずらす方法を試みた。Fr.61 までワイアを持ってゆくことはできたが、Fr.40 あたりに障害物がありワイアをそれ以上進めることはできなかった。

3) 船尾を吊り上げ Messenger wire をずらす方法

船尾のスターンフレーム上部に Lifting strap を通

し、LW で船尾を約 7m 吊り上げた。この状態でワイアを船尾側から引き込んだが、やはり Fr.40 付近に障害があり前方へ進めることができなかった。

この状態で船尾左舷 Fr.22 付近下部に GreeneVille との衝突による破孔が発見された。また、前後 2 つに切断されたセンターキール（厚さ 60mm、高さ約 300mm）の船尾側部分が船体中心線でほぼ直角に折れ曲がって同じ位置に突き出しているのが発見された。

長時間船尾を吊り上げた状態で波に揺られたため、船首部は錨の位置まで海底に埋もれてしまい船尾は海底より持ち上がったままとなった。

4) 船首吊り上げによる方法

船首の錨鎖孔にワイアを通し船首を吊り上げるようになった。非常に長い時間をかけて船首部周辺を浚渫ポンプで掘削した。次に鎖を切って錨を外し、錨鎖孔に吊り上げ用ワイアを通した。

船尾は海底より持ち上がっており容易に Fr.15 に Lifting plate を取り付けることができた。次に Top bar を取り付けた Spreader assembly を「えひめ丸」上に設置し、Fr.15 の Lifting plate と接続する。船首側の LW のワイアを船首錨鎖孔のワイアに接続する。この状態で「えひめ丸」を一時的に吊り上げ移動して、予め平らな海底に設置したもう 1 基の Lifting plate の上に着地させる。これで船首側 Fr.61 の Lifting plate が取り付けられた。

ここまでの方法で、2 基の Lifting plate を船体に取り付け、Spreader assembly と Lifting plate とを接続して第 2 段階まで終了した。

(2) Top bar の取り付け

この時点で、船首側の Top bar はクレーンのワイアで吊った状態なので、LW のワイアを Top bar の滑車に通した後、改めて Spreader assembly に結合した。これで第 3 段階を終了し、吊り上げが可能になった。

(3) 「えひめ丸」の浅海域への移動、着底

えひめ丸を 15m 程吊り上げて、ROV により船体、主に船底部分の検査を行った。その後「えひめ丸」を海底の低い位置に保ちながら約 14 海里先のホノルル国際空港の Reef Runway 沖約 1 海里の浅海域へ移動開始した。船速は 0.2 ～ 1.0 ノット、RW2 は左真横に移動する。「えひめ丸」と RW2 の方向は

ほぼ 90 度で交差しており、「えひめ丸」は船尾方向へ移動する。目的地の約 3 海里手前の地点で待機、満潮と夜明けの時間に合わせて船体を吊り上げ目的地に移動、10 月 14 日午後 3 時過ぎ「えひめ丸」は着底した。

6. 技術的検討項目など

私共はオブザーバーとしてこのProjectに参加していたが、引き揚げ技術に関する検討に参加することを要請されており、引き揚げ時の船体に作用する荷重の推定、強度の推定、浅海域への移動の方法などに関して、ミーティングに参加した。

このミーティングでは、ROV による船体の損傷状況の観察評価、衝突状況からの損傷範囲の推定と燃料残存の可能性検討、船体損傷推定による残存強度の評価、船尾吊り上げ時の荷重検討、船首吊り上げ時の荷重検討などを実施した。また、船尾吊り上げに関して、スターン・フレーム、プロペラ・シャフトの利用についての妥当性検討や、船首吊り上げに関して、hawse pipe を利用する場合の船首部構造強度の検討なども行った。

これらの内いくつかの項目に関しては、(株)新来島ドック、(株)深田サルベージ、海技研の関係の方々に資料提供、アドバイスや数値解析等の支援、ご協力を頂いた。

これらの検討結果は引き揚げの各段階での方針決定にかなり貢献できたと考えている。

7. おわりに

「えひめ丸」引き揚げは過去に例のないプロジェクトであった。筆者は、この貴重なプロジェクト参加の機会を与えて下さった米海軍、外務省、国土交通省の関係の方々に深く感謝致します。また、上記調査等にご協力を頂いた方々に厚く御礼申し上げます。

最後に「えひめ丸」の衝突事故で犠牲になられた方々のご冥福を心からお祈り致します。

参考文献

- [1] 竹本博安：「えひめ丸」の引き揚げ、日本造船学会会誌 Techno Marine 5 月号 NO.867 (平成 14 年)