

ROVの大水深作業への応用

伊藤 宏臣¹・岩松 裕二²

¹独立行政法人水資源機構 琵琶湖総合管理所 設備課 (〒520-0243滋賀県大津市堅田2-1-10)

²独立行政法人水資源機構 ダム事業部 管理業務課 (〒330-6008埼玉県さいたま市中央区新都心11-2)

琵琶湖総合管理所において維持管理を行っている安曇川沖総合自動観測所は平成4年3月に完成し琵琶湖北部の水象、気象、水質を24時間365日観測している。令和5年9月に安曇川沖観測所の水質計昇降用ガイドワイヤ2本の内1本の張力がないことが確認され、水中カメラによる調査でガイドワイヤを支持する下部金具の腐食による損傷が判明した。当該箇所は水深60m付近に位置しており、潜水土による作業であれば飽和潜水または送気式潜水が必要になり多大な費用と作業日数を要するため、ROV (Remotely Operated Vehicle: 水中ドローン) をガイドワイヤの復旧に応用することとした。本論文は、水中部構造物の復旧工法の検討とROVの応用について報告する。

キーワード ROV、水中ドローン、自動観測所、飽和潜水

1. 施設概要

琵琶湖総合管理所（以下「琵琶湖総管」という。）では、琵琶湖北部の安曇川沖総合自動観測所（以下「安曇川沖観測所」という。）と、琵琶湖南部の「雄琴沖総合自動観測所」により、琵琶湖の水象、気象、水質データを自動観測している。

安曇川沖観測所は図-1に示すとおり、琵琶湖の北部（北湖）の中央に位置しており、平成4年3月に完成して以来、24時間365日琵琶湖の水象・水質・気象を自動観測し、観測データは外部に公表している。安曇川沖観測所の構造は図-2に示すとおり、上部から観測所局舎、浮体部、係留索部、支持リング部、シンカーからなる。観測所局舎には水質観測装置、気象観測装置、水位・波高観測装置、テレメータ装置が設置されている。

観測所は浮体部により観測所局舎の浮力を確保し、観測所が風や波により移動しないように、錘の役割をはたすシンカーと観測所局舎間を係留索部により連結することで琵琶湖の定められた位置において観測を行っている。

水質観測装置は湖の中を昇降する水質計により決められた時間と水深で水質の測定を行っている。例を挙げると水温や濁度、クロロフィルの項目は、6時間に1回の頻度で水深5, 10, 15, 20, 40, 60mにおいて測定する。そのため水質計は水面から水深60mまでを1日に4回往復している。

琵琶湖は湖流があるため水質計が漂流すると正しい水深で計測できないことから、定められた水深に確実に移動させるためにガイドワイヤ2本に沿うように昇降する

構造となっている。ガイドワイヤは観測所局舎と支持リング上のグレーチング間に連結されており、グレーチングは支持リング上に溶接されている。観測所局舎が風で回転するとガイドワイヤがねじれてしまい水質計の昇降に影響を及ぼすため、支持リングを支持ワイヤで吊り下げ観測所局舎と支持リングが共回りすることでガイドワイヤのねじれを防止している。そのため、観測所局舎と支持リング部の間は支持ワイヤ2本とガイドワイヤ（支持リング上のグレーチングに連結）2本の計4本で繋いでいる。

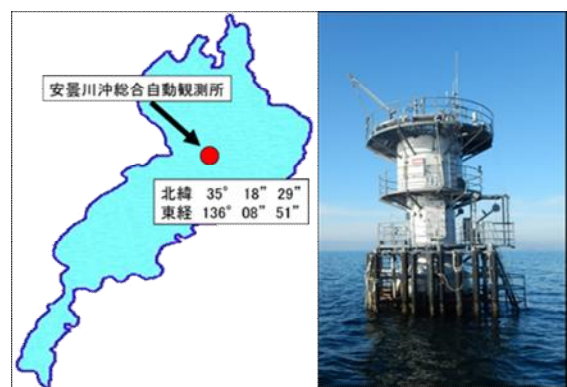


図-1 安曇川沖観測所の位置

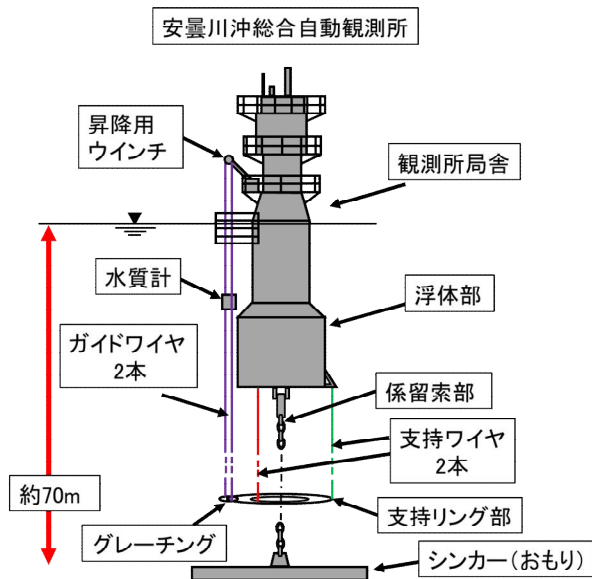


図-2 安曇川沖観測所の構造

2. 事象概要

前述のとおり安曇川沖観測所は、設置されてから令和8年現在で34年が経過している。令和5年9月に行った安曇川沖観測所の点検時に、水質計の昇降用ガイドワイヤ2本のうち1本に張力がないことが確認された。水中カメラでガイドワイヤの状況を調査したところ、ガイドワイヤの下部金具が腐食により損傷しておりガイドワイヤとグレーチングが連結されていない状態であることが判明した。図-3に損傷した下部金具の状況を示す。ガイドワイヤ2本のうち1本が支持されていない状態であり、水質計は他方の1本のガイドワイヤを保持しながら昇降している状況であった。1本でも保持していれば水質計自体の昇降に支障はなく測定を続けることができていた。しかし、調査時に他方のガイドワイヤの下部金具取付部を確認したところ、同様に腐食していることが判明した。ガイドワイヤが2本とも機能しない状態であると水質計の昇降ができなくなり、水質測定が不可能となるため、下部金具が損傷して機能しなくなったガイドワイヤの復旧を優先して行うこととした。

また、支持ワイヤ1本についても観測所局舎に固定している上部金具が腐食により損傷し脱落していることが確認され、支持リングが傾斜し湖底に着床している状態であった。支持リングと各ワイヤの状態を図-4に示す。



図-3 損傷した下部金具取付部の状況

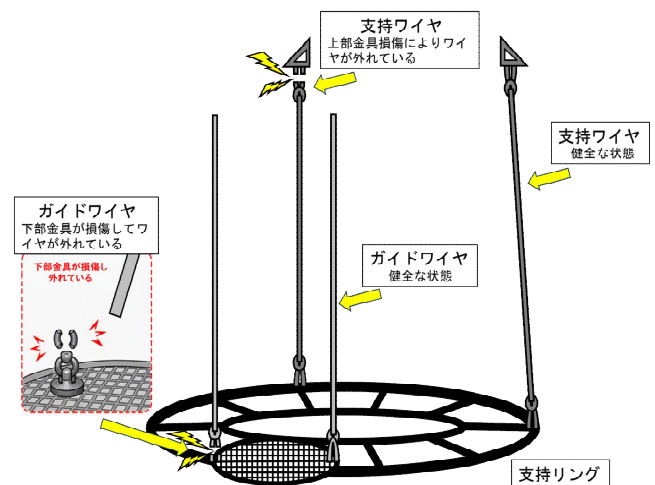


図-4 各ワイヤの状態

3. 復旧工法の検討

安曇川沖観測所は前述の通り水質に関するデータを24時間365日観測しており、水質計の昇降に影響を及ぼさないようにするために早期の復旧が必要であった。復旧にあたり、以下の施工条件がともなう。

○水質関連データの欠測期間を最小限とすること。

○水深60～70mにおける水中作業であること。

一般的に水深が深い場所での作業は安全のために飽和潜水または送気式潜水を用いることが多い。

飽和潜水とは潜水士が高圧状況下で一定期間生活し、あらかじめ身体を高圧環境に慣れさせることで、高水圧下においても安全に作業ができる方法である。浮上にかかる時間が短縮できるため水中での作業時間が伸び、作業効率の向上に繋がる。しかし、飽和潜水に用いる設備

が非常に大がかりとなることから莫大な費用と準備日数が必要となる。

送気式潜水は、作業ごとに潜水士が地上から作業水深まで潜水し作業を行い、終了後に浮上してくる方法である。飽和潜水と異なり、潜水士が大気圧下から高水压下の間を短時間で行き来するため、減圧症などを発症するリスクが高い。安全確保のために時間をかけて降下、浮上する必要があるため、作業時間を短くせざるをえない。しかしながら、高圧下の生活環境を作る必要がないことから、飽和潜水と比較するとコストは抑えられる。

今回の復旧対象は、下部金具が損傷しているガイドワイヤ1本としているため、作業内容が単純なものとなる。よって、今回は大掛かりな準備が必要な飽和潜水ではなく、送気式潜水による工法とROVによる工法と計2つを比較検討することとした。

(1) 潜水士による工法

潜水作業による復旧の場合、人が現地で作業を行うため、予定している復旧作業のみならず現地状況に応じて臨機応変な対応が可能である。前述のとおり送気式潜水は飽和潜水に比べると、特に水深40m以上では減圧症を発症する可能性が高く、それを防ぐために短時間での潜水作業かつ時間をかけて浮上する必要がある。そのため交代要員を多数確保、または数日かけて作業を実施する必要がある。また、水深50～60mでの作業となるため危険が伴い、急病に備えた再圧タンク設備などの準備が大がかりとなる上に、湖上での作業になることから大きな設置スペースを確保するための台船も必要となる。陸上のものではあるが潜水設備（大水深用）の例を図-5に示す。

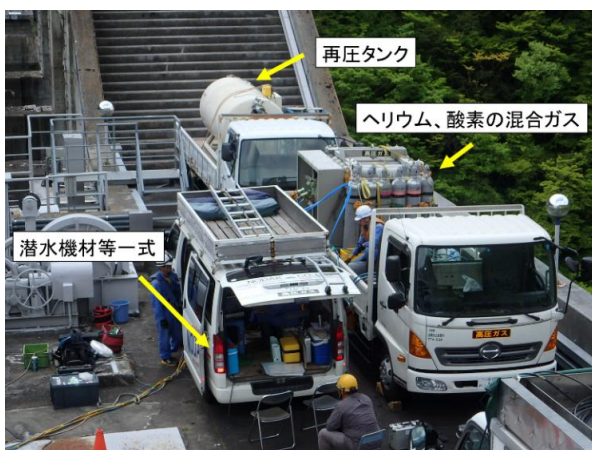


図-5 潜水設備の例（大水深用）

(2) ROV による工法

ROV による復旧は、作業に応じた装備をあらかじめ用

意するため、予定外の作業に対応できないことから、作業性には一定の制約がある。また、水中では湖流や水棲生物、漂流物などの影響を受けやすく、また反力がとりづらいため、ロボットアームでの作業の実施にあたり不確実性が高い。そのため、熟練した操縦者が必要となる。その一方でロボットによる作業なので潜水士を必要とせず、水深 50～60m においても安全に作業を実施できる上に潜水士と異なり作業時間の制約もない。さらに潜水士による工法と比較して ROV のレンタル費用及び諸経費とオペレータのみで済むことから安価に作業を実施することができる。安全性と経済性を比較し、今回は ROV により復旧を行う方針とし、可能な施工作業を検討した。今回使用する ROV は一般的な構造のもので、本体にはアームがついており小さい力ではあるが物を掴んだり、離したりすることができる。

4. ROV応用に向けた実験

(1) 検討

先にも述べたが、ROVによる作業は周辺環境による影響があり作業の不確実性が高い。今回の復旧内容は損傷が確認されたガイドワイヤの下部金具取付部付近に新たなガイドワイヤを接続することであり、下部金具と支持リング上のグレーチングにガイドワイヤを連結する作業が中心となる。そこで確実な作業を実施するために、使用する下部金具と固定方法を検討した。

(2) 検討結果

ROVでは既設のような下部金具取付部を支持リング上のグレーチングに溶接して取り付けることは不可能である。ROVのロボットアームの特性上、人間のような繊細な作業が行えないため、下部金具はグレーチングに簡単に取り付けられる必要がある。また、コストを抑えることを考慮し、下部金具として既製品の外れ止め付フックを用いることとした。今回の製品は安全帯のフックと同じ構造の外れ止め付きであり、握力等で外れ止めを引くことで開放し放すと自動的に閉じる。

フックをグレーチングに連結するためには、繊細な操作によりフックをグレーチングの隙間に通した後、フックの外れ止めを動作させるほどの荷重をかけて固定する必要がある。

しかし、ROV本体は浮遊しているため支点がなく、大きな荷重をかけることのできるほどの推進力もない。そこで、フックの外れ止めをあらかじめ開放した状態で固定したままグレーチングに掛けることとした。そうすることにより、ROVを介して行う作業がフックをグレーチングに掛けることと外れ止めを解除することに限定される。図-6にROV本体と装備の構成を示す。

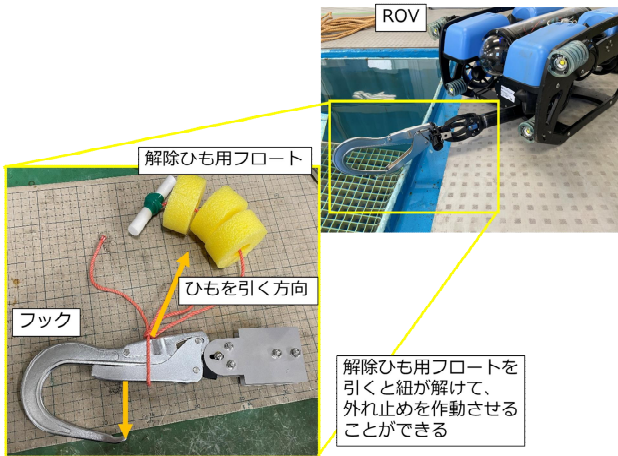


図-6 ROV と装備の構成

フックの外れ止めを開放状態にするために、紐で結び固定する。外れ止めを動作させるときには紐をアームで掴み、浮上するだけで紐の結び目を解くことができ、固定が解除される。また、紐にフロートをつけることにより、アームで掴みやすくなるため、作業性を向上させることができる。これによりフックが外れなくなり、ガイドワイヤの連結が完了すると考えた。

(3) 実験

この工法で実際に施工することが可能かどうかを、試験用水槽にて複数回実験を行った。その結果、本工法を用いることでROVにより問題なく施工できることを確認した。その際に撮影した写真を図-7に示す

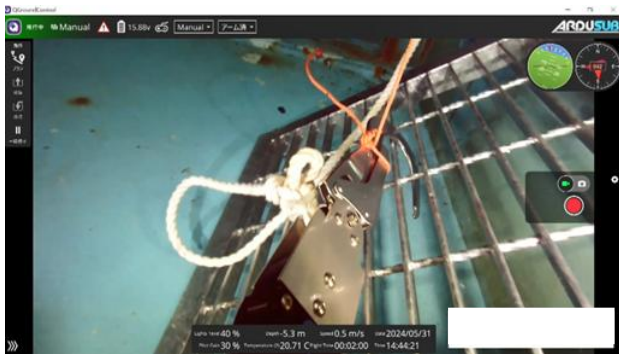


図-7 実験の様子

5. 復旧作業

実際の復旧作業は令和6年9月12日から13日にかけて実施した。期間中は天候に恵まれ、琵琶湖の湖流が穏やかだったことから作業は順調に進み、一回の作業でグレーチングに下部金具を連結することに成功した。復旧手順は次のとおりである。

○新規ガイドワイヤを上部金具に仮止めする。

○ガイドワイヤ下端に下部金具を取付け、ROVを用いて下部金具を水深60m地点にある支持リング付近まで運搬する。

○支持リング上のグレーチングに下部金具であるフックを掛ける。

○フックがかかったことを確認し、解除ひものフロートを掴み浮上することで、外れ止めが解除され、フックの固定が完了する。

○復旧したガイドワイヤと他方のガイドワイヤを均等な張力になるよう上部金具へ固定し、水質計の昇降テストを実施する。

○昇降の動作が問題なく行われ、再度水中カメラにて下部金具の連結を確認し復旧完了となる。

図-8にフックの取付作業が完了した際に撮影した画像を示す。

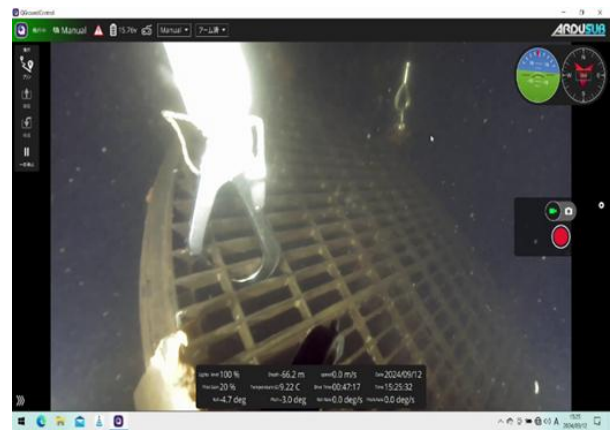


図-8 フック取付作業の様子

6. 結果及びコストの比較

本作業によりガイドワイヤ2本のうち1本の更新が完了した。今回の作業に要した費用は、材料費、ROVのレンタル費用、オペレータ等の人件費および諸経費を合計して約110万円であった。空気送気式の潜水作業による場合、およそ2500万円かかるという試算と比較して約25分の1の費用でガイドワイヤの復旧作業を実施することができた。

7. 結論

本論文では、ROVによる大水深下での作業の応用例を紹介した。ROVにより安全かつ確実に水中でのワイヤ張り替え作業が可能であることを確認した。

なお、令和7年度には同様の施工方法で2本の支持ワイヤと1本のガイドワイヤの計3本についても更新作業を完了している。