AR 安全可視化システムを利用した港湾工事の安全管理技術

五洋建設(株)　　正会員　○西　広人

１．はじめに

港湾工事では，施工する構造物や作業部分の一部だけが可視であり大部分が海中に没しているケースが多々ある．また，陸上工事に比べて遮蔽は少なく周囲を見渡せることが多いが，作業エリア明示などの目印を設ける場合には係留ブイを設置するなど見える化への労力が大きい．これらの問題を解決するため，五洋建設では対象物の位置情報および周辺情報をタブレット端末で取得したカメラ画像上に AR（拡張現実）表示させ，位置情報の確認や安全確保のための支援ツールとして活用する「AR 安全可視化システム」を開発した．本論文では，当該システムの技術概要に加え，潜水作業時の潜水士と吊荷の接触防止に適用した事例と今後の展望について紹介する．

２．AR（拡張現実）とは

AR（拡張現実）とは，「Augmented Reality」の略で，現実世界を立体的に読み取り，そこに仮想の情報を重畳することで，現実を仮想的に拡張する技術のことを指す．（**図-1**）AR には，現実空間を読み取るセンサ（カメラや LiDAR）と，重畳する情報の生成と表示を行うハードウェア（ウェアラブルデバイスやタブレット）で構成される．取得した現実空間に仮想の情報を重畳するには，現実空間の位置情報と仮想の情報の位置情報を合わせる必要があり，特定のマーカーを読み込んで位置情報を合わせる方法や，GNSS を用いてハードウェアの情報を逐一取得して重畳する方法が一般的である．近年では，LiDAR や物体認識アルゴリズムの発達により，LiDAR によって空間を認識して自己位置を推定する空間認識型や，特定の物体を認識して自己位置を推定する物体認識型なども開発されている．



図-1　AR（拡張現実）イメージ

３．AR 安全可視化システム

AR 安全可視化システムは，前述した港湾工事の見える化を目的に五洋建設が開発したシステムである（**図-2**）．気水中の対象物の位置情報をカメラ画像上に AR 技術を用いて表示させ，位置情報の確認や安全確保のための支援ツールとして使用する．カメラ映像を取得するデバイスや位置情報を取得する方法を組み合わせること

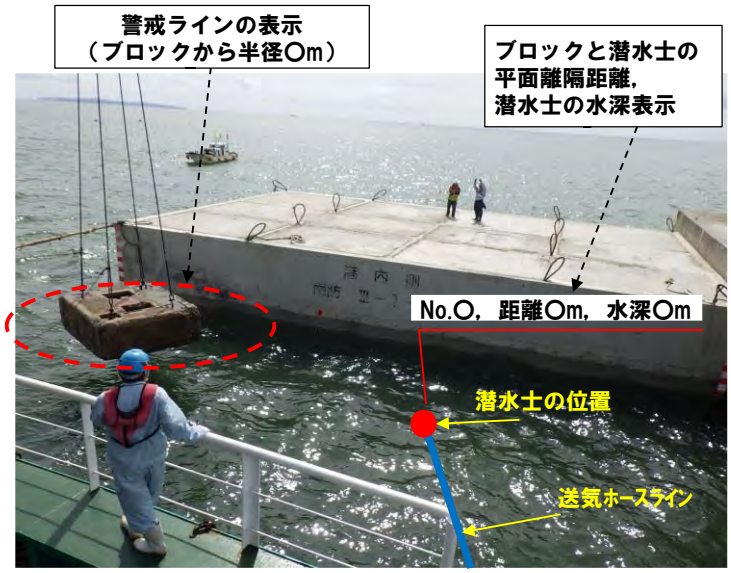


図-2　AR 安全可視化システム活用イメージ（潜水作業）

キーワード　潜水作業，AR，拡張現実，AR 安全可視化システム，見える化

連絡先　〒329-2746　栃木県那須塩原市四区町 1534-1 五洋建設株式会社 技術研究所　ＴＥＬ0287-39-2103

で，様々な工種に対応できる．

港湾工事の特徴の一つに，不可視部分での潜水作業がある．潜水作業時の水中部と気中部との連携については，従来では潜水士と送気員や起重機船オペレータが水中電話で音声のみで連絡を取り合いながら施工を行うことが一般的であったが，音声のみではお互いの状況を十分把握するには至らず，吊荷と潜水士の接触など安全上の懸念や，意思疎通が円滑に行えないために施工時間が遅延してしまうことがあった．そこで，AR 安全可視化システムを導入することで視覚的・直感的な安全管理が可能となり，作業安全性の向上を実現した．また，GNSS 端末等位置情報を取得できる機器と併用することで，移動する物体を現実空間映像に重畳することができ，作業エリアや立入禁止区域の判別と近接でのアラート発出による，関係者の意思疎通の円滑化や現地でのエリア明示作業が省略等，現場生産性の向上も併せて実現した．

4．現地適用

(1) 適用現場

当該システムを高知県須崎市の須崎港湾口地区防波堤築造工事におけるブロック据付工施工時の潜水士と吊荷の接触防止に適用した．工事概要を**表-1**，施工位置と作業全景を**図-3** に示す．

表-1　工事概要

工　事　名	須崎港湾口地区防波堤築造工事
発　注　者	国土交通省　四国地方整備局
受　注　者	五洋建設株式会社
施工場所	高知県須崎市コウギノ鼻地先
工　　期	2019年9月19日～2020年3月19日
工事概要	須崎港湾口地区防波堤の基礎工，被覆・根固工および構造物撤去工の実施を行うものである．

(2) 機器構成

今回の適用では，カメラ画像へ潜水士の平面位置，潜水深度，送気ホース位置（推定），吊荷（ブロック）位置，吊荷（ブロック）警戒円（6m），を表示し，気中の起重機船オペレータおよび送気員に配布したタブレット上に表示するものとした．表示にあたり，取得する情報として潜水士の 3 次元位置，吊荷（ブロック）の平面位置がそれぞれ必要である．今回は，五洋建設が開発した水中ポジショニングシステム（**図-4**）という起重機船に設置した GNSS 端末搭載型の送受波器と潜水士が所持するトランスポンダより水中での 3 次元位置を取

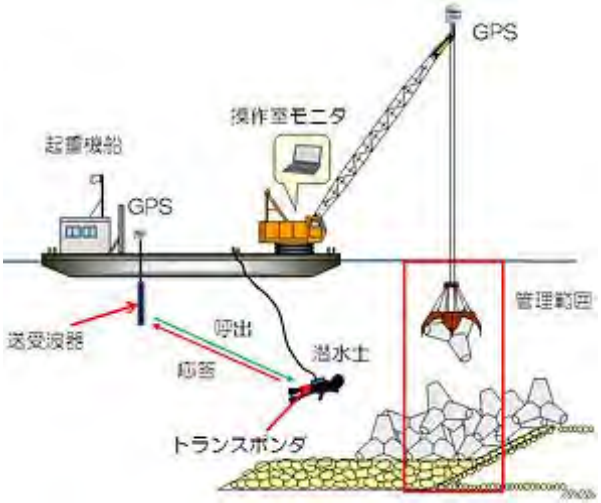


図-4　水中ポジショニングシステムイメージ

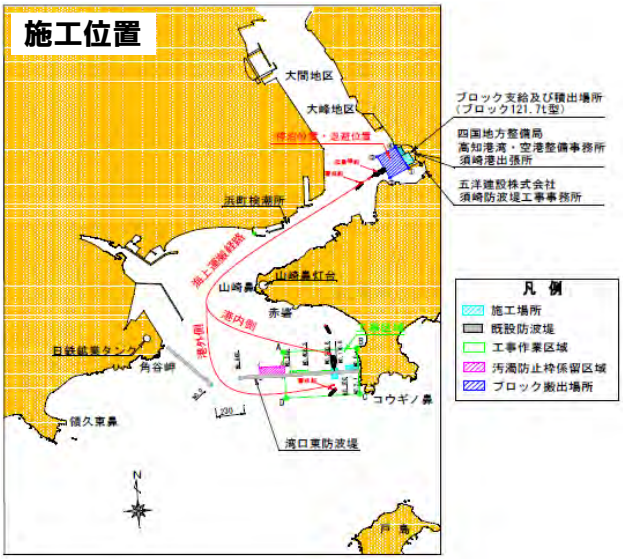




図-3　施工位置および作業全景

得するシステム利用して潜水士の 3 次元位置を，起重機船ブーム先端に設置した GNSS 端末により吊荷（ブロック）の平面位置を取得した．加えて，各データを集約して演算を行う PC を起重機船キャビン内へ，起重機船オペレータが閲覧するタブレットの方位情報取得のための GNSS 端末を旋回体へそれぞれ設置した．全体機器構成を**図-5** に示す．

(3) 適用結果

適用時のタブレット表示画面を**図-6**，起重機船オペレータの閲覧状況を**図-7**，監督者や送気員など現場作業者の閲覧状況を**図-8** に示す．今回の現地適用では，各種 AR の表示位置の確認を行ったが，正常にデータを取得できている場合には概ね正しい位置に AR 表示が行われ，対象物の移動に伴う描画の移動も正しく行えることを確認した．加えて警戒円への潜水士侵入時のアラート機能も正常に作動し，よりわかりやすく現地情報を表現することができた．また，従来施工方法と比較して，各種対象物の位置表示や警戒円内侵入のアラート発出による，各種位置把握や関係者間の情報共有の円滑化など，想定通りの効果を発揮することができた．一方で，水中ポジショニングシステムは水中構造物によるマルチパスの影響を受けて時折潜水士の位

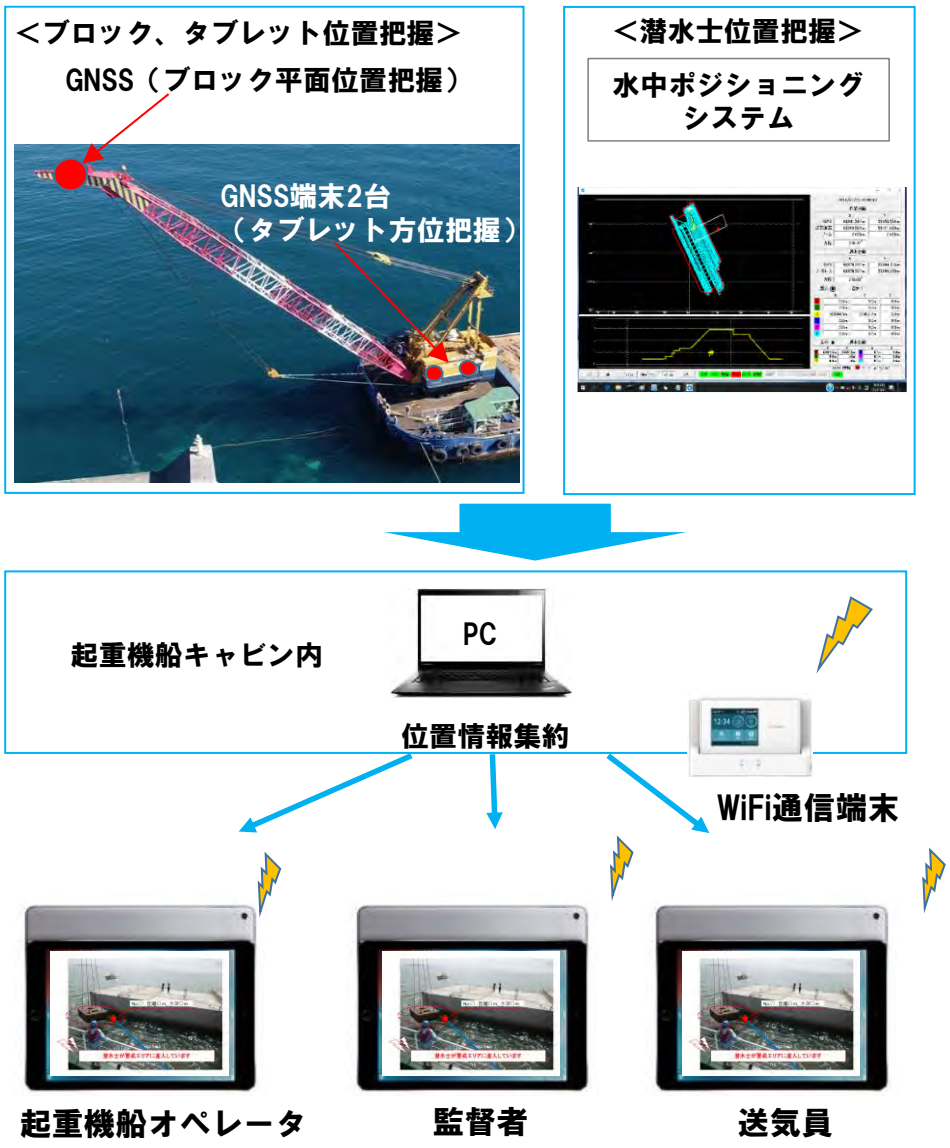


図-5　潜水士吊荷接触防止用全体機器構成

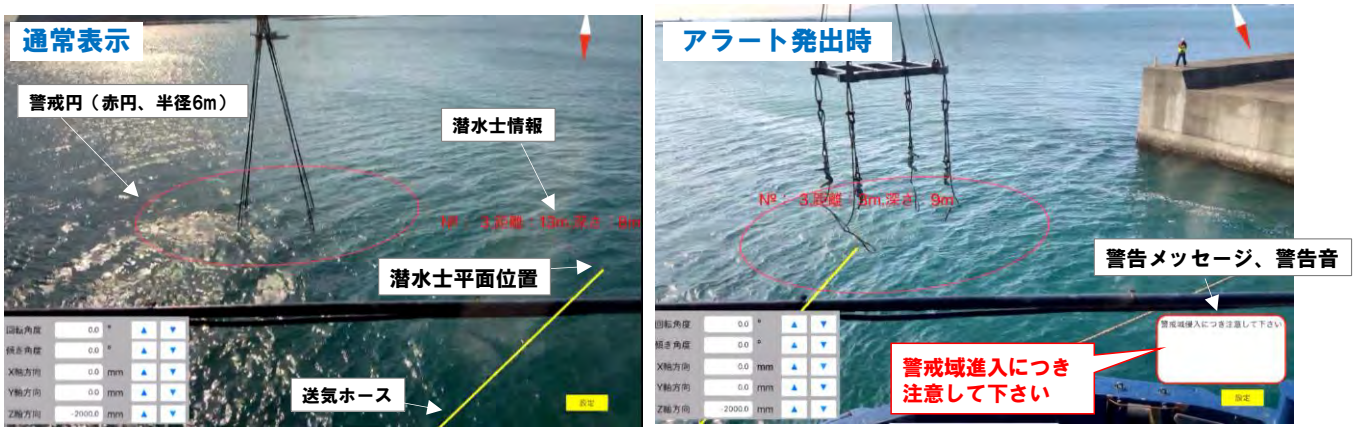


図-6　作業中表示画面（通常時，アラート発出時）



図-7　起重機船オペレータ閲覧状況



図-8　現場作業者閲覧状況

置情報を取得できない場合があるが，その際に AR 表示が異なる部分に表示されてしまうため，併せて音声通話による位置確認も従来と同様に必要であると感じた．また，GNSS の測位不良や水中ポジショニングシステムの測位不良時に，エラーメッセージを表示するようにしていたが，表示時間が非常に短く，どの対象物のデータの受信不良によるものか把握が困難であったため改善が必要である．

５．まとめ

今回は，不可視部分である海中での潜水作業へ AR 安全可視化システムを適用して作業状況の見える化や関係者間の円滑な情報共有についての効果を確認した．その結果，従来の音声のみであった通信手段から，起重機船オペレータや送気員が水中の状況を AR を通して確認することで，安全に配慮した施工や，より円滑な意思疎通を図ることができた．今後は，不可視部分が存在するあらゆる工種への適用を目指すとともに，タブレット内蔵 GNSS の適用や，3 次元モデルの AR 表示など拡張機能について現場適用を交えて引き続き検討する．

６．参考文献

1）池田直旺・花立麻衣子・樫山和男・車谷麻緒・吉永崇・前田勇司，SLAM 技術に基づく空間情報を用いた AR 可視化システムの構築とその適用性の検討，土木学会論文集 F3（土木情報学），Vol. 73，No.2，Ⅱ_48-Ⅱ_54，2017.