

# 水中構造物を対象とした ロケーションベース AR 可視化システムの構築

Development of an AR visualization system for underwater structures

石川隼也<sup>1)</sup> 中祖諒大<sup>2)</sup> 大原幸大<sup>3)</sup> 琴浦毅<sup>4)</sup> 櫻山和男<sup>5)</sup>

Shunya Ishikawa and Ryodai Nakaso and Kodai Ohara and Tsuyoshi Kotoura and Kazuo Kashiyama

<sup>1)</sup>中央大学 理工学部 学生 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail: a21.mng8@g.chuo-u.ac.jp)

<sup>2)</sup>工修 中央大学 理工学研究科 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail: a19.pj7j@g.chuo-u.ac.jp)

<sup>3)</sup>五洋建設株式会社 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1, E-mail: Koudai.Oohara@mail.penta-ocean.co.jp)

<sup>4)</sup>工博 五洋建設株式会社 (〒329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1, E-mail: tsuyoshi.kotoura@mail.penta-ocean.co.jp)

<sup>5)</sup>工博 中央大学 理工学研究科 教授 (〒112-8551 東京都文京区春日 1-13-27, E-mail: kaz.90d@g.chuo-u.ac.jp)

This paper presents an AR visualization system for underwater structures using GNSS (Global Navigation Satellite System) data. In order to achieve a natural visualization, a real-time captured water surface image is used as the virtual water surface of the opening model. Vertical position correction is performed using The Application Programming Interface (API) communication is also employed to improve the accuracy of superposition of vertical direction. The present system is applied to an actual underwater structure, and its usefulness was examined.

**Key Words :** GNSS, Location-based, underwater structure, Application Programming Interface

## 1. はじめに

本研究は、ロケーションベース手法を用いた AR 可視化システムを水中の構造物に適用した際の、可視化表現と実用性の向上について検討するものである。既往の研究 [1] では、開口部モデルを水中の構造物に適用した際の可視化結果の違和感の軽減の検討が行われてきた。しかし、あらかじめ用意した水面画像を開口部の仮想水面に用いていたため、天候や時間帯、水面の反射等の環境の変化に柔軟に対応できず、違和感を感じてしまうという課題があった。

本論文では、リアルタイムに取得した水面映像を開口部の仮想水面に用いることで、周囲の水面環境に依存しないシステムの構築を行った。また、実際の水中構造物への適用を想定し、実用性向上を目的として、Application Programming Interface(以降、API)通信を用いて鉛直方向の位置補正を行うシステムを構築した。本システムを実際の水中構造物に適用し、その有用性について報告する。

## 2. AR 可視化システム

本システムのフローチャートを図-1 に示す。

### (1) 開発環境

本研究では、統合開発環境はゲーム開発プラットフォームである Unity2020.3.24f1 を使用する。AR 可視化システムの開発キットとして、iOS に対応する ARKit4.0.13 と ARFoundation4.2.9 を、デバイスには Apple 社の商品である iPadPro11-inch(第 4 世代)を使用した。また、位置情報の受信には、GNSS 受信機である QZNEO を 2 セット用いた。デバイス構造を図-2 に示す。後述の方

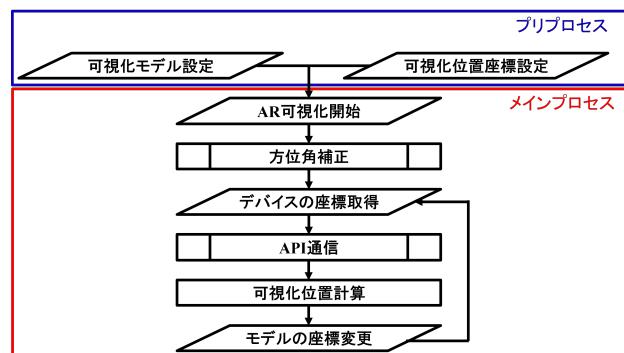


図-1 フローチャート

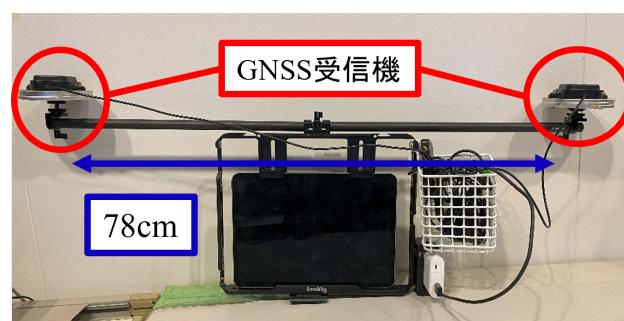


図-2 デバイス構造

位角補正を行うため、受信機を上部に離して設置し、2 つの受信機の距離は 78cm とした。

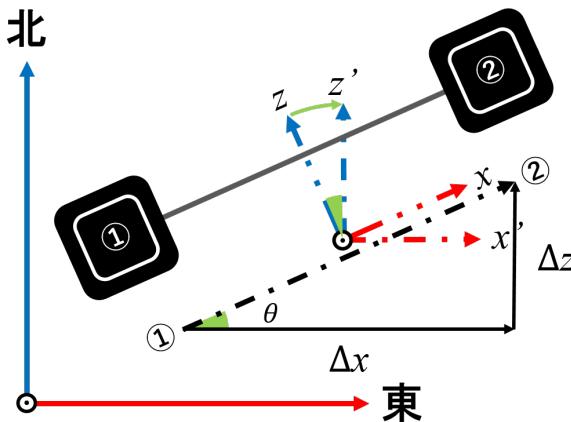


図-3 方位角補正

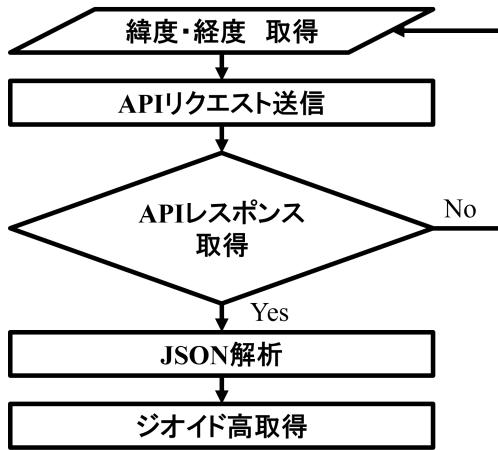


図-4 API 通信のフローチャート

## (2) プリプロセス

### a) 可視化モデル

対象の構造物を Unity 上で、可視化モデルとして設定する。

### b) 可視化位置座標

重畠位置の緯度、経度、楕円体高を入力する。本システムは、北を  $z$  軸方向、東を  $x$  軸方向、鉛直上向きを  $y$  軸方向とし、それぞれ緯度、経度、楕円体高を対応させている。仮想空間上の各 3D モデルは事前に可視化座標系での座標と向きの情報が与えられている。

## (3) メインプロセス

### a) 方位角補正

Unity ではアプリケーション起動時に可視化デバイスの正面方向を  $z$  軸に設定される。そのため、モデル-デバイス間の相対距離を計算するだけでは正確な位置に 3D モデルを重畠することができない。本研究では、図-3 に示す様にアプリケーション起動時の向きと真北との角度差を補正することで正確な重畠を行う。補正前を  $x$  軸、 $z$  軸とし、補正後を  $x'$  軸、 $z'$  軸と表記している。

また、2 台の GNSS 受信機の緯度経度情報を利用し、相対位置から得られる方位角の補正量を計算する。緯度差、経度差を用いて計算した 2 台の GNSS 受信機間の距離をそれぞれ  $\Delta x$ 、 $\Delta z$  として、方位角補正量の計算は式 (1) を用いて計算した。

$$\theta = \sin^{-1}(\Delta x / \Delta z) \quad (1)$$

実際の方位角補正の手順として、アプリケーションを起動する際に、可視化デバイスを地面と垂直にすることで鉛直上向きに  $y$  軸が設定される。そのため、ユーザーインターフェースを用いてアプリケーション起動時の状態で補正を実行することで重畠位置の補正が行われる。

### b) API 通信

GNSS 受信機の NMEA 標高データ、NMEA ジオイドデータは日本の現行の測地基準系 (JGD2011) を用いていないため、多少の誤差が生じる。そこで API 通信を用いて、国土地理院測量計算サイト [3] からジオイド高を取得し、求めた標高を後述の位置合わせに用いて計算を行うシステムを構築した。API 通信のリクエスト制限等を考慮して、ジオイド高のみ API 通信を用いて取得するものとする。API 通信は図-4 に示すフローチャートに沿って 1 秒毎に行う。JSON (JavaScript Object Notation) 解析とは、データ形式である JSON を読み取る一連の作業のことをいう。まず、GNSS 受信機で受信した緯度、経度の値を API リクエストで送信する。後に、レスポンスを取得できた場合 JSON 解析を行い、レスポンスを取得できなかった場合、次のステップの緯度、経度を待機する。

### c) 位置補正

アプリケーション起動時、平面方向に関しては、可視化座標の原点と GNSS 受信機から受信したデバイスの座標の差を計算し、可視化モデルを正しい位置に表示する。一方で、鉛直方向に関しては、前述の API 通信により求めたジオイド高と、計算により求めた標高をもとに補正を行う。

また、平面方向、鉛直方向ともに 1 秒毎に位置情報の送受信を行い、その都度再計算を行うため、デバイスが移動した際にも高精度な重畠が可能である。位置補正では地球を真円と仮定し、式 (2) を用いて計算を行う。

$$\begin{aligned} \Delta x &= 2\pi R \frac{(\lambda_1 - \lambda_2)}{360} \\ \Delta z &= 2\pi R \frac{(\phi_1 - \phi_2)}{360} \end{aligned} \quad (2)$$

ここで、 $\lambda_1$ 、 $\phi_1$  は可視化モデルに与えた緯度経度座標、 $\lambda_2$ 、 $\phi_2$  は GNSS 受信機が可視化用デバイスに与えた緯度経度座標である。

一方、回転方向の補正是 iPad のジャイロセンサで行う。

加えて、GNSS 受信機の受信精度の変動により重畠精度が低下することが予想される。そこで、手動で位置補正が行えるような UI を用いている。

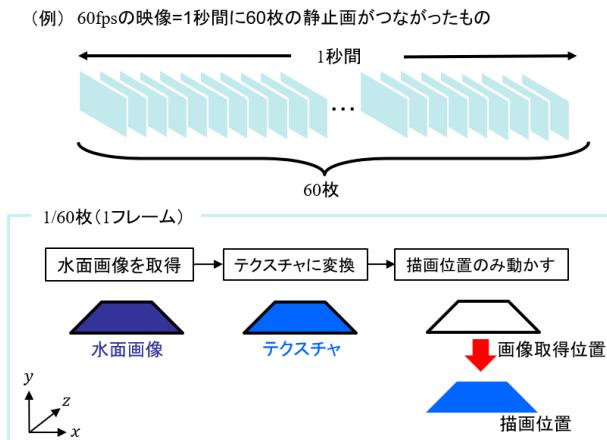


図-5 水面映像を仮想水面に反映するシステム



図-6 既往のシステムと本システムの比較の場所

#### (4) リアルタイム水面映像取得方法

本論文で提案するリアルタイム水面映像の概要を図-5に示す。本システムでは、1フレーム毎に画像を取得し、取得した画像をテクスチャに変換するプロセスをリアルタイムで実行する。この一連の処理により、取得した最新の水面映像を即座に仮想水面として反映することが可能となっている。また、本システムは、周辺環境や天候による水面の動きや高さの変化にも柔軟に対応できるという利点を持つ。水面映像をリアルタイムで反映させるにあたり、画像取得位置を水面の高さに固定し、描画位置のみを動かす手法を採用した。このアプローチにより、描画時の水面の動きを再現しつつも、仮想水面を任意に上下できるようにしている。

### 3. 適用例

#### (1) システムの精度検証と既往のシステムとの比較

##### a) システムの重畠精度の検証

本システムの精度を検証するために、千代田区公共基準点NO.136[4]のジオイド高と、APIを用いて取得したジオイド高の誤差を比較した。基準点のジオイド高は、36.817mであり、APIを用いて取得したジオイド高は、36.9mであった。丸め誤差を考慮して誤差は0.127mであり、高精度であることを定量的に確認した。

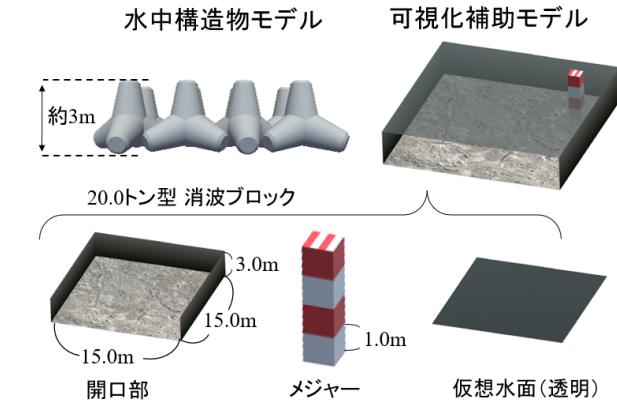


図-7 可視化モデル



図-8 システム比較



図-9 実際の建設現場への適用の場所

#### b) 既往のシステムとの比較

本システムと既往のシステムの比較を行うために、図-6に示す東京都文京区神田川[4]で可視化表現の検討を行った。可視化モデルとして、既往の研究[1]と同様、図-7に示す消波ブロックと可視化補助モデルを用いた。

#### c) 可視化結果

既往のシステムの可視化結果と本システムの可視化結果を図-8に示す。本システムを用いることで、光の反射、水面の揺らぎ等によって可視化結果の違和感が生じず、既往のシステムと比較した際、本システムの有用性を確認した。

#### (2) 実際の水中構造物への適用

##### a) 可視化位置と可視化モデル

本システムの有用性を検討するために、図-9に示す東京都海老取川[5]で適用を行った。観測者的位置か

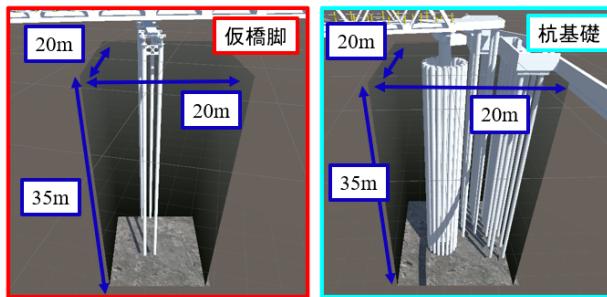


図-10 可視化モデル

ら対象である仮橋脚と橋脚の杭基礎を2つ可視化した。Unityで設定する可視化モデルを図-10に示す、仮橋脚と橋脚の杭基礎を用いた。開口部については、底面が一辺20mの正方形、深さは35mで、構造物の全長が開口部に入るように入力してある。仮橋脚に用いた開口部はスケール、位置を変更可能にしている。また、杭基礎に関して、可視化位置から離れており開口部内部が覗き込めないことを想定し、開口部の手前の面を上下できるシステムを採用した。

### b) 新たなUIの導入

新たなUIとして、手動位置補正のベクトル方向の目安となる矢印を導入した。デバイスの向いている方向と実際の北方向のなす角を計算し、矢印が常に北方向を指すように回転するシステムである。Unity内で仮想のオブジェクトをz軸方向無限遠方に設置し、方位角補正を行った後、デバイスを始点、仮想のオブジェクトを終点としたベクトルとデバイスの向いている方向ベクトルとのなす角を計算している。仮想のオブジェクトをz軸方向無限遠方に設置することで、デバイスが移動した際にもデバイスを始点、仮想のオブジェクトを終点としたベクトルをz軸に近似できる。

### c) 重畠結果

仮橋脚の可視化結果を図-11に示す。本システムを適用し、可視化結果の違和感の軽減が行えており、本システムの有用性を確認した。

橋脚基礎の可視化結果を図-12に示す。遠方の可視化は開口部内部を覗き込めないため、開口部の手前の側面を下げることで構造物を視認できることを確認した。

## 4. おわりに

本論文では、新たに構築したロケーションベースAR可視化システムを実際の水中構造物に適用し、以下の結論を得た。

- API通信を用いたシステムの重畠精度の検証を行い、高精度に重畠が可能であることを定量的に確認した。
- 既往のシステムと比較して、本システムを用いて重畠を行うことで、可視化結果の違和感の軽減が行えていることを確認した。
- 実際の水中構造物に適用した際、開口部が覗き込める場合、可視化結果の違和感が軽減され、本シ



図-11 可視化結果(仮橋脚)

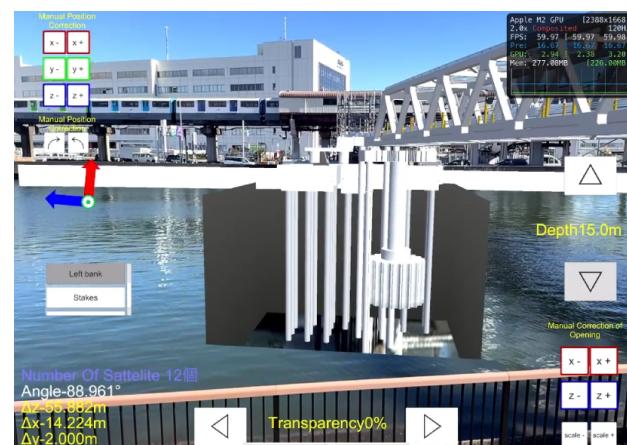


図-12 可視化結果(杭基礎)

システムの有用性を確認した。

- 実際の水中構造物に適用した際、開口部が覗き込めない場合、開口部の手前の面を下げることで構造物を視認できることを確認した。

今後は、新たな環境下で本システムの汎用性の検討を行っていく予定である。

## 参考文献

- [1] 足立陽紀、樋山和男、水中構造物AR可視化システムの構築、第51回土木学会関東支部技術研究発表会、2023
- [2] 鈴木雅大、大川博史、中祖諒大、樋山和男：小型GNSS受信機を用いた水域環境におけるAR可視化システムの構築、土木学会論文集、Vol.79、No.22、22-22013、2023
- [3] 地理院測量計算サイト <https://vldb.gsi.go.jp>
- [4] 基準点成果等閲覧サービス <https://sokuseikagis1.gsi.go.jp/>
- [5] 国土地理院地図（2025年1月6日入手）