

水環境流れ問題のための マーカーレス AR システムの 構築と適用性の検討

花立 麻衣子¹・菅田 大輔²・檜山 和男³
宮地 英生⁴・前田 勇司⁵・西畑 剛⁶

¹学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市環境学専攻 (〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: hanadate@civil.chuo-u.ac.jp

²学生会員 中央大学大学院 理工学研究科 都市環境学専攻 (〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: sugeta@civil.chuo-u.ac.jp

³正会員 中央大学教授 理工学部都市環境学科 (〒 112-8551 東京都文京区春日 1-13-27)
E-mail: kaz@civil.chuo-u.ac.jp

⁴非会員 東京都市大学教授 メディア情報学部 (〒 224-8551 神奈川県横浜市都筑区牛久保西 3-3-1)
E-mail: miyachi@tcu.ac.jp

⁵正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒 329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Yuuji.Maeda@mail.penta-ocean.co.jp

⁶正会員 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒 329-2746 栃木県那須塩原市四区町 1534-1)
E-mail: Takeshi.Nishihata@mail.penta-ocean.co.jp

本論文は、水環境流れ問題のための AR (Augmented Reality) 可視化システムの構築を行うとともに、その適用性について検討を行ったものである。本システムは、対象環境の風景をマーカー画像とし、その内部の特徴点に基づき、カメラの位置・姿勢を推定するマーカーレス AR 技術を用いている。河川および海岸における水環境流れ問題を例に、マーカー画像の設定方法について検討を行うとともに、本システムの妥当性について検討を行った。その結果、安定的かつ正確な重畳を行うためには、マーカー画像としては非定常的に変化する水面の部分は含めずに、構造物周辺のみを用いることが重要であることが明らかとなった。

Key Words: *markerless augmented reality, visualization, water environmental flow simulation*

1. はじめに

2011年の太平洋沖地震津波や、近年頻発するゲリラ豪雨による洪水など、わが国では水害による被害が相次いでおり、国民の防災意識を高めることが重要な対策の一つであると言える。そのため、災害のためのシミュレーションが広く行われていると共に、計算結果をより直観的に認識するための可視化の重要性が認識されている^{1),2)}。その中でも、近年注目されている可視化技術の一つに AR (Augmented Reality) 技術がある。AR 技術とは、現実世界から得られる視覚情報に CG (Computer Graphics) を重ね合わせることで現実を拡張する技術である。近年、カメラ機能が搭載されたタブレット端末やスマートフォンの普及に伴い様々な AR コンテンツが開発され、AR 技術がより身近な存在となっている。土木・建築の分野でも、景観及び各種防災・環境シミュレーションや施工補助といった目的で積極的に導入され始めている^{3),4),5),6),7)}。AR 技術において重要となる位置合わせ手法としては、GPS やセンサーなどを用いる

ロケーションベース AR とマーカー画像や対象の風景画像を用いるビジョンベース AR に大別される。

著者らはこれまで、ビジョンベース AR の中でも風景画像中の自然特徴点をトラッキングするマーカーレス AR に着目し、大気環境流れのための AR 可視化システムの構築を行ってきた⁷⁾。このシステムは対象環境の風景をマーカー画像とし、その内部の特徴点に基づき、カメラの位置・姿勢を推定するため、景観を損ねることなく構造物周りの大気環境シミュレーションの AR 可視化を行うことが可能である。

本論文は、著者らの既往の大気環境流れのためのマーカーレス AR 可視化システム⁷⁾を基礎として、河川や海岸における水環境流れ問題のためのマーカーレス AR 可視化システムを構築し、その適用性について検討したものである。大気環境流れと水環境流れの大きな違いは、風はマーカー画像内部の特徴点として認識されないが、水は認識される点である。そのため、マーカー画像内部の特徴点は天候や日照、水面変動などの流れの状態により非定常的に大きく変化する。本論文では、

マーカー画像の設定について着目し、適用性の検討を行った。検証例題として、比較的構造物が近景に存在する河川の水面流速ベクトルの可視化及び、河川に比べて構造物が遠景に存在することが多く、また前面に広大な水面を持つ海の水面流速ベクトルの可視化の二種類を取り上げた。

2. 開発環境

本システムは、Metaio SDK⁸⁾が提供する平面画像上の自然特徴点をトラッキングするマーカーレス AR 技術を用いて構築を行った。Metaio SDK に基づくマーカーレス AR 技術は、比較的特徴点の検出速度が速く、様々なマーカー対し柔軟に反応を示すライブラリとして知られている⁹⁾。

本システムの構築に際して、Windows 環境のもと、プログラミング言語は C++ を用いて記述している。また、CG モデルの作成・描画には OpenGL¹⁰⁾ の機能を使用している。なお、AR 可視化の際に使用した端末は Microsoft 社のタブレット型ノート PC (Surface Pro 3) を使用し、登録する風景画像の撮影は、端末に搭載されている 500 万画素のウェブカメラを使用した。

3. マーカーレス 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。本システムは、前処理パートと AR 可視化パートに分かれている。以下では、フローチャート中の各工程について述べる。

(1) 数値解析

対象領域に対し、基盤地図情報¹¹⁾・GIS を用いて解析境界およびメッシュを生成し、水環境流れ問題のための数値解析を行う。本論文では、支配方程式として断面平均流速と水位を未知量とする浅水長波方程式を用い、分散化手法としては任意形状への適用性に優れた有限要素法を用いた¹²⁾。

(2) 可視化データ作成

次に、現実空間上に AR 可視化する仮想モデルを作成する。本論文では、数値解析によって得られた流速ベクトルモデルと後述するマスク処理に必要な構造物モデルの可視化データ(図-2 参照)を作成し、OpenGL の機能を用いてこれらを描画する。

a) 流速ベクトルモデル

数値解析により得られた各節点上での物理量を用いて流れ場の可視化モデルを作成する。本システムは様々な水環境流れシミュレーションの可視化に適用可能とするため、流速ベクトル、流線、等値面の可視化表現が可能であるが、本論文では図-2 に示すように水面の流

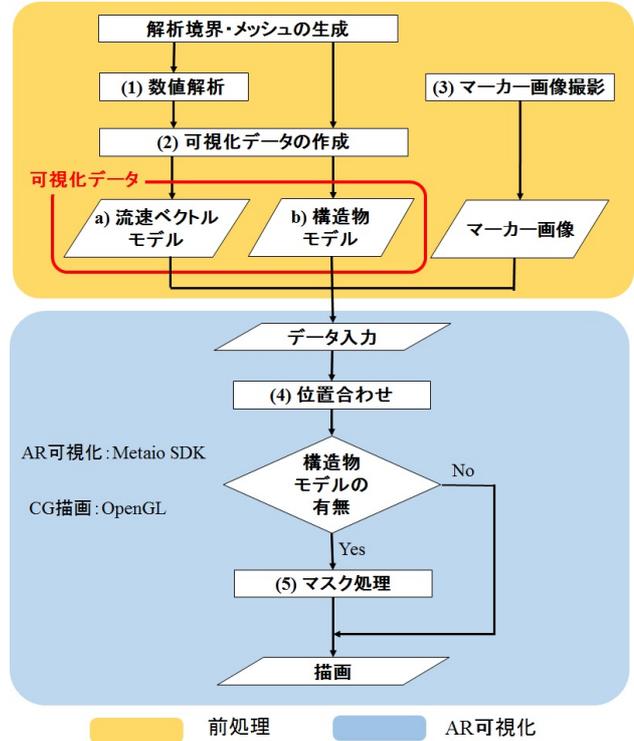


図-1 本システムのフローチャート

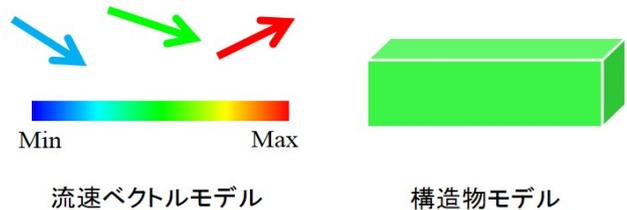


図-2 可視化データ

速ベクトルを矢印で表現した。なお、流速ベクトルの長さは一定とし、その大きさをカラーバーが示すような表示(流速が大きいほど赤色、小さいほど青色表示)とした。

流速ベクトルを描画するための点群データの構成は $(x, y, z, r, g, b, u, v, s1)$ となっており、 (x, y, z) は解析に用いた計算メッシュの節点座標値に対応する。 (r, g, b) は流速ベクトルを表示する RGB カラーモデル値であり、0~1.0 までの値を取る。 (u, v) は、解析結果である x 方向、 y 方向の各節点における流速を示す。また最後の $(s1)$ はベクトルの向きを表現する回転量情報である。これらの点群データを入力し、OpenGL 機能で図-2 に示すような流速ベクトルを描画している。



図-3 マーカー画像の例

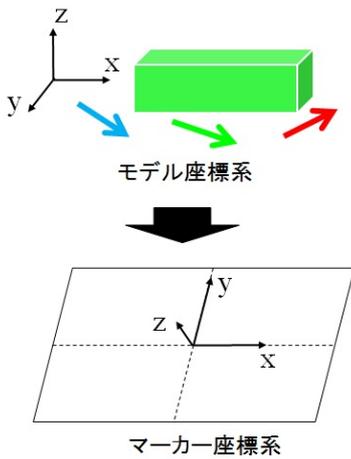


図-4 位置合わせ

b) 構造物モデル

また、解析領域内に構造物が存在する場合には、構造物モデルを作成する。これは、AR 可視化パートにおいて後述するマスク処理工程や位置合わせ結果の確認において活用される。

(3) マーカー画像撮影

マーカーレス AR 可視化では、可視化対象領域に対する画像認識の基準となる風景画像(図-3 参照)を登録する必要がある。実際には、AR 可視化を行う直前に AR 可視化を行いたい位置から撮影した風景画像をマーカー画像とする。この際、撮影時のカメラの視線方向を記録しておく。これは次項の位置合わせ工程で必要となる。

(4) 位置合わせ

ここでは、マーカー画像と作成した流れ場や構造物の CG モデルの幾何学的整合を図るための位置合わせを行う。著者らの既往のシステム⁷⁾では、CG モデルの境界線を現実世界の境界線に一致するよう、目視で CG モデルを移動させて重畳していたため、位置合わせの精度が低かった。そこで、本論文では可視化データの座標とマーカー画像上の座標とが一致するように、図-4

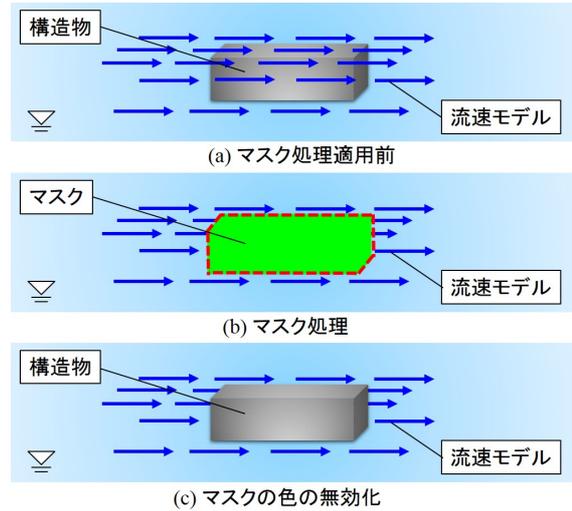


図-5 マスク処理の流れ

に示すように CG モデルの座標系をマーカー画像の座標系に変換する。位置合わせ処理に必要な具体的な位置情報は、実スケールにおける任意の2点間距離、任意の点におけるモデル座標、風景画像撮影時のカメラの視線方向の3つである。具体的には、まず実スケールにおける2点間の距離を基に、マーカー座標系のスケールに一致させるため、各軸方向の拡大・縮小変換を行う。そして、風景画像上の任意の点と、その点に対応する CG モデルの点が一一致するように各軸方向への移動変換を行う。最後に、CG モデルは平面直交座標系で作成されているため、風景画像撮影時に記録したカメラの視線方向に一致するよう各軸方向の回転変換を行う。

(5) マスク処理

ここまでのフロー工程により描画を行うことで、カメラ画像上に流速モデルを重ね合わせることが可能となる。しかし、AR 可視化範囲内に構造物が含まれる場合、図-5(a)に示すように、本来構造物の背後に隠れて見えない流速ベクトルが表示されてしまう問題が発生する。そこで、図-5(b)に示すように、あらかじめ作成した3Dの構造物モデルを2Dのマスクとして現実空間の構造物上に重ね合わせる。そして、図-5(c)に示すように、マスクの色を無効化することで、現実空間のカメラ画像を表示し、この問題に対処している。

4. 適用性の検証

本システムの水環境流れ問題における適用性の検証を行うため、河川及び海岸における水環境流れ問題を検証例題として取り上げた。

著者らの既往研究で取り上げた構造物周りの大気環境シミュレーションの AR 可視化⁷⁾では、大気は無色透

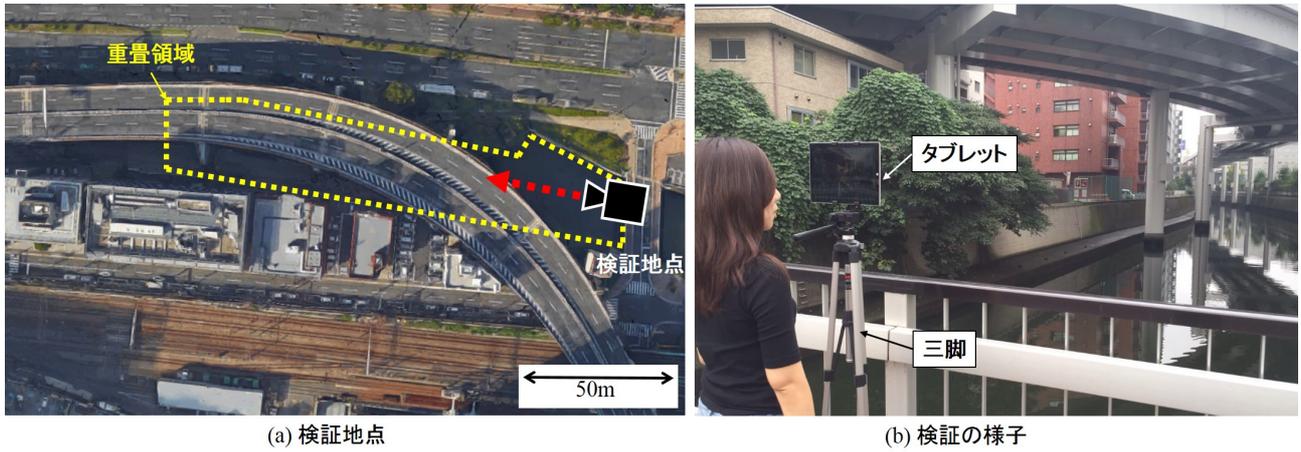


図-6 河川での検証例題

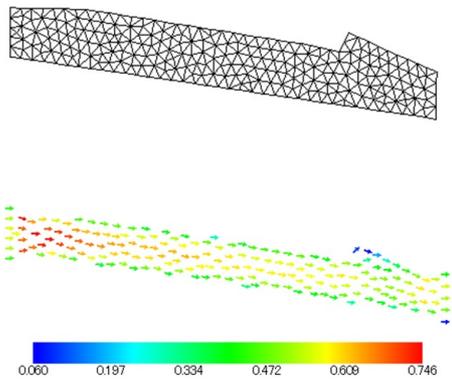


図-7 重畳領域のメッシュと計算結果



図-8 マーカー画像

明で見えないためマーカー画像は着目する構造物とその周辺となる。一方、本論文で対象とする水環境シミュレーションのAR可視化では、構造物に加えて水面が対象空間の画像に加わるため、マーカー画像は水の流れや光の反射により時々刻々と変化しやすく重畳が不安定になることが考えられる。そのため、本研究では安定的なAR可視化を水環境流れ問題において実現することを目的として、マーカー画像の設定方法について検討した。

(1) 河川での検証

a) 検証環境

一つ目は、豪雨により氾濫が懸念される都市河川の流れの可視化を例として、神田川を取り上げAR可視化を行った。本検証例題の検証地点を図-6(a)に示す。図より、対象地域は周辺に首都高速道路の他、多数のビ

ル群が立ち並ぶ都市河川である。図-6(b)に検証を行っている様子を示す。検証は、河川の水面及び周辺の構造物を同時に見渡すことのできる橋の上から上流方向(図-6(a)赤矢印方向)に向けてタブレットを三脚に固定して行った。なお、検証に先立ち、重畳する流速ベクトルを得るための数値解析を実施した。図-7に数値解析に用いた有限要素メッシュ(節点総数256, 要素総数423)と計算結果を可視化した結果を示す。また、図-8にマーカー画像として登録した風景画像を示す。このマーカー画像データを用いて、現実空間と仮想空間の位置合わせを実施した。

b) モデルの重畳

重畳する際、手振れによるCGモデルの重畳の不安定性を防ぐため、デバイスを三脚に取り付け、マーカー画像撮影位置に固定させた状態でモデルの重畳を行った。図-9に、図-8のマーカー画像を用いてAR可視化を行った結果を示す。また、AR可視化を行う際は、図-10に

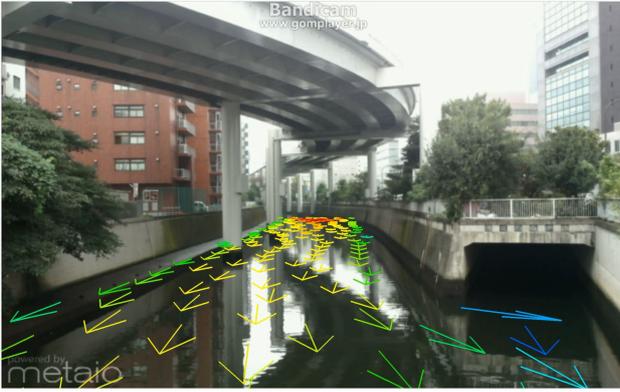


図-9 可視化結果

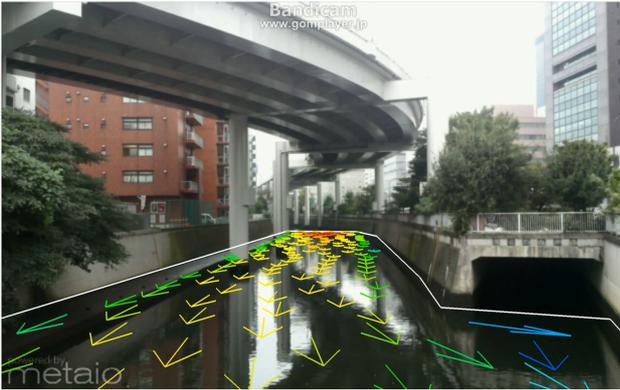


図-10 可視化結果

示すように CG モデルの領域境界線を白線で描画することで、CG モデルの境界線と現実空間の河川境界線の一致度から重畳の精度を確認することが可能である。CG モデルの重畳の安定状態を観察した結果、図のように水面が鏡のように静止している時は CG モデルはほぼ静止状態で、安定的に精度よく重畳されることが確認できた。しかし、図からわかるように、河川の水面には周辺構造物の影が映っており、風で水面がなびいたり、日照状態がわずかに変化するだけで登録したマーカー画像との差異が生じやすく、そのような場合、重畳する CG モデルの映像に不規則な振動が発生することが確認された。

そこで、図-11 に示すように、画像状態が変化しやすい水面部分を切り取り、構造物の領域のみのマーカー画像を登録し、再び可視化を行った。その結果、水面が変化しても、水面を含めたマーカー画像(図-8)に比べ CG の揺れが小さくなり、より安定した重畳が可能となった。このマーカー画像の変更による差異を提示するために、境界線を描画し、上流側の境界線の位置変化を比較した画像を図-12 に示す。水面を含めたマーカー画像(図-8)による重畳結果(図-12(a))に比べ、構造物部分のみのマーカー画像(図-11)による重畳結果(図-12(b))の方が CG の振動の振幅が小さくなって

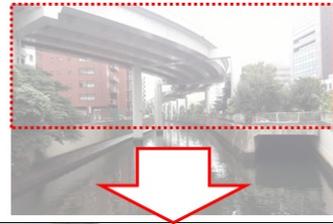
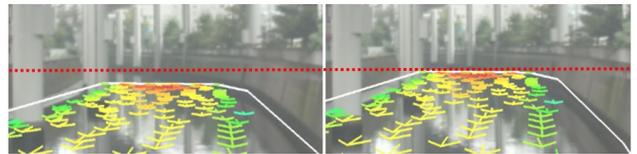
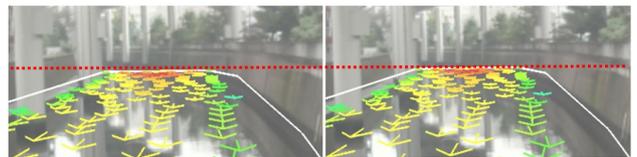


図-11 構造物周辺のみのマーカー画像



(a) 図8のマーカー画像使用



(b) 図11のマーカー画像使用

図-12 登録画像の違いによる CG の揺れ

いることが分かる。以上より、画像状態の変化が表れやすい水面部分を切り取った画像をマーカー画像として採用することで、より安定的な重畳が可能であることを確認した。

(2) 海岸での検証

a) 検証環境

検証の二つ目は、前面に広い海が広がるお台場海浜公園から見た東京湾の潮流の可視化を対象とした。本検証例題の検証地点を図-13(a)に示す。なお、検証に先立ち、重畳する流速ベクトルを得るための数値解析を実施した。図-14に解析に用いた有限要素メッシュ(節点総数 1027, 要素総数 1845)と計算結果を可視化した結果を示す。図-13(b)に示すように、栈橋の上に設置した三脚にデバイスを固定し、レインボーブリッジの橋脚方向(図-13(a)赤矢印方向)に視線を向け風景画像を撮影した。この場所ではカメラの前に人が往来するこ

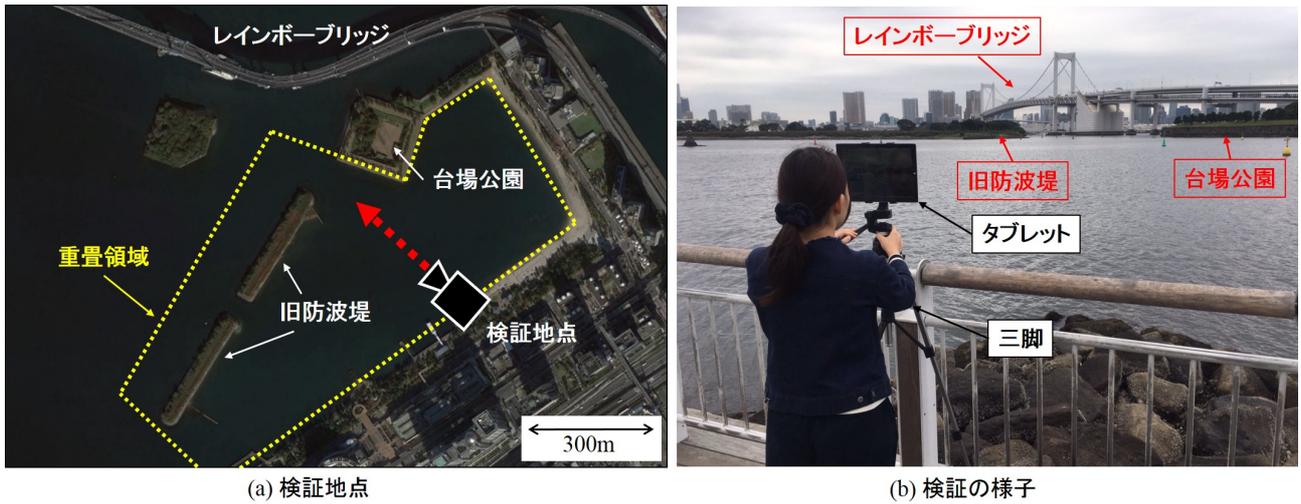


図-13 海岸での検証例題

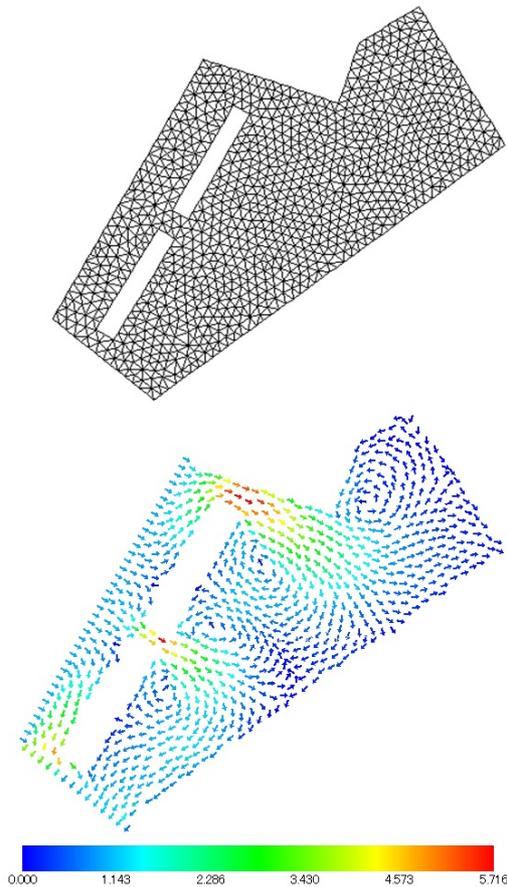


図-14 重畳領域のメッシュと計算結果

となく、水面と構造物の影響のみに着目した検討を行うことができる。また、図-15(a)にマーカー画像として登録した風景画像を示す。本検証例は都市河川での検

証例に比べ、構造物が遠方に存在しており、画像中に見えるレインボーブリッジは、海岸から約800m~1000m離れた場所に位置している。また、カメラビューに占める水面や空の割合も都市河川での検証例に比べ非常に大きい特徴がある。このマーカー画像データを用いて、現実空間と仮想空間の位置合わせを実施した。

b) モデルの重畳

都市河川での検証と同様に、手振れによるCGモデルの重畳の不安定性を回避するため、デバイスを三脚に取り付け、マーカー画像撮影位置に固定させた状態でAR可視化を行った。図-15(a)に示すマーカー画像を用いてAR可視化を行った結果を図-15(b)に示す。図より、CGモデルの重畳位置が大きくずれた結果となった。この原因としては、マーカー画像全体に占める構造物の割合は小さく、大半が非定常的に変化する水面部分であるためと考えられる。そこで、画像中の水面に加えて空の部分を取り取りとった図-16(a)に示す新たなマーカー画像を作成した。図-16(b)に図-16(a)のマーカー画像を用いた場合の結果を示す。河川での例題に比べてCGの揺れは大きいですが、図-15(b)に比べ安定性が大幅に向上した。

本検証例題のように、マーカー画像中の構造物が遠方に存在する場合は、河川のように比較的近傍にある構造物に比べ、特徴点が検出されにくいですが、画像中の特徴点が存在すると考えられる構造物部分のみをマーカー画像とすることで検出精度が向上した。

なお、本検証例題では図-13からわかるように、重畳領域中に旧防波堤、重畳領域周辺に台場公園が存在する。従ってCGモデルの重畳に際しては、図-17に



(a) マーカー画像

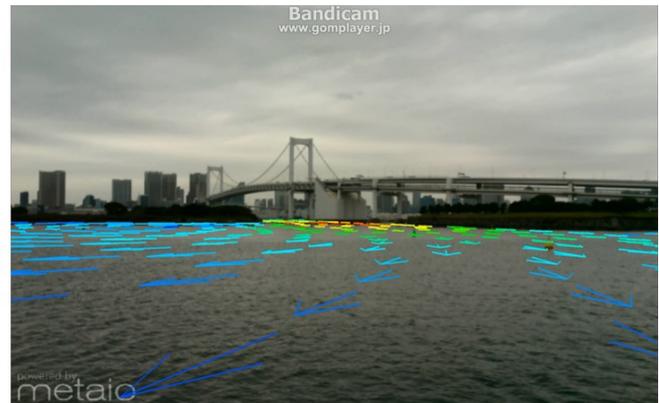


(b) 可視化結果

図-15 マーカー画像と可視化結果



(a) マーカー画像



(b) 可視化結果

図-16 マーカー画像と可視化結果

示すように、これらの簡易的な構造物モデルを作成し、**図-18**に示す手順でマスク処理を施すことで旧防波堤と流速ベクトルモデルの位置関係の整合を図った。また、本例題のように流速ベクトルの重畳領域が広大である場合、カメラビュー内で領域境界線が現実空間に一致しているかを確認することは一般に困難である。そのような場合、マスク処理工程で作成した構造物モデルを利用して位置合わせの確認を行うことが可能である。具体的には、**図-18(c)**に示すように構造物モデルに対して無効化されているマスクの色を、**図-18(b)**に示すように一時的に表示することにより、実際の映像から得られる構造物の外形ラインとその構造物モデル位置を比較することで、現実空間とCGモデルとの位置合わせ精度の確認することが可能である。

5. おわりに

本論文は、既往の大气環境流れのためのAR可視化システムを基に河川や海岸における水環境の流れ問題

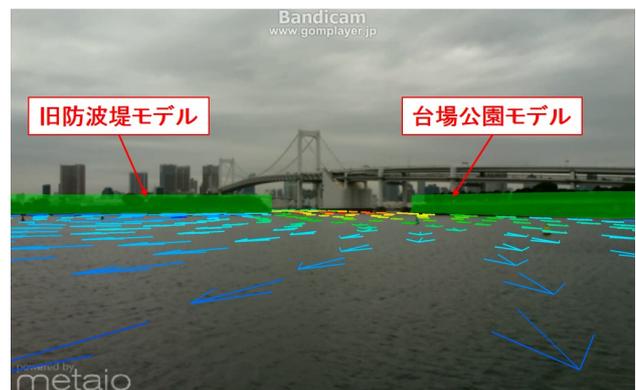
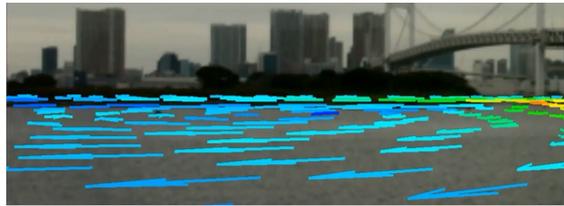
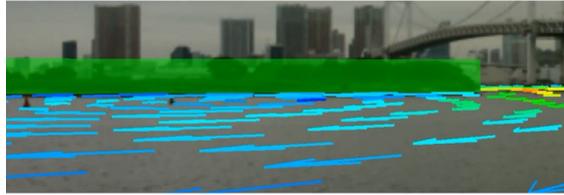


図-17 構造物モデルの描画

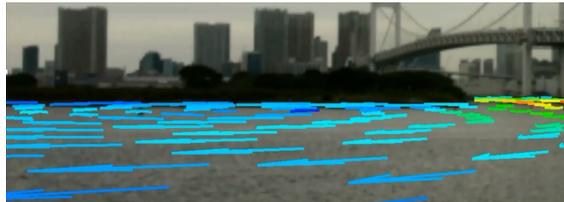
のためのマーカーレスAR可視化システムを構築した。また、河川および海岸における水環境流れ問題を例に、マーカー画像の設定方法について検討を行うとともに、本システムの妥当性について検討を行った。その結果、以下の結論を得た。



(a) マスク処理適用前



(b) マスク処理



(c) マスクの色の無効化

図-18 マスク処理

- 可視化対象領域の水面に変動が見られる場合、水面部分を切り取った画像を登録することでCGの安定性が向上することを確認した。
- 遠方構造物をマーカー画像に利用する場合は、水面及び空等を切り取り、構造物部分のみを登録することで特徴点が認識されやすくなることを確認した。

今後は、ユーザーの移動に伴うCGの追随性に関する検証、日照状態の変化等に着目した検証を行う予定である。

参考文献

- 1) 川辺赳史, 櫻山和男, 宮地英生, 岩塚雄大, 古牧大樹, 西畑剛: 可視化技術を用いた津波疑似体験システムの構築, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.70, No.2, pp.235-242, 2014.
- 2) 広兼道幸, 松岡順平, 辻原涼, 戸松純一, 徳井亮輔: 拡張現実感を用いた集中豪雨疑似体験システムの開発と評価, 土木学会論文集 F6(安全問題), Vol.69, No.2, pp.141-146, 2013.
- 3) 特集 VR/MR/AR, JACIC 情報 103(日本建設情報センター), Vol.26, No.3, pp.5-21, 2011.
- 4) 羽鳥文雄, 矢吹信喜, 小森江未, 福田知弘: 複数マーカーを用いた拡張現実感の施工現場への応用, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.69, No.2, pp.24-33, 2013.
- 5) N. Yabuki: "Development and Applications of the Outdoor Augmented Reality with an Accurate Registration Technique in Construction Projects", Proceedings of the 6th ACEC and the 6th AEEC, 2013.
- 6) 安室喜弘, 鶴野康平: 地物と水面の位置関係を考慮した浸水予測状況の AR 映像生成手法, 土木学会論文集 F3 (土木情報学), Vol.70, No.2, pp.222-226, 2014.
- 7) 菅田大輔, 櫻山和男, 宮地英生, 前田勇司: 環境流れ問題のためのマーカーレス AR 可視化システムの構築と適用性の検討, 土木学会論文集 F3(土木情報学), Vol.71, No.2, pp.196-203, 2016.
- 8) D. Kurz and S. Benhimane, "Gravity-aware handheld augmented reality," in Proc. 10th IEEE Int. Symp. Mixed Augmented Reality, pp. 111-120, 2011.
- 9) I. Marneanu, M. Ebner and T. Robler: "Evaluation of Augmented Reality Frameworks for Android Development," International Journal of Interactive Mobile Technologies (iJIM), Vol 8, Issue 4, pp37-44.
- 10) M.Woo, J.Neider and T.Davis :OpenGL プログラミングガイド第 2 版- The Official Guide to Learning OpenGL, Version 1.1, 星雲社, 1997.
- 11) 国土地理院: 基盤地図情報サイト, <http://www.gsi.go.jp/kiban/>, (入手 2016.10.11)
- 12) 利根川大介, 櫻山和男: 安定化有限要素法による津波遡上および流体力の解析手法の構築, 応用力学論文集, vol.12, pp.127-134, 2009.

(2016. 10. 27 受付)

DEVELOPMENT AND APPLICABILITY OF A VISUALIZATION SYSTEM BASED ON MARKERLESS AUGMENTED REALITY FOR WATER ENVIRONMENTAL FLOW PROBLEMS

Maiko HANADATE, Daisuke SUGETA, Kazuo KASHIYAMA, Hideo MIYACHI
Yuuji MAEDA and Takeshi NISHIHATA

This paper presents a visualization system based on Augmented Reality technology for water environmental flow problem. The marker-less method using a landscape image is employed for the positioning method for the virtual and real images. The present system is applied to the several water flow simulation for river and sea. In order to investigate the setting method for the marker image, the present system is applied to several water environmental problems such as river and coastal flows. From the application examples, it is important to exclude the water surface region from the marker image to improve the stability and accuracy of the superposition of CG image.