

マルチデータによる3次元地形モデル作成と歴史的景観の復元

岡野 貴之・小松崎 弘道・津口 雅彦・井筒 秀実・林 大貴（株式会社パスコ）
野口 孝俊・長谷川 清治・内川 直洋（国土交通省 関東地方整備局 東京湾口航路事務所）

1. はじめに

近年、計測技術や解析手法の発達により、従来の2次元地図が3次元地図へと変化してきている。今では、多くの場面で3次元地図が活躍するようになった。

本報告では、東京湾にある第二海堡（図1）において、空中・地上・海中から様々な手法により取得したデータを用いて、継続して実施される土木工事に活用可能で、かつ歴史的に貴重な文化遺産の記録保存の基礎資料となる3次元地形モデルを作成した事例を紹介する。第二海堡は、明治時代に首都防衛のために建設された三箇所の人工島の一つである。完工時の資料は殆ど残されておらず、関東大震災で大きな被害を受け、さらに第二次世界大戦後に一部を破壊されている。

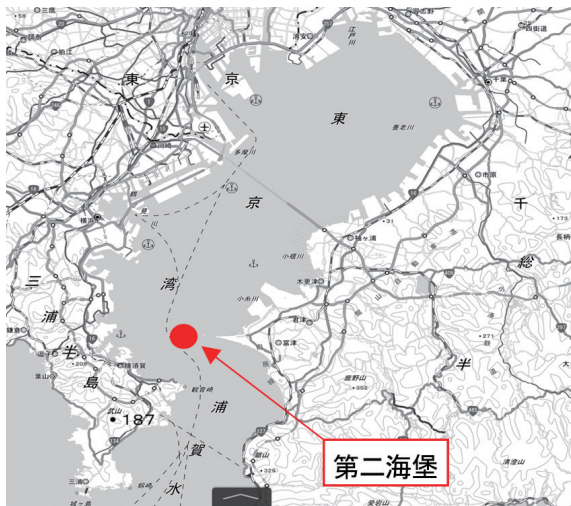


図1 位置図（出典：地理院地図）

2. 作業手法と成果

本報告での作業手順を図2に示す。また、使用した機材や作業成果を図3～20に示す。

2.1 既設基準点の確認

第二海堡内にある既設基準点を確認し標定点を設置するために、既設基準点間について点

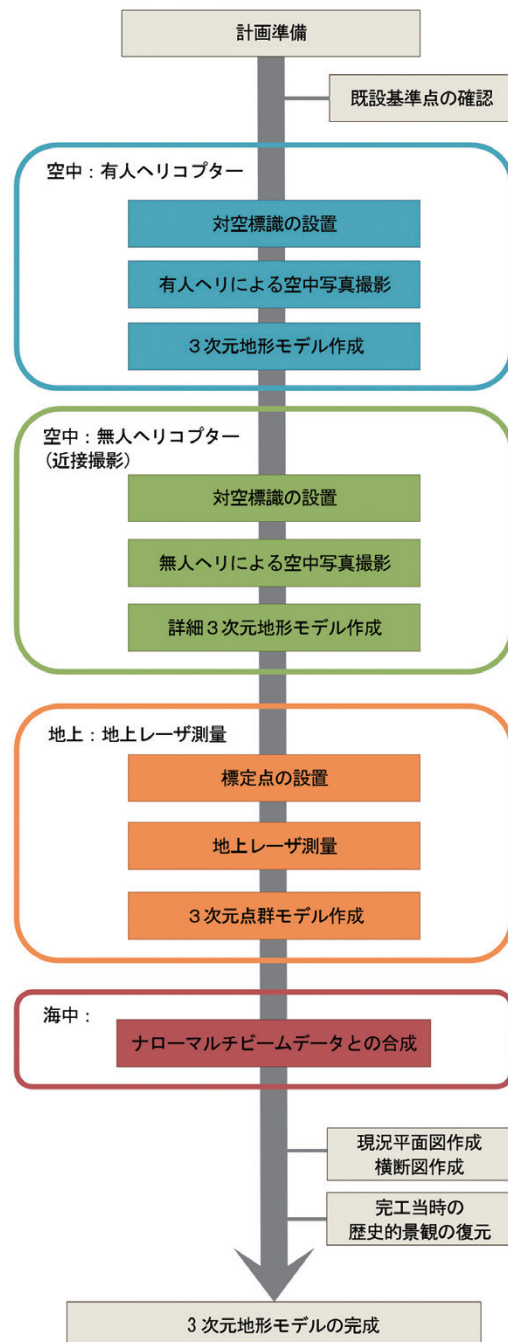


図2 作業手順

検測量を実施した。その結果、既設基準点間の変動が無いことが確認できたため、本業務での基準点として使用した。

2.2 有人ヘリコプターによる空中写真撮影

従来手法（地形測量、潜水土スタッフ測量）と比較することを目的に、有人ヘリコプターから、斜め撮影を実施した。撮影機材は、弊社で開発した携帯型斜め写真撮影システム（PALS）を使用した（図3）。カメラは Nikon 社製 D7000（レンズ焦点距離 50mm）を使用した。これらの機材を用いて、高度約 350m から約 2,500 枚の撮影を実施した（図4）。位置精度を確保するために、対空標識を 10 箇所設置した。



図3 携帯型斜め撮影システム（PALS）と撮影風景



図4 有人ヘリコプター撮影画像

2.3 無人ヘリコプターによる空中写真撮影

特に残存する文化遺産の重要な施設や崩壊している北側防波堤などを詳細に把握することを目的に、無人ヘリコプターでの撮影を実施した。未撮部分を少なくするために、安全を考慮した

うえで可能な限り対象物に接近して撮影を行った。撮影機材は、DJI 社製無人ヘリコプターを使用した（図5）。カメラは SONY 社製 NEX-7（レンズ焦点距離 22mm）を使用した。撮影は高度約 10m ～ 50m から約 1,700 枚の撮影を実施した（図6）。重要な施設を含む人工島内での撮影であったため、重要な施設に配慮した飛行計画や保安員の配置など、安全管理に対する十分な協議を行い対処した。



図5 無人ヘリコプター撮影機材



図6 無人ヘリコプター撮影画像

2.4 3次元地形モデル作成

撮影した画像データに、SfM (Structure from Motion) と MVS (Multi-view Stereo) の手法を適用し、カメラ位置を復元して3次元形状を表す高密な点群を生成した。生成した高密な点群から TIN データ作成（図8）、テクスチャ画像の貼り付けを行い、3次元地形モデルを作成した（図9）。

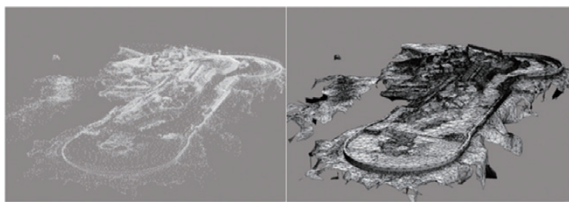


図 8 3次元地形モデルの点群表示と TIN 表示



図 9 3次元地形モデルとオルソ画像

2.5 地上レーザ測量

空中写真撮影では情報を取得することが困難な床板下や精密な3次元地形モデルが必要な箇所については、地上レーザ測量を実施した。計測機材は、ライカジオシステムズ社製 ScanStationP20 を使用して、約 150 スキャンの計測を実施した(図 10)。点群計測と同時に取得した写真画像を合成し、色付き点群データとして、3次元点群モデルを作成した。標定点を

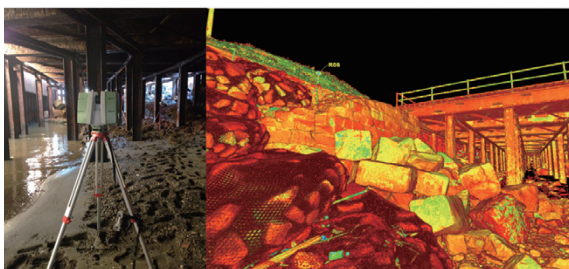


図 10 計測機材と計測した点群データ



図 11 3次元点群モデル

設置して、計測した点群データを統合した3次元点群モデルに合成した(図 11)。

2.6 ナローマルチビームデータとの合成

既存のナローマルチビームによる深浅測量データを使用して、本業務で作成した3次元地形モデルデータと合成を行った(図 12, 図 13)。

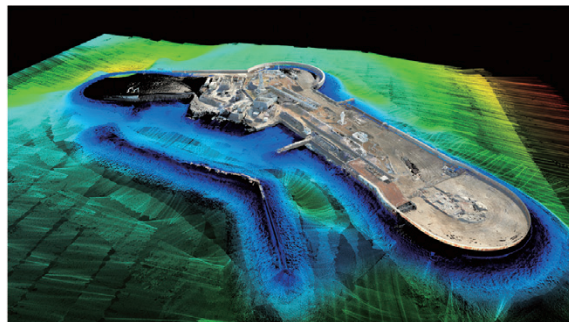


図 12 ナローマルチビームデータとの合成

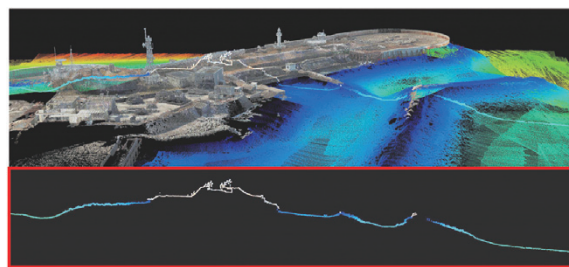


図 13 合成データの横断表示

2.7 現況平面図作成

作成した3次元地形モデルと3次元点群データをもとに現況平面図を作成した(図 14)。地形地物は、断面形状でエッジを判読しながら数値図化機で取得した(図 15)。また、第二海堡

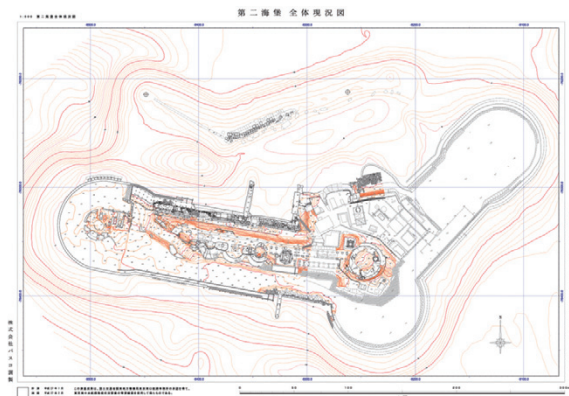


図 14 現況平面図

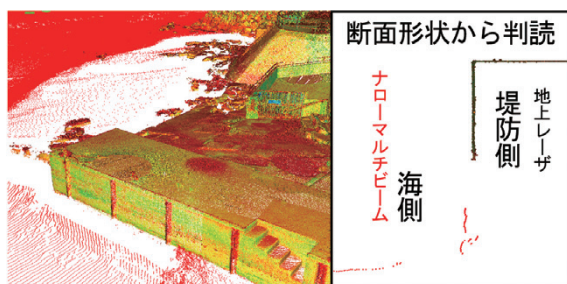


図 15 3次元点群モデルからの判読

外周の洗堀状況の把握、防波堤の残存状況を把握できる横断図を作成した。

2.8 完工当時の歴史的景観の復元

完工当時の資料が殆ど残されていないため、完工当時の景観を復元するために、関係資料の収集を行い（図 16）、当時の構造推定を行った。残存する文化遺産を精密に取得した3次元地形

データを用いて、明治期、昭和期の状況を推測して3次元地形モデルを作成した。明治期は完成後の状況の復元であり、昭和期は、関東大震災後の状況の復元である（図 17～図 20）。



図 18 昭和期関東大震災後3次元モデル

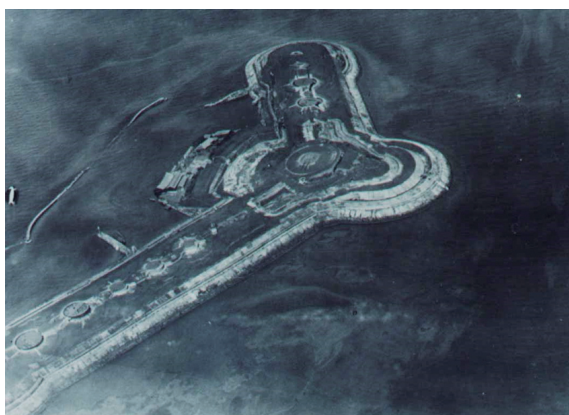
図 16 関東大震災直後の第二海堡
(防衛研究所蔵 1923.9.9 日本海軍撮影)

図 19 明治期完工時3次元モデル（内部構造表示）



図 17 明治期完工時3次元モデル

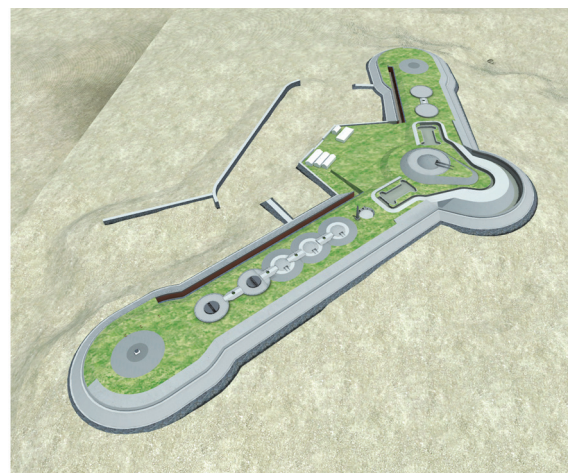


図 20 明治期完工時3次元モデル（海底表示）

3. おわりに

本報告の事例では、現地の様々な状況に応じて、最適な計測手法を選択して、各計測手法の利点を活かした、高品質な3次元地形モデルデータの作成を実現した。

有人ヘリコプターによる全体形状の把握を基盤とし、無人ヘリコプターによる近接撮影を行うことで、重要な施設等の詳細な形状を把握することができた。また、地上レーザ測量を実施することで、各施設や地下構造部等についても、極めて精密な3次元形状を記録することができた。点検測量を行った結果、作成した3次元地形モデルの精度は、地図情報レベル 500 相当の精度を有していることが確認できた。

今回は、統合したデータを活用して、現況平面図や横断図を作成した。また、各種資料や現地確認により、完工当時の形状を推定して、明治期、昭和期の3次元地形モデルを作成することで、現存する構造物と比較可能な資料を得ることができた。

海底地形については、既存のナローマルチビームデータを合成して、地上から海底まで一貫した形状を把握することが可能となった。地上での計測を干潮時に行うことで、地上地形と海底地形の接合を実現した。

地上、地下の3次元地形モデルを作成し、海底の地形まで統合することにより、従来の手法では把握が困難な地下空間の把握や、地上と海底の関係を明らかにした。3次元地形モデルは、土量計算などに使用することが可能であり、CIMによる3次元設計への活用など、施設や構造物を計画する際の基礎資料として活用できる。

本報告で採用した SfM と MVS の技術について、点検測量を行った結果、高い精度を有していることが確認できた。しかし、安定した精度を確保するためには、さらなる検証と技術の進歩が必須であり、今後の課題として取り組ん

でいく必要がある。

4. 謝辞

本報告にあたっては、国土交通省関東地方整備局東京湾口航路事務所より、成果の使用許可をいただきました。また、業務実施においても、多大な協力と助言をいただきました。御礼申し上げます。

■執筆者

岡野 貴之(おかの たかゆき)

株式会社パスコ

中央事業部 技術センター

(共著者)

小松崎 弘道(こまつざき ひろみち)

株式会社パスコ

津口 雅彦(つぐち まさひこ)

株式会社パスコ

井筒 秀実(いづつ ひでみ)

株式会社パスコ

林 大貴(はやし だいき)

株式会社パスコ

野口 孝俊(のぐち たかし)

国土交通省 関東地方整備局 東京湾口航路事務所

長谷川 清治(はせがわ せいじ)

国土交通省 関東地方整備局 東京湾口航路事務所

内川 直洋(うちかわ なおひろ)

国土交通省 関東地方整備局 東京湾口航路事務所