

# GNSSが受信できない環境下におけるSLAMによる詳細地形把握

～ハンディ型LiDAR SLAM計測による新たな可能性～

キーワード SLAM, DX, 三次元点群

九州国土保全コンサルタント技術部 機部 優也・岡野 和行・佐藤 厚慈  
 福井 清義・嘉手苅 清・新田 寛野

## はじめに

衛星通信が届かない森林内やトンネル内において、従来のGNSS（地球上の任意の場所で高精度な位置情報を提供するための衛星測位システムの総称）を利用する計測手法では、三次元データの取得が困難という課題があります。近年では、GNSSを必要としないSLAM技術を用いた計測手法に期待が高まっています。SLAMとは「Simultaneous Localization and Mapping」の略で、自己位置の推定と地図作成とを同時に行う技術です。SLAMを搭載したハンディ型の計測機（以下SLAM）を持って、歩行しながら計測を行うことで上空からの取得が困難な森林内やトンネル内の三次元点群データを取得することができます。本稿では、

SLAMで計測したデータを活用し、同時期に計測した航空レーザ計測データ等と統合して広範囲のデータを作成し、施設点検や景観検討などに活用した事例を紹介します。

SLAM諸元 (Hovermap-HF)	
処理	点群から三次元モデル作成
入力センサー	レーザースキャナ/LiDAR
重量	約2kg
レーザ照射レンジ	約100m
レーザ照射	300,000点/1秒

図1 SLAM計測機

## 橋梁下のデータ取得の事例

まず紹介するのは橋梁下の特殊堤を対象に、三次元データの取得を試みた事例です。橋梁から水平方向に数十メートル離れ、橋梁下の特殊堤を囲むように上空が開けた8か所に標定板を設置し、GNSS観測装置で標定板上の三次元座標を取得しました。その後SLAMを用いて標定板を含む広域の高密度三次元点群データを取得しました。取得したデータはSLAM計測機器本体に搭載されたGoProカメラで取得した画像の色情報を点群データに与えた色付き点群データを作成することができます。作成したデータから標定板の位置を認識し、標定板上の座標値をもとにSLAMで取得したデータに座標付けを行い、航空レーザ測深データと結合しました。このデータから生成した赤色立体地図を確認したところ、SLAMと航空レーザ測深データとの間に

段差やズレはなく、特殊堤の形状を正しく表現されたデータが作成できていることが確認できました（図2）。従来は実測にて航空レーザ測深データを補間しますが、面的に特殊堤を取得することができず、またSLAM計測に比べて人員と時間が必要となることから費用対効果の面からも大きな利点であると考えます。

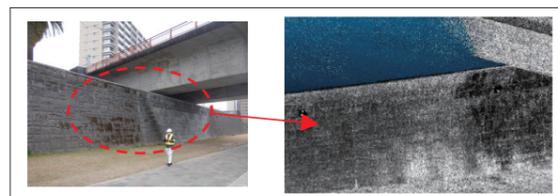


図2 現地の様子（左）と取得したデータ（右）

## 森林でのUAVレーザ成果との重ね合わせの事例

次に紹介するのは、施設整備に伴う景観検討箇所を対象に、UAV（無人航空機）で取得した樹冠付近のデータとSLAMで取得した森林内のデータとを結合し、山の上層から計測対象とした森林内を流れる溪流内の構造物・礫などの堆積状況をシームレスに可視化した事例です。地表上空が開けている場所には標定板を設置し、下層植生が繁茂し地表に設置が困難な場所には球体のオブジェクト（スフィア

ボール）を、周辺の草本類よりも高い地上から1.5mほどの高さに設置しました。標定板などの座標は、携帯電話のネットワーク回線を通じて座標取得できる測量機器（Drogger）を使用して計測しました。その後、SLAMによる計測を行い、Droggerで取得した標定板及びスフィアボールの座標を用いて位置合わせを行いました。Droggerの位置精度を検証するため、過年度に実施したUAV測量成果と重ね合わせたと

ころ、Droggerで取得したデータに垂直方向の誤差があることが判明しました。精度確保の対応策として、UAV測量成果を用いて、SLAMデータの道路縁やガードレールなどの同一形状箇所をTrendPoint（福井コンピュータ（株）製点群処理ソフト）により認識し、「形状位置合わせ」手法を用いて位置を補正しました（図4）。補正された断面図を確認したところ、UAVデータとSLAMデータの位置精度は約0.1m程度であり、景観検討に用いるために十分な精度を持



図3 UAVとSLAMデータの重ね合わせ断面図

つシームレスなデータ統合処理が行われていることが確認できました（図3）。

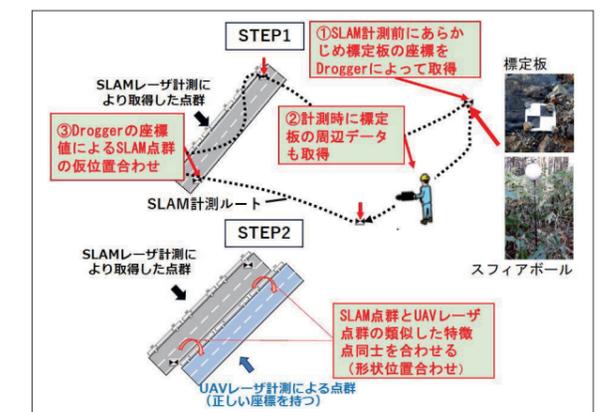


図4 形状位置合わせのイメージ

## トンネル内部のデータ取得の事例

次に紹介するのは航空レーザ測深による河川定期縦横断面測量業務の一環として、全長2,639メートルの分水路のうち、航空レーザ測深で点群データを取得できない地下トンネル（1,609メートル）水路区間を対象に、SLAMによる三次元データ取得を試みた事例です。従来のトンネル作業では、目視による観察や計測に多くの人員と時間が必要となつて、危険も伴っていました。しかしSLAM技術を活用することで、人員、時間の削減可能となり、同時に作業に伴う危険を回避することができました。SLAMは、長距離や長時間の計測を行うと累積誤差が生じやすいという性質があります。そのため、あらかじめ実施した精度・性能試験における経路長および計測時間を把握しておく必要があります。使用したSLAM計測機メーカーが行った性能試験では、一度に高精度のデータを取得できる計測時間は約20分と示されていました。したがって、トンネル内を一度に計測できる時間ごとに対応した区間に区切って計測を行いました。トンネルの出入り口付近と区間の分かれ目付近には標定板の代わりに反射材付きの三角コーンを設置しました。トンネル内部では三角コーンの位置や形状を参考に区画ごとの接合処理を行い、トンネルの両端付近を含む一連のデータを作成しました。このデータと航空レーザ測深データとの位置合わせは、GNSS観測装置で取得したトンネル入り口付近の三角コーン設置箇所の座標を用いました。長大トンネル内で

の短時間のSLAM計測によりトンネル内の形状を把握することは可能ですが、欠損や段差、亀裂などの詳細なデータ取得はできませんでした。今後長大トンネルを計測する際には、別途光源を用意し、スフィアボールなど白色で周囲の光を反射しやすい特徴点を設置するなどさらなる工夫が必要であることがわかりました。



図5 取得したトンネル内部のデータ

## おわりに

SLAMの長所は、人が立ち入れる場所であれば、速やかに高精度なデータを取得できる点です。GNSSが受信できない環境下においても、計測時に工夫を加えることで、こ

の長所を生かすことができました。今後もさまざまな環境下で計測を実施し、検証を行うことで、SLAMの活用性をさらに高めていきたいと考えています。