

## SfM による 3D データを用いた除染廃棄物仮置場キャッピングシートの破損危険度評価

九州大学工学部 学生会員 木村 恭之 九州大学大学院 正会員 中山 裕文  
九州大学大学院 フェロー会員 島岡 隆行 リモート・センシング技術センター 非会員 古田 竜一  
(株)イッコウ 非会員 日浦 一朗

## 1. はじめに

福島県および周辺地域における除染作業は原発事故後 6 年が経過した現在も続いている。大量に発生した除染廃棄物は、仮置場においてフレコンバッグに収納され、通気性防水性シート等によってキャッピングされる。しかし、フレコンバッグ充填物の分解に伴う容積減少による変形、崩れ、キャッピング上面に生成された雨水溜まりの引張力により、シート接合部の剥がれ、シートの裂け等の破損が報告され、仮置場周辺の汚染が懸念されている。

本研究では、迅速かつ安全な仮置場のモニタリングを行うため、ドローンによる画像撮影および写真測量技術である Structure from Motion(SfM)技術を用いた仮置場の維持管理手法の開発を試みた。具体的には、実際の状況を模擬した仮置場を設置し、充填物の分解に伴う容積減少や雨水溜まりによるキャッピングの歪を実測した。また、ドローンによって撮影した画像をもとに SfM によりキャッピングの 3D モデルを作成し、雨水溜まり生成によるキャッピングの変位量を入力値として有限要素法(FEM)に基づくキャッピングの歪の推計を行い、実測値と比較した。

## 2. 内容

本研究のフローを図 1 に示す。仮置場のキャッピングの歪、応力を推定し、破損する危険性の高い部位を特定するため、ドローンによる仮置場の画像撮影、SfM による 3D モデル作成を行い点群データの座標から得られるキャッピングの変位に基づき、FEM によって歪および引張応力を計算した。

## 2.1 模擬仮置き場の設置と歪の計測

図 1 に示すように 5×5 個のフレコンバッグを 2 段積みし、その上からキャッピングを施工して模擬仮置き場を設置した。図の緑と茶色のフレコンバッグにはそれぞれ草木類、土壌を充填した。キャッピングシート裏面 13ヶ所に歪ゲージを貼りつけ、歪を実測した。歪ゲージをキャッピングシートに固定する際、接着剤および保護テープを用いるため、それが原因となりログで測定される歪の値が本来の値よりも小さくなる。そこで補正係数により歪を補正することとした。

## 2.2. SfM による模擬仮置き場の 3D モデル作成とキャッピングの変形状況の把握

仮置場の 25m 上空からドローンを用いて撮

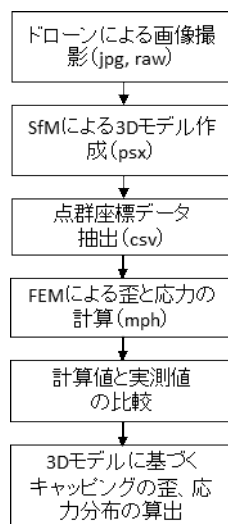


図 1 研究フロー図

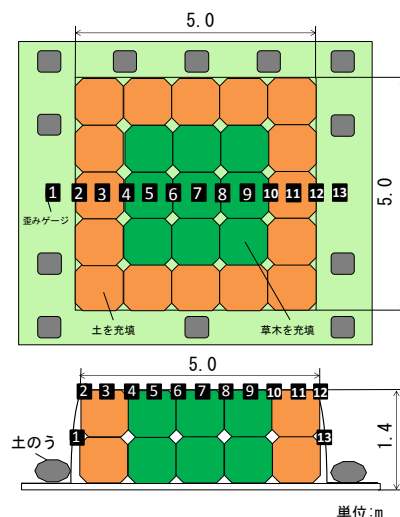


図 2 模擬仮置き場概略図

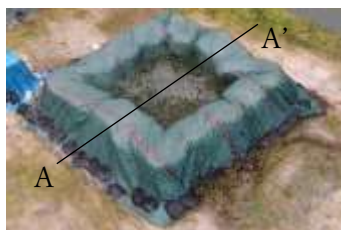


図 3 設置 175 日後の模擬仮置き場 3D モデル

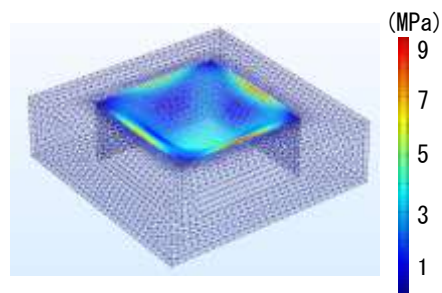


図 4 FEM モデル及び引張応力分布

キーワード ドローン 除染廃棄物仮置場 キャッピングシート 3D モデル 有限要素法

住所 福岡市東区筥松 4 丁目 22-14-B213 号 電話番号 090-5065-3937

影した。画像間のオーバーラップ率が70%となるよう撮影し、282枚の画像を得た。SfM解析ソフトにより2D画像から3Dモデルを作成した。図3に175日後の模擬仮置場の3Dモデルを示す。仮置場の中央部分はフレコンに充填された草本類の分解に伴い沈下し、そこに雨水溜りが生成した。中央付近の最大沈下量は77.3cmであった。

### 2.3. FEMによるキャッピングシートの歪の推定と実測値との比較

図4に示すコンピュータ上で作成した仮置場の疑似モデルを用い、FEMにより歪と引張応力の値を算出した。解析は2ケース行った。まず、図4のように模擬仮置場を模した疑似的なモデルを作製した。そこに、3Dモデルから算出した水深分布を不等分布荷重として上部に载荷することで歪の分布を算出した。次に、3Dモデルの点群データを変位データとしてモデルに入力することで歪の分布を算出した。図3に示したA-A'断面における結果を、実測値と合わせて図5～7に示す。歪は、キャッピング上面部が雨水溜りにより沈下しはじめる法肩付近において大きな値をとった。実測値(図5)と計算値(図6,図7)は概ね一致していた。実測値に関して、ゲージ番号10で歪の値が増加しなかった原因としてはシートが端部で完全に固定されていなかったため、雨水溜りが増大することによりシートがずれて歪が小さくなったことが考えられる。また、法肩部で最大約20%の歪が発生し、このシートにかかる引張応力を計算すると9.2MPaとなり、この値は日本遮水工協会が定める仮置場に施工される通気性防水シートの引張強さの自主基準値の5.3倍であった。

### 2.4. 檜葉町仮置場への適用

以上の解析結果を踏まえ、実現場での適用を試みた。福島県檜葉町の仮置場を対象とし、本手法によるキャッピングの歪と引張応力の推定を行った。図8に対象とした仮置場の3Dモデル、図10に入力値としての変位分布、図11に算出された引張応力分布、図12に歪の分布を示す。結果として、全体的に引張応力は0.5MPa以下、歪は1.5%以下と、共に小さな値で、日本遮水工協会の設定する自主基準以下の数値となっており、この山においては雨水溜りによる破損の危険性は現状では考えられないと言える。

### 3. まとめ

本研究で得られた結論を以下にまとめる。

- ・ 雨水溜りによる沈下部の法肩部分において局所的に大きな歪が発生していた。
- ・ ドローンで撮影した仮置場の画像をもとに SfM により作成した 3D モデルは、FEM による歪、応力計算の入力データとして利用することが可能であり、計算結果は実測値と比較して一定の妥当性を有することが確認された。

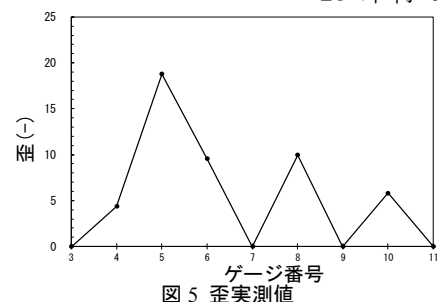


図5 歪実測値

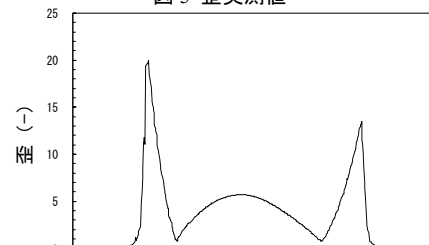


図6 雨水溜りに起因する不等分布荷重入力による算出値

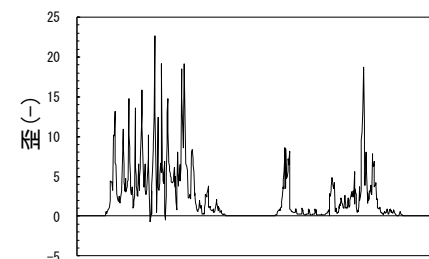


図7 3Dモデルから得られた変位入力による算出値

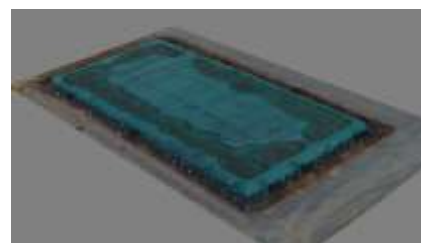


図8 仮置場 3Dモデル①



図9 仮置場 3Dモデル②

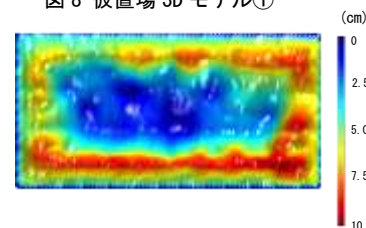


図10 3Dモデルから得られた変位分布

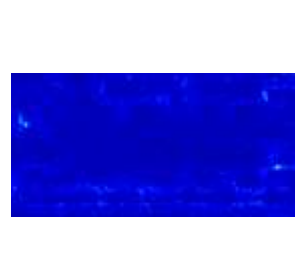


図11 FEM解析による応力分布

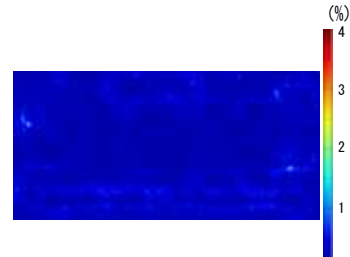


図12 FEM解析による歪分布