

ドローンを用いた除染廃棄物等仮置場における検査、維持管理手法の開発

Maintenance of Capping Sheets at Temporary Storage Sites Using a Drone

宮原 哲也*、中山 裕文**、島岡 隆行**、古田 竜一***、八村 智明****、松本 謙二****、
永岡 修一****、小城 祐樹****

Tetsuya MIYAHARA*, Hirofumi NAKAYAMA**, Takayuki SHIMAOKA**, Ryoichi FURUTA***,
Tomoaki HACHIMURA****, Kenji MATSUMOTO****, Shuichi NAGAOKA**** and Yuuki KOJOU***

【要約】

本研究は、除染廃棄物等仮置場に用いられるキャッピングシートの破損部や破損する恐れのある部位を、ドローンを用いたモニタリングにより検出する手法について検討したものである。現地で発生しているキャッピング上部の雨水溜まりを再現するために模擬仮置場を作成し、歪ゲージを用いてキャッピングシートの歪みを実測した。その結果、キャッピングシート上面縁部において歪みが大きいことが分かり、縁部における傷等の特異部が存在する箇所を中心にモニタリングを行えば、効率的に異常を発見できると考えられる。また、ドローンの撮影画像から3Dモデルを作成することによって、模擬仮置場の変形状態把握や体積推定が可能であることが分かったが、雨水溜まりの水量の推定値は、水の屈折により実際の値より小さくなるため、画像解析を行う際には補正が必要であることが分かった。

キーワード：除染廃棄物等仮置場、キャッピングシート、歪み、ドローン

1. はじめに

2011年東日本大震災に伴う福島第一原子力発電所の事故により、放射性物質の汚染が広範囲に及び、その除染作業は現在も進められている¹⁾。除染廃棄物はフレキシブルコンテナバッグに収納され、キャッピングシート等により覆蓋される。仮置場では、時間経過とともにキャッピングシートの劣化が深刻化している。仮置場では保管された草木等の有機物の分解によりフレキシブルコンテ

ナバッグが変形し、キャッピングシート上部に発生する雨水溜まりや強風によるフラッターリング現象等によりキャッピングシート接合不良等の脆弱な部分に応力が発生すると大きな破損に至るおそれがある。キャッピングシートの目視による点検²⁾は、1ヶ月に1回程度を目安に行われているが、仮置場の設置数は膨大であり、キャッピング上部の点検は、高所作業となり、作業安全上のリスクが伴うことから、迅速かつ安全に仮置場の維持管理を行う手法を検討することが必要である。よって本研究では、アンケート調査により除染廃棄物等仮置場におけるキャッピングシート破損の現状を調査し、その結果を踏まえて、雨水溜まり等により発生するキャッピングシートへの歪み計測結果より、破損の可能性が高い箇所を特定し、効率的な維持管理手法の開発に資する知見を得ることを目的として実施した。

* 一般財団法人 日本環境衛生センター 西日本支局 環境工学部

Department of Environmental Engineering, West Branch, JESC

** 九州大学大学院工学研究院環境社会部門
Department of Urban & Environmental Engineering Kyushu University

***一般財団法人 リモート・センシング技術センター 研究開発部

Department of Research and Development, Remote Sensing Technology Center of Japan

**** 一般財団法人 日本環境衛生センター 西日本支局 環境科学部

Department of Environmental Science, West Branch, JESC

2. 仮置場におけるキャッピングシート破損の現状

仮置場におけるキャッピングシートの破損状況について、14のシートメーカーや施工業者を対象にアンケート調査を行った。アンケートの実施期間は、平成26年12月24日～平成27年1月23日、アンケート回答数は14（シートメーカー：5、施工業者：9）であり、うち、3回答（シートメーカー：2、施工業者：1）は、「該当なし」の回答であった。

「該当なし」を除く11アンケート回答を以下にまとめる。

2.1 キャッピングシート破損経験の有無

キャッピングシートが破損した経験があるかどうかの質問に対して、「ある」90.9%、「ない」9.1%の回答があり、ほとんどの回答者が何らかの破損を経験していた。

2.2 キャッピングシート破損の原因

キャッピングシート破損の原因としては、「内部フレキシブルコンテナバッグ充填物の分解等に伴う減容による変形、崩れ」によるものが25.9%と最も多く、次いで「強風」によるもの22.2%、「降雨によりキャッピング上面に発生した雨水溜まりによる荷重」によるもの18.6%、「鳥の嘴によるキャッピングシートへの刺突」によるもの14.8%、「キャッピング上面の積雪による荷重」によるもの14.8%、「その他」によるもの3.7%であった。「その他」としては、「減容化とガス抜き管貫通部の突っ張り」、「施工技能不足（過溶着、溶着不足など）」、「施工手順（重ね部の逆ラップ）」、「通気性防水シート（キャッピングシート的一种）層間構造の剥離」、「フレキシブルコンテナバッグ積込み形状の不良により引張」、「凍結融解の繰り返しによるキャッピングシート表面の引張・劣化」、「紫外線劣化」の回答であった（図-1）。

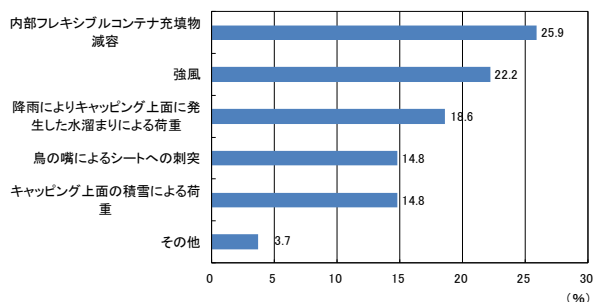


図-1 キャッピングシート破損の原因

2.3 キャッピングシートの破損状況

キャッピングシートの破損状況としては、「接合部のはがれ」32.0%が最も多く、次いで「引張りによる裂け」24.0%、「表面の傷、こすれ（磨耗）」16.0%。「外部から貫通した穴状の破損」8.0%、「内部からの突起物による穴状の破損」8.0%、「突き刺し等を原因とした裂け」4.0%、「溶解」4.0%、「その他」4.0%であった（図-2）。

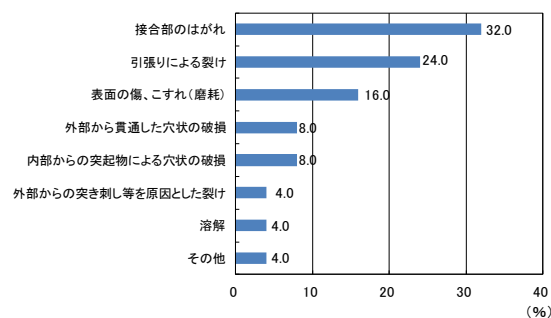


図-2 キャッピングシートの破損状況

2.4 キャッピングシートの破損部位

キャッピングシートの破損部位は、「上面部」30.0%が最も多く、次いで「上面角部」25.0%、「側面部」20.0%、「側面角部」15.0%、「その他」10.0%であった（図-3）。

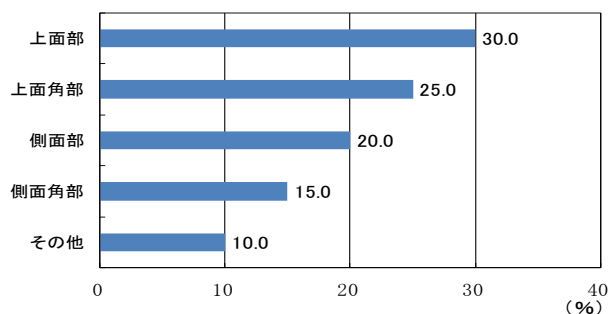


図-3 キャッピングシートの破損部位

2.5 キャッピングシートの点検項目と頻度

キャッピングシートの点検項目としては、2件の回答があり、目視によるものとドライバー等を用いた接合部の確認であった。キャッピングの点検頻度については、「1回/月程度」66.7%、「その他」33.3%であった。なお、「その他」の回答は、「頻度は決めていないが、強風、大雨、大雪後に点検を行う」、「実施していない」であった（図-4）。

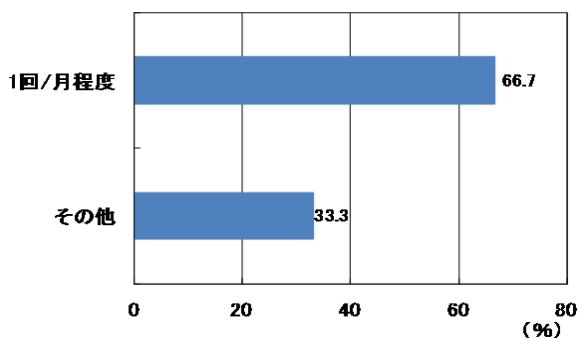


図-4 キャッピングシートの点検頻度

3. 模擬仮置場の設置と計測方法

図-5は福島県楡葉町における実際の仮置場の写真である。本研究ではキャッピングシート上に発生する雨水溜まりを再現した実験を行うために、模擬仮置場を設置することとした。



図-5 除染廃棄物等仮置場の様子

3.1 模擬仮置場の構造と歪みゲージの配置

縦 5.0m×横 5.0m×高さ 1.4m の模擬仮置場を作成した。土を充填したフレコンバッグ 32 袋、草木を充

填したフレコンバッグ 18 袋を図-6 のように設置した。キャッピングシートは縦 9.0m×横 9.0m の大きさで、2.0m ごとに接合部があり、土のうで端部を固定した。歪みゲージ 12 本をキャッピングシートの裏面に設置した（図-6）。

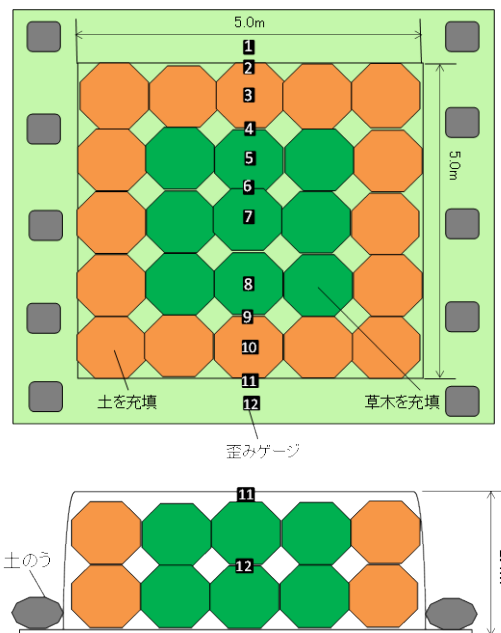


図-6 模擬仮置場

3.2 雨水溜まりによりキャッピングシートに発生する歪みの計測

模擬仮置場中央部にポンプで約 20 分間注水し、2.2m³ の雨水溜まりを再現した。水溜まりによるキャッピングシートの歪みはポンプでの注水開始と同時に計測を開始し、10 秒間隔で約 8 時間計測を行った。

3.3 ドローンによる模擬仮置場の撮影

ドローンを用いて高度約 20m から模擬仮置場を撮影した。模擬仮置場の撮影に用いたドローン（図-7）及びカメラ等の仕様は、表-1 のとおりである。撮影した画像を用いて SfM 解析により 3D モデルを作成した。SfM 解析とは対象物を様々な角度から何枚も撮影した画像から、特徴点（建物の角等の、ある画像における特徴的な点のこと）を追跡することで、パソコン上で 3 次元幾何（Structure）とカメラの撮影位置と角度変化（Motion）を同時に算出する技術のことである³⁾。

3Dモデルの作成は、解析ソフトPhotoscan を用いた。



図-7 撮影に用いたドローン

表-1 ドローン及びカメラの仕様

ドローン	製造者名	株式会社amuse oneseif
	名称	災害対応軽量仕様機
	重量	2500g
	外形寸法	990×990×350mm(プロペラを含まない)
	ローター数	8枚
操縦装置	製造者名	Graupner SI
	名称	mz-24 HOTT Transmitter
	周波数帯	2.4~2.4835GHz
	モジュール	FHSS
	出力	100mW
カメラ	型式	DMC-GX7
	撮影素子	4/3型Live MOSセンサー
	カメラ有効画素数	1600万画素
	記録画素数	4592×3448ピクセル
	レンズ	14mm

4. 実験結果と考察

4.1 雨水溜まり再現時のキャッピングシートの歪み変化

注水開始後から約8時間計測した歪みは、図-8のとおりである。キャッピングシート上面中央部に再現された雨水溜まりの中央部に位置する歪ゲージ4とキャッピングシート上部に位置し、模擬仮置場の法肩や雨水溜まりの肩部である上面縁部に位置する歪ゲージ2と10はいずれも注水終了後、時間経過とともに歪みが増加したが、キャッピングシート上面中央部に位置する歪ゲージ4より上面縁部に位置するゲージ2と10の値が大きくなっている。したがって、草木等の有機物の分解によるフレコンバックの変形により仮置場に雨水溜まりが発生した場合、キャッピングシート上面縁部の歪みが増加し、この部

位でのキャッピングシートの破損リスクが最も高くなるものと考えられる。

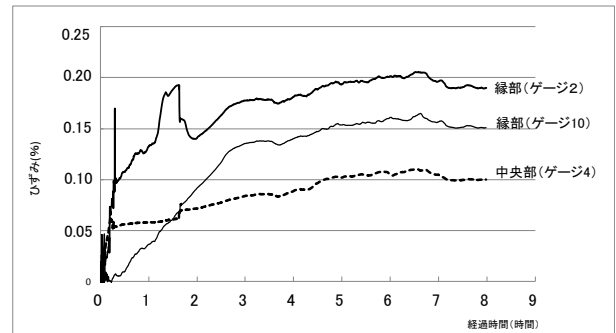


図-8 雨水溜まり再現時の歪み変化

4.2 ドローンの撮影画像による3Dモデルの模擬仮置場の体積、雨水溜り水量の推定

模擬仮置場の変形の把握及び体積と上面部に発生する雨水溜まりの水量の推定を行うため、ドローンによって撮影した画像を用い3Dモデルを作成した(図-9)。この結果、模擬仮置場の体積は、38m³と推定され、実際の体積の値(37m³)とほぼ等しかった。一方で、雨水溜まりの体積は、およそ1.3m³と推定され、実際の水量の値(2.2m³)と比べて過小となった。これは水の屈折による誤差だと考えられ、画像解析を行う際に補正を行うことが必要である(表-2)。

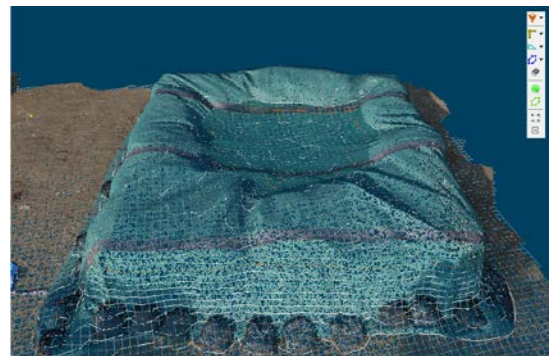


図-9 模擬仮置場の3Dモデル

表-2 模擬仮置場の体積と水量の計測結果

体積測定の方法	模擬仮置場の体積 (m ³)
現地簡易測量	37
3Dモデルによる推定	38
体積測定の方法	雨水溜まりの水量 (m ³)
タンクからの注水量	2.2
3Dモデルからの推定値	1.3

5. まとめ

以上の結果より、雨水溜まりが発生した仮置場においてキャッピングシート上面縁部の歪みは他の位置よりも大きく、この部位での破損リスクが高いといえ、キャッピングシート表面に傷等の特異部が存在すると、キャッピングシートの破損リスクは更に高まると考えられる。したがって、今後、仮置場の維持管理を行うにあたり、キャッピングシートの上面縁部における傷等の特異部が存在する箇所を重点的に監視すれば、迅速に異常を発見でき、キャッピングシートの修復等の対応が可能になると考えられる。また、ドローンの撮影画像による3Dモデルを作成することによって、模擬仮置場の変形状態の把握や体積推定が可能であるが、雨水溜まりの水量の推定値は、実際の値より小さいので、補正が必要である。

謝辞

本研究は、経済産業省商業・サービス競争力強化連携支援事業及び一般財団法人日本環境衛生センター研究奨励制度の助成を受けて実施されました。記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 環境省：除染情報サイト、
<http://josen.env.go.jp/index.html>、2017/7/1
アクセス
- 2) 国際ジオシンセティックス学会日本支部ジオ
メンブレン技術委員会編：除染廃棄物等の仮置
場遮水工マニュアル第1版
- 3) 満上育久：Structure from Motion for
Unordered Image Collections、映像情報メデ
ィア学会誌 Vol. 65、No. 4、pp. 479-482、2011

Summary

After the Fukushima Daiichi nuclear power plant accident that was initiated primarily due to the Great East Japan Earthquake in 2011, large quantities of radioactive decontamination waste were generated in the Tohoku Region, and several decontamination

works have been conducted to date. Loss of height from flexible intermediate bulk containers filled with biomass caused water puddles, which large strain arises in capping sheets at temporary storage sites. In this study, a simulation experiment was conducted at a temporary storage site to measure the stress distribution of capping sheets. It was observed that the strain of the capping sheets increased with elapsed time. Furthermore, the experiment results revealed that the strain changed significantly at the edge of the upper part of temporary storage sites wherein there were water puddles. Therefore, it is necessary to locate the damaged parts of capping sheets that experience stress concentration to determine the capping sheets' conditions.