

3. 除染工事における情報化施工とマニュアル施工比較検証

－ 除染工事への情報化施工適用可能性の検証 －

株式会社トプコンソキアポジショニングジャパン ○竹内 幸弘
 福島県西郷村放射能対策課 菅野 一
 西松建設株式会社 加田文男

1. はじめに

福島県西郷村のトプコンソキアポジショニングジャパン白河トレーニングセンタ（以下白河 TC）で、2015年3月から3か月間で除染工事が実施された。今回、白河 TC の除染工事汚染土壌撤去作業で油圧ショベルとブルドーザによる情報化施工とマニュアル施工との比較施工を実施し、除染工事における情報化施工適用の可能性を検証したので報告する。

2. 除染業務について

除染業務は放射能で汚染された汚染土壌を約5cmの厚さで撤去し、新しい材料で覆土後の放射線量を基準値以下(0.23 μ SV/h 又は 50%低減)にする工事であり、以下の手順で実施される。

1. 除染範囲の確定
2. 放射線量の事前測定
3. 放射性物質の深度確定
4. 表土の鋤取り
5. 撤去した汚染土壌袋詰め。
6. ダンプに積み込み搬出。
7. 表土鋤取り後の放射線量中間検査。
8. 鋤取した部分の覆土
9. 土壌覆土後に最終線量検査。
10. 仮置場での据付作業

除染業務は汚染された土壌を確実に撤去し、新しい資材で覆土し放射線量を基準値以下に下げる事が最も重要な作業である。今回、西郷村の除染現場状況を見ると独立行政法人家畜改良センター等の敷地が広い場所ではブルドーザを使用しているが、ほとんどの除染業務は小型の油圧ショベルを使用して作業員の監視によるマニュアル施工で作業が行われている。

そこで今回、白河 TC の除染業務は、西郷村発注の請負業者の協力を得て白河 TC で所有している油圧ショベルとブルドーザの情報化施工機器を使用し、区画を分けて情報化施工とマニュアル施工の比較の検証を実施した。

3. 施工現場、使用機材、施工体制

3.1 除染業務施工現場

福島県西郷村、白河 TC サイト約 13,000 m² (130m \times 80m)の中央の芝生エリア内に A,B,C の 3 区画を設定した。それぞれを 2 つに区切りマニュアル施工と情報化施工を実施した。(図-1) (表-1)

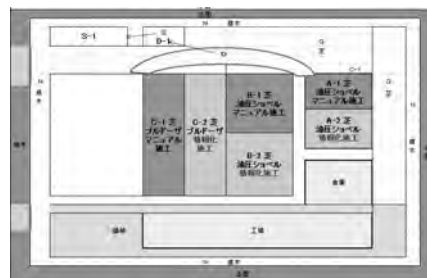


図-1 除染作業区画

表-1 除染工事区画、重機、施工方法

区画/施工日	縦 x 横(面積)	重機	施工
A-1 3/23	15m \times 35m (525 m ²)	油圧ショベル	マニュアル施工
A-2 3/24	15m \times 35m (525 m ²)	油圧ショベル	情報化施工
B-1 4/1	25m \times 30m (750 m ²)	油圧ショベル	マニュアル施工
B-2 3/25, 31	25m \times 30m (750 m ²)	油圧ショベル	情報化施工
C-1 3/31	50m \times 15m (750 m ²)	ブルドーザ	マニュアル施工
C-2 4/1	50m \times 15m (750 m ²)	ブルドーザ	情報化施工

3.2 使用機材

(1)重機

- ・コマツ PC-120 油圧ショベル
- ・コマツ D31-PX ブルドーザ

(2)情報化施工機器

- ・トプコン 3D-MG GNSS 油圧ショベル
- ・トプコン 3D-MC GNSS MC2 ブルドーザ

(3)測量機材(RTK-GNSS 測量セット)

- ・トプコン Hiper-V + Pocket-3D



図-2 使用機材、左からPC-120油圧ショベル、D31ドーザ、RTK-GNSS測量機器

3.3 除染業務体制と作業者

本除染業務の体制を(表-2)に示す。

表-2 除染業務体制

工事分担項目	施工業者
除染業務工程管理	西松建設(株)
施工担当および重機オペレータ	大国開発(株)
情報化施工機器管理及び測量	(株)トプコンソキアポジシヨニングジャパン

4. 情報化施工適用による除染業務作業内容

今回の除染業務への情報化施工適用に必要な作業内容を説明する。

4.1 現況測量と3次元設計データ作成

除染業務は、放射線量に応じ表土を5cm厚さで剥ぎ取る必要がある。情報化施工を適用するにあたりRTK-GNSS測量による現況測量を実施して情報化施工用3次元設計データを作成した。またマニュアル施工のエリアについても比較のため、情報化施工エリアと同様の現況測量を実施した。測量はRTK-GNSS (Hiper-V+Pocket-3D)を使用した。現況測量の測量密度は使用する重機(PC-120油圧ショベル、D31ブルドーザ)のバケット幅、ブレード幅と、施工前の地盤の凹凸の状況から2mメッシュ程度が必要と判断した。実際のRTK-GNSS測量は測量の効率と精度を考慮し、RTK-GNSS測量セット(Hiper-V+Pocket-3D)のGNSS測量機器を車の屋根に磁石で固定して走行しながらの連続測量(図-3)で行い、車両では測定が出来ない部分は通常のGNSS測量を併用して現況測量を実施した。車両を使用したGNSS連続測量の測量間隔は、移動距離1m毎に1回測定の設定で実施した。



図-3 車両によるGNSS連続測量機材

作成した3D設計データを(図-4)に示す。

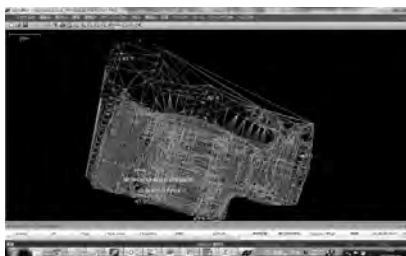


図-4 現況測量結果から作成した3D設計データ

4.2 汚染土壌剥ぎ取り作業

A, B区画を油圧ショベル、C区画をブルドーザを使用して汚染土壌剥ぎ取り作業を実施した。マニュアル施工の施工精度は油圧ショベル、ブルドーザ共にオペレータの技量に左右される。そこで、汚染土壌剥ぎ取り作業は、マニュアル施工、情報化施工共に1名の熟練オペレータで実施した。

除染業務のブルドーザ使用は、排土板の横から汚染土壌がこぼれてしまうため不向きであるとされていた。そこで10m剥ぎ取りのあと、ブレードを上げて抱えた土を作業エリアの外まで押し出すことを繰り返して汚染土壌を横にこぼすことを極力少なくして作業を行なった。



図-5 油圧ショベルとブルドーザー作業状況

5. 各エリアの施工結果

A, B, C各エリアのマニュアル施工と情報化施工の結果を以下に示す。汚染土壌剥ぎ取り作業後、RTK-GNSSで測量を実施し、施工前後の高さの比較を行った。施工後の測量の点をプロットした図を(図-6)に示す。

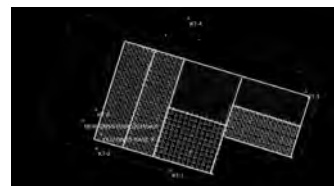


図-6 施工後の各エリアの測量点

5.1 A区画 油圧ショベル施工の結果

A区画、油圧ショベル施工の結果を(表-3)に示す。

表-3 A区画油圧ショベル施工の結果

区画/ 作業方法	A-1 マニュアル施工	A-2 情報化施工	A-2 /A-1(%)
使用重機	PC-120 油圧ショベル		
施工面積	15m×35m=525 m ²		
作業時間	2.9H	4H	138%
消費燃料	47L	35L	74%
排出土量	43袋	31袋	72%
GNSS測量から計算した施工体積と施工厚さ平均			
施工体積	37.89 m ³	28.31 m ³	75%
施工厚平均	7.2cm	5.4cm	75%
施工精度(設計値とのズレ)			
平均	-0.019m	-0.003m	
標準偏差	0.033	0.025	

5.2 B区画 油圧ショベル施工の結果

B区画、油圧ショベル施工の結果を(表-4)に示す。

表-4 B区画油圧ショベル施工の結果

区画/ 作業方法	B-1 マニュアル施工	B-2 情報化施工	B-2 /B-1 (%)
使用重機	PC-120 油圧ショベル		
施工面積	25m×30m=750 m ²		
作業時間	4.1H	4.65H	113%
消費燃料	34L	36L	106%
排出土量	62袋	60袋	97%
GNSS 測量から計算した施工体積と施工厚さ平均			
施工体積	47.08 m ³	46.56 m ³	99%
施工厚平均	6.3cm	6.2cm	99%
施工精度(設計値とのズレ)			
平均	-0.011m	-0.007m	
標準偏差	0.023	0.020	

5.3 C区画 ドーザ施工の結果

C区画, ドーザ施工の結果を(表-5)に示す。

表-5 C区画ドーザ施工の結果

区画/ 作業方法	C-1/ マニュアル施工	C-2/ 情報化施工	C-2 /C-1 (%)
使用重機	D31 ドーザ		
施工面積	50m×15m=750 m ²		
作業時間	1.9H	1.7H	89%
消費燃料	19L	20L	105%
排出土量	68袋	56袋	82%
GNSS 測量から計算した施工体積と施工厚さ平均			
施工体積	56.36 m ³	42.27 m ³	75%
施工厚平均	7.5cm	5.6cm	75%
施工精度(設計値とのズレ)			
平均	-0.023m	-0.006m	
標準偏差	0.024	0.015	

6. 施工結果まとめ

6.1 作業時間

油圧ショベル A,B 区画は情報化施工の方が時間が多くかかった。これは作業者が情報化施工の操作に慣れるのに手間取ったためと考えられる。一方ブルドーザについては、オート施工の情報化施工の方が作業時間が短い結果になった。また、同じ面積である B, C 区画を比較すると、油圧ショベルと比較してブルドーザの施工は半分以下の時間で作業を終了した。

6.2 消費燃料

B,C 区画においては、わずかにマニュアル施工の方が少ない結果になった。A 区画において作業時間と大きく異なる結果となったのは、A-2 の作業時間の中に、情報化施工機器の説明時間が含まれているためである。

6.3 施工精度

今回、A, B, C 全区画で施工精度は情報化施工の方が良い結果となり排出土量も減少した。油圧ショベルの A 区画, B 区画で比較すると除染開始

当初の A 区画のマニュアル施工は、施工厚さが 7.2cm とかなり厚めになったが、B 区画では剥ぎ取りの施工自体に慣れたためか、情報化施工とマニュアル施工の施工厚さにほとんど差が無い結果となった。

C 区画のブルドーザマニュアル施工で土壌を 5cm 程度の厚さで剥ぎ取る作業は非常に難しく、ドーザのマニュアル施工では施工厚さ平均は 7.5cm、情報化施工は 5.6cm と 25% 排出土壌が減少する結果となった。マニュアル施工の施工精度が作業者の熟練度に大きく左右されるのに対し、情報化施工はオートでの施工が可能で、精度の良い安定した施工を行うことが可能である。今後熟練作業者の確保が困難になると、高い精度の施工が期待できる情報化施工が有効であると考えられる。

6.4 汚染土の排出土量から試算した施工費用

今回の除染業務の工事費用について以下の条件で工事費用を試算を行った。

- ① 今回の各 A, B, C 区画の排出土量を元に、
 - (1)汚染土の搬出運搬費(5km)
 - (2)覆土材料の材料費(砕石)
 - (3)汚染土を格納するフレコン(フレキシブルコンテナ, 1000L)の価格
 - (4)汚染土袋詰めめの価格
 - (5)汚染土据付の価格

を合計して試算した。計算単価は、運搬費 453 円/m³、覆土材料費は、砕石 3,100 円/m³を排出した土量と同じ数量を戻すという仮定で計算を行った。フレコンの価格は一袋 12,900 円で計算し、汚染土袋詰めは一袋 1,949 円、仮置き場での据付一袋 1,278 円とした。なお、本試算は、材料費、運搬費のみで、工事費は含まれていない。

- ② また比較のため A, B, C 区画を同面積、100mX100m=10,000 m²の施工面積での費用を算出した。

6.4.1 フレコン一袋当たりの概算費用

試算の初めに、フレコン一袋当たりの概算費用を計算した。除染の費用は単価が公開されていない為、あくまで試算である。排出汚染土壌の処理費用はフレコン一袋当たり 2 万円程度と推測する。

表-6 フレコン一袋当たりの費用

フレコン(1000L=1 m ³) 当たりの試算費用	
(1)汚染土の搬出運搬費(5km)	453 円
(2)覆土材料資材費(砕石)	3,100 円
(3)フレコン代(EVA)	12,900 円
(4)汚染土袋詰	1,949 円
(5)汚染土据付	1,278 円
合計	約 19,680 円

6.4.2 今回のA, B, C各エリアの費用の試算

① 今回の各区画の費用試算

・ A 区画 525 m² 油圧ショベル施工費用試算

表-7 A区画 525m²油圧ショベル施工費用試算

区画/ 施工方法	A-1 マニュアル施工	A-2 情報化施工
面積	15m×35m=525 m ²	
土量体積	37.89 m ³	28.31 m ³
(1)搬出運搬	17,164 円	12,824 円
(2)覆土資材費	117,459 円	87,761 円
(3)フレコン代	554,700 円 (43 袋)	399,900 円 (31 袋)
(4)汚染土袋詰	83,807 円	60,419 円
(5)汚染土掘付	54,954 円	39,618 円
合計	828,084 円	600,522 円
費用比	100%	72.52%

・ B 区画 750 m² 油圧ショベル施工費用試算

表-8 B区画 750m²油圧ショベル施工費用試算

区画/ 施工方法	B-1 マニュアル施工	B-2 情報化施工
面積	25m×30m=750 m ²	
土量体積	47.08 m ³	46.56 m ³
(1)搬出運搬	21,327 円	21,092 円
(2)覆土資材費	145,948 円	144,336 円
(3)フレコン代	799,800 円 (62 袋)	774,000 円 (60 袋)
(4)汚染土袋詰	120,838 円	116,940 円
(5)汚染土掘付	79,235 円	76,680 円
合計	1,167,149 円	1,133,048 円
費用比	100%	97.08%

・ C 区画 750 m² ドーザ施工費用試算

表-9 C区画 750m²ドーザ施工費用試算

区画/ 施工方法	C-1 マニュアル施工	C-2 情報化施工
面積	50m×15m=750 m ²	
土量体積	56.36 m ³	42.27 m ³
(1)搬出運搬	25,531 円	19,148 円
(2)覆土資材費	174,716 円	131,037 円
(3)フレコン代	877,200 円 (68 袋)	722,400 円 (56 袋)
(4)汚染土袋詰	132,532 円	109,144 円
(5)汚染土掘付	86,904 円	71,568 円
合計	1,296,883 円	1,053,297 円
費用比	100%	81.22%

③ 区画の結果を 100mX100m=10,000 m²で試算した費用(参考)

表-10 各エリアの10,000m²あたりの施工費用試算

作業方法	マニュアル施工	情報化施工
面積	100m×100m=10,000 m ²	

土量体積(計算値)		
(A)油圧ショベル	721.71 m ³	539.24 m ³
(B)油圧ショベル	627.73 m ³	620.80 m ³
(C)ブルドーザ	751.47 m ³	563.60 m ³
(1)搬出運搬費(2)覆土材料費(3)フレコン代 (4)汚染土袋詰め(5)汚染土掘付		
(A)油圧ショベル	15,773,032 円	11,438,522 円
(B)油圧ショベル	15,561,990 円	15,107,302 円
(C)ブルドーザ	17,291,774 円	14,043,964 円

7. 排出汚染土減少への考察

除染業務は目標線量以下の放射線量低減が最優先される事から設計に比べ除去土壌発生土量は増加傾向にある。除去土壌の保管場所については、概ね3年程度市町村が設置した仮置場で保管し、その後、国が設置する中間貯蔵施設へ輸送する事となっているが膨大に排出される除去土壌の処理は報道等でも大きな問題になっている。実際、今回の白河 TC で排出された除去土壌は、フレコン(1,000L 袋)で1,300 袋にもなった。西郷村の除染で西松建設(株)工区から排出された除去土壌は2015年9月現在で約10万袋発生しており西郷村全体で、60万袋の除去土壌が発生すると見込まれている。

除染業務により汚染された土壌の剥取り厚さは、放射線量の高さや材料(土、芝生、草地、碎石など)により左右されるが、白河 TC の芝生エリアでは5cm 厚さで施工が実施された。この剥ぎ取り厚について情報化施工を採用し、かつ、試験施工で10%減の4.5cm 厚での施工で十分に線量低下が可能である結果が出たと仮定すると排出土量が10%減少することになる。

除去土壌量の増加は除染費用(国費=税金)の増加に繋がるばかりでは無く、仮置場の容量や中間貯蔵施設への運搬や貯蔵施設の増大に繋がることから除去土量が少しでも減少する事が出来れば、国費を縮減する事となり効果的な除染となる。今後、採用するには多くの検討課題が必要だが、情報化施工に費用が掛かっても除去土壌の発生量が削減すれば仮置場の容量削減や中間貯蔵施設への運搬、貯蔵施設保管等について費用の縮減に繋がる。情報化施工で施工精度の向上⇒排出土量の減少が実現する可能性があると考えます。

8. 謝辞

今回の除染工事への情報化施工の適用に関しましては、大変忙しい状況の中、福島県西郷村および西松建設(株)の皆様にご多大のお世話になりました。この場をお借りして、お礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 環境省 除染関係ガイドライン 平成25年5月 第2版(平成26年12月追補)