

仮置場原状回復作業時の課題への対応策の検討に係る基礎調査

1. 背景・目的

福島県内の除染活動で発生した除去土壌等は、除染を実施した現場や仮置場で一時保管された後、順次中間貯蔵施設への輸送作業が行われており、福島県外で最終処分するまでの間、安全かつ集約的に管理・保管されている。中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送量は年々増加しており、保管する全ての除去土壌等の輸送が終了した仮置場も出てきている。輸送が終了した仮置場は、除去土壌等を保管していた場所の跡地（以下「保管場所跡地」という。）において空間線量率の測定や土壌中の放射性セシウム濃度等の測定を行い、跡地の汚染が無いことを確認したうえで、従前の土地利用を基本として原状回復が行われる。仮置場の原状回復は、今後中間貯蔵施設への除去土壌等の輸送量の増加に伴い、実施数の増加が見込まれる。

そうした中、福島県環境創造センターでは、今後実施数の増加が見込まれる、仮置場の原状回復について、作業を行う上での技術的課題への対応策等を検討するための調査研究を行うこととし、保管場所跡地の土壌汚染有無確認調査及び保管場所跡地の土壌硬度調査を実施した。

2. 実施内容

2. 1. 跡地の土壌汚染有無確認調査

仮置場跡地の原状回復を実施する際に実施する、除去土壌等を搬出し終えた仮置場における保管場所跡地の土壌汚染が無いことを確認するための空間線量率等測定について、より効果的な手法を検討するため、実際の仮置場跡地において、跡地土壌の汚染有無確認調査を行った。

2. 1. 1. 実施方法

跡地土壌の汚染有無確認調査として、除染関係ガイドラインに準拠して実施する方法と、面的な放射線量の把握が可能である歩行サーベイ機器を利用する方法の2方法を実施した。また、実施した結果より、跡地における汚染有無の判断も行った。

2. 1. 1. 1. 除染関係ガイドラインに準拠する方法

除染関係ガイドライン（第2版、環境省、平成28年9月追補）の条件に準拠して対象地点を選定し、選定した地点の空間線量率測定を行った。

空間線量率測定では、NaIシンチレーション式サーベイメータ（以下「サーベイメータ」という。）を使用して、地上1m高さの空間線量率測定を行った。測定では、サーベイメータの時定数を10に設定し、測定地点の直上に検出器が来る状態で90秒待機し、その後10秒おきに5回指示値を読みとった。

【除染関係ガイドライン（第2版、環境省、平成28年9月追補）記載内容】

・跡地汚染確認対象の大きさが20m×20mを超える場合

対象場所において、除去土壌等を置いていた区画の約10mメッシュで分けした箇所を土壌採取地点とする。

・跡地汚染確認対象の大きさが20m×20m未満の場合

対象場所の四隅及び中央1ヶ所を土壌採取地点とする。

2. 1. 1. 2. 歩行サーベイを利用する方法

保管場所跡地の面的な放射線量の把握が可能な、歩行サーベイ機器と呼ばれる機器を使用して線量測定を行い、線量分布の確認を行った。作業では、環境創造センターが保有する歩行サーベイ機器（以下「センター保有測定器」という。）を使用した。機器の性能等について以下に示す。

【センター保有測定器の性能等】

- ・ 車載型の空間線量率測定器である KURAMA-II について、バックパック型とすることで歩行サーベイできるよう改良した機器（図1のとおり）。
- ・ GPS 機能を有しているため、測定した結果を地図上にプロットすることができ、放射線量分布図を作成できる。



図1 センター保有測定器

2. 1. 2. 実施場所

福島県内の汚染状況重点調査地域における仮置場3箇所を実施場所とした。対象とした仮置場は、全ての保管場所からの除去土壌等の輸送が終了した、福島県内会津地域の仮置場A、福島県内浜通り地域の仮置場B及び福島県内県南地域の仮置場Cである。それぞれの仮置場における調査対象場所とした保管場所跡地を図2に示す。

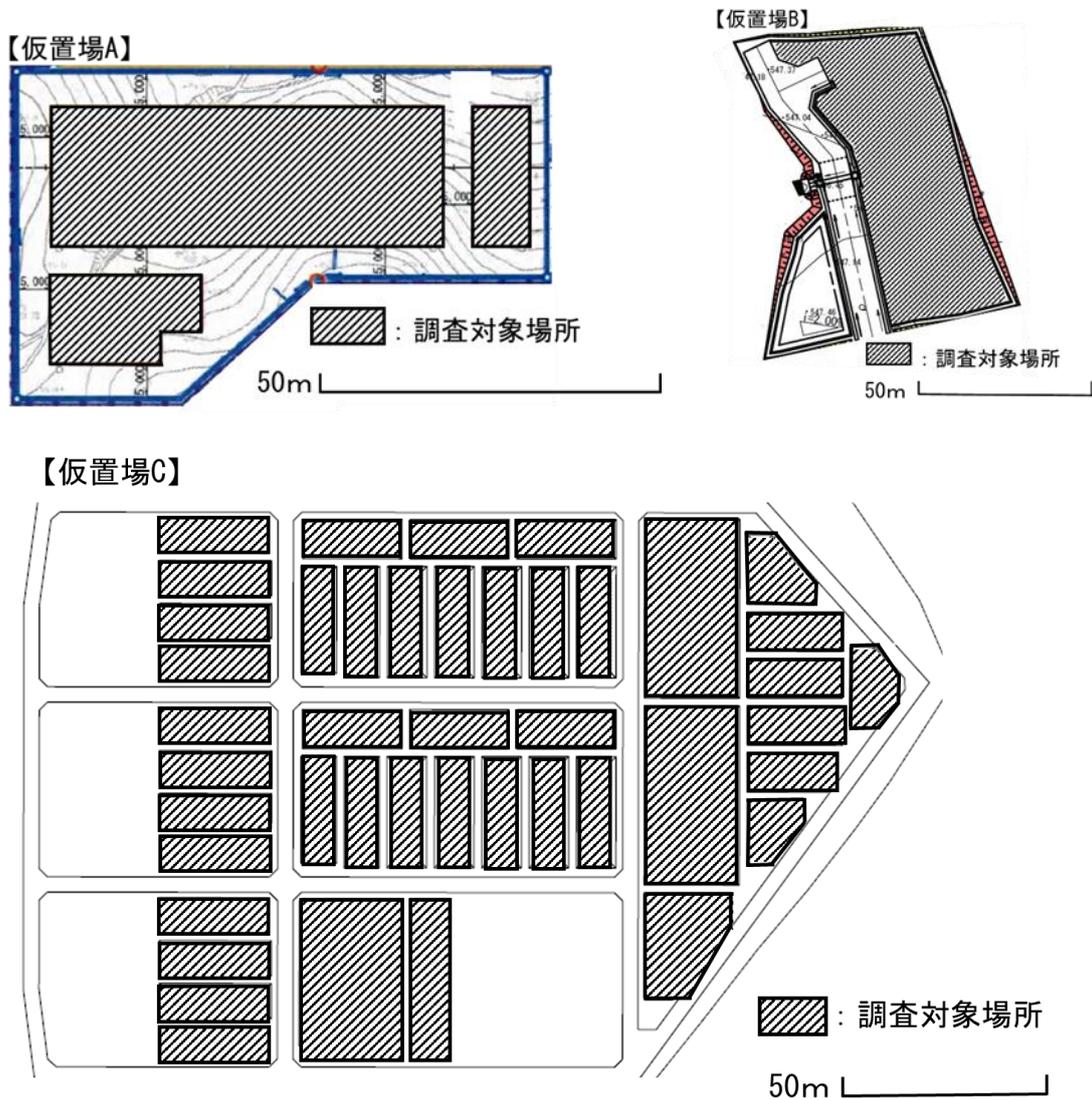


図2 各仮置場における調査対象場所

2. 1. 3. 測定地点の選定

対象とした仮置場の調査対象場所の大きさ及び形状に応じて、除染関係ガイドライン（第2版、環境省、平成28年9月追補）を基本としつつ、より精緻に測定を行えるよう設定した表1の考えのもと、測定地点を選定した。仮置場Aの調査対象場所1箇所における測定地点の一例を図3に示す。

表1 測定地点の考え方

保管場所の跡地の大きさが 20m 四方より大きい場合
<ul style="list-style-type: none"> ・ 除染関係ガイドラインを基本として選定した地点 対象地を約 10m メッシュに区切った際の各メッシュの中心 ・ より精緻な測定のため追加で選定した地点 各メッシュの四隅部分及び対象地の中心
保管場所の跡地の大きさが 20m 四方より小さい場合
<ul style="list-style-type: none"> ・ 除染関係ガイドラインを基本として選定した地点 対象地の四隅部分及び対象地の中心 ・ より精緻な測定のため追加で選定した地点 その他対象地の隅部分等、現場の形に合わせて選定した地点

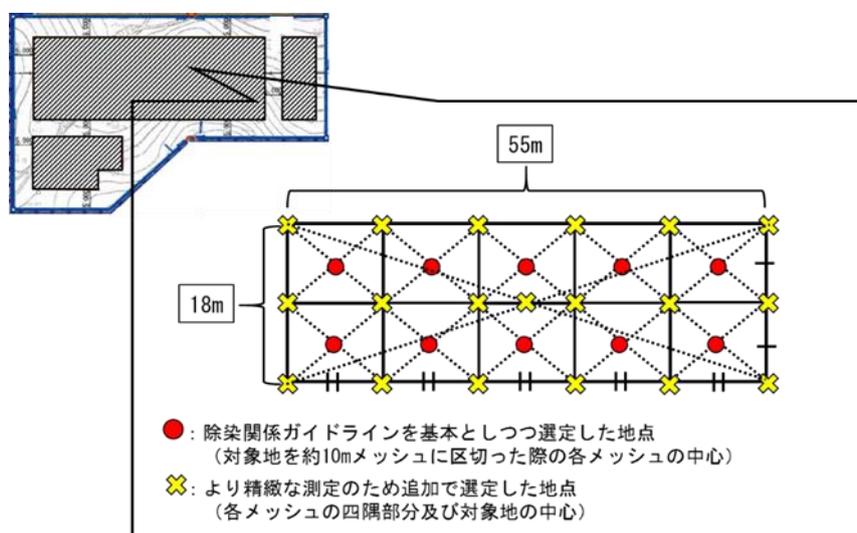


図3 仮置場 A における測定地点の一例

2. 1. 4. 跡地汚染有無の確認

空間線量率の測定結果から、実施場所における跡地の汚染有無の確認を行った。確認方法は、除染関係ガイドラインでは、「除去土壌等の保管開始後の仮置場で測定した空間線量率等は、除去土壌等の保管開始前の空間線量率等の変動幅と比較する」とされていることから、実施場所の仮置場における「保管開始前に測定した空間線量率の変動幅」と、「保管場所跡地で測定した空間線量率」を比較し、実施場所における保管場所跡地の汚染有無を確認した。なお、保管開始前の測定結果は、仮置場を設置する市町村から提供を受けた。

2. 2. 跡地の土壌硬度調査

保管場所跡地について、除去土壌等の保管による跡地土壌の締固まりの程度を確認するため、2種類の方法を用いて土壌硬度調査を行った。

2. 2. 1. 実施方法

2. 2. 1. 1. コーンペネトロメータを使用する方法

実施場所とした仮置場における保管場所跡地において、「2. 2. 3」に記載の考えの下で調査地点を選定し、選定した地点においてコーンペネトロメータを使用して土壌硬度調査を実施した。コーンペネトロメータを使用して土壌硬度調査を実施するにあたり、貫入速度は1cm/sとして、10cm貫入毎に荷重計の読値を記録した。なお、貫入作業は、100cmに至るまで実施することとした。使用したコーンペネトロメータを図4に示す。



図4 コーンペネトロメータ

2. 2. 1. 2. 山中式土壌硬度計を使用する方法

実施場所とした仮置場における保管場所跡地において、「2. 2. 1. 1」と同様の考えの下で対象地点を選定し、選定した地点において山中式土壌硬度計を用いて土壌硬度調査を実施した。山中式土壌硬度計を使用して土壌硬度調査を実施するにあたり、図5のような試掘を現地に作成し、その断面を対象として調査を実施した。調査は、断面の頂上部を0cmとし、5cm深さ毎に硬度計を貫入し、100cm深さに至るまで実施した。なお、測定は3反復とし、その平均を調査結果とした。山中式土壌硬度計を図6に示す。

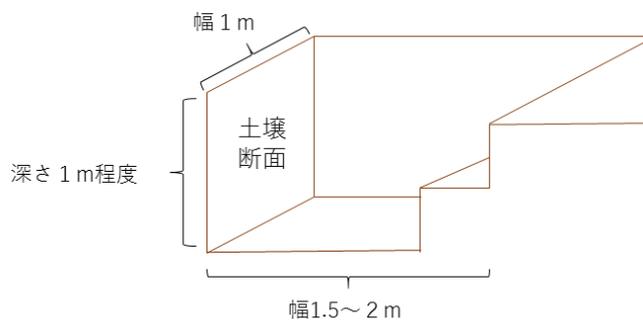


図 5 作成する試掘の例



図 6 山中式土壌硬度計

2. 2. 2. 実施場所

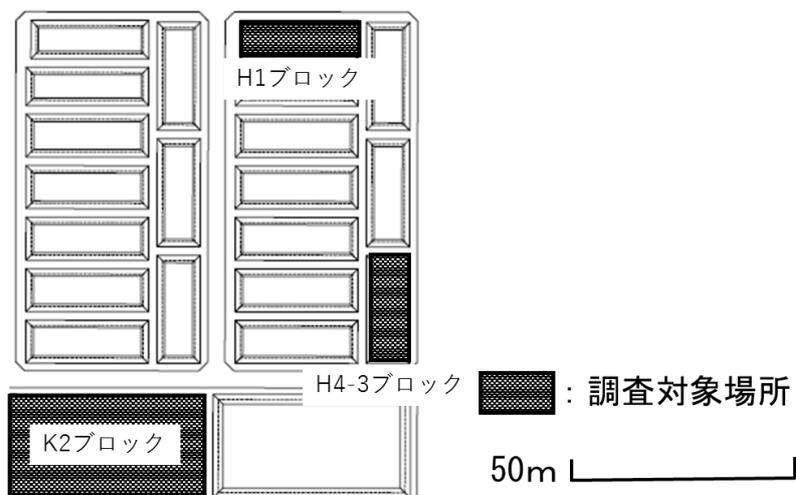
2. 2. 2. 1. コーンペネトロメータを使用する方法

福島県内の汚染状況重点調査地域における仮置場 2 箇所を実施場所とした。対象とした仮置場は、福島県内県南地域の仮置場 D 及び福島県内浜通り地域の仮置場 E である。仮置場それぞれの情報を表 2 に、実施場所における調査対象場所を図 7 にそれぞれ示す。

表 2 実施場所とした仮置場の情報

仮置場名	元土地利用	調査区画	保管物種類	保管面積	保管期間
仮置場 D	山林	H1 ブロック	可燃性除染廃	約 110m ²	約 3 年
		H4-3 ブロック	棄物	約 120m ²	約 1.5 年
		K-2 ブロック	除去土壌	約 840m ²	約 3 年
仮置場 E	運動場	A3 ブロック	除去土壌	約 270m ²	約 2 年
		B1 ブロック	可燃性除染廃 棄物	約 250m ²	約 3 年

【仮置場D】



【仮置場E】

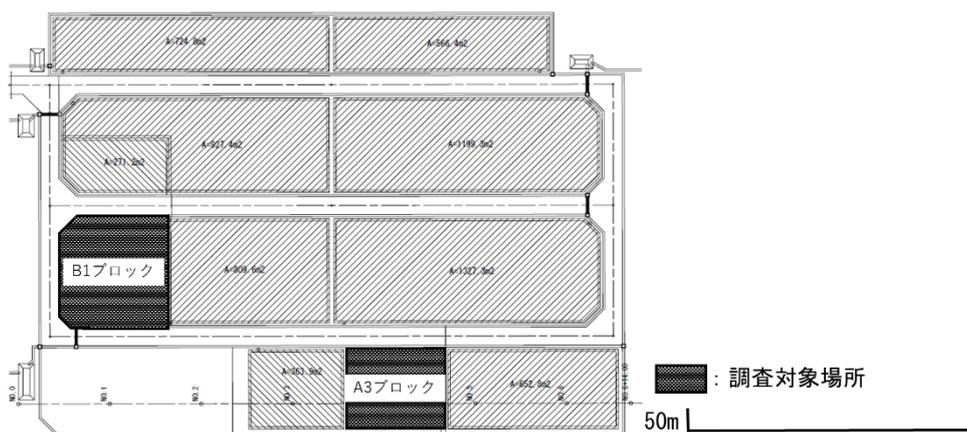


図7 実施場所における調査対象場所

2. 2. 2. 2. 山中式土壌硬度計を使用する方法

福島県内の汚染状況重点調査地域における仮置場2箇所を実施場所とした。対象とした仮置場は、福島県内県南地域の仮置場F及び福島県内浜通り地域の仮置場Gである。仮置場それぞれの情報を表3に、実施場所における調査対象場所を図8にそれぞれ示す。

表3 実施場所とした仮置場の情報

仮置場名	元土地利用	調査区画	保管物種類	保管面積	保管期間
仮置場 F	牧草地	C4 ブロック	除去土壌及び	約 560m ²	約 3 年
		D1 ブロック	可燃性除染廃 棄物	約 2,200m ²	約 3 年
		Blank [※]	—	—	—
仮置場 G	山林	ブロック 2	除去土壌及び 可燃性除染廃 棄物	約 250m ²	約 4 年

※:Blank とは、実施場所とした仮置場内において除去土壌等を設置していなかった箇所を示す。

【仮置場F】



【仮置場G】

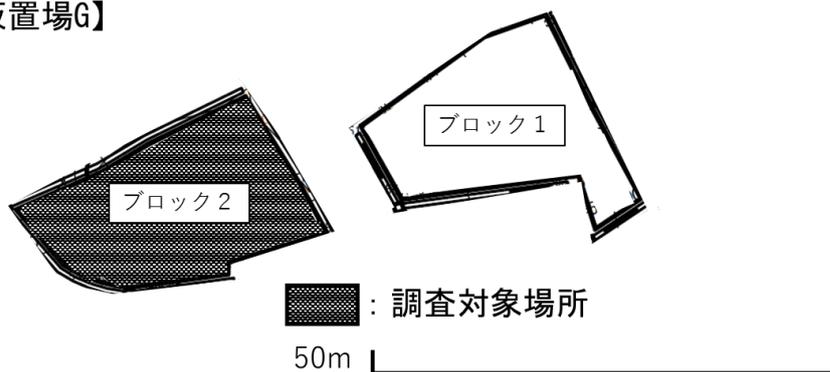


図8 実施場所における調査対象場所

2. 2. 3. 測定地点の選定

実施場所における各調査区画について、図9のように測定地点を選定した。選定した地点は、各調査区画における中心点、区画の端点及び前記2点の中心点の計3地点とし、それぞれ「対象調査区画A地点」、「対象調査区画C地点」及び「対象調査区画B地点」とした。

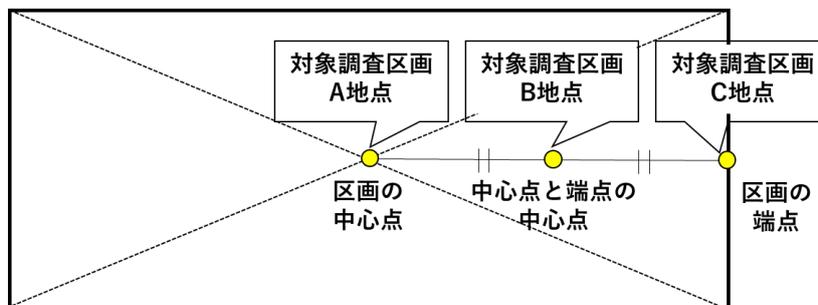


図9 測定地点の選定箇所

3. 結果・考察

3. 1. 跡地土壌の汚染確認調査

3. 1. 1. 除染関係ガイドラインに準拠する方法

仮置場A、仮置場B及び仮置場Cについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果等をそれぞれ表4に示す。

仮置場Aについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果は最大0.05 μ Sv/h、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅は0.05~0.18 μ Sv/hだった。仮置場Bについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果は最大0.13 μ Sv/h、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅は0.26~0.40 μ Sv/hだった。仮置場Cについて、保管場所跡地における空間線量率の測定結果は最大0.07 μ Sv/h、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅は0.03~0.14 μ Sv/hだった。

仮置場A、仮置場B及び仮置場Cいずれにおいても、保管場所跡地で測定した空間線量率は、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。

表4 保管場所跡地における空間線量率の測定結果等

	仮置場 A	仮置場 B	仮置場 C
測定地点数	38	23	457
保管場所跡地での測定結果	0.05 μ Sv/h ^{※1}	0.13 μ Sv/h ^{※1}	0.07 μ Sv/h ^{※1}
保管開始前での測定結果	0.12 μ Sv/h ^{※2}	0.33 μ Sv/h ^{※2}	0.09 μ Sv/h ^{※2}
保管開始前での測定結果の変動幅	0.05 ～0.18 μ Sv/h ^{※3}	0.26 ～0.40 μ Sv/h ^{※3}	0.03 ～0.14 μ Sv/h ^{※3}
(参考) 保管開始前での測定結果について日数による減衰計算を行った結果	0.07 μ Sv/h ^{※4}	0.16 μ Sv/h ^{※4}	0.06 μ Sv/h ^{※4}

※1：各測定地点で5回測定を実施した平均値のうち、最大となった値を示している。

※2：各仮置場において、保管開始前に複数地点で測定を実施した平均値を示している。

※3：変動幅の上限値及び下限値は、「保管開始前での測定結果 \pm （3 \times 標準偏差）」で計算している。

※4：各仮置場において、保管開始前に測定を実施した月から、保管場所跡地で測定した月までの期間における計算結果を示している。

3. 1. 2. 歩行サーベイを利用する方法

仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C について、歩行サーベイ機器を使用した保管場所跡地における線量測定結果の線量分布図を図 10～12 に示す。また、歩行サーベイ機器を使用して線量測定を行うのに要した時間を表 5 に示す。

線量分布図を確認したところ、仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C における測定結果について、表 4 に示した保管開始前の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。また、線量測定を行うのに要した時間は、サーベイメータ等を使用して線量測定を行うのに比べて、歩行サーベイ機器を利用して線量測定を行う方が、対象とした仮置場全てのブロックで短かった。



図 10 仮置場 A における線量分布図



図 11 仮置場 B における線量分布図



図 12 仮置場 C における線量分布図

表5 歩行サーベイ機器を利用して測定するのに要した時間

仮置場名	ブロック数	総面積	要した合計時間	サーベイメータを用いた場合に要した合計時間
仮置場 A	3ブロック	約 1,030m ²	約 22 分	約 89 分
仮置場 B	1ブロック	約 630m ²	約 8 分	約 54 分
仮置場 C	9ブロック	約 2,720m ²	約 82 分	約 506 分

3. 1. 3. 跡地汚染有無の確認

「3. 1. 1」の結果より、仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C いずれにおいても、保管場所跡地で測定した空間線量率は、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。また、「3. 1. 2」の結果より、仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C いずれにおいても、歩行サーベイ機器を使用した場合の測定結果は、保管開始前に測定した空間線量率の変動幅に収まっているか、大きく下回っていることが確認できた。

以上のことより、対象とした仮置場の保管場所跡地について、明確な汚染は無いと考えられる。

3. 2. 跡地の土壌硬度調査

3. 2. 1. コーンペネトロメータを使用する方法

仮置場 D 及び仮置場 E におけるコーンペネトロメータを使用した土壌硬度調査結果について図 13 に示す。

コーンペネトロメータを使用して土壌硬度の測定を行ったところ、全ての地点において当初予定していた 100cm まで達することができず、測定ができた深さは最大でも 9.5cm であった。また、コーンペネトロメータの読値からコーン貫入抵抗値を求めたところ、1,009~1,488 kN/m² だった。求めたコーン貫入抵抗値について、表 6 に示す建築基準法施行令第 93 条に記載されている地盤の種類に応じた許容応力度と比較した結果、「岩盤」にあたる応力度以上であることが確認できた。

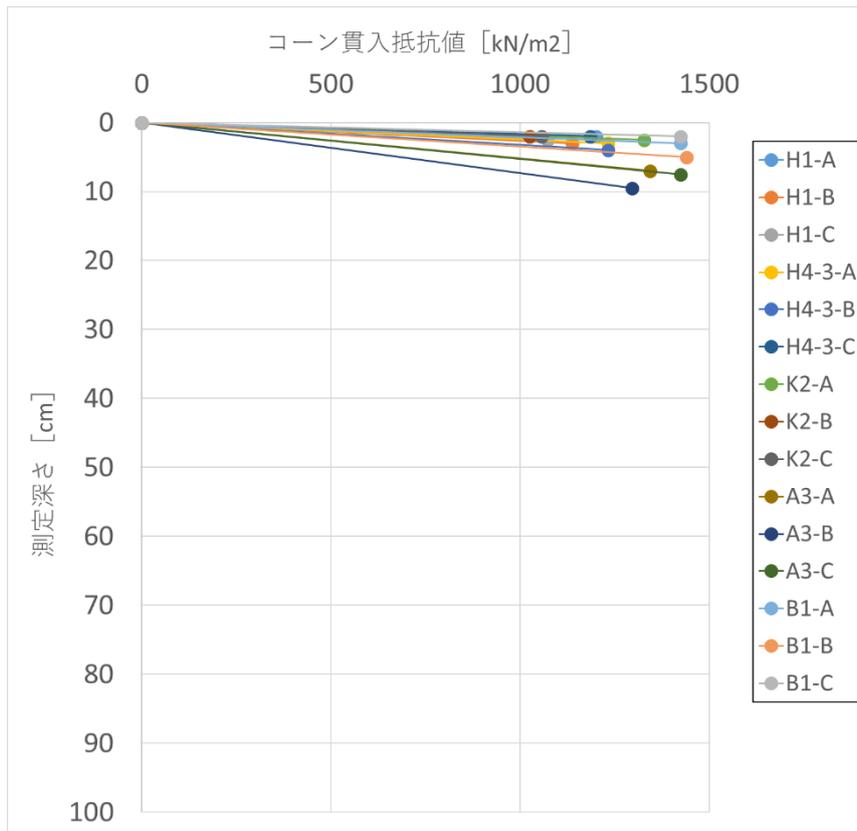


図 13 仮置場 D 及び仮置場 E における
コーンペネトロメータを使用した土壌硬度調査結果

表6 建築基準法施行令第93条に記載されている地盤の種類に応じた許容応力度

地盤	長期に生ずる力に対する許容応力度 [kN/m ²]
岩盤	1,000
団結した砂	500
土丹盤	300
密実な礫層	300
密実な砂質地盤	200
砂質地盤（地震時に液状化のおそれのないものに限る）	50
堅い粘土質地盤	100
粘土質地盤	20
堅いローム層	100
ローム層	50

3. 2. 2. 山中式土壌硬度計を使用する方法

仮置場Fにおける山中式土壌硬度計を使用した土壌硬度調査結果について、実施したD1ブロック、C4ブロック及びBlankそれぞれを図14に示す。また、D1ブロック及びC4ブロックにおける調査結果の平均を算出した結果と、Blankにおける調査結果の平均を算出した結果を比較した結果を図15に示す。仮置場Gにおける山中式土壌硬度計を使用した土壌硬度調査結果について図16に示す。

仮置場Fについて、D1ブロック及びC4ブロックの測定結果では、表層から40cmまで土壌硬度が大きい傾向が見られた。D1ブロックにおいては、表層から10cm深さまで土壌硬度が特に大きいのが確認できた。C4ブロックにおいては、区画の中心に近くなるほど土壌硬度の大きさが大きくなるのが確認できた。また、D1及びC4ブロックにおける調査結果の平均とBlankにおける調査結果の平均を比較したところ、除去土壌等を保管していたD1及びC4ブロックの方が土壌硬度の大きさが大きいことが確認できた。

仮置場Gについて、表層から10cm深さまで土壌硬度の大きさが特に大きいのが確認できた。また、仮置場FにおけるC4ブロックと同様に、区画の中心に近くなるほど土壌硬度の大きさが大きくなる傾向が確認できた。

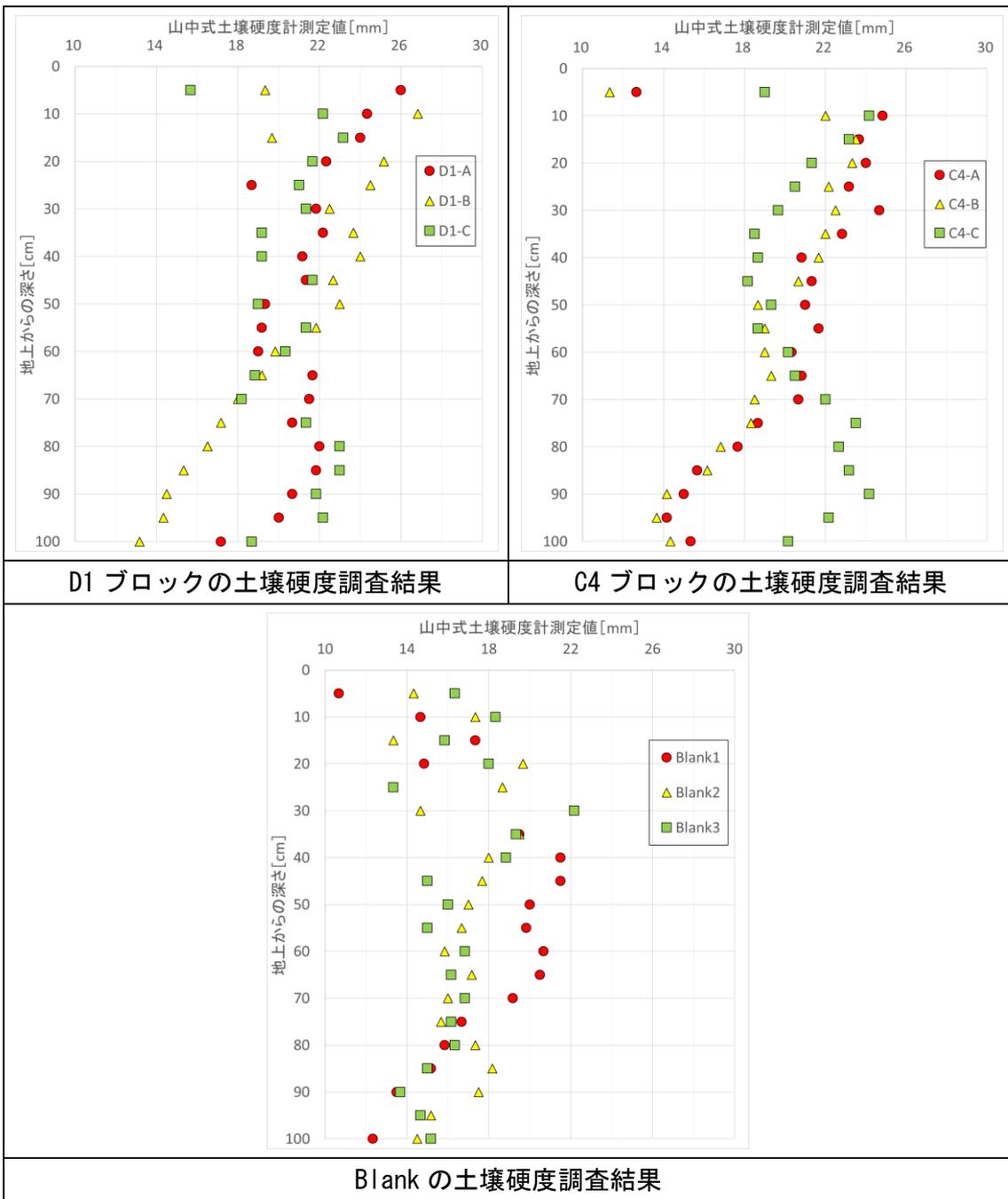


図 14 仮置場 F における各ブロックの土壌硬度調査結果

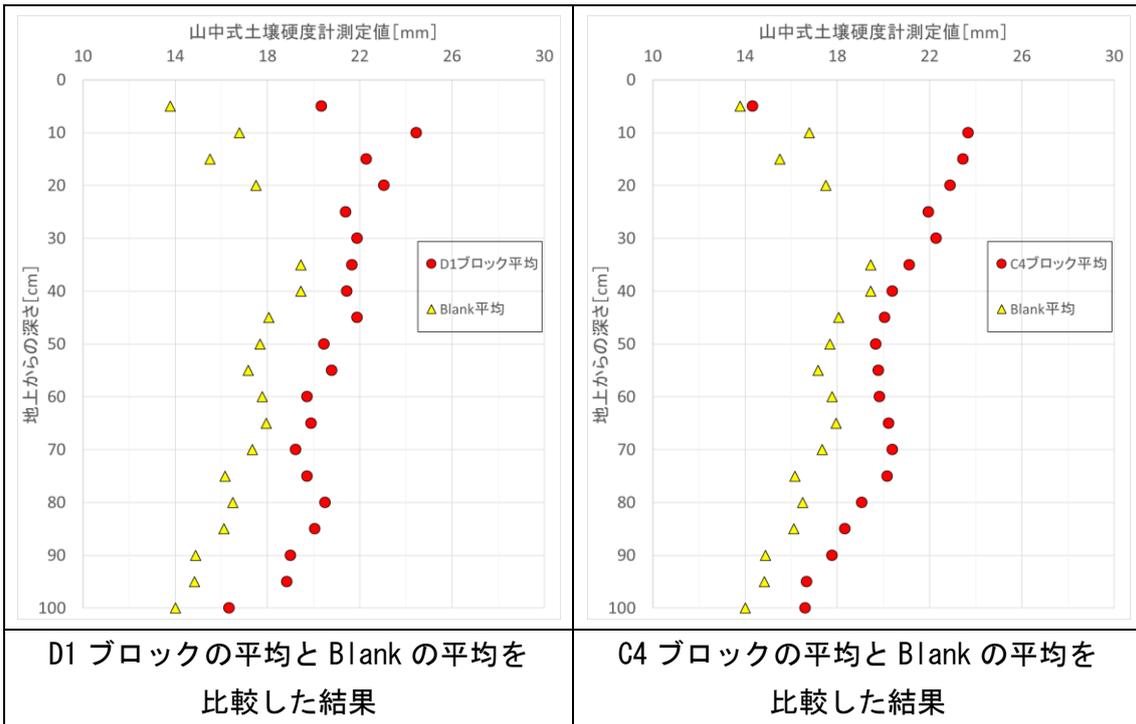


図 15 D1 ブロック及び C4 ブロックにおける調査結果の平均を算出した結果と、Blank における調査結果の平均を算出した結果を比較した結果

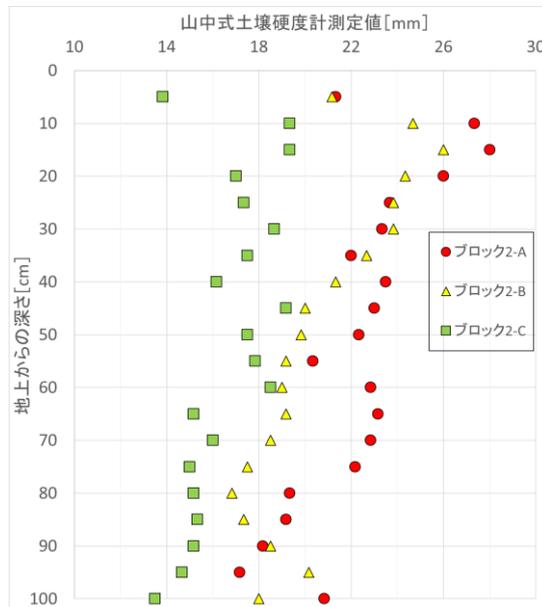


図 16 仮置場 G における土壌硬度調査結果

4. まとめ

4. 1. 跡地土壌の汚染有無確認調査

今回実施場所とした仮置場 A、仮置場 B 及び仮置場 C について、「3. 1. 3」の結果のとおり、保管場所跡地における明確な跡地の汚染は無いと考えられた。また、歩行サーベイ機器を使用した測定については、サーベイメータを使用した測定と比較し、短時間で対象全体の測定が可能であること、線量分布図のように可視化した結果を示すことができることから、効果的な測定方法であると考えられた。

4. 2. 跡地の土壌硬度調査

コーンペネトロメータを使用した土壌硬度調査について、当初予定していた 100cm のうち、最大でも 9.5cm 深さまでの測定しかできなかった。これは、除去土壌等を保管していたことで土壌の硬度が大きくなったためと考えられる。当該機器については、軟弱地盤を対象とした土壌硬度の測定機器であるため、除去土壌等を保管していたことで土壌の締固まりが発生している仮置場跡地においては、実施対象として適していない機器である可能性が示唆された。

山中式土壌硬度計を使用した土壌硬度調査について、除去土壌等を保管していた場所の方が、保管していなかった場所に比べて土壌硬度が大きいことが確認できた。また、土壌硬度は、表層付近が特に大きく、40cm 程度の深さまでは大きい傾向があるのが確認できた。当該機器による土壌硬度調査については、図 6 に示すような試掘を現地に作成する必要があるものの、コーンペネトロメータを使用した場合と比べて深さ方向の土壌硬度を確実に確認することができることから、調査方法として適していると考えられる。

謝辞

末筆ながら、お忙しい中本調査に御協力いただいた各市町村の御担当者の方々に御礼申し上げます。