

# 3次元GISとGPSを組み合わせた 「汚染土壌掘削管理システム」

黒台昌弘・館岡潤仁・辻俊次

建設ICTの中心技術であるGISとGPSを組み合わせた「汚染土壌掘削管理システム」は、近年増加している土壌汚染対策工事の施工合理化と掘削した土壌のトレーサビリティ確保を目的に開発したものである。

本システムを利用することで、対象地盤の汚染状況把握や建設機械の最適配置などが迅速化され、掘削作業の最適化と施工管理の省力化が飛躍的に進み、実工事に適用した結果、品質向上と工程短縮において大きな効果を発揮することを確認した。さらに、汚染土壌の掘削履歴や処理土のトレーサビリティが自動的に確保できるため、施工の品質証明の点においても優れているシステムである。

キーワード：情報化施工推進戦略、土壌汚染対策法、施工時情報、トレーサビリティ、GPS、GIS

## 1. はじめに

国土交通省は2008年度に「情報化施工推進戦略」を策定し、建設機械施工に関する様々な取組みを始めている。この戦略では、さらなるコスト縮減、品質確保及び事業執行の効率化を図るため、データ連携などソフト的な対応による効果創出を目指しており、これまでのように高性能なセンサーを建設機械に取付けるといった単なるハードウェアの導入では、現場技術者の意志決定の迅速化やそれに伴う施工効率化、あるいは建設機械の無人化・自動化という目的を達成することが困難になってきている。

一方、環境省では、増加する土地再開発や民間企業の設備投資に絡んだ汚染土壌の円滑な活用促進のため、土壌汚染対策法（以下、土対法）を施行し、安全安心な環境で土地を利用できるルールづくりを推進している。汚染土壌を掘削除去する場合には、単位区画ごとに所定の深度で掘削を行うことが必須であり、2009年施行の改正土壌汚染対策法においても、よりきめ細かな施工管理が要求されている。

このような背景から筆者らは、前述の戦略や土対法に対応したICT利用システムを開発して実工事に適用したので以下に報告する。

## 2. システムを適用した工事の概要と施工上の課題<sup>1)</sup>

### (1) 工事概要（表—1）

対象地は、開発工事に先立ち土壌汚染対策工事を行うものである。浄化方法は主に現位置浄化技術の「土壌洗浄工」とし、洗浄に不適と判断された汚染土壌については「場外搬出」を行う計画となっている。

表—1 工事概要

項目	内容
工事場所	大阪市内
敷地面積	9.7 ha（敷地全体 21.5 ha）
工事期間	2007年3月～2008年4月（14ヶ月）
浄化方法	掘削除去（現地土壌洗浄+場外搬出）
汚染状況	重金属9物質による土壌汚染 主な物質は鉛・ひ素・ふっ素
対象土量	掘削土量：約56.3万m <sup>3</sup> 土壌洗浄：約40万m <sup>3</sup> 場外搬出：約4.7万m <sup>3</sup>

### (2) 本工事の特徴

#### ①大規模な土工事

敷地面積が9.7 haで、掘削対象土量が約56.3万m<sup>3</sup>と大規模な土工事である。

#### ②短期間での施工

土留や土壌洗浄設備などの仮設や仮設備の設置から浄化対策までの工期が14ヶ月間であり、実際に掘削・土壌洗浄が可能な期間は8.5ヶ月と対象土量の規模から考えると短い。

③大型土壌洗浄設備の採用

8.5ヶ月間で約40万m<sup>3</sup>の土壌洗浄を行うため、日最大3,000m<sup>3</sup>の処理能力が必要である。

④情報化施工

土壌汚染対策工事であるため、事前の調査結果に基づいた100m<sup>2</sup>ごと深度1m単位の「精密な」掘削施工管理が必要である。

(3) 施工計画

掘削土の取扱いフローを図-1に示す。掘削した土壌の汚染成分を基準にして取扱い方法を設定している。

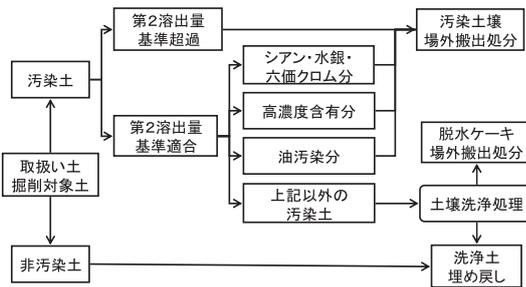


図-1 掘削土の取扱いフロー

表-2に示すように、洗浄対象汚染土は4区分、場外搬出汚染土は処理先が異なることや現場内での取扱い方法が異なるなどの理由で11区分としている。

表-2 掘削した土壌の管理区分

区分	処理レベル	汚染内容
非汚染土	0	非汚染土
汚染土 (土壌洗浄)	1	汚染土扱い
	10	含有基準超過
	20	溶出基準超過
	30	含有基準超過+溶出基準超過
汚染土 (場外搬出)	40	油汚染のみ
	45	油汚染+重金属等による汚染土壌扱い
	50	油汚染+含有量基準超過
	55	油汚染+溶出量基準超過
	60	油汚染+含有量基準超過+溶出量基準超過
	70	カドミウム、鉛、フッ素の高濃度含有分
	75	カドミウム、鉛、フッ素の高濃度含有分+溶出量基準超過
	80	シアン、水銀、六価クロムの溶出量基準超過
	85	シアン、水銀、六価クロムの溶出量基準超過+含有量基準超過
	90	第2溶出量基準超過
	95	第2溶出量基準超過+含有量基準超過

※処理レベル：現場作業従事者が汚染内容を把握しやすいように設定した番号

洗浄処理した土壌は100m<sup>3</sup>ごと以下に1回の頻度で該当する汚染物質について分析を行い、指定基準に適合していることを確認後に埋戻しに使用し、土壌洗浄処理に不適なものは場外搬出処理とした。

対象地はもともとゴルフ場として使用されていたため、地表面の起伏が大きいという特徴がある。この地表面を基準に土壌調査が行われているため、すなわち、各調査区画の地表面をGL.0mとした相対的な標高管理となっているため、隣り合う区画ではGL.0mの位置が絶対高(標高値)として一致せず、掘削管理が煩雑になることが予想された。

(4) 施工上の課題

工期の制限と土壌洗浄設備の能力を最大限発揮させるため、日当たり最大約5,000m<sup>3</sup>掘削する施工計画としたが、以下に示すような施工上の課題が想定された。

- ①土壌洗浄設備の運転状況を考慮しながら、洗浄対象土と場外搬出土をバランスよく掘削するための掘削計画を毎日作成する必要がある
- ②事前の調査結果に基づいて100m<sup>2</sup>ごとに深度1m単位での掘削作業となるため効率が悪い
- ③上記に伴い、施工前・施工中・施工後に頻繁な位置出し作業(測量)が発生する
- ④掘削した土壌を分別する区分が多く複雑で、作業員が汚染土の区分を取り違える可能性がある
- ⑤掘削計画作成のため、掘削実績をリアルタイムに管理、確認する必要がある

このため、汚染土の確実な処理、掘削計画・実績管理作業と測量作業の省力化を目的として、GIS(地理情報システム)とGPS(衛星測位システム)を組み合わせた掘削管理システムを開発・適用した。

3. 汚染土壌掘削管理システムの概要

(1) システム開発のコンセプト

土対法では、対象地盤を縦10m×横10mにブロック分割して、さらに深度方向にもブロック分割(例えば1m間隔)して汚染状況を把握することと規定している。また、各種の対策を行った場合には、対策の効果を証明することを義務づけている。したがって、広い敷地で深さ方向に汚染状況が異なる地盤を、確実にしかも経済的に掘削するには、「どこまで緻密な掘削計画を立てられるか。」「どれだけその計画通りに掘削できるか。」の2点がシステム開発の鍵となる。

本システムは、既開発の「3次元GISによる精密施工法<sup>2)3)</sup>」の考え方を導入しており、GISとGPSを組

み合わせた情報化施工技術（建設 ICT）では他に例を見ないものとなっている。

## (2) システム構成

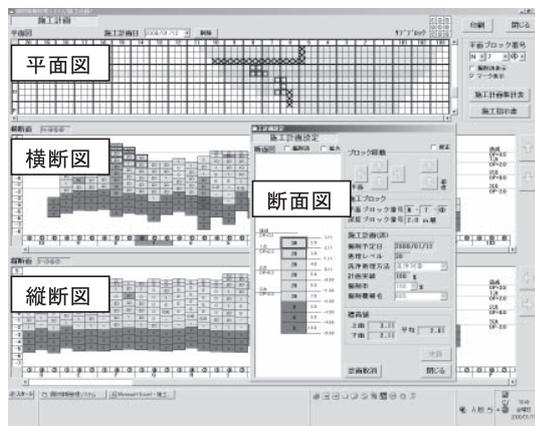
### (a) 3次元 GIS による掘削計画システム

#### ① GIS の仕様

本システムは表—3 に示すような仕様となっている。図—2 には地盤情報表示例(掘削計画メイン画面)を示すが、施工ヤードを立体的に表現するのではなく、平面図に縦断面図と横断面図を並列表示させ、加えて1つの平面ブロックに対する深度方向の断面図を同時に同一画面に表示することで擬似的な3次元表示を実現し情報の見える化に対応している。

表—3 GIS による掘削計画システムの仕様

項目	内容
PC	汎用パソコン 1台 LAN 非対応
OS	Windows XP
解析部	ハザマオリジナル
データベース	MS-Access
電子図面	現場平面図を番地化した 10m 区画図 全域：平面図・横断面図・縦断面図 各ブロック：断面図



図—2 地盤情報表示例

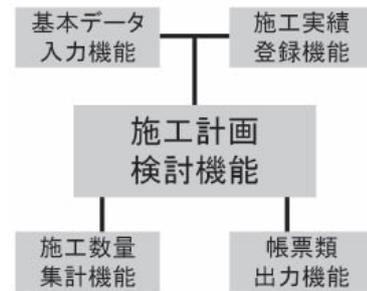
このような視認性を高める方法により、現場技術者だけでなく掘削機械オペレータや測量担当者までもが地盤（地表面下）の様子を理解しながら施工を進めることができるようになってきている。

#### ② システムに具備した機能（図—3）

本システムは、職員が当日の掘削作業完了後に実施する掘削計画作成や掘削実績管理業務を支援するものであり、以下のような機能で構成されている。

##### i) 基本データ入力機能

処理レベル、洗浄方法、掘削機械、埋戻機械、埋戻



図—3 機能構成図（概要）

材料などを事前に登録する機能

##### ii) 施工実績登録機能

当日の施工位置名、掘削機械、掘削量などを登録する機能

##### iii) 施工計画検討機能

土壌洗浄設備の能力と掘削作業の進捗、使用可能な掘削機械などを勘案して、「ブロックくずしゲーム」のような要領で翌日の掘削ブロックを選択確定させる機能。

##### iv) 施工数量集計機能

iiiの機能で確定させた複数の掘削予定ブロックが保有している情報を集計する機能。含有量や溶出量を成分ごとに集計し、洗浄設備の能力に見合った量であるかを判定する。能力を超えた算定結果となった場合には、iiiの機能で掘削予定ブロックを変更する。

##### v) 帳票類出力機能

ivの結果を示す施工計画集計表や掘削機械のオペレータに掘削ブロック名を提示する作業指示書などを出力する機能。編集作業を容易にするために、excel形式帳票としている。

##### (b) GPS による掘削管理システム

本システムは、掘削機械の施工支援を目的として開発したもので、マシンガイダンスシステムと位置づけることができる。

土対法にしたがい、対象地盤を縦 10m × 横 10m、深度方向に 1m 間隔でブロック分割した調査結果に基づき、掘削施工を実施している。写真—1 中央部の段差が 1m、段の幅が 10m となっている。

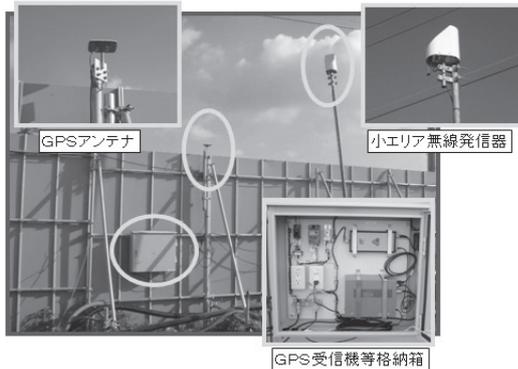
このように汚染土壌を薄くはぎ取りながら、丁寧に施工するためには、掘削機械の 3 次元的な位置をリアルタイムで把握しておく必要がある。そこで本システムでは、RTK-GPS を中核にしてシステムを開発した。

当工事では、1 箇所 GPS 基準局を設置し（写真—2）、6 台のバックホウに移動体用 GPS を搭載し（写真—3, 4）、1 人の作業員に測量用 GPS を可搬させている。

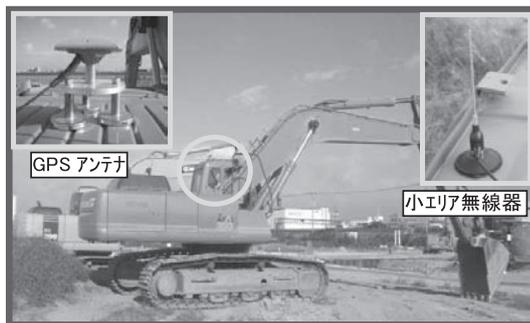
基準局からの RTK 位置補正データの送信には、RTK 方式運用に多用されてきた特定小電力無線より



写真一 1 掘削状況



写真一 2 GPS 基準局



写真一 3 掘削機械に搭載した GPS



写真一 4 掘削機械の操作室の様子

も送信出力の大きい小エリア無線を用いてより確実な無線伝送を行っている。

### (3) システムの導入効果

本システムを運用することにより、対象地盤の汚染

状況把握や建設機械の最適配置などが迅速化され、掘削作業の最適化と施工管理の省力化が飛躍的に進むことが確認でき、その結果、品質向上と工程短縮において大きな効果を発揮できることが判明した。

さらに、汚染土壌の掘削履歴や処理土のトレーサビリティが自動的に確保できることとなるため、品質証明の点においても優れたシステムと言える。

具体的には、3次元GISによる掘削計画では、作業終了後に、当日の施工実績（掘削完了ブロック名や掘削量など）をGISに入力してその実績データに基づき翌日の計画を行うが、システムを使用しない場合と比較して、実績データや計画値の集計作業が格段に早くなるため、作業時間が6時間から2時間に削減できている。なお、掘削計画は一人の職員で実施している。

また、GPSによる掘削管理では、当日の掘削機械の作業位置を現地で指示することや掘削を完了したブロックの底面高さの確認などの測量作業において、一般的な測量機を用いた方法に比べて、作業員を6名から2名に削減できている。

## 4. 本システムを用いた施工の流れ

当工事では、前述した施工上の課題から、本システムの運用が確実な施工と品質の確保を実現させる上で非常に重要な鍵となっている。これまでの情報化施工では、従来の作業工程を情報化技術で代替補完することが多く見られたが、本工事の施工は本システムを運用することを前提にして綿密に組み立てられているという点で特徴的である。

以降に、本システムを活用した施工の流れについて掘削の計画段階から順に示す<sup>4)</sup>。

- ①掘削計画作成：本システムでは、土壤汚染対策法に準じた事前調査結果による地盤内部の汚染状況、およびそれに応じた処理パターンのデータを、あらかじめ格納しておくことができる。現場担当者は事務所で3次元GISの画面（図一2）を見ながら、この複雑な処理パターンを適切に組み合わせ、施工計画集計表（図一4）を何度もtry & errorで作成し、掘削機械の施工能力を最大限に活かす掘削計画を作成する。
- ②作業指示書作成：掘削計画を基に掘削機械ごとの作業指示書を作成する。指示書には平面ブロック名と深度ブロック名から成るブロック番号と3次元座標により、その日の掘削位置が示されている。
- ③作業指示：作業指示書は始業時に各オペレータに手渡し、オペレータは掘削に搭載されたコンピュータにそのブロック番号を登録する。

施工日：2008/01/12

施工計画集計表

含有量												
処理レベル	掘削機種番号	掘削土量 (kg)	油	鉛	六価クロム	揮発性有機化合物	水銀	セシウム	鉛	ヒ素	銅	ほう素
			150mg/kg	250mg/kg	50mg/kg	150mg/kg	150mg/kg	150mg/kg	150mg/kg	150mg/kg	400mg/kg	400mg/kg
0	003	110.0	0.0000	1.0000	1.0000	2.0000	0.0216	1.0000	11.9990	1.9914	20.1515	6.2908
0	004	50.0	0.0000	1.1955	0.9000	1.0000	0.0244	0.5000	10.4848	0.5000	15.0000	0.5000
0	005	375.0	0.0000	1.1922	0.8200	1.0000	0.0200	0.5000	18.5383	1.2579	64.0000	0.2000
	小計	535.0	0.0000	1.1514	0.8425	1.6951	0.0422	0.8425	36.3247	1.4190	50.6562	3.4734
1	001	20.0	0.0000	1.0000	1.0000	2.0000	0.0200	1.0000	7.5931	1.2325	35.0000	5.0517
1	002	110.0	0.0000	1.0000	1.0000	2.0000	0.0200	1.0000	35.3043	8.7552	31.5152	22.8477
1	003	100.0	0.0000	1.0000	1.0000	2.0000	0.0200	1.0000	104.8953	1.7935	20.0000	5.4450
1	004	151.1	0.0000	2.3887	1.0000	2.0000	0.0305	1.0000	148.7633	4.8539	197.1714	10.7854
1	005	30.0	0.0000	12.8220	1.0000	2.0000	0.0242	1.0000	38.7387	5.3800	73.3333	3.6483
	小計	411.1	0.0000	1.8802	0.8229	1.9510	0.0322	0.8229	33.1231	2.1464	70.4256	0.8073
20	001	450.0	0.0000	1.1068	1.0000	2.0000	0.0200	1.0000	42.1675	3.2284	42.0741	15.6537
流出量												
処理レベル	掘削機種番号	掘削土量 (kg)	油	鉛	六価クロム	揮発性有機化合物	水銀	セシウム	鉛	ヒ素	銅	ほう素
			0.0mg/L	0.05mg/L	0.05mg/L	0.005mg/L	0.005mg/L	0.01mg/L	0.01mg/L	0.01mg/L	0.01mg/L	0.01mg/L
			0.3mg/L	1.5mg/L	1mg/L	0.05mg/L	0.05mg/L	0.3mg/L	0.3mg/L	0.3mg/L	2mg/L	3mg/L
0	003	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0020	0.0050	0.0050	0.2232	0.2310
0	004	0.0	0.0005	0.1000	0.0000	0.0002	0.0000	0.0010	0.0025	0.0025	0.1250	0.0100
0	005	0.0	0.0008	0.0168	0.0000	0.0004	0.0000	0.0017	0.0042	0.0042	0.2177	0.0338
	小計	0.0	0.0008	0.0169	0.0000	0.0004	0.0000	0.0017	0.0042	0.0046	0.2107	0.0728
1	001	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0020	0.0050	0.0100	1.1550	0.1937
1	002	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0036	0.0087	0.0075	0.2374	0.1728
1	003	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0020	0.0050	0.0050	0.1645	0.1974
1	004	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0022	0.0050	0.0050	0.7440	0.1026
1	005	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0022	0.0050	0.0100	0.0900	0.0005
	小計	0.0	0.0009	0.0185	0.0000	0.0005	0.0000	0.0020	0.0055	0.0063	0.3237	0.1129
20	001	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0027	0.0094	0.0474	0.6502	0.5505
20	002	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0021	0.0108	0.0100	0.8474	0.2393
20	003	0.0	0.0012	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0020	0.0068	0.0134	0.2823	0.2377
20	004	0.0	0.0009	0.0188	0.0000	0.0005	0.0000	0.0080	0.0071	0.0066	0.7564	0.1426
20	005	0.0	0.0010	0.0200	0.0000	0.0005	0.0000	0.0022	0.0104	0.0214	0.2349	0.1511
	小計	0.0	0.0019	0.0194	0.0000	0.0005	0.0000	0.0020	0.0091	0.0162	0.4912	0.2341

図-4 施工計画集計表の例

- ④掘削作業：掘削作業中は画面に表示されるブロック番号とGPSで取得した建設機械の現在座標を照合することにより、現在位置ばかりではなく、掘削している地盤の性状をも確認しながら掘削作業を確実に行うことができる（図-5）。
- ⑤作業終了後：毎日の掘削作業終了後、掘削実績情報や埋戻実績情報をGISに登録する（図-6）。広い土地であっても掘削進行状況が瞬時に把握でき、翌

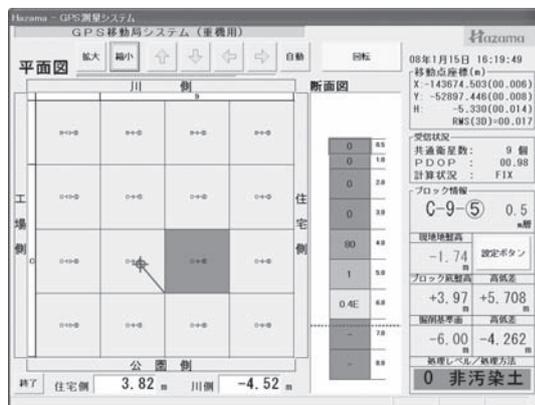


図-5 掘削機械に搭載したPC画面



図-6 施工実績情報登録

日の掘削機械配置計画が容易になる。また、土壌汚染対策という性格上、掘削や埋戻し工程の情報はトレーサビリティとしての役割を持つため、漏れなく正確に保存しておくことが重要である。

### 5. 今後の展開について

本システムの運用においては、施工情報の記録や集計のような一律に行う仕事はICT（情報通信技術）であるGISやGPSを活用して思い切った自動化を図っているが、掘削機械の配置や浄化方法の選定など施工の要所については、現場技術者の意思決定を求めるシステムとなっている。昨今、様々な工事に情報化施工システムが展開されているが、その導入効果を上げていくためには、これまで職員や作業員が実施してきた作業をやみくもにシステム化するのではなく、本工事で示したようにシステムと人間の役割分担にも目を向けていく必要があると考える。

今後は、中小規模事業向けシステムへのダウンサイジングを進めるとともに、ダムの原石山掘削のような高い歩留まり率が要求される工種への展開を進めていく予定である。

JICMA

#### 【参考文献】

- 1) 黒台ら：3次元GISとGPSを組み合わせた建設ICTによる「汚染土壌掘削管理システム」、土木学会第64回年次学術講演会第VI部門、pp.369-370, 2009
- 2) 大前ら：GISを活用した精密施工支援システムの開発—開発コンセプトとシステムの全体構成—土木学会第27回土木情報システムシンポジウム講演集、pp.41-44, 2002
- 3) 奥村ら：大規模土工事における施工CALISの開発、電力土木、No.317、pp.92-97, 2005
- 4) 石原ら：現位置浄化技術の取組みと情報化施工技術を活用した大規模浄化対策事例、基礎工、Vol.37、No.11、pp.68-70, 2009

#### 【筆者紹介】

黒台 昌弘（くろだい まさひろ）  
 株式会社 技術・環境本部 技術研究所  
 技術研究第一部



館岡 潤仁（たておか じゅんじ）  
 株式会社 土木事業本部 機電部



辻 俊次（つじ しゅんじ）  
 株式会社 大阪支店 土木部

