

27. 精密施工法を応用した汚染土掘削管理システムの適用

(株)間組 土木事業本部 ○ 石原 吉雄
 (株)間組 技術研究所 黒台 昌弘
 (株)間組 大阪支店 辻 俊次

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り組みを始めている。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、CALS/ECの考え方を参考に、データ連携などソフト的な対応による効果想出を目指している。

加えて、従前から取り組まれている高性能なセンサーを建設機械に取付けるといったハードウェアの導入により、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、CO₂削減、あるいは建設機械の無人化・自動化という目的の達成も実現されつつある。

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による人への健康被害を防止するため、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なうことが必須であり、2009年施行の改正土対法においても、よりきめ細かな施工管理が要求されている。また、掘削した土壌の行き先や持ち込んだ埋戻材の履歴なども的確に管理する、いわゆるトレーサビリティも重要視されている。

このような背景から筆者らは、同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. 工事概要と施工上の課題¹⁾

2.1 工事概要（表-1）

システムを適用した工事は、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。

2.2 本工事の特徴

本工事の特徴は次の4点である。

①大規模な土工事

敷地面積が9.7haで、掘削対象土量が約56.3万m³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m³の土壌洗浄を行うため、日最大3,000m³の処理能力が必要である。

④精密施工²⁾

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100m²ごと深度1m単位の「精密な」掘削施工管理が必要である。

2.3 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方法を設定している。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。

洗浄処理した土壌は100m³ごと以下に1回の頻度で該当する汚染物質の分析を行い、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。

また、対象地の地表面は起伏に富んだ形状を呈していた。土対法の規定では、この地表面を基準

表-1 工事概要

項目	内容
工事場所	大阪市内
敷地面積	9.7ha（敷地全体 21.5ha）
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 ³ 土壌洗浄： 約40万m ³ 場外搬出： 約4.7万m ³

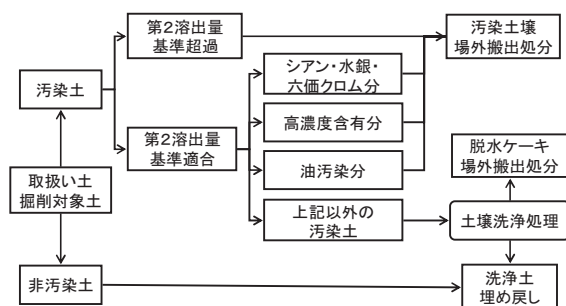


図-1 掘削土の取り扱いフロー

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
	1	汚染土扱い
汚染土 (土壌洗浄)	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
	40	油汚染のみ
汚染土 (場外搬出)	45	油汚染 + 重金類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溶出基準超過
	95	第2溶出基準超過 + 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

に土壌調査が行われるため、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。

2.4 施工上の課題と従来工法の限界

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、日当り最大約 5,000m³ 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 100m² 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繁雑で、作業員がそ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し、確認する必要がある。

このような条件下で従来工法を適用する場合には、以下のような面倒な作業が必要となる。

- ① 当日までの多量多種の施工実績に基づき、手作業により翌日の施工計画を作成する。
- ② 100m² ごとに深度 1m 単位での掘削作業のために、常駐の測量班による丁張り作業が必要不

可欠となる。

- ③ 建設機械のオペレータは掘削した土壌の管理区分に従って、運搬先や洗浄ヤードの指示を出す。自身が掘削している位置や当該土壌の管理区分がすばやく把握できない。
- ④ 後工程である施工計画に早々に着手するためには、毎日終業後に施工実績を迅速に集計する必要がある。

このような施工上の課題と従来工法での限界を鑑み、本工事では、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

3.1 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²⁾・³⁾」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。

3.2 システム構成

(1) 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 の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。施工ヤードを立体的に表現するのではなく、平面図に縦断図と横断図を並列表示させ、また、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 掘削計画システムの仕様

項目	内容
P C	汎用パソコン 1 台 LAN 非対応
O S	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・横断図・縦断図 各ブロック：断面図

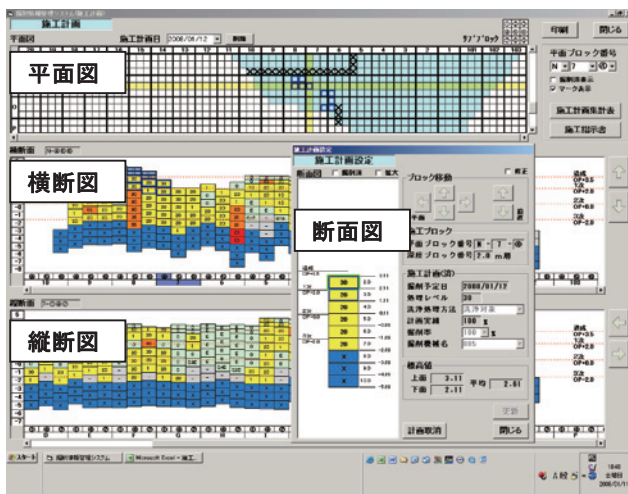


図-2(1) 地盤情報表示例

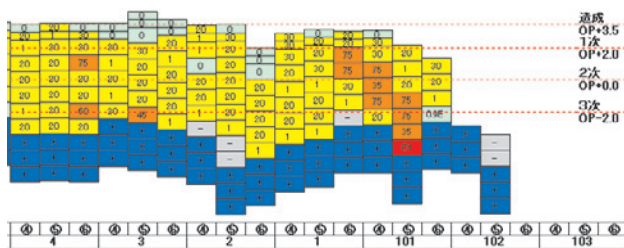


図-2(2) 地盤情報表示例(拡大)

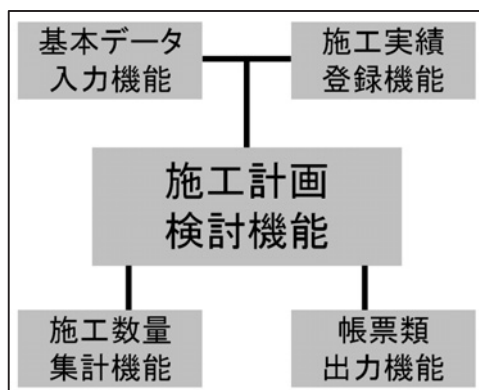


図-3 掘削計画システムの機能構成(概要)

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いく。

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、以下のような機能を具備している。

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、埋戻材料等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、掘削量等



写真-1 掘削状況

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等を勘案して、「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の機能で確定し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。含有量や溶出量を特定有害物質ごとに集計し、洗浄設備の能力に見合った量であるかを判定する。

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形式の帳票としている。

(2)GPSによる掘削管理システム(表-4)

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箇所に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(写真-5)。

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も送信出力の大きい小電力無線を用いてより確実な無線伝送を行っている。

表-4 掘削管理システムの仕様

項目	内容
P C	Panasonic TOUGHBOOK CF-19
G P S	トプコン LEGACY-E+/GD (RTK 専用)
無線機	リットー 小エリア無線 出力1W 周波数 348.7~348.8MHz 付近
演算表示部	ハザマオリジナルソフトウェア



写真-2 GPS 基準局



写真-3 掘削機械に搭載した GPS



写真-4 掘削機械操作室の状況



写真-5 工事測量に利用した GPS

表-5 データベースに保管している情報一覧

設計情報	施工(土工)情報	施工(土工)情報
平面ブロック番号	掘削日	埋戻日
深度ブロック番号	掘削日の天候	埋戻日の天候
ブロック座標値	掘削日の雨量	埋戻日の雨量
ブロック標高値	掘削ブロック(平面)	埋戻ブロック(平面)
処理レベル	掘削ブロック(深度)	埋戻ブロック(深度)
汚染濃度	洗浄処理方法	埋戻材料
(化学物質ごと)	掘削率	転圧機械名
	掘削機械名	概算施工面積
	掘削機械稼働データ	施工基面高
		コン指数
		合否判定

(3)掘削計画システムで取り扱う情報（データ）

土対法に基づく土壌浄化工事を、効率的かつ経済的に遂行し、施工履歴をきちんと示すことができる情報を漏れなく記録するという観点から、本システムでは、表-5 のような情報を保存し、閲覧できるデータベースを構築している。

(4)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

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。

建設機械オペレータはGPSを用いることで3次元的自己位置把握が可能となったことにより、位置座標を基準に、事前に準備されたデータベースを参照することで、まさに今掘削している土壌の管理区分を瞬時に確認することができる。その区分はパソコン画面に表示されるため誤認することがなくなり、的確な次作業指示につながっている（どのヤードに運搬する土壌を掘削しているのかが一目瞭然となった）。

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⁴⁾、⁵⁾。

①掘削計画作成

本システムでは、土対法に基づく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-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により、その日の掘削位置が示されている(図-4)。

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(図-5)。

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-6)。

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-7)。広い土地であっても掘削進行状況が瞬時に把握でき、翌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。

選別掘削工 作業予定表 1

施工日：2008/1/12

掘削ブロック	深度	掘削高さ	掘削幅	掘削率	体積	処理レベル	洗浄処理方法	掘削終了時の確認	掘削備考
D-1-①	2.0m層	+1.34m	-0.9m	10%	10.0	20	洗浄1回	○	
	2.0m層	+0.34m	-0.9m	100%	100.0	20	洗浄1回	○	
	4.0m層	-0.5m	-2.0m	100%	100.0	35	洗浄1回	○	
	5.0m層	-1.50m	-2.0m	100%	100.0	35	洗浄1回	○	
D-1-②	2.0m層	+1.81m	-0.9m	20%	20.0	20	洗浄1回		
	2.0m層	+0.81m	-0.9m	100%	100.0	20	洗浄1回		
	4.0m層	-0.5m	-2.0m	100%	100.0	30	洗浄1回		
	5.0m層	-1.50m	-2.0m	100%	100.0	20	洗浄1回		
E-1-①	2.0m層	+2.13m	-2.0m	100%	100.0	20	洗浄1回		
	4.0m層	-0.6m	-2.0m	20%	20.0	20	洗浄1回		
	5.0m層	-1.64m	-2.0m	20%	20.0	20	洗浄1回		
	6.0m層	-2.64m	-2.0m	20%	20.0	1	洗浄1回		
合計 (m³)					770.0				

汚土出土 発生1回 汚土処理 100

選別掘削工 作業予定表 2

施工日：2008/1/12

掘削ブロック	深度	掘削高さ	掘削幅	掘削率	体積	処理レベル	洗浄処理方法	掘削終了時の確認	掘削備考
H-1-①	2.0m層	+1.70m	-2.0m	80%	80.0	20	洗浄1回		
	2.0m層	-2.70m	-2.0m	100%	100.0	1	洗浄1回		
	4.0m層	-2.87m	-2.0m	100%	100.0	20	洗浄1回		
	5.0m層	-3.87m	-2.0m	100%	100.0	30	洗浄1回		
H-1-②	2.0m層	+1.12m	-2.0m	30%	30.0	20	洗浄1回		
	4.0m層	-2.12m	-2.0m	100%	100.0	20	洗浄1回		
	5.0m層	-3.12m	-2.0m	100%	100.0	20	洗浄1回		
	6.0m層	-4.12m	-2.0m	100%	100.0	20	洗浄1回		
H-1-③	2.0m層	+1.47m	-2.0m	100%	100.0	20	洗浄1回		
	4.0m層	-2.47m	-2.0m	10%	10.0	1	洗浄1回		
合計 (m³)					700.0				

汚土出土 発生1回 汚土処理 0

図-4 作業指示書の一例



図-5 ブロック番号登録画面



図-6 掘削機械に搭載したPC画面

図-7 施工実績情報登録画面

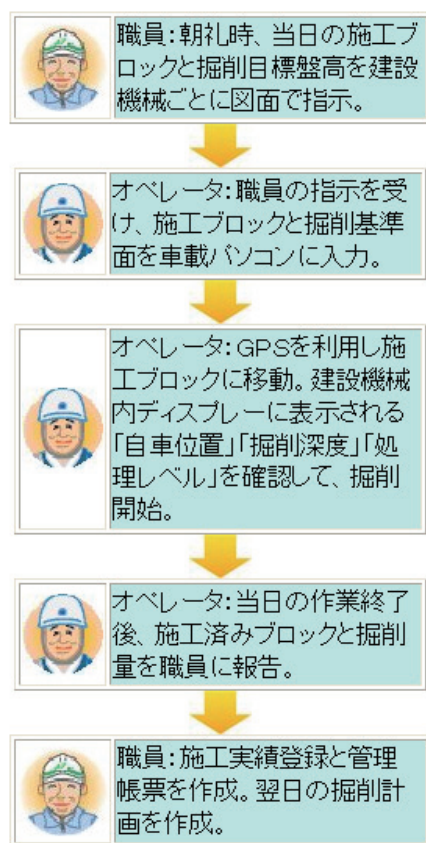


図-8 システムを用いた施工の流れ（建設機械部分）

5. まとめと今後の展開

本稿では、汚染された土壌の掘削管理に情報化施工技術を導入した事例を紹介した。第4章でも述べたように、これまでの多くの情報化施工技術が施工支援や部分的な情報化を目的としたことに対して、本工事は情報化施工技術を利用することを前提にして計画されたもので、施工方法の考え方を変革した好例であると考えている。図-8に改めて現地作業の流れを示した。情報化施工を中心とした作業となっており、これが日常的なルーチンワークとして定着し、工程短縮や労力削減に効果を発揮している。

ところで、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かつ定期的に行う仕事は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（判断）を求める半自動化システムとなっている。

昨今、様々な工事に情報化施工技術が展開されている。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、情報化施工技術で施工を推進することが前提条件となる施工を計画するとともに、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。

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CALS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
- 5) 黒台ら：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」，建設の施工企画，No.721，pp.69-73，2010