

土地造成

Land Grading

建 山 和 由 (たてやま かずよし)

立命館大学 教授

1. はじめに

関西における土地造成では、ニュータウン、工業団地、空港、などの大規模な造成工事から、小規模な戸建て住宅地の造成に至るまで様々な工事が行われてきた。このうち、ニュータウン開発では、1950年代後半の香里団地に端を発し、1960年以降は千里ニュータウンを始め、1 000 ha を超える大規模な土地開発が行われた。その勢いは、人口減少の時代を迎え収束しつつあり、今後は年月を経たニュータウンの再生に取り組むことになる。

また、関西の空港は、関西国際空港や神戸空港に見られるような海上空港と、伊丹空港、白浜空港、但馬空港などの陸域に作られた空港がある。

本稿では、これら関西の土地造成工事を支えてきた技術の変遷について、主立ったものを紹介する。

2. 土工技術の変遷

土地造成は、一般的には山地を掘削して、谷地を埋めて平地を造成する工事といえる。工事の基本的な流れは、「掘削」→「積み込み」→「運搬」→「敷き均し」→「締固め」であり、この流れ自体は、50年間変わることはない。大きく変わったと言えば、工事で用いられる建設機械であろう。

図-1 は、土工用建設機械の大型化の歴史を表している¹⁾。同図には、関西における大規模な土地造成プロジェクトの工事期間も併せて示している。

この図より明らかなように、ここ50年あまりの間に建設機械は急激に大型化していることがわかる。土工の規模が大きくなる中で、短い工期で工事を終えるには、機械の処理能力を高めざるを得ない。このため、機械の大型化が進められた。特に、関西国際空港第一期工事あたりで急激に機械の大型化が図られたことがわかる。プロジェクトが建設機械の進化を進めたといえる。

工事の速度が上がると、施工管理の効率化も求められた。特に盛土の締固め施工管理では、従来用いられていた砂置換法に代えて、短時間で締固めた地盤の密度と含水比を計測することのできる RI (ラジオアイソトープ) 法が汎用的に用いられるようになった²⁾。

さらに、工事の速度を上げるために盛土施工において、まき出し厚さを従来の30 cm から60 cm に増やすケースが増えてきた。これは、振動ローラ的大型化に伴うもので、それと同時に60 cm の土層における深度方向の締固

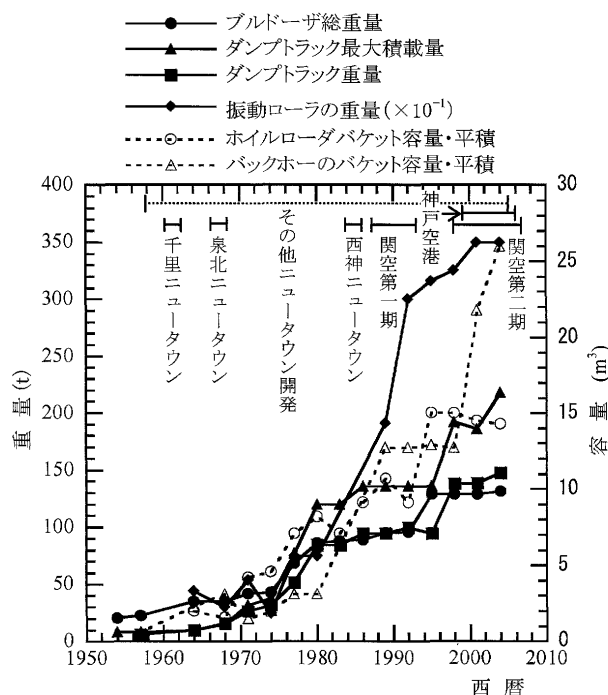


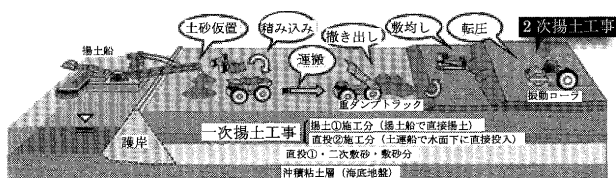
図-1 土工用建設機械の大型化

め度の分布を計測する技術も開発された²⁾。

3. 地盤改良技術

一般の土地造成工事においては、2. で述べたように30~60 cm の厚さにまき出した土砂をローラやブルドーザなどの重機を用いて締固めることにより強固な地盤を造成していく。これに対し、埋立て人工島により土地を造成する工事では、当初は、重錘落下による動圧密工法やサンドコンパクションパイル工法など、人工的に盛り立てた厚い層を一気に改良する工法が採用されたが、2000年頃からは海水面より上の部分については、大型振動ローラを用いた転圧工法が採用されるようになった。関西国際空港の建設に、その顕著な事例を見ることができる。

関西国際空港第一期島の工事では、サンドコンパクションパイル工法 (SCP 工法)、振動棒締固め工法 (VR 工法)、マンモスバイプロタンパー工法 (MVT 工法)、重錘落下式締固め工法・動圧密工法 (DC 工法) により造成した地盤を改良する工法が採用された³⁾。これらの工事では、深度5~15 m 程度の土層を一括して締固めるもので、例えば DC 工法では、質量25 t の重錘を25 m の高さから繰り返し落下させることにより、10~15



図一 2 関西空港二期島の用地造成方法
(関西国際空港用地造成ホームページより引用)

m の地盤の締固めが行われた。

これに対し、第二期島工事では、図一 2 に示すように、所定の厚さにまき出した材料を大型の振動ローラで繰り返し転圧し、厚さ 60 cm の土層に仕上げる転圧工法が採用された。一期島工事で用いられた地盤改良工法は、点的な改良を数多く行い、最終的に地盤全体の改良を図るという発想に対し、二期島では、一定の厚さにまき出した土層を全面にわたり丁寧に重機で締固め、これを積み重ねることにより強固な地盤を造成していくという発想に立っている。深部の地盤まで改良効果が伝わる効果は期待できないが、上部の揚土の部分に関しては、確実に強固で均一な地盤を構築するという考え方は人工島における土地造成の一つの考え方といえる。実際に二期島工事では、均一で強固な地盤を作ることにより、その上の舗装構造を従来の半分近くの厚さにまで抑えることができた⁴⁾。

4. ICT による一律管理から個別評価への移行

土地造成に限らず日本の社会基盤整備は、戦後急速な勢いで整備が進められてきた。これとともに所定の品質の構造物を効率的に建設するために仕方書やマニュアルの整備が行われた。現在では、構造物毎に施工や管理における基準が与えられ、それに準拠していれば技術者は、難しい判断をスキップして、所定の構造物を造ることができるようになった。戦後の短期間に現代の社会資本を整備し得たことは、基準やマニュアルによる一律管理の疑うべくもない成果といえ、20世紀型社会基盤整備の最も大きな特徴といえる。しかしながら一方で、一律管理は不確定要因に起因する無駄を避けることができないという課題を有している。一般の建設工事では、天候や地質のばらつきに代表される不確定要因を前提に構造物の設計や施工計画を作成せざるを得ない。このため、一律管理に従う限りは、構造物の設計や施工計画では安全率の導入など、余裕を持った計画を建てざるを得ないことになる。しかしながら、限られた資源の有効利用や工事に伴う環境への影響軽減に関する要求が高まる今日、基準やマニュアルに従う一律管理だけでは、これらの要求に十分には応えることができず、一律管理に加えて現場の状況に応じて柔軟に対応する個別評価の仕組みを組み込むことが求められることになる。すなわち、基準やマニュアルを標準としつつも、それを絶対的なものとせず、現場の状況に応じて柔軟な対応を採ることにより精緻な工事を行うことが求められる。これを実現するには、技術者にはこれまで以上に高度な判断力を有することが

求められることになるが、それには現場の状況に関する正確な情報を迅速に収集する必要がある。近年の情報・通信技術 (ICT) は、これを補完するだけの機能を十分に有するようになった。この考えは、21世紀を迎え、土地造成の施工や管理においても徐々に導入されるようになってきた。ここでは、これまでの施工と管理方法、それらに情報・通信技術を導入することにより、大幅な効率化や精緻化を図った事例を 2 例紹介する。

4.1 情報技術を用いた施工管理

土地造成工事において最終的に管理されるのは、盛土の形を確認する出来形と盛土の品質を示す締固め度である。このうち、出来形管理ではトータルステーション (TS) や汎地球測位航法衛星システム (GNSS: Global Navigation Satellite System) に代表される先端的な測量技術を利用することにより、造成地盤の出来形を迅速に、かつ、より正確に把握することができるようになってきている。さらに出来形管理だけではなく、重機の制御にこれらの先端技術を利用することにより、丁張りや測量を軽減して所定の出来形の構造物を造成する技術も徐々にではあるが、実施工で取り入れられるようになってきた。これらの技術は今後も発展が期待されている技術ではあるが、地盤工学からは外れるため、詳細については参考文献に譲ることとし⁵⁾、ここでは締固め度の管理技術について紹介する。

造成した地盤の締固め度は、一般的には、乾燥密度と含水比で管理されることが多い。乾燥密度は、規準となる最大乾燥密度 ρ_{dmax} を室内突固め試験で求め、現場で計測した乾燥密度 ρ_d の ρ_{dmax} に対する比 (D 値) の大きさを締固め度の良否を判定することが多い。これと共に、含水比も最適含水比付近の含水比で施工を行うことが要求されるが、実際には、大量の土砂の含水比を調整することは困難な場合が多く、ほとんどの場合、採取した土砂をそのまま使っている。現場の乾燥密度の計測は、砂置換で行われることが多かったが、1980年代からは、ラジオアイソトープ (RI) を利用して、密度と共に含水比を計測することが多くなった。RI を利用すると、1分程度の短時間に密度と含水比を計測することができるため、施工管理が大幅に迅速化された。

しなしながら、砂置換による密度計測も RI による密度と含水比の計測も規定の面積毎に 1 点計測を行い、その計測結果でその面積全体の締固め度を代表させる管理方法である。この計測で得られた D 値が所定の規準 (例えば 90%) を超えているか否かで施工の良否が判定され、その面積全体の地盤の品質が評価されることになる。実際には、その地盤すべてが一律の D 値を有しているわけではないが、計測に手間と時間を要するために、1 点でエリア全体を代表させる典型的な一律管理の手法を採らざるを得ないということである。

近年、GPS が建設機械の管理に用いられるようになった。各機械には GPS が取り付けられており、機械のオペレータだけでなく、離れた事務所でも移動する機械の位置や稼働状況をリアルタイムで把握することができ

報 告

る。これとともに地盤センサーというべき機能を有する機械も導入されるようになってきた。一般に地盤の締固めには振動ローラが使われる。振動ローラの振動輪の振動挙動は地盤の剛性により変化する。このため、振動輪の振動加速度をモニターすることにより、振動ローラが通過している下の地盤の剛性を計測することができる。この技術と GPS による位置認識技術を組み合わせると、地盤の締固め度を施工ヤード全面にわたりリアルタイムで把握することができる⁶⁾。

図—3 は関西国際空港第二期島工事においてこのシステムを用いて計測された地盤剛性の分布である。転圧が進むにつれて地盤の剛性が確実に増加していることがわかる。地盤の剛性は、締固め度だけではなく、材料の含水比や粒径等によっても影響を受けるため、地盤剛性の計測結果より、極端に剛性の小さな地盤が特定されると、他の情報を用いてその原因が検討され、改善に向けた取り組みがなされた⁷⁾。これまでの施工では、規定の面積単位の一律管理であったものが、このシステムの導入により数 m のメッシュ単位で品質の評価を行うことができるようになり、個別評価により、精緻な施工管理を行うことができるようになった事例といえる。面的に収集された地盤剛性のデータは、その上の舗装設計や、維持管理に利用されるようになれば、より進んだシステムになる。

なお、関西国際空港第二期島建設現場では、含水比調整も綿密に行われている。ここでは、土取り場と揚土時に採取した土砂の含水比を計測し、含水比が低い場合には、リクレーマー船で揚土する際に噴霧による加水を行い、所定の含水比になるような調整が行われている。これにより、より均質な地盤を構築することができた。図

—4 は、揚土前と揚土後の含水比の分布の違いを表している。この調整により、含水比のバラツキを抑え、より均質な材料搬入を行うことができた⁸⁾。これも情報を利用した施工の精緻化の良い事例といえる。

4.2 採土工事における情報化施工⁹⁾

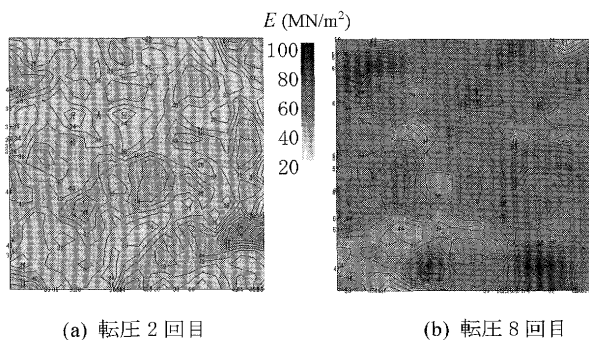
関西国際空港の造成では、阪南、加太、淡路島から土砂を搬入し、人工島の構築を行った。採土場では、山部を掘削し、土運船で土砂の搬出を行った。掘削された山部は産業用地などに利用された。ここでは、採土場の一つである淡路島の津名で行われた情報化施工を紹介する。

図—5 に採土現場の概要を示す。山側の採土地で発破、もしくは油圧ショベルにより掘削された土岩は、ブルドーザで集められた後、油圧ショベルもしくはホイールローダで重ダンプトラックに積み込まれ、採土場下端にある破碎機まで運ばれる。破碎機で大きな岩塊は 200 mm 以下の土砂にまで破碎され、ベルトコンベアでストックヤードまで運ばれる。ストックヤードの床には土砂の引き出し口があり、ここから引き出された土砂はベルトコンベアで積み出し桟橋まで運ばれ、土運船に積み込まれる。

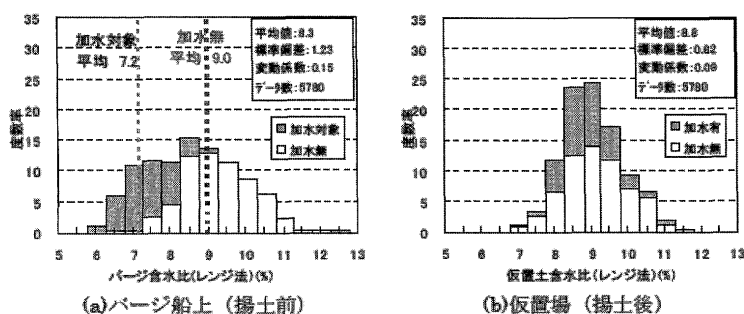
一般に採土工事における施工効率は、工事の進捗と共に時々刻々変化する地質や地形と共に、天候にも左右される。施工効率を向上させるには、これらの要因の変化に対応して採土場所や重機の配置、発破の薬量と削孔パターンを柔軟に変更していく必要がある。そのためには、現場の情報をリアルタイムで収集し、現場の技術者が的確な判断を行うことができる仕組みを作る必要がある。

この現場では、図—6 に示すように重機の位置や稼働状況をリアルタイムで把握するシステムを導入し、時々刻々変化する現場の作業状況をリアルタイムで把握すると共に、現場の技術者がそれを共有する仕組みを導入した。これにより、技術者はどこにいても現場の状況を把握することができ、かつ共通の情報を基に施工の改善を議論することができるようになった。例えば、硬岩地山は発破で破碎するが、火薬量も現場の岩種に応じて精緻に管理された。一般に、発破で使われる火薬量は岩種に応じて標準的な薬量（例えば 0.2 kg/1 m³ 等）が決められている。しかしながら実際には地山の堅さは岩種により一律に決まるわけではなく、発破による破碎効率は場所により微妙に異なり、施工の効率に影響を及ぼす。例えば、岩盤が想定以上に軟らかく予定より細かく破碎され

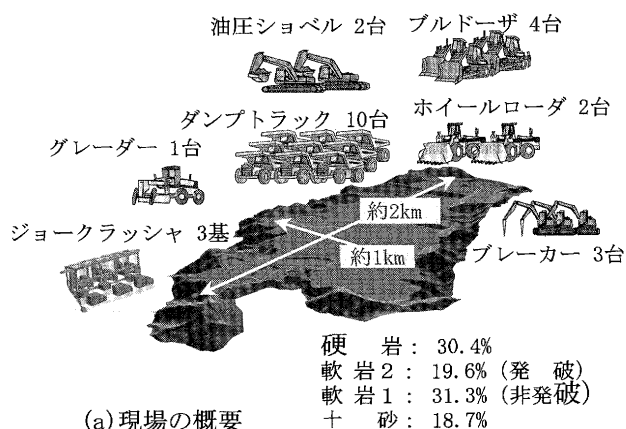
ると積み込み効率が上がるため、短い時間で積み込みと運搬を行うことができる。しかしながら、破碎機的能力に限界があるため必要以上の効率で山を掘削しても、破碎機的能力以上の土砂を作ることができないことになる。このため、この現場では、発破で破碎した土岩の積み込み・運搬効率に応じて、次の発破の時に火薬量を柔軟に変更して、所定の破碎状況が得られるように調整した¹⁰⁾。このように、一律管理から個別評価を取り入れた結果、火薬量を大幅に削減することができた（図—7 参照）。



図—3 振動ローラの加速度応答による地盤剛性の測定



図—4 搬入土砂の含水比のバラツキの改善

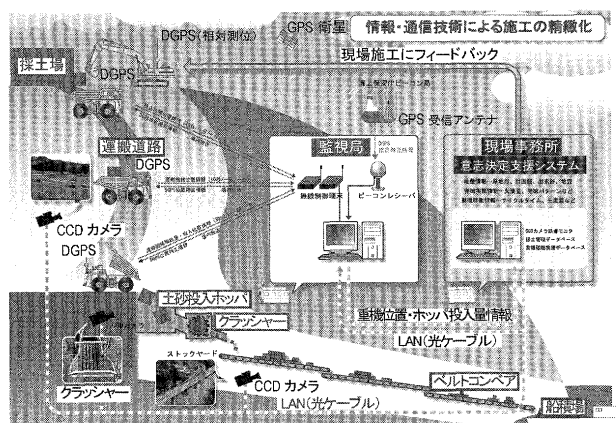


(a) 現場の概要

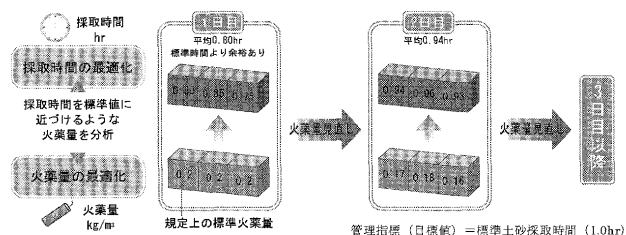


(b) 採土工事の作業工程

図—5 システムの構築を行った工事現場の概要



図—6 土取り工事に置いて導入された情報通信機器

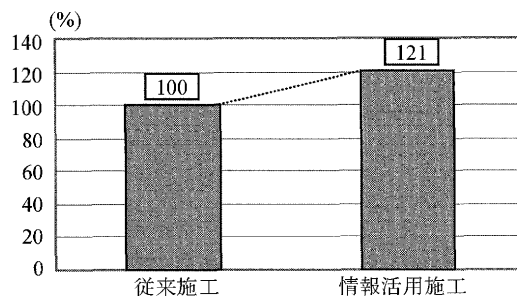


図—7 個別評価による火薬量の最適化

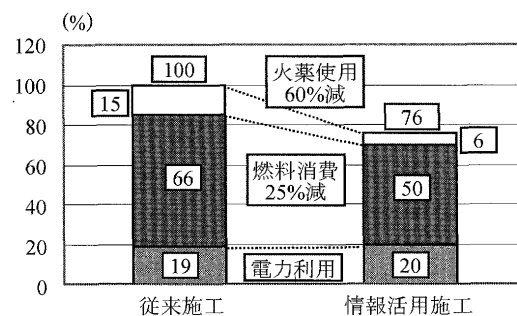
この結果、図—8に示すように、月平均採土量として約21%の改善を図るとともに、必要以上の重機や火薬の使用を省くことにより、施工に伴う環境負荷を二酸化炭素の排出量にして約24%削減することができた（図—9参照）。

5. おわりに

関西における土地造成について特徴的な話題を紹介し



図—8 平均日出荷量の改善



図—9 施工に伴う環境負荷の軽減効果

た。筆者の知識と情報が限られていることと紙面の都合から、紹介できなかった話題も多い。特に、小規模な宅地の造成とその品質については、住宅の健全性からみた課題も多く、これまでの総括と今後の方向性について整理を行う必要があると考えていることを付記しておく。

参 考 文 献

- 1) 日本建設機械化協会編：日本建設機械要覧，1954年～2004年分（3年毎に発行）より作成。
- 2) 地盤工学会：粗粒材料の現場締固め，3.現場密度試験，pp. 97～149, 1990。
- 3) 岩谷文方ほか：関西国際空港における岩砕埋地盤の締固め特性，粗粒材の現場締固めの評価に関するシンポジウム論文集，pp. 133～140, 1990。
- 4) 池田憲造ほか：関西国際空港2期用地造成事業，基礎工，Vol. 35, No. 1, pp. 69～72, 2007。
- 5) 永井孝雄ほか：高精度GPSを利用した建設機械の情報化施工システム，建設機械，Vol. 43, No. 1, 2007。
- 6) 藤山哲雄・建山和由：振動ローラの加速度応答を利用した転圧地盤の剛性評価手法，土木学会論文集，No. 652/III-51, pp. 115～123, 2000。
- 7) 田端竹千穂ほか：関西国際空港2期工事における転圧締固め施工，土と基礎，Vol. 54, No. 9, pp. 33～36, 2006。
- 8) 瀬口 均・田端竹千穂ほか：海上空港の転圧締固め工事における盛土材料の含水比管理手法，平成18年度土木学会全国大会講演概要集，3-177, 2006。
- 9) 大前延夫・沖 政和・澤 正樹：現場内ネットワークを用いた大規模重機土工の施工管理，建設の機械化，No. 610, 2000。
- 10) 小野正樹ほか：施工情報の一元化と3次元GISへの展開，土木学会第58回年次学術講演会，pp. 515～516, 2003。

(原稿受理 2009.7.7)