

土工機械とユーザニーズ

岡本直樹

土木工事は建設機械の発展とともに歩んできたが、近年の建設機械の進歩は目覚ましいものがある。わが国の土工機械の導入は明治期に遡るが、特に戦後の土工機械の種類と作業を概説し、その土工機械と施工法の変遷、ユーザニーズの変化等について述べる。また、近年の技術動向とユーザサイドの要望としてオペレータ、整備職、安全担当者、工事管理者等の意見を記し、最後に自動化・情報化の現状と要望についても言及する。

キーワード：建設機械，機械土工，土工機械，機械化施工

1. はじめに

機械土工の歴史を振り返ってみると、土工機械とその施工法も時代と共に変化してきている。社会ニーズの変化と基盤技術の革新が変化の大きな要因となっていて、最終的にエンドユーザの選択が建機需要の推移に影響している。そのユーザの選択には経済性の他、取巻く社会環境の変化が影響し、業界構造変化の大きなうねりが底流にある。

2. 土工機械とユーザニーズ

2.1 土工機械の歴史

わが国の建設機械の導入は、明治初期から早くも始まっていたが、本格的な導入は日清戦争後の社会資本整備拡大と明治 29 年の河川法制定により、全国主要河川を高水工事へ転換する改修工事が開始されてからである。この時期に導入されたラダーエクスカベータと軽便軌条の土工機関車(鍋トロ牽引)の組み合わせが、河川工事の機械土工スタイルとなった。明治末期から



写真 1 ラダーエクスカベータ

はスチームショベルが掘削積込機として導入され始め、河川工事以外の機械土工にも投入された。

大正 10 年頃から昭和初期にかけて機械化施工は大いに浸透・普及し、ディーゼル機の輸入も始まったが、その後の大恐慌と戦時体制で機械化は後退する。

戦後、進駐軍とともに米国製ブルドーザやスクレーパがやって来た。国土復興にこれらの革命的土工機械が活躍を始める。米軍払下げ機械を利用する一方、模倣による国産化と国産メーカー育成も図られた。

当初、直営施工で進められた機械化は、昭和 30 年代に入ると大手ゼネコンが建設機械部門を拡充し、昭和 40 年代には専門工事業に機械保有がシフトした。その後も土工機械は、大型化・油圧化・タイヤ化を進め、昭和 55 年頃からエレクトロニクスを融合したメカトロニクス化が進行し、自動化・情報化を推進する新しい技術革新が始まった。

2.2 土工機械の種類と作業

機械土工の主要作業と組み合わせ機械の関係を図 1

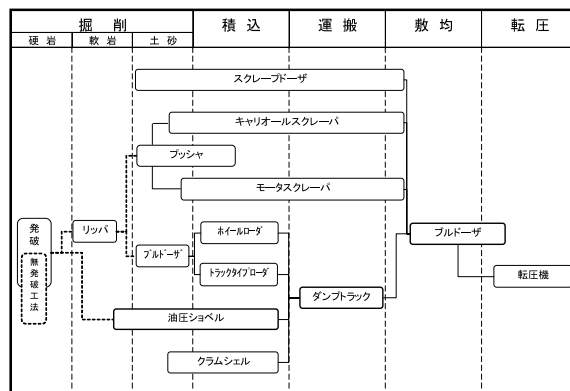


図 1 土工機械の組み合わせと役割

に示す。これらの組み合わせ工法は、スクレーパ工法とショベル&ダンプトラック工法に大別できる。

スクレーパは、自己完結的な機械で掘削・積込・運搬・敷均を1台で行え、敷均ブルは端掻き程度でよい。キャリオールスクレーパとモータスクレーパは、プッシュドーザを積込補助に付け、サイクルタイムの短縮を図る。

一方、ショベル&ダンプトラック工法は、積込機としてローダや油圧ショベルが使われ、開削等ではクラムシェルが用いられる。ドラグラインは近年殆ど使われていない。

運搬のダンプトラックは汎用のリジッド型と軟弱地や急勾配登坂に強いアーティキュレート型があり、海外では長距離運搬にトレーラダンプが用いられている。

その他に連続運搬工法として、ベルトコンベアやスラリ輸送等がある。連続掘削積込機としてはBWE(バケット・ホイル・エキスカベータ)があり、米国ではベルトローダも使われている。海外の大規模土工では使ってみたい機種である。



写真 2 ベルトローダ

2.3 土工機械と施工法の変遷

戦後の土工機械と施工法の変遷からユーザニーズの変化を見てみる。

(1) 積込機とダンプトラック

戦後、ブルドーザやスクレーパ工法が導入され、土工事は革命的に変わる。また、軌道式土工に代わってショベル&ダンプ工法が導入されるが、当初、積込はケーブル式ショベルのままであった。ローダが登場すると、積込機の主流はトラックローダ、やがてホイルローダへと交代した。ケーブル式万能掘削機は、クラムシェルと軟弱地用のドラグラインが残ったが、ドラグラインも油圧バックホウの普及と共に姿を消してしまった。クラムシェルだけが、今日もクローラクレーン等に装着され開削工事に使われている。

昭和50年代には油圧ショベルの普及と共に切崩ブルを必要としないバックホウに置き換わっていった。ローディングショベルも一時導入されたが、掘削力不

足から建設業では支持されなかった。しかし、露天掘鉱山の超大型機市場では、ローディングショベルがケーブル式ショベルの地位を奪いつつある。

当初、10t車はバックホウ積込、重ダンプにはホイルローダ積込であったが、バックホウの大型化により、重ダンプでもバックホウ積込が主流となり、ホイルローダ積込の優位性は機動性のみとなってしまった。しかし、ホイルローダには積込の用途以外にも、ロード&キャリ工法の需要がある。

現在、国内土木工事で使われる最大のダンプトラックは90t級で、その積込の油圧ショベルは190t級である。135~120tダンプは、閑空期工事で使われたのみで、分解組立、回送を考慮すると90t級ダンプが土木工事での限界であるようだ。海外の露天掘鉱山では、900t級の油圧ショベル、360t級重ダンプが活躍している。

(2) スクレーパ系

スクレーパ系については、戦後、払下げのルターナのキャリオールやターナブル(モータスクレーパ)が導入され、その後に国産化も進み、ケーブル式から油圧式へと進行した。また、メンク社の技術導入により国産化したスクレーパドーザは、日本の国情にマッチし軟弱地で活躍した。一方、米国で多用されているエレベータリングスクレーパは日本では普及しなかった。

モータスクレーパ(MS)は宅地造成工事の花形で、面土工で大いに威力を発揮したが、開発が進むと立地条件が丘陵地から急峻な山へと変化していった。このためMS工法に不向きな急勾配、岩掘削が多くなりMS工法は衰退し、キャリオールスクレーパも現在殆ど生産されていない。また、スクレーパドーザがバブル崩壊後の需要低迷から生産休止状態であるのは残念である。

代わって現在では、急勾配、軟弱地に強いアーティキュレートダンプが普及し、近距離では同様にクローラダンプが増加して新しい需要に応えている。

(3) 長期動向

主要建設機械の国内需要割合の変化の長期動向をみると、図2のように推移している。

油圧ショベル：HEの急増とともにトラクタ系が激減し、昭和40年に8割を占めていたトラクタ系(ホイルローダ：WL、トラックローダ：TTL、ブルドーザ：TTT)と油圧ショベルの割合が昭和の終り(1988年)までに逆転してしまっていて、平成以降は概ね落ち着いている。油圧ショベルの増加がブルドーザの減少を招いたのは当然としても、ホイルローダの割合が一定なのは採石業での需要が安定しているためと

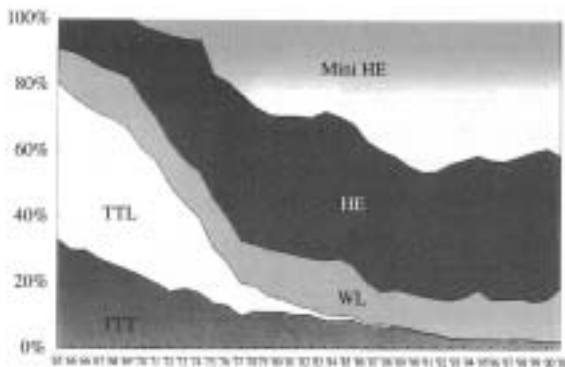


図 2 国内建機需要の推移

思われる。

(4) 環境対策

1997年の騒音規制法施行令の改正後、都市向け超低騒音仕様の油圧ショベルが数多く開発された。一方、ブルドーザはクローラの走行騒音が問題となり、その対策としてオイル封入リンクや低振動のボギー機構（弾性足回り）等の採用があるが、更なる低減対策が求められる。

排ガス規制対策では3次規制対応型が出荷され始めているが、省エネ対応も地球温暖化対策とともに石油価格高騰でオイルショック以来、再び重要な問題となってきた。

3. 運転環境とユーザニーズ

最近の建設機械メーカーの取組みは、排ガス規制、振動・騒音規制等の環境対策、オペレータの高齢化や熟練オペレータの不足、更にレンタル機の増加等への対応としてのイージオペレーション化、その他に安全対策、自動化・省力化、情報化等への対応がある。



写真 3 ブルドーザの運転席

3.1 最近の運転装置

運転装置の操作性には走行系と作業系がある。ブルドーザの従来型の操向は、ステアリングクラッチ&ブレーキ方式で、片側の履帯への動力伝達を切ることで行い、下り操向では逆ステアリングとなり熟練

を要した。近年はハイドロスタティックドライブやディファレンシャルドライブの採用に伴い、ジョイスティック等の一本レバーに操作が集約され、ステアリングクラッチ&ブレーキ方式も電子制御式のフィンガコントロール仕様となっている。



写真 4 フィンガコントローラ

ホイールロードもスティックタイプや小回転ハンドル（±72度）が採用され、ステアリング操作を容易にしている。



写真 5 ロードのステアリングスティック



写真 6 小回転ハンドル

重ダンプトラックでは、ディスクブレーキの油温保持のため、下り走行時の適正シフト段の選定とリターダ操作により、エンジン回転を一定の範囲に収めて走行する熟練が要求されたが、オートリターダの採用により、オペレータをリターダ操作の煩わしさから解放した。

作業系の操作性も電子制御と油圧を組み合わせたE&Hコントロールで操作が容易となっている。

従来の運転装置よりも人間工学的に考えられ、軽いタッチで操作できるので、慣れれば扱いやすそうであるが、従来機種のように初めての機種でも見れば判るという感覚ではなく、初めて乗車すると戸惑いを隠せないのではないかと懸念する。古いオペレータには抵抗感もあるようである。

3.2 オペレータの意見

土工機械の代表的な機種について、弊社のオペレータに行ったアンケート結果を紹介する。機種は、ブルドーザ、バックホウ、ホイールローダ、重ダンプトラックの4機種で、メーカー、型式等は不問とし、それぞれ操作性・居住性・安全性の満足度を調べた。

(1) 操作性

操作性には、走行系と作業装置系の操作性があり、機種毎に操作装置は異なるので、機種毎の調査項目を設定した。その調査項目は図3～5のグラフ縦軸に示す。ブルドーザは、全般に満足度が80%程度と高い。

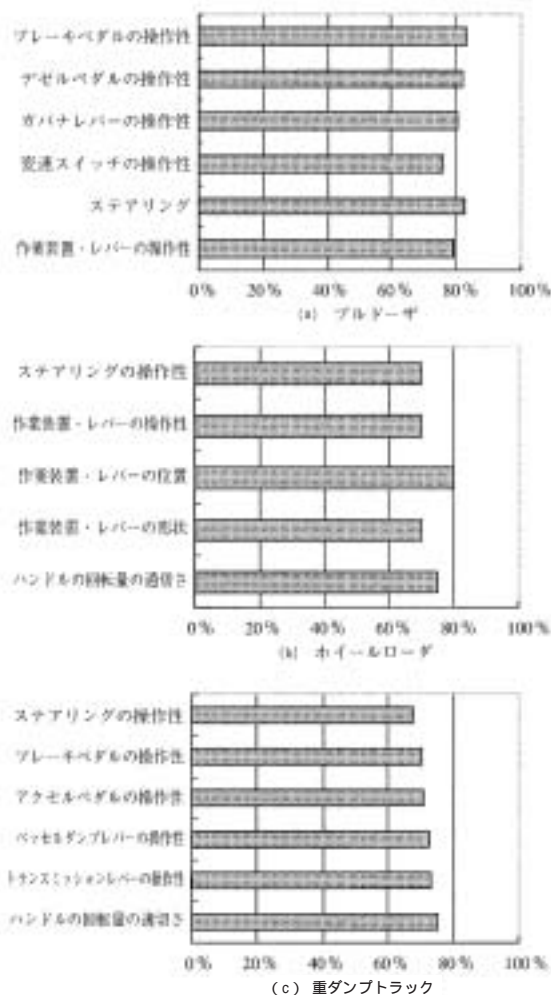


図 3 操作性

ホイールローダは作業装置・レバー位置の満足度が80%，それ以外は70%前後である。また、重ダンプトラックも全般に70%前後の満足度に達しており、3機種とも満足度は高い。

(2) 居住性

居住性の満足度は、ブルドーザがキャブ内の騒音・振動で70%程と低いが、他は80%前後の満足度となっている。ホイールローダも前後進・速度段階切替時のシフトショック以外は80%を超え、満足度は高い。バックホウ、重ダンプトラックはどの項目も80%に満たず、70%前後の満足に終わっている。これら居住性の満足度は、機種によって異なる作業特性や走行性の影響も大きいようだ。

(3) 整備性

給脂箇所の集約、給脂間隔の延長等メンテナンスがやり易くなり、メンテナンス工数も減少しているが、オペレータの満足度は60%程度と全般に低い。

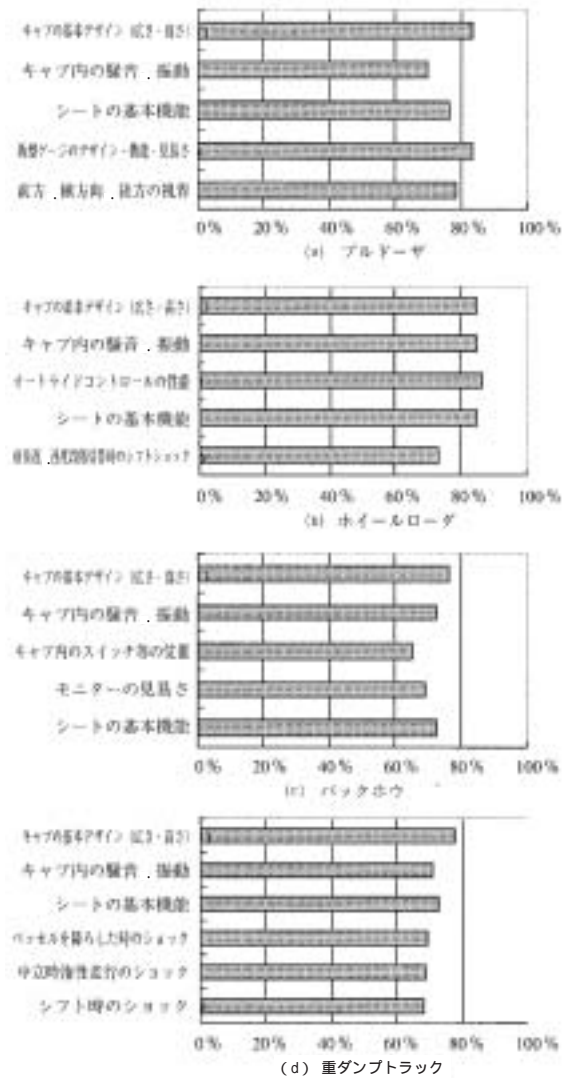


図 4 居住性

(4) 要望する装置・機能

オペレータが要望する装置・機能を列記すると以下のものがあり、その要望度を図 5 に示す。

- ・自動給脂システム
- ・トラブル予知装置
- ・エンジンオーバーヒート防止装置
- ・メンテナンスフリー
- ・ターボタイマー
- ・シート/レバー位置のワンタッチセット
- ・超低騒音仕様

メンテナンスや故障予防に関するものに要望が高いが、作業装置等の自動化への要望は低い。

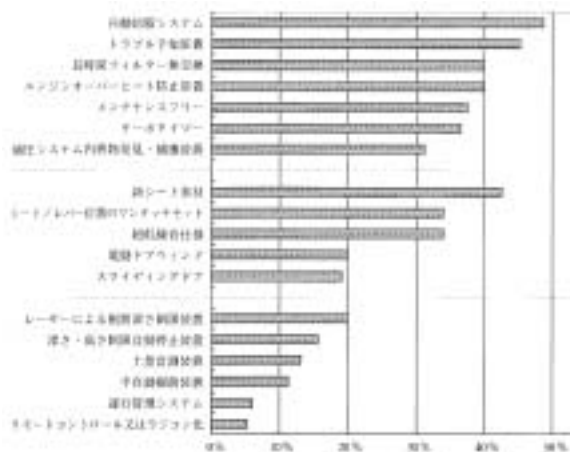


図 5 要望

3.3 整備職からの要望

今日の建設機械は電子制御化され、さまざまなセンサやスイッチ類が搭載されていて、各建機メーカーの診断システムを導入し、マスタしなければ性能診断や故障探求ができない。従来の機械制御・油圧制御・電気制御での経験と勘（知識に裏付けされた）だけでは故障の原因を追及できなくなった。従って、各機械メーカーのコンピュータ診断機器を導入し、教育を繰返して習熟に努めている。

更に、コンピュータ制御による問題として緊急停止機

能がある。作業中に危険な状態で緊急停止した場合、オペレータには対応不能で、診断システムによる故障診断と復旧が必要であり時間を要する。重大故障予防の必要な機能ではあるが、緊急回避機能を付加して欲しい。

また、排出ガス対策において、規制対応エンジンの中には、高圧縮型として燃費が極端に悪化したものや極端に寿命を縮めたエンジンも出ている。耐久性や寿命に影響しない排ガス対策エンジンを要望する。

その他に、故障部品の交換において必要以上にアッセンブル交換を強要される場合があるので改善して欲しい。

3.4 安全担当者からの要望

近年、地球環境や人間尊重の考え方が重視され、安全対策もより重要となり、安全装備・規格等の国際標準化（ISO規格）が進められている。また、一般的な安全 A・B 規格に加え、土工機械個々の安全 C 規格の制定が進行している。

安全担当者からの要望としては、全般的な安全対策の他に高齢化対応、疲労軽減対策がある。

具体的な要望事項としては、後方視認カメラのバックホウ・ホイールローダ・重ダンプへの装備。重ダンプに関しては、右サイドや前方直下の死角対策も必要である。また、人間の接近警報・停止装置、機械の横転防止装置・警報等の装備。ホイールタイプ車への歯止めの標準装備、消火器の標準装備、シートベルトの改良、整備点検箇所からの転落防止策、低い位置での集中給脂、転落防止手摺り、足元の滑止め、キーの抜き忘れや作業装置降し忘れの警報装置等がある。

3.5 工事管理者の要望

工事管理の立場からは、省燃費でダウンタイムの少ない高生産性の機械、即ち経済的な機械を要望している。また、最適な施工計画と施工管理を支援する統合管理システムの提供を望んでいる。

新機種への要望としては、無発破硬岩掘削機、岩の仕上げ掘削機、岩盤清掃機、エアータンパの機械化、ストーンピッカ、高効率揚土機械等がある。また、各種アタッチメントの迅速交換性、消耗品の耐摩耗性向上（足回り、エッジ・ビット類、タイヤ等）等の要望もある。

4. 土工機械の自動化・情報化

4.1 自動化

建設機械の自動化への取組みは比較的早く 60 年代に始まり、80 年代からは「建設ロボット」という呼称で自動化が推進された。土工機械では、70 年代に電磁誘導ケーブル方式による無人ダンプトラックが開発され、80 年代末期にマイコン制御による無人ダン

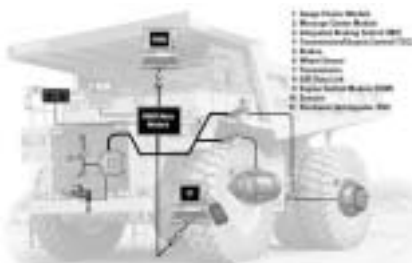


図 6 電子制御と診断システム

プトラックが出現した。

土工機械の作業装置系の自動化として、ブレード制御は回転レーザ方式が70年代に米国で実用化し、日本でも圃場整備では一般的な装備となった。そして、近年は自動追尾TS（トータルステーション）やGPSを利用したものが多い。これらのブレード自動制御は軽負荷の仕上げ制御用で、掘削作業（バカ押し）には向いていない。掘削用の自動制御が望まれる。

バケット制御でも仕上げ用に回転レーザや自動追尾TS、GPSが利用されている。積込作業については、積込対象材の位置や形状の認識に画像処理やレーザレンジセンサの利用研究が進められているが、格段の認識技術が求められている。

自動走行の誘導制御法は、デッドレコニングを基本として累積誤差補正が必要であるが、近年では補正用にGPSが利用されている。

建設機械のラジオコントロールは、60年代後半から利用されていたが、雲仙普賢岳の災害復旧工事では、映像情報の移動体伝送と電波中継法が開発された。遠隔操作では、極限ロボット等で研究されたテレグジスタンス技術の活用が将来は望まれる。

4.2 情報化

土工事への情報化の取組みは、メインフレーム時代に日報管理、機械管理、原価管理等をバッチ処理していたものが、PCの登場によりタイムリーに活用できるようになった。また、積算は勿論、施工計画等の技術計算への利用も容易になり、CALS/ECの推進によってCADの利用も一般化してきた。

また、GPSと運土計画を組み合わせた土工管理システムやGPSを利用した締固め管理が大規模土工で一般化している。近年の情報化施工は、CAD情報とGPSによる3次元位置情報を照合して機械制御を行えるようになった。建機メーカーによる情報化機器と管理ソフトウェアのオプション化が進み、経済的に利用できることが望まれる。

4.3 海外の状況

海外の動向では、建機搭載型のGPS機器や重機管



写真 7 管制センター



写真 8 GPS無人ダンプ

理用ソフトウェアが、建機メーカーのオプションとして急速に普及し始めている。

例えば、鉱山機械統合管理システムでは、各重機は無線LANで結ばれ、稼働データを自動記録し、施工にフィードバックする。管制センターでは、稼働モニタリングにより重機の最適配置を行っている。また、機械の健康状態からメンテナンス・定期修理等を含めた統合管理を行っている。

ダンプトラックのGPS無人運転については、96年頃から米国・豪州で実験が始められ、近頃はチリ鉱山での実用化実験が発表されている。

5. おわりに

土工機械は蒸気ショベルの発明以降、技術革新と共にさまざまな機械が開発され改良発展してきた。一方、機種や施工法の変遷には、社会環境の変化とユーザーズも大きく影響を与えていた。近年は、地球環境に配慮し、安全で経済的な建設機械が要望されている。

施工において機械化はほぼ達成され、情報化施工の時代に突入している。今後は建設機械も情報化施工システムの構成要素としての発展を期待する。

JICMA

《参考文献》

- 1) 岡本：機械土工のあゆみと近況，建設の施工企画，'05.9
- 2) 三浦尚子：ホイールローダのニーズ変化と製品特徴，建設機械，'04.9
- 3) 松永光史：建設機械オペレータの運転環境，建設機械，'02.3
- 4) 岡本，神倉：わが社の建設機械整備と課題，建設機械，'05.2
- 5) 岡本，村上，金津：大型重機土工における安全対策，建設の施工企画，'05.3
- 6) 岡本：大規模土工の近未来風景，建設の機械化，'03.1
- 7) Leica, CAT, Modular：Technical Bulletin

[筆者紹介]

岡本 直樹（おかもと なおき）
山崎建設株式会社
安全施工本部
技術担当部長

