

日本における建設技術の推移

渡 部 務

日本の建設技術は、建設施工技術と建設機械技術を両輪として、質的にも、量的にも世界のトップレベルに発展してきており、機械化施工の時代から情報化施工の時代へと変遷している。CONET 2006 では、(社)日本建設機械化協会設立から現在に至る建設技術の推移(表)を掲示発表した。本報文でさらに、協会設立以前や現状の建設機械技術について内容を充足し、多様化する今後の課題に対する建設技術の発展を期待するものである。

キーワード：建設施工技術、建設機械技術、機械化施工、情報化施工、無人化施工

1. はじめに

日本社会は高度経済成長期を経てすでに、伸長の少ない成熟期に達していると言われている。一方、広域にわたる自然災害の発生、経年変化による土木構造物の耐久性懸念、産業活動に伴う環境汚染の問題など多くの課題が生じてきている。経験工学をベースとする建設技術の分野においては、過去の推移を知って現在を理解し、現在を究めて将来を創生するというプロセス認識が重要である。今や建設工事における建設機械化施工は普通のことであり、建設施工技術と建設機械技術は相互助長の関係にある。

一般の CONET 2006 においては、「(社)日本建設機械化協会・50年史」などの資料を参考にして、「日本における建設技術の推移(1)～(3)」パネルを作成掲示した(別表—1参照)。本表は(社)日本建設機械化協会発足の1949年から現在までについてまとめたものであるが、その内容補足と今後の発展への期待を含めて、建設機械技術を中心にもう一度考えてみたい。

2. 人力作業から機械化施工へ (1948年以前について)

1760年代に英国から始まったと言われる産業革命によって、土木建築の分野においても、直接の人力作業から人力(家畜力)・機械(器具)使用の作業へと発展し、動力源としてのスチームエンジン、ガソリンエンジン、ディーゼルエンジンなどが発明されてからは、土木建築の施工における建設機械の使用は欠くべ

からざるものとなった(表—1参照)。

我が国では、1870年頃(明治3年頃)からスチーム式バケットラダー浚渫船などの建設機械の輸入があり、港湾工事、河川工事、鉄道工事、水力開発工事などで大量の工事量を消化している。1922年頃(大正11年頃)から建設機械の国産化も始まったが、その後の世界的な経済不況と戦時体制の強化によって機械化は停滞した。

第二次世界大戦後は国土復興が急務であり、建設工事の種類、量、スピードの要求から建設施工技術と建設機械技術の急速な進展を見た。佐久間ダム工事における機械化施工はその代表例であり、本体工事に先立って重機の走行に耐える立派な工事用道路が造られることや、大形ブルドーザやスクレーパを用いて大量の土を直接掘削運搬することなどは、全く従来の考え方を転換するものであった(表—2参照)。1949年以降の建設技術の発展については、別表—1に記載したとおりである。

3. 建設機械技術の現状

戦前における、必要な建設機械を輸入して使用するという補助的な考え方から、戦後の盛んな建設工事においては、機械の調達次第で施工法が決まるという建設機械中心の時代が変わっている。我が国の建設機械の成長過程は、新しい機械の輸入あるいは技術導入の時期を経て、調達が容易で改良が可能な国産化に至っている。国産化機械の使用過程においては、工事の立地条件、種類、規模、内容などを研究し、例えば湿地

表一 1 建設機械技術の進歩（1948年以前）

年代	建設機械技術の変遷	自動車（4輪車）技術の変遷
1591	人力掘削船の出現（豪）	—
1690	蒸気機関の発明（仏）	—
1771	蒸気ホイール式トラクタの出現（仏）	蒸気自動車の開発（仏）
1780	馬力浚渫船の出現（英）	—
1800	杭打ち船の出現（日）	電池の発明（伊）
1804	蒸気バケット浚渫船の出現（英）	—
1814	蒸気機関車の出現（英）	—
1818	—	車軸回転から左右輪独立ステアリング機構開発（英）
1825	—	ディファレンシャル機構開発（仏）
1826	シールド掘進機の出現（英）	—
1832	—	3段変速機の開発（英）
1835	馬けん引ローラの出現（米）	—
1837	蒸気ショベルの出現（米）	—
1842	—	ゴムタイヤの開発（米）
1867	蒸気ロードローラの出現（英）	—
1867	クローラ式・蒸気トラクタの出現（米）	—
1870	バケットラダー浚渫船の輸入（日）	—
1875	蒸気クレーンの出現（英）	—
1876	—	4サイクル内燃機関（都市ガス燃料）の実用化（独）
1880	トンネルボーリング機械の出現（英）	—
1880	ロックドリルの輸入（日）	—
1881	TBMの出現（英）	—
1884	全旋回式・蒸気ショベルの出現（英）	—
1885	鍋トロの輸入（日）	気化器使用・内燃機関（ガソリン燃料）の開発（独）
1886	—	ガソリンエンジン4輪車の開発（独）
1888	—	空気入りゴムタイヤの開発（英）
1891	坑内用電気機関車の出現（欧）	ラック&ピニオン・ステアリングの開発（独）
1897	内燃機関（オイルエンジン）トラクタの出現（英）	—
1897	ポンプ浚渫船の輸入（日）	—
1898	—	プロペラシャフト+ベベルギヤ・駆動方式の開発（仏）
1902	—	ディーゼルエンジンの実用化（独）
1903	電気ショベルの出現（米）	—
1904	蒸気クローラトラクタの実用化（米）	圧縮空気によるエア・ブレーキの開発（米）
1907	蒸気ショベルの輸入（日）	—
1911	蒸気タンデムローラの輸入（日）	—
1920	—	4輪油圧ブレーキの実用化（米）
1922	蒸気タンデムローラの国産化（日）	—
1922	コンクリートポンプの出現（米）	—
1925	ガソリン機関車の実用化（日）	—
1926	—	強化ガラス（ワイヤ/セルロイド）の開発（米）
1927	—	シンクロメッシュ変速機の開発（米）
1928	空気タイヤ・モータグレーダの出現（米）	—
1928	ケーブルコントロールユニット・トラクタの出現（米）	—
1930	電気ショベルの国産化（日）	—
1930	ディーゼル機関車の実用化（日）	—
1931	ガソリントラクタの国産化（日）	—
1937	シールド掘進機の国産化（日）	—
1938	ディーゼルハンマの出現（独）	エアコン装着の実用化（米）
1938	モータスクレーバの出現（米）	—
1940	ディーゼルトラクタの国産化（日）	自動変速機の実用化（米）
1943	ブルドーザの国産化（日）	—
1945	ホイールドーザの出現（米）	—
1946	モータグレーダの国産化（日）	—
1947	アースドリルの出現（米）	日本乗用車の生産再開（日）
1947	4輪駆動・ホイールローダの出現（米）	—
1947	トルクコンバータ・トラクタの出現（米）	—
1947	パワースhiftトランスミッション・モータスクレーバの出現（米）	—

資料：(1)「建設機械化の50年」(社)日本建設機械化協会 平成11年5月15日発行)

(2)「土工教室/土工機械史」(<http://www.yamazaki.co.jp>)

(3)「建設機械 2006. 10月号」(日本工業出版(株)発行)

(4)自動車技術の変遷は、「第29回東京モーターショー資料」(社)自動車工業振興会発行)

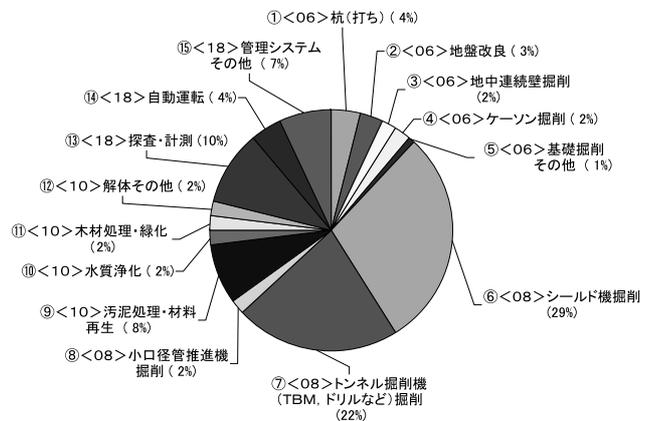
表一 2 工事における建設機械の使用例

昭和 29 年佐久間ダム工事で 使用した主な建設機械 (輸入)			大正 6 年利根川改修工事で 使用した主な建設機械		
機械名	規格	数量	機械名	規格	数量
Diesel Power Shovel (Bucyrus Erie 3 + Maron 2)	2 1/2 c.y.	5	浚渫船		17
Diesel Power Shovel (Bucyrus Erie 1 + Maron 1)	2 c.y.	2	引船		7
Rocker Shovel	Eimco104	2	土運船	20T	524
Loader	Eimco40H	9	バケット掘削機	3m3	18
Loader	Eimco 21	17	機関車	1m3	23
Caterpillar Tractor with Dozer (Caterpillar)	D-8	9	トロッコ		1765
Dump Truck (Euclid Rear dump)	15T	30	トロッコ		3650
Truck Crane (Bucyrus Erie 1 + Browning 1)	20T	2	削岩機		多数
Low-Bed Truck Trailer (International Harvester)	40T	1	ポンプ		多数
Transit mixer (Chain Belt)	2 c.y.	2	杭打機		多数
Cement Truck and Trailer (International Harvester)	120bbl	2	コンクリートミキサ		多数
Pumpcrete (Chain Belt)	2stage 8"	3			
Concrete Placer (Pressweld)	3/4 c.y.	6			
Air Slider (Fuller Kinnion)	350bbl	1			
Vertical Pump (Fairbanks)	20"	6			
High Speed Cable Crane (Wisco)	25T	1			
Standard Cable Crane (Lidgerwood)	25T	1			
Mixing Plant (Noble)	4-4 c.y.	1 式			
Cooling Plant (Vogt)	750T	1 式			
Aggregate and Sand Plant (Conveyor)	1100T	1 式			

資料：(1)「佐久間発電所計画概要」(電源開発(株) 佐久間建設所 昭和 29 年 1 月発行)
 (2)「建設機械化の 50 年」(社)日本建設機械化協会 平成 11 年 5 月 15 日発行)

用クローラ (1954 年), ミニショベル (1970 年), ゴムクローラ (1983 年), 超小旋回形ミニショベル (1984 年), 後方超小旋回形油圧ショベル (1993 年), 稼働情報管理機能 (GPS 利用) (2000 年) などの技術開発を実現して, 我が国の事情に適した建設機械として育てている。一方, 社会ニーズとして存在する建設品質の確保, 経済性の追求, オペレータの熟練不足・高齢化と女子労働者活用, 環境保全, 産業廃棄物処理とリサイクルなどの問題対策を考慮した機械設計, さらに, 国際的に要求される建設機械の性能, 安全性, 居住性, 運転操作性, 整備性などについての規格 (ISO/TC127 Earth-moving machinery (1969 年設立), JIS, JCMAS) への適合も進めて, 世界に通用するトップレベルの建設機械に完成させている。

表一 3 は, 1998 ~ 2004 年度に出現が多かった新機種について, 技術内容をまとめたものである。新機種では, 専用仕様や数種の作業モードの設定で作業効率を向上し, エネルギー回収・再生で低燃費生産性を実現している。別表一 1 に示す振動式タイヤローラや 2 層舗設アスファルトフィニッシャなどのように, 新しい施工技術によって出現したものも多数見受けられる。また, 図一 1 は同年度において, 施工技術の要求にともなって開発あるいは実用化された製品についてまとめたものである。現在の社会ニーズに添って, 施工技術や建設機械技術が確実に進展していることがうかがえる。



(注) (1) ⑥シールド掘削機 (29%) の内容: 異形断面掘削 (3%), 断面拡縮掘削 (5%), 分合流接合 (3%), 曲線・斜坑掘削 (2%), カッタビット関係 (6%), セグメント関係 (2%), その他 (8%)
 (2) ⑦トンネル掘削機 (22%) の内容: TBM (5%), 覆工 (4%), 搬送 (2%), 集塵・換気 (2%), 検査・計測 (7%), その他 (2%)

図一 1 開発・実用化製品の技術内容
(1999 ~ 2004 年度 総数=282 件)

4. 今後の課題

別表一 1 のまとめでは, 台風, 大雨, 地震, 津波, 火山活動 (火砕流, 噴石など), 竜巻などによる災害の発生について, その代表的なもののみしか記載していない。国土の約 8 割が山地で年降水量が多い, 都市集中形生活環境によって広域被害が増加しているなどの事由もあるが, 気象庁のデータから作成した図一 2 で見ると, 台風と大雨による災害は 1989 年以降非常

表一 3 新機種と主な技術内容 (1998 ~ 2004 年度)

機種	新機種 伸長年度	主な技術内容
<00>各機種共通	—	油圧駆動式冷却ファン、ラジエータ&オイルクーラ・アルミ製/別置き/並列配置、モノレバー (ジョイスティックなど)、密閉湿式ブレーキ、走行自動変速、ロードセンシングステアリング、オートアイドル大容量キャブ/ビラーレス前面ガラス/エアコン、ROPS/FOPS キャノピ・キャブ、マルチディスプレイ/カラグラフィック、稼働情報管理機能/故障診断機能、チルトアップフロア/メンテナンス機器集中配置、生分解性作動油使用
<01>ブルドーザ	2001~2003	作業モード設定、前後進/変速/ステアリング・1本レバー、下転輪ボギー構造
<02>油圧ショベル	2001	作業モード設定、ブーム・アーム油圧再生回路、ブーム・アーム自動制御掘削、旋回輪/足回り/燃料タンクの大形化、ラウンド形/スライドドア・キャブ (小旋回形)、ポンプ室&エンジン室・ファイヤウォール
<02>ミニショベル	1999, 2004	ブーム・アーム油圧再生回路、作業位置制限機構/バケット・キャブ干渉防止機構、後方超小旋回形、2本柱キャノピ・ROPS、Z形ブーム・アーム/ブームシリンダ背面配置/車体右前部ブーム支持
<03>ホイールローダ	2003, 2004	作業モード設定/1速固定モード設定、大容量トルコン搭載、ロングホイールベース/ワイドトレッド、モノブーム形 (視界性)、走行振動抑制装置
<04>重ダンプトラック	2002	オートマチックリターダ/全油圧ブレーキ/排気ブレーキ、低車高安定性/不整地走行性 (アーティキュレート式)、電動閉閉式エンジンフード
<04>不整地運搬車	2000, 2004	運転席・荷台全旋回形、エンジン横置き (視界性)、ボギー構造トラック/4分割スプロケット、オーバラン/傾斜・警報装置
<05>クローラクレーン &ホイールクレーン	1998, 2003	後方小旋回形、レバー・ドラム回転感知機能、1軸・1ドラム・1モータ・1ポンプ方式/ウインチ可変容量モータ、ウインチ強制冷却/ワイドドラム/巻上・巻下速度 120 m/min、作業範囲制限機能/メッセージ付過負荷防止装置、トルコンロックアップ、4モードステアリング、ラジアルタイヤ (ホイールクレーン)
<05>高所作業車	2001	1000 kg 積載荷重、作業床 XYZ 方向制御、作業床自動格納、中折れ伸縮 (3 + 3 段) ブーム、作業範囲制限機能/アウトリガ張幅独立検知、バッテリー動力源、軌陸両用作業車
<06>アースドリル &杭打機 &地盤改良機	—	圧入ケーシング反力利用機構 (アースドリル)、オーガ/回転圧入併用機 (杭打機)、オーガ駆動無段変速、低重心構造 (地盤改良機・モータ下部設置)
<07>せん孔機 &ハンドブレーカ	—	指定深度ドリフタ自動後退・削孔機構、切羽マーキング不要、空圧・エンジン式ハンドブレーカ
<09>選別機	1998, 1999, 2003	建設廃棄物処理に関連で輸入機増 (各年 6, 8, 5 件)、油圧駆動 (作業・走行)、2 段デッキ式振動スクリーン
<10>木材破砕機	1999, 2002, 2003	建設廃棄物処理に関連で輸入機増 (2003 年 9 件)、自動反転/停止/復帰/供給量調整、4 段階送り速度、空気搬送排出
<10>建設廃材破砕機	2002	建設廃棄物処理に関連、3 方向投入、過負荷自動反転
<11>コンクリートポンプ車 &トラックミキサ	—	全油圧 4 段折曲げブーム機構 (コンクリートポンプ車)、アルミシャシ (トラックミキサ・軽量化)
<12>モータグレーダ &ロードスタビライザ	—	ロックアップトルコン (モータグレーダ)、運転席後方配置 (モータグレーダ・作業機視認性)、サイドシフト付ディスクロータ (スタビライザ)
<12>ロードローラ &タイヤローラ &振動ローラ	— 2004 2000	1 m × 1 m 視界/運転席低床 (低重心)、大径輪、全輪駆動 (マカダムローラ)、1 m × 1 m 視界/運転席低床 (低重心) (タイヤローラ)、ロングホイールベース、HST 駆動、1 m × 1 m 視界 (振動ローラ)、停車時・自動振動停止、フートブレーキ連動オートアイドル (振動ローラ)
<13>アスファルトフィニッ シャ	2003	シンクロナイズド 4 輪駆動、3 連無段階伸縮スクリード、プロワ式加熱装置、発進・起振 1 スイッチ、乳剤散布機付
<14>コンクリートカッター	—	ブレード垂直上下機構
<16>空気圧縮機	2001	送出エア冷却用アフタクーラ、ピストン式アンロード&オートリリーフバルブ、低騒音化
<17>エンジン発電機・溶接機	2000, 2002	アイドリング溶接・発電、ガソリンエンジン&バッテリー式溶接機、低騒音化、長時間運転可

(注) (1) 伸長年度は、当該機種の新機種 (モデルチェンジを含む) 出現が特に多かった年度を示す。

(2) 出現の少ない新機種については一部省略した。

に増大している。1996 ~ 2005 年における地震被害については、最大震度 4 以上で、人的被害のみのもの 28 件、人的被害 + 物的被害 (家屋、道路など) のもの 48 件で計 76 件が発生しており、2000 年以降増加傾向にあって、とくに 2005 年は 22 件と異常に突出した発生となっている。雲仙普賢岳・火砕流災害 (1991 年) では無人化機械施工システムが確立しており、阪神・淡路地震災害 (1995 年) や新潟県中越地震災害 (2004 年) などの経験を踏まえた対策体制も整備されつつある。早急な対策技術の開発が求められるところである。

施工コストの低減や施工品質確保への要求が強まる中、土木建築構造物の造成、改良、維持修繕、解体・リサイクル、汚染物処理などと施工技術は多様化して

おり、この多様化に対応すると同時に、建設機械には次のような技術の高度化が求められている。

- ①生産性向上と省エネルギー化 (低燃費、高効率化、専用機化など) の両立
- ②環境保全への対応 (排出ガス対策、騒音対策など)
- ③安全対策の充実 (作業周辺、オペレータの安全)
- ④機械管理技術の充実 (稼働管理、保守点検、故障診断)
- ⑤技術 (機械) のシステム化 (無人化施工、情報化施工など)

また、これを実現するための油圧技術、制御技術、センシング技術、IT (通信) 技術などの要素技術の向上が必要であり、すでに研究開発の進んでいる建設ロボットや、電気動力、バイオマスなどの新エネルギー

