

建設機械化の推移と今後の動向

伊 丹 康 夫*



<講演する伊丹博士>

現在、建設機械化の普及発展は広い範囲に浸透している。ほとんどの工事に建設機械が使用されるようになったので、改めて“機械化”という言葉で呼んで、人力施工と区別して取り上げる必要もないまでになったと思われる。しかし、科学、技術の急速な発展が社

会のいろいろな面にひずみを発生している現状である。これと同様、機械化の急速な促進に伴って発生した問題点も数多い。今後の機械化の進め方については、これらを解決するよう各種の部門で十分な研究を重ねる必要がある。そこで建設機械化の推移を述べてみたい。

わが国において、建設工事に機械が使用されるようになったのは明治の中期であり、明治、大正の初期頃までの河川工事、トンネル工事、港湾工事などには主として蒸気を原動力とする機械が使用されていた。大正後期から昭和初期にかけて、ようやく内燃機関あるいは電動機などが使用され始めた。当時はいずれも大土工事、しゅんせつ工事など、一つの工事に長期間使用されるもので、機械自体にはあまり機動性はなく、大半のものは輸入された機械であった。その後、昭和初期の経済不況、引続き支那事変をかわきりとして戦時体制に突入したため、建設工事はもっぱら人力と器具使用程度の幼稚な施工内容に逆行していった。現在見られるような近代的建設機械を使用しての機械化施工は、第二次世界大戦後で端を発したものであり、この約 20 年間に急速に普及、発展したものである。

機械化施工は戦後における技術革新のうちで、その普及および発展のめざましいことで特筆すべき事柄の一つである。現在では、よほどの小規模工事は別として、建設

工事のほとんど全部が建設機械を用いて施工されているといえる。このように機械化施工が急速に進展した理由は、戦後の膨大な建設需要を消化するために、機械化施工が強く要請され、施工の合理化に大きく寄与したことと、またこれに伴って建設機械の製造技術の進展がみられたからである。

戦後における建設の機械化の発展過程を振り返ってみると、いくつかの段階に分けて考えることができる。

第一段階は昭和 24 年頃よりの、米軍のブルドーザ、パワーショベル、モータグレーダ、ダンプトラック、トラクタ、工作車などが主として事業官庁に払い下げられたことによって始まる。当時これらの機械によって交通機関、生産施設、住宅、学校などの戦災復旧や河川改修あるいはアースダムの建設を含む農地改良が行なわれ、このとき重機械による土工事は創生期的な発展を遂げた。これに併行して国産機械メーカーによる建設機械の製作も開始されたが、当初は性能が外国製に比べ、きわめて劣っていた。しかし、建設省はじめ監督官庁がこれらの機械に対し強力な育成手段をとったため、現在の国産機械発展の素地が形成されていった。一方、民間の建設会社は性能のよいアメリカ製の新品機械を買うには高価に過ぎ、国産の建設機械では故障が多く、安定性に乏しく、採算が得られないので、積極的にこれらを購入することもなかった。むしろ米軍の放出になる中古機械を再生したものが多く使用されていた。この期間は建設省をはじめとする各事業官庁あるいは電力会社などの建設事業の企業者が主として購入し、これを請負業者に貸与して工事を施工していたので、当時の機械化はこれらの官庁が中心で推進していった。

第二段階は昭和 28 年より開始された佐久間ダムおよび同発電所工事において、アメリカの本格的な機械と工器用設備を導入したことが契機となった。続いて田子倉、黒部川第四、奥只見などの世界的技術水準のコンク

*正会員 工博 日本国土開発(株)常務取締役研究部長

リートダムおよび御母衣、牧尾などのロックフィルダム工事が施工された。佐久間ダム工事においては、主力の工用機械をアメリカから導入し、20人を越えるアメリカの経験あるエンジニアおよびフォアマンを現場に招いた。これらの人々が、工事の施工および機械の運転などの指導にあたった。この工事においては、700 t/hのクラッシングプラント、112切×4基のパッチャプラント、25 t（コンクリートバケット容量 6 m³）のハイスピード・ケーブルクレーンなどにより、月最高 10 万 m³ のダムコンクリート打設が初めて行なわれた。これは当時わが国としては、将来の建設機械化への開花であったといえる。各建設機械メーカーはこの工事における体験が刺激となり、きびしい工事条件に耐える機械の製作の研究を重ねた。そのかいあって、ダム工事などの工用機械設備を次々と国産化していった。

御母衣ダム工事においては、わが国初めての高速運搬道路による運搬が行なわれ、22 t ダンプトラック 40 台が主力となって 800 万 m³ の堤体材料を延べ 2 年半の期間で運搬し、月最高 50 万 m³（1日最高 2 万 m³）を突破する能率を発揮するに至った。

これらのダム工事が活発に展開した時期と時を同じくして、トンネル工事は全断面掘さく等の機械設備が近代化されたものが使用され、掘進能力は一段と向上し、また断層、破砕帯などの急速処理のための注入工法と、それらの機械の進歩は顕著なものがあつた。また一方、重土工機械の普及に伴って土工量 数十万 m³ におよぶ大規模な土地造成が各所で始められ、能率的に使用されるようになり、次第に安い土工単価で施工されるようになった。オペレーターも運転経験を重ね、一方機械の性能も向上し、昭和 30 年以降は実用に供しうる国産の土工機械が出現しはじめた。また、この時期にアメリカよりモータスクレーパの輸入も試みられたが、特殊な工事に使用されるに限られた。しかし、このモータスクレーパは、アメリカでは土運搬機械の主力機械となっているのと比較し、わが国ではそのまま普及するに至らなかった。

しゅんせつ工事については、船舶の大形化に伴う航路増深の必要と、各地の臨海工業地帯造成の活発化により昭和 33 年頃よりしゅんせつ工事が増大し、ポンプしゅんせつ船の建造が盛んになった。しかし逐次しゅんせつ能力の大きい 3000 馬力以上のものが建造され、埋立工事の能率化が計られた。また稼働箇所が陸岸より遠ざかるとともに、電動ポンプ船よりもディーゼルポンプ船が便利とされる場合が多くなった。

第三段階は昭和 35 年より日本道路公団の施行になる名神高速道路工事で日本国有鉄道の施行になる東海道新幹線工事、さらに加えて首都高速道路公団の施行になる

東京都内の高架道路工事が契機となり、またこれが東京オリンピックの開催準備とも重なり、建設業界は戦後最大の活況期に入った。建設業者は工事に必要な建設機械を購入するための資本を増加し、建設機械を有効に駆使して施工能力の増大を計った。これらの工事に使用される工事のうち、基礎工用機械や締固め機械などの多くは外国から導入され、また国内機械メーカーもこれらに追随して新機種の製作を試みた。高速道路工事および東海道新幹線工事は、わが国でかつて見られない大規模で急速を要する工事であった。したがって、特に土質理論に基づく合理的な施工管理のもとで良質な施工が行なわれる態勢が整えられたことが、これらの工事の一つの特徴でもあつた。根掘りまたは基礎掘さく用として小型の油圧式の操作になる各種の掘さく機が製作され、労務者の不足を補うことに役立った。また軟弱地盤における盛土基礎工法として、サンドパイル工法、サーチャージによる圧縮沈下促進工法が多く適用され、橋脚や構造物の基礎杭打ちには、ディーゼルパイルハンマが多く使用され、現場打ち杭工法としては、騒音、振動なしで作業する必要から、ベノト、カルウェルド機などが導入され、その後これらの機械の国産化も活発に行なわれた。

高速道路、東海道新幹線および高架部分のコンクリート構造物の工事に対しては、各種の鋼製パイプサポーター、メタルホーム等が広範囲に使用され、またコンクリートの揚重並びに運搬用の機械の考案も活発に行なわれた。

また高速道路の舗装用のアスファルトプラントについては、施工能力 50 t/h 以上の大容量のものが、アメリカ、西ドイツ、イギリスより輸入され、合材の品質が一段と向上した。

このとき調査した資料によると、建設省の一つの道路改良工事に投入した機械量（新品購入価格の合計）は土工工事高（平均工事高 5 170 万円）の 130% となっているのに比較し、日本道路公団の名神高速道路工事では機械の投入量が工事高の平均 34%（最大 51%、最小 15%）、アスファルト舗装工事においては、同様に建設省工事（平均工事高 3 420 万円）に対しては機械投入量が 110%、これに比較して名神高速道路工事では平均 31%（最大 39%、最少 25%）と、工事規模が大きくなることにより、機械による施工量を高めることができることを実証した。したがって、一般官庁工事の規模は機械化の適正規模からいって非常に小さ過ぎていることが知られた。

機械化による土工は、工期の短縮とコストダウンを可能にし、その結果、土地に対する需要を刺激して、土地造成も山地の切り崩しによる内陸造成から、海面埋立へと移行してきた。そして新しい種類の工事は、さらに新しい機械や施工法の開発をうながし、海面埋立工事にはいくつかの特徴ある施工法が登場した。昭和 36 年に着

表一 建設工事並びに機械取得の推移 (単位: 億円)

年度	建設工事施工額		建設機械取得額		建設投資額	B/A %
	金額(A)	伸び率	金額(B)	伸び率		
33	11 991		420			3.51
34	16 671	139	614	146		3.68
35	21 481	129	840	137	25 078	3.91
36	26 697	124	1 210	144	33 418	4.53
37	36 755	138	1 568	129	37 771	4.26
38	42 446	116	1 954	125	44 979	4.61
39	50 418	119	2 155	110	54 750	4.26
40	55 295	109	2 359	109	58 663	4.25
41	61 032	110	3 004	128	66 519	4.91
42	78 139	128	3 469	116	83 545	4.44

注: ① 建設工事施工額および建設機械取得額は建設省建設工事施工統計資料による。

② 建設投資額は「建設白書」による。ただし、昭和 42 年度は見込額とする。

工した神戸市西部埋立事業におけるベルトコンベヤ・バージラインシステムによる土砂輸送工事は、その代表的なものである。

第四段階としては、東京オリンピックの翌年の昭和 42 年度より現在までの期間を考える。昭和 40, 41 年度は表一1 の資料が示すように建設投資の伸び率が減じ、建設業者間の受注競争が激化し、また資金事情も悪化したので、企業活動は不振をきたし、建設業者の保有する建設機械も遊休するものが多くなり、機械を持ち過ぎて倒産する建設業者も現われてきた。したがって、各業者は機械設備への投資を手控えねばならず、しかし一方、新しい営業分野の拡大のためや、技術開発に進まんがためには、新しい機械を購入していかねばならない。したがって、特に大手建設業者は借上げでいける機械とか、下請けでいける工事に必要な機械はできるだけ買い控えるようになった。それと同時に、各建設業者は工程管理や工事原価の引下げに真剣に取り組むようになった。

最近の土工機械の傾向は、より大容量の、より高速な機械という要望に答えて、機動性に富むホイールロード、タイヤドーザ、モータスクレーパなどの大型タイヤ式機械の導入が活発となってきた。また、わが国の土工作業の特徴である軟弱地用機械としてのツインモータスクレーパ、スクレーブドーザ、バケットドーザなどの試作も積極的に行なわれ、関東ローム地帯での高速道路工事などに成果を収めた。一方、労働力不足を解決するための省力機械として、油圧化された小型ショベル掘さく機、ハンドドーザ、ブレイカなどの開発もめざましいものがある。

昭和 43 年に入ってバケットホイールエキスカベータが外国より導入されたり、国産でも試作機がつくられ現場で実用試験が行なわれた。

最近の話題の一つとして注目を浴びたものは、昭和 43 年に港湾構造物の基礎ならし作業など、水深 20 m 程度

までの水中の土工作業を対象とした水中ブルドーザが世界で初めて開発され、公開試験が行なわれ、引続いて実用化の段階に入ったことである。

都市構造の再建整備のための工事が大都市において活況を呈してきた。これに伴って都市公害問題が起こり、都または市条例によって振動、騒音が制限され、従来の施工が不可能となるので、これにかわる新しい工法の機械も次々と導入されていった。現場打ち杭工法に使用する大口径掘さく機も、わが国で改良が加えられ、ベント工法およびリバースサーキュレーション工法に用いる掘さく機械は径が 2 m まで掘さくが可能な世界最大の機種が昭和 41 年に出現したことや、諸外国ではみられないわが国独特の条件に適合する性能をもつ機種が製作され、高速道路、建設構造物などの基礎工事に活躍している。

リバースサーキュレーション工法において、ロックビットを使用する工法は硬岩掘さくの唯一の方法として、海峡の大橋梁、重要機械設備などの基礎として用いられている。連続スクリーオーガ形式の掘さく機アースオーガは、PIP 工法、既製杭建込み用のプレポーリング工法、連続壁工法に使用され、各種の土質条件に応じた多くの機種が考案された。

トンネルの機械化においては、トンネル掘進機が各方面に採用され始めており、昭和 39 年、新居浜の水路トンネルにロビンス機を使用したのを初めとして、青函トンネル、国鉄北陸線木浦トンネル、松島国道浜田トンネル、恵那山トンネルなどあいついで使用されており、今後ますます発展するものと思われる。

一方、急激な経済成長に伴い、人口の都市集中、加えて過度のモータリゼーションの結果、東京を始めとして大阪、神戸、横浜、札幌の大都市で地下鉄、並びに道路の立体交差化の建設が急ピッチで進められている。またこの 10 年来、都市の環境整備事業として上下水道、電力通信ケーブル用の地中管路建設工事も急ピッチで新設されつつある。わが国の大都市は沖積平野は発達したものが多いため、都市トンネルとしては、軟弱地盤に建設されるものが多く、シールド工法が多く用いられるようになった。

港湾施設としては、昭和 42 年度に着工した京葉リバース工事がデロングバージ(プラットフォーム船)によって建設されたことは、海中構造物構築の新工法の実例を提供したことになる。

特殊な埋立工事としては、鹿児島市与次郎が浜の埋立の際、山土をパイプにより水とともに送る水搬送工法が新しく採用され注目をひいた。また、瀬戸内海航路整備工事には、低揚程ポンプしゅんせつ船(バージロード)とプッシュバージ船団との組合せにより土砂しゅんせつ

が行なわれ、遠距離にしゅんせつ土砂を運搬する工法が考案、実施された。

ダム工事としては、目下施工中の奈川渡アーチダム（高さ 155 m、体積 6 万 m³）では、ダム基礎の処理すべき断層が広範囲で、しかも互いに接近しているため、従来の工法では発破による周辺堅岩が傷むおそれがあるので高圧水のジェットによる掘さく工法を用い、断層置替工事を実施した。

建設機械化が促進された状況は、量的なあらわれからみれば、建設機械の生産量の増加で判断がつく。建設機械の定義が明らかでないので、数字に正確さを期しがたいが、建設機械の生産額は昭和 24 年度には約 10 億円といわれていたものが、昭和 33 年度には約 230 億円、38 年度には 1 133 億円、43 年度には 2 000 億円を越すといわれている。生産額の増加には同一機種が生産量の増加とともに機種が増加がみられ、機械化の幅が広がっていることを示している。

さらに、これら建設機械を保有している層にも大きな変化がみられた。すなわち、約 10 年前までは、建設機械は建設省を初めとする建設工事の発注官庁が、大部分を保有しており、大手の建設業者および機械化施工を特長とする施工業者が一部を所有しているにすぎなかった。この頃の工事の施工形態は、建設省の例をとるとほとんどの工事が直轄、直営で使用されていた。このことは、初期の開発途上の建設機械にとっては、まことにめぐまれた環境であり、諸官庁のよい意味での計画性のある組織的な指導と奨励によって機械化が促進された。その後、建設事業量が増加するにつれて、諸官庁においては工事の施工体制が直営から請負へと変っていった。請負化の初期（昭和 34～36 年）においては、建設業者の保有機械の不足を官庁保有の機械の貸与によって補ってきた。その後、建設業者の保有機械の増加により施工能力が向上するにつれて、この方策も発展的に解消し、現在では大部分の建設機械は建設業者の保有するところとなっている。建設業者の建設機械の取得額は表-1 に示す通り、建設工事施工額の 4～5% となっている。

元来、建設業者は受注産業であり、したがって施工に関する技術革新は受身の形を取り、自らの技術の中から技術革新が行なわれにくい産業であるといえる。企業者より請負業者には従前より安い価格で、より短い期間で工事を完成する要請がでる。この建設工事の施工の合理化の手段として、建設業者は建設の機械化をある形によって推進しなければならぬ姿勢におかれている。しかし、建設業の内部的な蓄積は少なく、外部資金の調達能力は低く、さらに所有機械の稼働は不足しがちである。そのた

め、機械化を促進するために、いろいろな施策が採用されていった。すなわち、昭和 26 年以降、機種を限っての輸入関税の免除、特別償却が認められ、また改正された。昭和 29 年には、建設機械抵当法が制定され、建設業者の機械化資金の調達に便宜を与えた。また、建設業の入札に関する事前資格審査の一つの要素に主要機械の保有量が入れられたことも原因して、建設業者の機械保有を増加させた。

建設業者のなかにおける建設機械保有の形態も徐々に変化し、大手の元請業者は必要な建設機械を保有して自ら運転して施工にあたった。次第に大手業者は最少限の数量と特殊な建設機械に限って保有し、普遍化した建設機械あるいは専門の施工に使用される建設機械は、下請業者あるいは専門業者が保有する傾向に変わり、さらに弱小企業の下請会社が群生する傾向となった。また、オペレーターと機械だけをもった機械貸与業の進出も著しく、クレーンやトラクタなどの重量物運搬、すえつけといった特殊用途の機械についての専門の機械貸与業者の進出もめざましい。

建設機械の性能が向上したことは、ある機種については明らかな事実である。国産 20 年の歴史を有するブルドーザを例にとってみれば、同一モデルにおいて、単位総重量あたりの機関出力も増加しているが、けん引効率も増加している。これは、運転技術の進歩とともに作業速度が高速化し、作業能率とコストダウンに大きく寄与する方向をたどっている。また建設機械の整備および取扱についても、その性能は向上している。定期整備間隔が大幅な延長されるとともに、工事現場での機械の休止時間を極力少なくする方向での整備法が実用化される努力が試みられている。

最近 10 年間は急激に建設機械の需用が拡大したため技術の開発が追いつかず、多くは外国よりの導入によりまたは安易に外国との技術提携により、または外国製品の模倣に終始し、生産量のみを伸ばしてきた傾向はいなめない。したがって、建設機械の性能向上は一部の機種についていえることであり、ほかは爆発的な需用の伸びに支えられての普及であり、性能が安定したといえるまでには至っていないのではないかと。これは、わが国のメーカーがあまりにも政府の建設機械の育成策に甘え過ぎ、メーカー自体で自社製品の耐久試験をせずに製作販売しているからで、このことは将来へ大きな禍根を残すことになるであろう。

建設機械の技術開発の面については、これまでは主として海外先進国の技術導入になる機械化によって技術水準の向上ははかられたが、自力で新技術の開発能力が十分備わった今日では単なる海外技術の模倣ではなく、独

自に日本的な地形や土質などの作業条件に適合する機械化についての技術開発に意を注ぐべきである。

これからの建設機械の共通研究課題として取り上げられている事項は、省力機械の開発、運転の自動化、運転員の居住性の向上および公害除去の問題がある。

労働力の不足が問題とされているのは建設産業だけではない。建設工事の施工における省力化は、従来人力でやっていたものを、機械に置き替えようとする動きであり、対策である。従来は機械といえば、とかく主作業を行なう大形機械の導入と考えられ、この主力機械を使用する機械化は世界的水準に到達したものと思われる。当面、省力化という言葉で呼ばれているものは、主力機械と主力機械の間に残された人力作業を機械に替えようとする、むしろ小型の機械、あるいは狭い場所で使用できる機械の導入である。現在でも、すでに小型のブルドーザやパワーショベルがスコップやつるはしがわりとなって使用されている。この小型機械化はメーカーが生産して市場で販売する機械だけでは、解決されることではなく、建設業者がその現場、現場に応じて自ら考えて、自ら設計製作してもらおう機械、あるいは段取り的な機材である場合が多い。

次に運転の自動化について考える。建設機械の増加とともにオペレータの質は全体として低下している。したがって、未熟練オペレータの操作によっても工事のでき上がりの質が低下しないように機械自身でコントロールできる機械運転を、自動化する方向が必要とされている。コンクリートのミキシングプラント、アスファルトプラントなどは古くから自動化が行なわれているが、最近ではモーターグレーダの仕上げ、道路用のフィニッシャの運転にも採用されてきた。

次には運転員の居住性の向上の必要がある。建設機械の運転は悪い作業環境で行なわれているものが多い。衝撃、振動、ほこり、日射、温度、湿度、操作姿勢および疲労などが問題となる。今後、労働需要が悪化することは明らかであり、そうなればオペレータの運転環境をよくして、長時間の運転が可能となるように運転室の居住性をよくし、椅子のクッションなど、操作姿勢の快適化、操作力の軽減など、オペレータの安全性を計らねばならない。アメリカの大型のホイールローダの運転室はクーラー付きエヤコンディショニングがされているものがある。また、危険な作業の運転は安全な管理室からの

遠隔操作の研究も必要である。今後は長大トンネル、長大橋、沈理工法などでは、地中、水中、海底、空中などでの作業が多いと考えられ、限られた場所で、しかも条件の悪い場所での作業は機械にまっところが多いと考えられる。

従前のように、大工事が主として山間僻地で実施されていた頃は公害問題も重大視されなかったが、近年のような都市内での工事が多くなり、建設工事に伴う公害として、騒音、振動、水質汚濁、大気汚染などが問題とされるようになった。これらの公害問題は、ただ単に機械についての改良を考えるだけでは不十分で、工法の改良とあいまって検討されるべきものである。建設工事に伴う騒音としては、内燃機関の音、空気機械の音、杭打ちの音、リベットの音などが、そのおもなものであり、これらは工法の変更によって解決できるもの、機械についての消音、防音のある程度の措置が可能なもの、あるいは解決策が困難なものなど、いろいろな内容になるが、今後は工事の発注者あるいは公害を規制する例においても十分の育成指導が必要である。

わが国の建設の機械化は短期間であったが、各種の多くの工事において広範囲に建設機械を使用する機会と経験を得て、建設工事の合理化に貢献できた功績は大きいものと思う。筆者はこの豊富な建設機械に関する技術的な経験に基づいた技術開発が、現在の建設分野だけにとどまらず、新しい分野の開拓へ向けることが可能ではないかと考えている。

将来のビッグサイエンスは、宇宙開発、原子力開発および海洋開発であるといわれている。この中で、最も建設機械の活躍が期待できるものは海洋開発ではなからうか。「海洋開発をなし遂げた民族だけが、次の世代に繁栄するであろう」と故 J.F. ケネディは述べている。陸地が狭く資源に乏しいわが国の国状からして、陸地の面積の約 75% にあたる大陸棚、その大陸棚から得られる鉱物資源、水産資源などの海中資源の開発、海底工場、海中都市などの海底利用あるいは海洋エネルギーの開発などの事業は、いろいろな形で建機設機が水中に入って陸上と同様な作業力を発揮することを期待しているのである。

筆者は建設機械化の技術革新が海洋開発の機械化へ大きく挑戦する日が近いことを信じている。