

コンクリート機械の変遷

(一社) 日本建設機械施工協会 機会部会 コンクリート機械技術委員会

1. はじめに

コンクリートの主要材料であるポルトランドセメントは幕末の頃初めて使用されたといわれ、1875年(明治8年)官営セメント製造所が設立され初の国産セメントが出荷された。

1903年(明治36年)日本初のコンクリート構造物として琵琶湖疏水路上架橋が造られ、建築では1911年(明治44年)三井物産横浜支店として4階建てRC造ビルが建てられた。

大正年間、コンクリートミキサの駆動は当初スチームであったが内燃機関に漸次切り替わった。はじめはすべて輸入に頼った。1949年(昭和24年)コンクリートの運搬には堰堤、ビルなどではエレベータ、シュート及び一輪車が用いられたが、次第にケーブルクレーン、ベルトコンベアが多く用いられるようになった。

1902年(明治35年)頃横浜岸壁基礎掘削用にケーソンが我が国で初めて用いられた。その後1924年(大正13年)にアメリカから最新ケーソンを輸入し永代橋の基礎などを作った。場所打ちコンクリートの代りに鉄筋コンクリート函(ケーソン)を防波堤岸壁に用いたり、鉄筋コンクリート杭や鉄筋コンクリート矢板を使用することも行われるようになった。高層建築に鉄筋コンクリートを用い、エレベータでコンクリートを運ぶことは1912年(大正元年)頃に東京丸ビルの建設に初めて用いられた。

このように日本でコンクリートが構造物に使用されるに伴い様々なコンクリート機械が開発・改良されてきた。現在ではコンクリート機械としては、コンクリートミキサ、コンクリートプラント、コンクリート振動機、コンクリートポンプ、トラックミキサ、コンクリート吹付け機などが使用されている。以下にこれらのコンクリート機械の変遷を紹介する。

2. コンクリートプラント及び、コンクリートミキサの変遷

明治、大正と近代化の波は日本の姿を大きく変え、

1930年(昭和5年)発表の「ウォーセクリーター」は均質で強度を持つコンクリートをつくることができた。

1949年(昭和24年)、日本初の生コンクリートプラント(写真—1)が誕生する。東京コンクリート工業で、ミキサは日産150m³の能力があった。初出荷を行なった11月15日を全国生コンクリート工業組合連合会・同共同組合連合会は1988年(昭和63年)、「生コンクリートの日」として制定している。



写真—1 日本初の生コンクリートプラント誕生「東京コンクリート工業」

1965年(昭和40年)頃からプラントの自動化が進んだ。自動計量の方法は設定桿方式からワイヤ伝送式、ポテンシオメーター式、ロードセル方式へと進化。操作盤はリレー式からコンピュータ制御盤(写真—2)へと変わった。今では計量制御に加えて、骨材、セメント輸送管理はもちろん、受注、製造、出荷、配車管理まで全自動のプラントが主流となっている。

現代のコンクリートプラント(写真—3)は環境面が考慮され、防音性の高い壁材や集塵装置を用いたり全閉式のベルトコンベアを開発して粉塵、騒音対策を行い、排水処理設備の開発により汚水対策を行なっている。

2000年代にはブロックタイププラントが主流となり、最近ではオールメッキされたコンクリートプラントも発売されている。

原材料の搬送システムにおけるセメント輸送は、セメントサイロからスクリュウコンベアとバケットエレベーターの組合せ方式から、最近ではレイアウトの自



写真一2 コンピュータ制御盤（無公害設計）



写真一3 コンクリートプラント



写真一4 骨材輸送装置（急傾斜式）



写真一5 重力式ミキサ



写真一6 バン形強制練りミキサ



写真一7 水平2軸強制練りミキサ

由度が高い空気輸送方式に移行してきた。

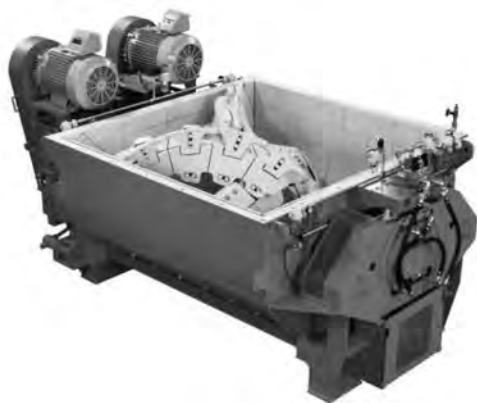
骨材輸送用ベルトコンベヤは、プラントの大型化に伴いその能力が大きくなってきている。

また、粉塵などの公害防止対策とメンテナンスの問題で、円筒パイプ状や完全密閉したケース内にコンベヤを内蔵したものが多く用いられている。さらに狭い敷地や土地有効利用のための急傾斜や垂直の輸送装置（写真一4）が出てきて、都市部の土地有効利用にも対応している。

コンクリート製造の要であるコンクリートミキサはバッチ式ミキサが主で、生コン工場、ダム用として重力式ミキサ（写真一5）で始まったが、1960年（昭和35年）代には短時間で練り上がるパン形強制練りミキサ（写真一6）が生コン向けに普及し、その後1970年（昭和45年）代後半からはメンテナンスの簡便なパグミルク形の水平2軸強制練りミキサ（写真一7）が導入され、この形式のミキサがダム用を含め主力になっている。

その後、攪拌翼付き重力式ミキサや、油圧可変速・インバーター可変速等回転速度を変えられる機構のも

の、2000年代には水平二軸でも連続螺旋ブレード構造のミキサや軸を無くし連続した螺旋アームにブレードを装着した形状の連続螺旋アームミキサ（写真一8）



写真一八 水平2軸形強制練りミキサ (連続螺旋アームミキサ)

などが多くなっており、2019年（令和元年）には各社連続ブレード構造のミキサが主力となり更に進化した新型ミキサが発売されている。

3. トラックミキサの変遷

1950年（昭和25年）頃から生コンをトラックで運ぶことが始まっている。当初は平ボデートラックにそのまま、あるいは大きな鉄桶に生コンをいれトラックの荷台に載せて運ぶかダンプに積んで運んでいた。

1951年（昭和26年）頃に傾胴型トラックミキサ（写真一九）が開発された。その後、水平胴型トラックミキサ・強制攪拌式のハイロー型トラックミキサ（写真一十）・舟形トラックミキサなどが開発された。また、米国のトラックミキサも輸入され使用されていた。積



写真一九 傾胴型トラックミキサ



写真一十 ハイロー型トラックミキサ

載性能や攪拌性能がすぐれた傾胴型とハイロー型のトラックミキサ以外のものは量産されることなく姿を消した。

1963年（昭和38年）頃からトラックメーカーから大型3軸車が発売され、標準車の積載量が10tを超えるものがでてきた。傾胴型はドラムの長さを延ばすことでドラム容量を増加させることができたがハイロー型は所要動力が大幅に増加するため商品として成り立たなくなり、衰退の道をたどることになった。ハイロー型は1971年（昭和46年）頃から製造されなくなり、傾胴型トラックミキサが現在まで主役となっている。

トラックのエンジンよりドラムを駆動するための動力を取る装置をPTO（Power Take Off）という。PTOはトランスミッションから動力を取り出すミッションPTOに始まりエンジン前方のフロントエンドPTO、そして現在のフライホイールPTOへと変更されてきた。

ミッションPTOは停止時に動力を必要とする特装车用に作られており走行時も動力を必要とするトラックミキサには不向きであった。フロントエンドPTOではトラックの前方に油圧ポンプを架装しなければならず走行時に邪魔になることや長い油圧ホースを架装物まで通すといった作業が大変であった。その後フライホイールPTOが装備されるようになり架装性は大幅に向上した。

最初のトラックミキサは油圧モータからチェーンを介してドラムを駆動していた。1982年（昭和57年）にはドラム駆動用に遊星歯車減速機が開発され現在のトラックミキサ基本構造が確立された。

走行時のドラムの回転数はエンジン回転数にダイレクトに変化していたため生コン重心の振れにより不安定な動きをしたり、生コン品質に悪い影響を与えていた。1982年にドラムコントロールの自動制御機構を取入れた油圧ポンプ開発に成功しトラックミキサへ採用された。これはエンジン回転数1500rpm以上ではエンジンの回転数に関係なく、ドラムのスピードを一定に保つものであり、省エネはもちろんのこと従来機械式で問題であった生コン品質の均質化に寄与した。

2004年（平成16年）には電子制御式油圧ポンプを搭載した低騒音・省エネルギー型トラックミキサが開発・販売された。トラックミキサは停車してエンジン回転を上げて作業することが多く、騒音問題・燃費が劣るなどの環境悪化、さらにまれにはあるが誤って生コンを路上への垂れ流す事故を起すことがあった。そこでドラム駆動制御・操作系を電子化しこの課題を改善したのが電子制御式トラックミキサ（写真一十一）



写真一11 電子制御式トラックミキサ



写真一12 トラック搭載式コンクリートポンプ

である。

電子制御式トラックミキサは油圧モータを2速可変制御式とし、使用頻度の高い建築用の生コンや洗浄などの停車中の作業はモータ2速側へ制御することによりエンジン回転を高速にすることなくドラム回転を上げることができる。よって作業騒音の低減・燃費向上・CO₂削減に貢献した環境対応のミキサ車となっている。また、ミキサ車の走行時には自動的に攪拌回転になるよう制御し、生コンの垂れ流し防止に対応している。追加機能として排出前の自動混練機能やドラム洗浄時の自動洗浄回転制御機能も追加している。

4. コンクリートポンプの変遷

コンクリートポンプの歴史は、1907年（明治40年）ドイツでの特許、及び1913年（大正2年）米国人Cornell Kee氏の特許に始まったとされる。その後ドイツ、オランダの国土開発の土木工事に支えられコンクリートポンプの開発が進められることとなり、1923年（大正12年）米国の企業が初めて吐出力15 m³/hの機械式コンクリートポンプ（最大水平圧送距離150 m、同垂直距離23 m）を市場に送り出したとされている。

日本では、1950年（昭和25年）代から国内各社が外国企業と技術提携を行い国産初のコンクリートポンプが製品化された。その後、経済の急成長によって大規模な国土開発が進められ、それに伴い土木工事の増大・大型化は著しく、都市部にあっても旺盛な建設工事を中心に、電力、鋳工業、運輸の各分野に急速に普及するようになった。建築工事においてはエレベータタワーやカートによる打設からコンクリートポンプによる打設に転換されるようになり、コンクリートポンプも機動性を必要とされるようになっていった（コンクリートポンプは定置式であったために機動性に乏しかった）。1960年（昭和35年）代半ばにコンクリー

トポンプは工事現場での機動性を高めるために定置式コンクリートポンプをトラックに搭載したコンクリートポンプ車（写真一12）が開発され、今日のコンクリートポンプ工法の基盤を築くこととなった。

また同時期、日本では初めてとなるスクイーズ式コンクリートポンプが発売された。コンクリートは人工軽量骨材コンクリートが使用され始め、高スランプ化となり、当時としては吐出力の大きいスクイーズ式が評価され急激に普及していった。その後、ピストン式（油圧式）においても大吐出量化、高圧化といった改良、開発が行われ、数々の高層ビルの建設に使用されることとなった。

1960年代終わり頃から建築、土木工事の大型化が進み打設工事のスピードアップや省力化に対する要請が強まった。ブーム付コンクリートポンプ車（写真一13）はコンクリート輸送管が併設されたブームを備え持ち、ブームの屈折、旋回により輸送管の先端を自

写真一13 ブーム付コンクリートポンプ車
(M型4段屈折36mブーム)

由に移動可能な構造となっている。そのため輸送管の設置が容易で、その特徴が業界に歓迎されることとなり爆発的に普及すると共に、その後のコンクリートポンプ車はブーム付が主流となっていった。その後、打設工事における省力化への寄与はブームの長尺化が大きく寄与するため各社とも開発が加えられ様々な形状、屈折段数が市場に投入されていった。

コンクリートポンプ車における高層ビル打設は1970年（昭和45年）代初頭の100mを超えるビル打設が最初である。その後、1970年半ばには2台のコンクリートポンプにおける中継打設で200mを超える高さ、1990年（平成2年）代には300mに迫る高さの打設を成功させている。そして、1990年半ば頃より都心部では高層化、耐震構造、居住性等により高強度コンクリートと言われる圧縮強度が 60 N/mm^2 を超え、圧送抵抗の大きいコンクリートが見られるようになった。当時のコンクリートポンプ車の性能では常に最大能力に近い状況での運転を余儀なくされたため、圧送業界から吐出圧力が10MPa以上のコンクリートポンプ車の開発を要望されるようになった。各社はその要求に答え、1990年代後半から2000年（平成12年）前後には高圧コンクリートポンプ車を開発して市場に送り出している。また、更なる高強度化に対応するため、2010年（平成22年）頃から最大吐出圧力20MPa以上のものも生産されており、今後も性能向上や安全および環境への新たな課題への対応が求められている。

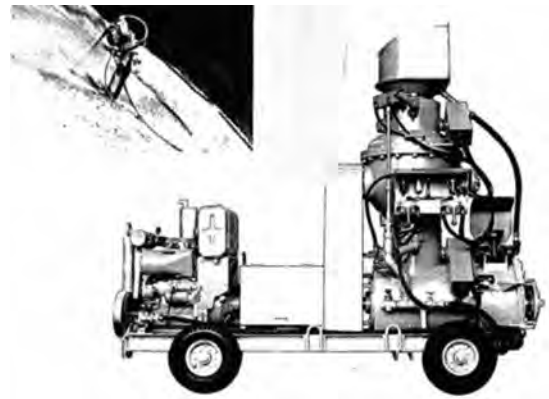
5. コンクリート吹付け機の変遷

(1) 吹付けコンクリート機械の誕生

現在、吹付けコンクリートは、明かりの法面および岩盤の吹付けとトンネルの支保材としての吹付けと大きく二分され、吹付け機も共通タイプからそれぞれ専用のタイプが開発されている。特にトンネル用は施工条件から、吹付け機以外の要素機器を一体化した吹付けシステムとして発達した。

(a) 明かり用吹付けコンクリート機械

吹付けコンクリートは、アメリカのニュークリーター、スーパークリーター、スイスの乾式吹付け機アリバBS-12とアリバ300が開発・導入され、トンネルと明かり（法面）では同じ吹付け機が使用されていたが、昭和40年代（1960年）に入ると明かり（法面）吹付け工法は大きく変貌し、従来の乾式工法から湿式工法に変化し、現在の代表的な吹付け機S-4型（写真—14）が出現した。



写真—14 S-4型吹付け機

(b) トンネル用吹付けコンクリート機械

トンネルにおける吹付けコンクリートの本格的採用は、トンネル支保が鋼製支保工と矢板（在来工法）から吹付けコンクリートとロックボルト（NATM工法）になってからであり、併せて吹付け機の改良・発達がNATM工法を安定化させたと言える。

我が国にNATM工法が紹介されたのは1962～63年（昭和37～38年）であったが、明かり吹付け機からトンネル専用機へ移行する中、乾式吹付け機械の代表として、アリバ吹付け機（写真—15）、湿式吹付け機としてピストン式・スクイズ式のコンクリートポンプを使用した吹付け機が開発された（写真—16、17）。



写真—15 アリバ286型



写真—16 ピストン式



写真一17 スクイズ式

(2) 吹付けコンクリートロボット

吹付け施工時に吹付けノズルを保持する方法は、当初は人力が主流であった。とくに吹付け（ノズル）方向が横向きから下向きが主体となる明かりでは、現在でも人力が一般的である。しかし上向きが主体で高所まで吹付けを施工するトンネルでは事情が異なり、早くから機械によるノズルの保持、移動（将来のロボット）が検討され、実用化されてきた（写真一18, 19）。



写真一18 高所作業式



写真一19 油圧シャベル式

(3) 吹付け機械の一体化

吹付け作業は、吹付け機に投入したコンクリートをホースでノズルまで送り、吹付けコンクリートロボットを用いて吹付けを行う。この過程で、急結剤供給装置より急結剤の添加・コンクリートの搬送等を行う為、吹付け時にはこれらの装置を揃える必要がある。トンネル施工がNATM工法になった当初は、吹付け機、急結剤供給装置をトラックまたはレール台車等の運搬車に搭載して機動力を確保、吹付けロボットは別々に移

動し、現地において両台車を接続して吹付けコンクリートを施工していた。しかし、毎回吹付けコンクリートに必要な資機材を切羽までバラバラに搬入、撤去を行うことは余りにも効率が悪かった。そのため、これらの機械を一体化して用いる機械が開発された（写真一20）。



写真一20 コンプレッサ搭載型吹付け機

また、地山状況により吹付けコンクリート（一次吹き）施工後に鋼製支保工を建込み、再度吹付けコンクリート（二次吹き）を行う事があり、機械の入れ替え作業によるサイクルロスが課題となった。このため、吹付け機台車と支保工建込み用エレクタ台車を一体にしたエレクタ付吹付け機等も開発された（写真一21）。



写真一21 エレクタ付吹付け機

(4) コンクリート吹付け機械の今後

コンクリート吹付け機械は、劣悪な作業環境や熟練技術者の不足により、急激な変革を求められており今後は遠隔操縦技術やAI技術の活用が予測される。

6. コンクリート振動機の変遷

(1) コンクリートバイブレータの発明

コンクリートが構造物に使用され始めた当時の打設作業は、突き棒（竹の棒など）を使うなどして入念な突き作業・叩き作業を行い空気や余剰水を追い出すという過酷な打設作業が強いられた。記録に残る日本初

のバイブレータを用いた打設は1934年(昭和9年)頃、蒸気機関車から電気機関車への鉄道発展に伴い電力確保の必要に迫られた鉄道省〔後の日本国有鉄道(現JR)]が建造した信濃川発電所(千手発電所1934～1938)まで遡る。このバイブレータは富国通商〔後の大倉商事株)によってフランスから輸入された。

そもそもコンクリートバイブレータはいつ・どこで生まれた物なのか?文献は存在していないが1930年(昭和5年)頃、第一次大戦後ドイツ軍の侵攻を防ぐためフランスの陸相アンドレ・マジノによってフランスとドイツ・ベルギー・スイスが接する国境沿いに総延長750kmに及ぶ要塞群「マジノ線」を構築する際にコンクリート強度(耐爆砲弾性能)を増すため、エア式のコンクリートバイブレータ(圧縮空気を駆動源とし、振り子を回転させて振動を起こす装置)が使われたとの事から1920年代後期頃(昭和初期)の発明ではないかと考える。

(2) コンクリートバイブレータ国産化の歴史

当時のフランス製のバイブレータは前述通り圧縮空気により振動させるエア式であったが、空気消費量や効率の悪さ、故障率の高さから国産化が求められ1935年(昭和10年)に国産初のバイブレータが完成した。

その後、1941年(昭和16年)頃、電気式フレキシブルグラインダー技術を応用したフレキシブルバイブレータの製造販売が始まった。

近年使われている高周波バイブレータの原型が発売されたのは1971年(昭和46年)頃であった。この頃、各大学工学部や米国AIC(American Institute of Concrete)などの研究機関によって、生コンに与えるべき振動数、振幅などの研究が進み、一般的な構造用生コンには9,000～14,400vpmが最適であるとされた。国内メーカーでの高周波バイブレータ(電気)の生産が始まったのは1963年(昭和38年)であったが、この時は普及せず1971年(昭和46年)に再導入し販売競争が始まった。在来製品に比べ高額であったため当初は一部の現場にしか採用されなかったが、軽量で作業性に優れることから昭和50年代の半ばあたりから打設工事の主流となりはじめた。1985年(昭和60年)頃、効率と作業性を重視したインバータ式高周波電源が登場し今のバイブレータの原型が確立した。以来、高周波バイブレータは進化を続け、振動部とホースの間にパイプを設けたもの(鉄筋絡みを起こさないため)や、回転振動伝達ロスを減らし振動伝播効率を改善したフィン(ひれ)付、先端部にゴムヘッドをつけて型枠との打撃騒音を低減したのも生まれ

ている。更に、コンクリート中の負荷により変動する振動数に対応するために、高周波バイブレータにマイコン技術を導入しコンクリート打設で最も理想とする12,000vpmをコンクリート中における負荷時でも維持できる画期的な機能も世界に先駆けて開発されてきている(写真-22)。



写真-22 現代のバイブレータ代表例

近年ではその形状は筒形に囚われず、型枠を揺らすテーブル型のバイブレータが生まれ1992年(平成4年)に東京湾横断道の海底トンネル用として大型セグメント製造用テーブルバイブレータ(写真-23)が導入された。大型の物としては、油圧ショベルのバケット部の代わりに油圧バイブレータを取付けたダム用バイブレータ“バイバック”(写真-24)が挙げられる。世界最大級の三峡ダムを初め色々なダム工事に活用された。また、打設状況の見える化技術として1996年(平



写真-23 大型セグメント製造用テーブルバイブレータ



写真-24 ダム用バイブレータ“バイバック”



写真一25 コンクリート充填検知システム



写真一26 コードレス高周波バイブレータ

成8年)世界で初めてコンクリート充填検知システム(写真一25)が周辺機器として開発されている。昨今の社会問題である労働人口の減少に対してはコンクリート打設現場における作業員の省人化および生産性向上を実現するため、コードレス高周波バイブレータ(写真一26)が開発されている。

(3) コンクリートバイブレータの今後

近年は、高強度コンクリートの需要拡大とともに、コンクリートバイブレータに依存せずにコンクリートの充填性を良くするため流動性を高める添加剤の開発が盛んに進められ用いられている。コンクリート構造物の耐久性などの最終評価が決まるには数十年を経なければならず、それが正しい技術的方向であるか不明であるが、バイブレータメーカーとしては、あくまで基本に忠実に継続して締固め機械およびシステムの開発に全力を注いで行きたい。すでにハード部分では完成形に近づいてはいるものの、コンクリートの技術革新や工法進化・近年の人手不足問題等、対応しなければならない課題は多い。又、ソフトの部分では、コンク

リート製品のトレサビリティの確保や作業環境の改善・安全性の確保等々未開の部分も多く、更なる充実をはかる必要がある。

7. おわりに

このようにコンクリート機械はその時々ニーズにこたえることや環境対応・安全要求の対応にと開発・改善されて今日に至っている。昨今のIT技術の目覚ましい発展が進む中、コンクリート機械への活用も一段と取入れていかなければならない。i-Construction(情報化施工)が推進されていく建設・土木現場では機械同士の連携・情報共有等さまざまな要求がコンクリート機械にもされてくるのでそれらに対応できるよう改善・改良を進めていきたい。

最後に、本稿が建設・土木施工のより一層の発展に貢献できるよう願っている。

JCMA

[筆者紹介]

清水 弘之(しみず ひろゆき)
コンクリート機械技術委員会 委員長
KYB(株) 特装車両事業部 熊谷工場
技術部

池田 喜治(いけだ よしはる)
(株)北川鉄工所 プラント統括部
技術部 次長

垣内 誠士(かきうち まさし)
日工(株) テクノセンタ 設計部
設計3課 係長

入江 晃由(いりえ てるよし)
極東開発工業(株) 三木工場
品質管理部 品質改善課 主任

浅沼 廉樹(あさぬま なおき)
(株)フジタ 土木本部 土木エンジニアリングセンター 機械部
主席コンサルタント

岡本 敏道(おかもと としみち)
エクセン(株) R&Dセンタ 統括長