

部 会 報 告

コンクリート機械の変遷 (6)

機械部会 コンクリート機械技術委員会

第5部 コンクリート吹付機の変遷-2

1. 吹付け機械の一体化

実際の吹付けコンクリートの作業は吹付機に投入した材料を材料ホースでノズルまで送り、吹付けロボットでノズルを保持し、吹付ける。この過程で、材料圧送中に急結剤供給装置より急結剤を投入する。そしてこれらを稼働させるために、電気と圧縮空気と水（乾式の場合）を必要とする。吹付け時には現場にこれらをすべて揃える必要がある。施工法がNATMになった当初からしばらくの間は、吹付機、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し、吹付けロボットは別の足回り（クローラ、ホイールまたはレール方式）で別々に移動し、現地においてマテリアルホースで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、吹付けコンクリート作業はサイクル毎に必要な作業になり、毎回吹付けコンクリートに必要な資機材を狭いトンネル内を切羽までバラバラに搬入、撤去を行うこと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、1台の台車に搭載するようになった。

1.1 吹付機+急結剤供給装置+吹付けロボットの一体化

最初に行われたのは、吹付機、急結剤供給装置、吹付けロボットを1台の台車に搭載して、供給材（電気、水、圧縮空気）は、現地で接続する一体型である。この効果は効率性の向上はもとより、狭いトンネル内で



写真-1 ツインブーム式吹付機



写真-2 ツインブーム式吹付状況

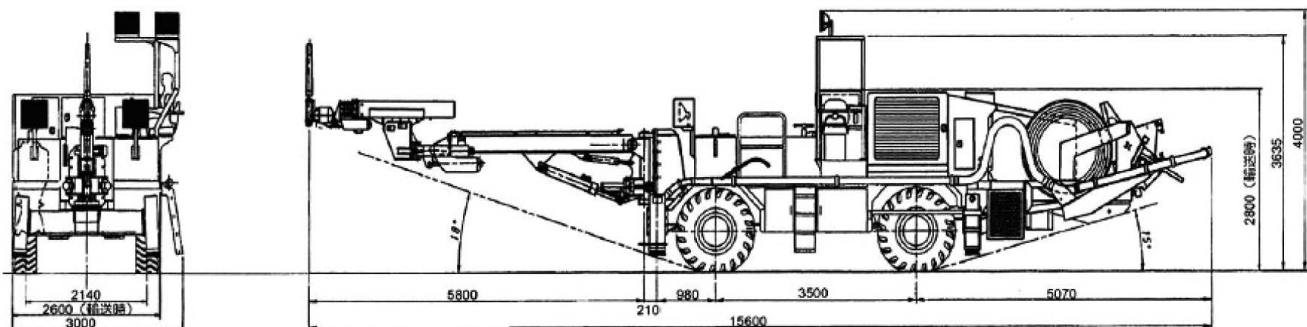
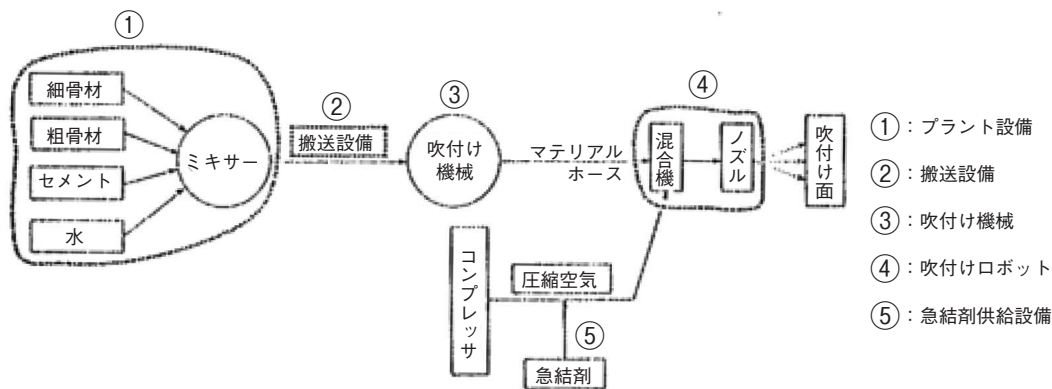


図-1 コンパクト化された専用台車例

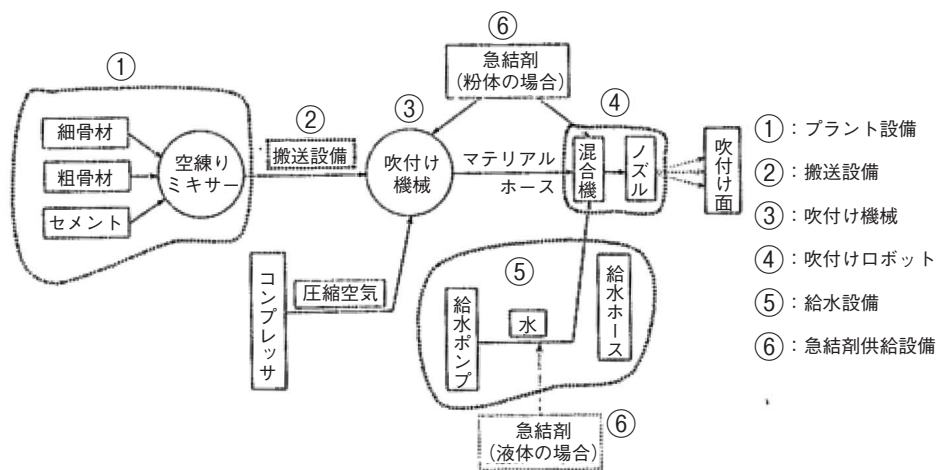
の機械の入れ替えの煩雑さの解消には大きな効果があり、しかも材料圧送ホースの長さが半減（30 m）し、圧送効率も確実に向上しホースの消耗も半減した。これら機械を運搬する台車は、当初は既存の機械（ラフタークレーン、ホイールローダ等）の足回りの流用であったが、最終的には専用の自走式台車が開発され、コンパクト化が進んだ（図一1）。施工性向上のため、1台車に吹付機材を2セット搭載したタイプも出現し、その中で吹付機2台を前後のホイールの間(台車中間)にセットして、さらにノズルまでのホース延長を最短(15 m)にして材料の圧送効率をさらに向上させ、ホース消耗もさらに半減させた究極の大容量吹付けコンクリートシステム台車が開発され（写真一1, 2）、NATM工法で月進281 mの新記録（1980年代）の樹立に貢献した。

た作業の機械動力は、削岩機をはじめ、積み込み機等は原則として圧縮空気が多かった。このため、トンネル施工には、エアー管、給水管、電線が切羽近くまで敷かれ、切羽の進行に伴って延長されていた。ところが、油圧機器の発展に伴い、能力、効率の面からトンネル施工機械も油圧化が進んだ。とくに施工法がNATMに代わってからは、トンネル内の施工空間が広くなり、明かりの大型重機が坑内に投入されるようになったことと、削岩機も油圧化され、圧縮空気の供給は、吹付けコンクリート施工用のみとなった。このためのみの目的で切羽までエアー管を敷設することは不合理と考えられ、しかもコンパクトで高出力のコンプレッサの出現と相まって、吹付け台車にコンプレッサが追加された。この結果、吹付けコンクリート作業は、材料運搬車（トラックミキサ）を除いてこの1台で段取り撤去まで行えるようになり、急速に広まっていった。ただし、コンプレッサにとっては粉じんの多い環境での稼働となるため、集塵機や大型のエアーフィルタなどで対応している。

1.2 吹付機+急結剤供給装置+吹付けロボット+コンプレッサの一体化
元来トンネル施工、とくに切羽での掘削を中心とし



湿式吹付けの系統図



乾式吹付けの系統図

図一2 湿式と乾式の吹付け系統図

1.3 吹付機+急結剤供給装置+吹付けロボット+コンプレッサ+支保工エレクタ+マンバスケットの一体化

我が国のトンネルでは、施工法がNATMに代わっても、鋼製支保工が吹付けコンクリートとロックボルトとともに使われるケースが多い。トンネル断面が大きくなればなおさらこの傾向は強い。鋼製支保工（H型鋼）は、トンネル断面が大きくなれば、長さも断面も大きくなり、重量が増大する。従来は、削岩機のブームに専用の金具をつけて、建て込んでいたが、作業性や安全性の理由から専用の支保工エレクタと作業用マンバスケットがついた支保工建て込み台車（エレクタ台車）が登場し、切羽への支保工の運搬と建て込みを行うようになった。しかし、施工順序では、建て込み後、吹付けコンクリートを施工するため、エレクタ台車を撤去後に吹付機台車を進入させなければならず、地山が悪く、支保工建て込み前に一次吹付けコンクリートを施工する場合、吹付機台車は2度入れ替えを行う手間が発生した。このため、この最も無駄となっている部分を省けるよう、施工の作業分析を行い機械の組み合わせ集約を目的とし1.2の吹付機台車にエレクタとマンバスケットのブーム（いずれも一対ずつ）を加え、ロックボルト以外の支保作業を一台の機械で行えるようにした。この結果究極の支保工システム台車

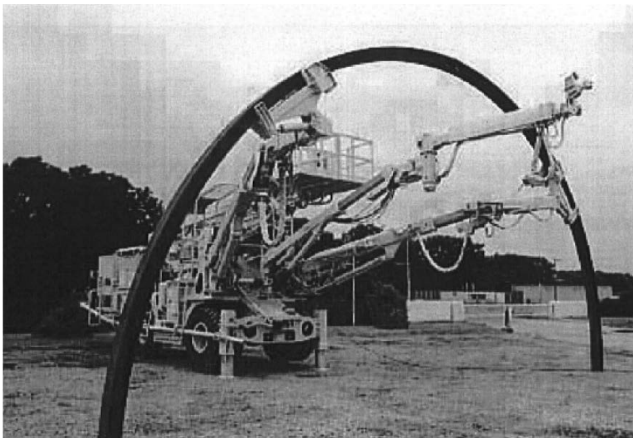


写真-3 エレクター体型吹付機



写真-4 エレクター体型吹付機

が完成することとなった（写真-3）。さらに、エレクタブームにけれん装置を組み込んで、吹付けコンクリート後、台車を撤去する前に支保工に付着した吹付け材をハツリ落す機能が備わった、より合理性の高い機種も開発された（写真-4）。

《参考文献》

- 1) トンネル工用機械便覧 昭和59年3月 (社)日本トンネル技術協会
- 2) トンネル工用機械・器材の変遷史 昭和62年9月 (社)日本トンネル技術協会
- 3) NATMの理論と実際 高山 昭 土木工学社
- 4) 日特建設株式会社 社史
- 5) NATMと吹付けコンクリート 岡田 喬 土木技術 40巻2号
- 6) NATMの新技术 吹付けコンクリートと急結剤
- 7) トンネルの吹付けコンクリート 平成8年2月 (社)日本トンネル技術協会
- 8) 吹付けコンクリート・ロックボルト 平成17年3月 (社)日本トンネル技術協会

表-1 コンクリート吹付け機の経緯一覧表

年代 (昭和)	吹付方式	吹付機械				吹付システム
		名称	形式	機構	搬送方式	
1 35年	湿式	スピロクリート	TMS-1000	チャンバー	エア	
		コンパルナス	TR-70	チャンバー	エア	
		リードガン	LOHE	ローター	エア	
2 35年	湿式	ショットクリート (チャレンジクック)	PQ08-50M	スクイズ	ポンプ	
3 45年	乾式	アリバ	600	ローター	エア	
		トルクレット	S3	チャンバー	エア	
		メイコ	GM76	ローター	エア	
		リードガン	LOHE	ローター	ポンプ+エア	
4 48年	セミ湿式	アリバ	260	ローター	エア	
		メイコ	GM30	ローター	エア	
5 57年	湿式	アリバ	270	ポンプ	ポンプ+エア	
6 58年	湿式	プッツマイスター チャックマン サイドワインダ	M 2005 H	ポンプ	ポンプ	
				ポンプ	ポンプ+エア	
				ポンプ	ポンプ	
7 59年	湿式 乾式	アリバ	280	ローター	エア	
8 61年	湿式	アリバ	280 F F	ローター	エア	

表一 吹付け機の変遷 年表

年代		吹付け機の変遷
西暦	年号	項目・記事 (技術的表特徴・他)
1907	明 40	・アメリカで博物学者 C. E. Akeley が吹付け機の基本型を考案した (セメントと砂の混合物を圧縮空気を利用して吹付ける装置)
1910	明 43	・B. C. Collie が「セメントガン」と名付け開発
1914	大 03	・ピッツバーグ鉱山ではじめて試験採用される ・ヨーロッパでは、トルクレット社により販売開始、鉱山への導入が進められた ・我国では、房総線の鷹ノ巣トンネルの法面吹き付けに採用された。⇒その後、上越線の清水トンネルの実績もあるが、ほとんどが明かりの法面吹き付け工事であった
1915	大 04	・トルクレット社がモルタル吹付け機を開発 (ダブル圧力釜の連続バッチ式)
1930	昭 05	・ローター式吹付け機の開発 (現在の吹付け機の原型: 操作の難しい圧力釜式に代わるものとして)
1942	昭 17	・スイスのアリバ社の技術者 Senn によって乾式のロータ型コンクリート吹付け機が開発された (従来品より高性能)
1944	昭 19	<トンネル用吹付けコンクリート機械> ・NATM 工法が提案された (オーストリアのラブセヴィッツ博士により)。トンネル支保が鋼製支保と矢板に代わり、吹付けコンクリートとロックボルト (NATM) になってから本格的採用
1945	昭 20	・トルクレット社も自社のモルタル吹付け機を乾式のチャンバー型吹付け機に改良することに成功
1947	昭 22	・BSM 社 (BEtE Spritz Maschinen) も独自の乾式チャンバー型吹付け機を開発した
1948~ 55	昭 23~ 28	・オーストリア Kuprun 水力発電所 / Moll トンネルで試験工事から
1951~ 55	昭 26~ 30	・スイス Maggia 発電所での試験等を経て
1956	昭 31	・NATM 工法としてオーストリアで特許があたえられた
1960 前後	昭 35 前後	* 神岡線第4 中山トンネルでロックボルトが使用された
1960	昭 35	・湿式エア一圧送式でチャンバースクリュー併用吹付け機が開発された (コンパルナス、スピロクリート等) ・湿式ポンプ式をチャレンジ社が製品開発した
1962~ 63	昭 37~ 38	・我が国へ NATM 工法の紹介 (施工法としての定着は 10 年以上後になる) 日本では明かり (法面) 用とトンネル用に二分され、夫々専用タイプとして開発が進んだ。
1963	昭 38	<トンネル用吹付けコンクリート機械> <明かり (法面) 用吹付けコンクリート機械> ・アメリカのエアブラコ社製ニュークリター、スーパークリターが導入された

年代		吹付け機の変遷	
西暦	年号	項目・記事（技術的特徴・他）	
1964	昭 39	<p><トンネル用吹付けコンクリート機械></p> <ul style="list-style-type: none"> ・電源開発七色発電所の資材搬入トンネルで試験施工された（トルクレット社により） ・青函トンネルでトルクレット S 3 - II を採用 	<p><明かり（法面）用吹付けコンクリート機械></p> <ul style="list-style-type: none"> ・スイスのアリバ社製のアリバ B S -12 とアリバ 300 が導入された ・明り専用機の吹付け機 NG-1 型湿式吹付けの出現（現在の代表的な吹付け機の S-4 型の原型） ・従来の乾式工法では細骨材の管理が困難で、現地調達細骨材の湿潤状態のトラブルが多い為生コン状態で送れる湿式工法に代わっていった
	昭 40 年代		
1966	昭 41	<ul style="list-style-type: none"> ・北海道紅葉山線・新登川トンネルの蛇紋岩による膨圧対策試験工事に採用され、吹付けコンクリート工法として普及し始めた。生コン状態で送れる湿式工法への傾向強まる 	
1970 年代		<p>*トンネルの支保工（覆工）に湿式吹付けコンクリートが試用された</p> <p>*コンクリート吹付け操作のマニピュレータ化の試験・試用</p>	
1970	昭 45	<ul style="list-style-type: none"> ・セミ湿式吹付け機 アリバ 600 型が導入された（吹付量⇒5 m³/hr） ・その後、青函工事が本格的になると、トルクレット、コンパルナス、アリバ 300 型が吹き付けコンクリートを標準支保材として、公団直轄の先進導坑で採用され、最終的にはアリバ 260 型（300 型の改良型）が先進導坑だけでなく作業坑、本坑でも盛んに使われた（吹付量⇒6 ~ 10 m³/hr） ・ロータリー式アリバ 260 型は乾式の全盛時代を築き 現在でも使用されている 	
1972	昭 47		
1980 年代		<p>*コンクリート吹付けの機械化とマニピュレータ（ロボット化）の発達・普及</p> <ul style="list-style-type: none"> ・一体型吹付け機（1次）の開発が進む メーカー：富士物産、技術資源、KBC、古河、三井三池、スギウエエンジニアリング、極東開発他（吹付け機、ロボット、急結剤供給装置 一体型） ・シンテックがポンプ式の吹付け機を開発・導入し、各社へ提供、今日に至る 	
	昭 57	<ul style="list-style-type: none"> ・湿式専用機のアリバ 270 型が導入された（アリバ社として初の湿式吹付け機） 	
1983	昭 58	<ul style="list-style-type: none"> ・プッツマイスターがポンプ式の吹付け機を開発・導入し、各社へ提供、今日に至る 	
1984	昭 59	<ul style="list-style-type: none"> ・ローター式アリバ 280 型が開発された（湿式、乾式両用型） 	
1986	昭 61	<ul style="list-style-type: none"> ・NATM 工法が我が国で標準工法となった 	
1990 年代	平 02	<p>一体型吹付け機（2次）の開発が進む、レンタル会社も参入 メーカー：富士物産、技術資源、KBC、古河、三作、三興レンタル、トンネルのレンタル等（吹付け機、ロボット、急結剤供給装置等にコンプレッサを搭載）、丸矢工業、他、（小断面用も開発）</p>	

年代		吹付け機の変遷
西暦	年号	項目・記事（技術的特徴・他）
1996	平 08	<ul style="list-style-type: none"> ・ローター式アリバ 285 型が導入された ・ローター式アリバ 286 型が導入された
1999	平 11	<ul style="list-style-type: none"> ・エレクター一体型（台車搭載）の吹付け機開発（ロボット、エレクター付、コンプレッサ無し、吹付け機は別置き）KBC ，トンネルのレンタル等
2006	平 18	<ul style="list-style-type: none"> ・多機能・エレクター一体型（台車搭載）の吹付け機開発トンネルのレンタル、サンコウレンタル等（走行式の台車に吹付け機や支保工の建込み装置を搭載し入替無しの作業で生産性UP）
2009	平 21	<ul style="list-style-type: none"> ・富士物産等がエレクター一体型吹付け機を複数台納入（ロボット、エレクター、コンプレッサ、バスケット、ケレン装置付き） ・各社鏝を削りながら現在に至っている