

## トルクコンバータの伸線機への応用

鈴 木 弘

## 1. ま え が き

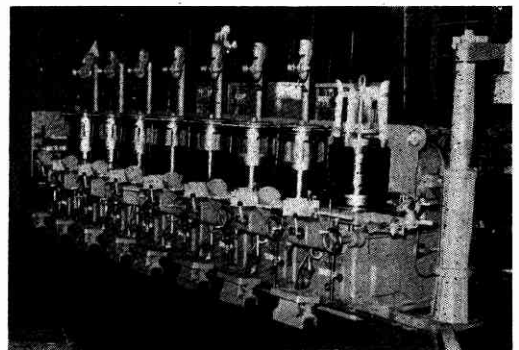
伸線作業における線の速度は、年を追うて次第に高速になる傾向がある。また、多数のダイスを1台の伸線機に装備して連続的に伸線する連続伸線機が伸線工業の主体になってきた。さらに逆張力伸線の各種の利益が一般に認識されてきた結果、最新式の連続伸線機では逆張力を線に加えられる構造のものも少なくない<sup>1)</sup>。連続伸線は細線の伸線に最初に採入れられ、漸次年を追うて太線にまで拡がって行った傾向があり、太線用の場合の連続伸線機に特に今後の問題が多いようである。またトルクコンバータの伸線機への応用も、太線機の場合に特に興味深い問題が多いので、本文では圧延した条材から直径2～3mm程度までの線を伸線する太線機を主に対象として考察を進める。

第1図は逆張力を加えられる多ダイス連続伸線機の一例として、芝浦共同工業社製の、5ダイス連続逆張力伸線機の主要部の平面配置を示したものである。図の左側から供給される素細は、ダイス  $D_1 \cdots D_5$  を順次通過して所用の仕上り線になる。この間で、線はキャプスタン I, II, III に滑らぬようにそれぞれ数回巻着けられていて、これらのキャプスタンの駆動と、仕上り線の巻取ドラム IV の駆動とによって、線に引抜動力が伝えられる。したがって各キャプスタンと巻取ドラムとの速度が調和を保っていることが必要である。

もしもかりにキャプスタン III の速度が調和速度以下であれば、II と III の間では線がたまり、III と IV の間では線

に大きな張力が加わり、場合によっては断線のおそれもある。これを避けるために、この伸線機では各キャプスタン間にバネで支えられたダンシングブリー  $DP_1 \sim DP_5$  が設けられていて、線のループの長さの変化に応じてダンシングブリーの位置が変化すると、アンブリダイン装置が作動して、直流モーター  $M_1 \sim M_5$  の電流を調節して前段の速度を修正して調和速度に保つ構造になっている。またこの伸線機ではダンシングブリーのバネの力で線に加えられる張力が、伸線時の逆張力ともなっているのである。

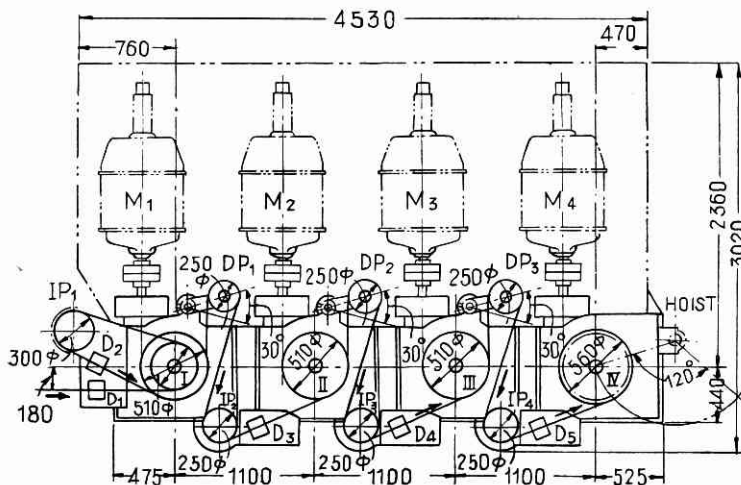
このような方式を採用すれば、伸線機としては最高級のものが得られるが、直流モーターを使用して速度を制御するためには、独立のモータージェネレーターを使用する必要があるので、伸線機の価額が非常に高くなるの



第2図

が欠点である。このため、現在第一線機として使用されている太線伸線機の大多数は、第2図に示すようないわゆるノンスリップ貯線式の伸線機である。この型式の伸線機では、伸線機に多量の線が貯線されることと逆張力を加えることができない点は欠点であるが、各巻取ドラムの速度は厳密に調和を保つ必要はない。したがって精密な速度制御装置は不必要であり、交流モーターで用が足りる点は利点である。

筆者の提案する方式は<sup>2)</sup>、交流モーターとトルクコンバータを組合わせて直流モーターに似た特性を発揮させることによって、非貯線型逆張



第 1 図

力連続伸線機のすぐれた特性を、比較的低廉な価額で実現しようとするものである。

このように経済性を問題とする以上は、この方式の伸線機の価額がどの程度になるかが問題の一つの重点になることは避けられない。しかし価額には影響する要素がきわめて多いので、明確に示すことは困難であるが、大よその目安を求める意味の比較を試みてみよう。素線 9 mm・7 ダイス連続伸線・国産の条件で、a 直流モーターを使用する非貯線型逆張力伸線機ならば、直流電源装置を含めて 2,500~3,000 万円程度、b ノンスリップ貯線式伸線機ならば 900~1,200 万円程度、と推算して大きな誤りはないであろう。これに対してトルクコンバータを使用する交流式の非貯線型逆張力伸線機は 1,200~1,500 万円程度でできる見通しである。直流式とはほぼ同性能で価額は半分程度であるから、利用価値は大きいものと見るべきである。

## 2. 非貯線型逆張力連続伸線機の特性

途中のキャプスタンには貯線しない型式の連続伸線機では、各キャプスタンの周速度は、これに巻かれる線の速度に対応する一定の関係を満たしていなければならない。したがって前記の芝共機のように速度制御装置を設けるか、あるいはこれに代る方法を考えねばならない。この種の伸線機の特性の理論的考察はすでに他の機会に述べてあるので<sup>4)</sup>、ここでは実用上の見地から考察する。

連続伸線機に逆張力伸線を採入れる方式は、逆張力を加える方法によって大別して 2 種類に分類される。完全な多ダイス連続伸線機と、単ダイスの逆張力伸線機を単に単一フレーム上に多数配列したにすぎないものとの 2 種類である。単ダイスの逆張力伸線機では、そのダイスに入る前の部分と出た部分の線の張力、すなわち逆張力と引抜き力との間にあらかじめ定めた関係が保たれるような構造にはなっているが、張力が一定の関係を保ちながら変化するのはあくまでその 1 個のダイスの前後だけであって、その前後のダイスからの引抜き力や、次段のダイスの逆張力とは縁が断たれている。したがってこれを多数配列しても線に加わっている張力については、前記のように独立の逆張力伸線機を多数配列したに過ぎず、伸線機全体としての各部分の張力間にはなんら関係がないから、連続伸線機としての総合特性を考える意味は乏しい。またこの種の伸線機では 1 ダイスごとに逆張力の制御機構を設ける必要があるため、構造が複雑になり、したがって価額も高くなるから実用上の意義も少ない。本稿ではこれは除外して考えないことにする。

上に述べたものは、いわば広い意味での逆張力連続伸線機といえよう。厳密な意味での逆張力連続伸線機は、伸線機全体としてすべての部分の張力の間に直接の関係があって、どのダイスの引抜き力かあるいは逆張力が変化しても、これが全ダイスの前後の張力に影響する特性が

ある。したがって伸線機全体の特性を総合的に考えることが必要である。性能のすぐれている点、構造が簡単になる点、いずれからみても前者よりもすぐれているので、逆張力連続伸線機の実用機はすべてこれに属する形式を採っている。したがって本稿でもこれを対象として考察する。

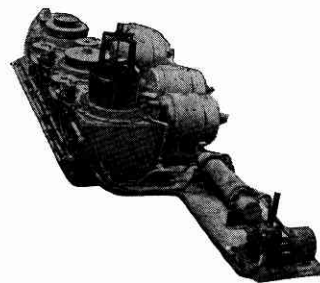
このような狭い意味の逆張力連続伸線機が、特性で分類すればさらに 2 種類に分かれる。第 3 図の速度制御方式と、第 4 図の張力制御方式とも称すべきものの両者である。

両図とも図の上半分は、主要部分の配置を示し、下半分は、

ダイス・キャプスタン等を経るごとに線に作用する張力が変化する状況を示したものである。前者は先に述べた芝共機の方式

であって、ダンサーブリー  $P_1, P_2, P_3$  等の位置が変化すると、キャプスタン  $C_1, C_2, C_3$  等の速度が変化して、ダンサーブリーに懸っている線のループの長さを元の値に保つような制御機構が設けられている。ダンサーブリーはバネで支持してあるから、これによって線に張力  $T_1, T_2, T_3$  等が加わり逆張力になる。ダンサーブリーの位置が変化すればバネ荷重は変化するから、たとえば  $P_1$  の位置が  $0 \rightarrow 0'$  と変化すれば、張力は  $T_1 \rightarrow T_1'$  に変わる。

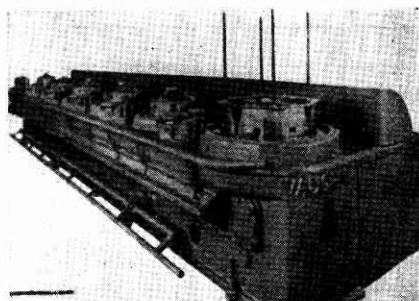
神戸製鋼所製逆張力連続伸張機<sup>5)</sup> (第 5 図)。



第 5 図

Vaughn 社製逆張力連続伸線機<sup>7)</sup> (第 6 図) 等もこの形式に属するものであって、前記の芝共機同様直流モーターを使用している。

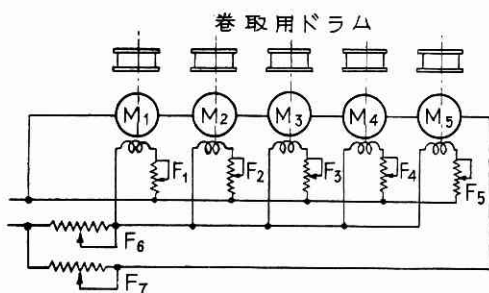
第 4 図に示した張力制御方式の場合には、ダンサーブ



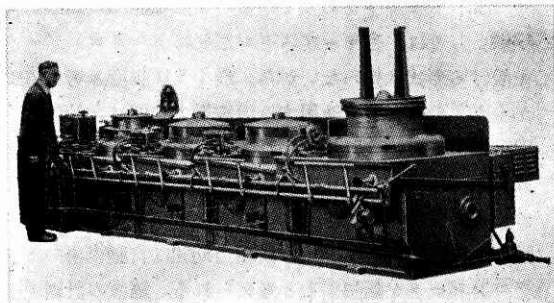
第 6 図

リーはぜんぜん使用しない。キャプスタン  $C_1, C_2, \dots$  を駆動するトルクを伸線中はほぼ一定の値に維持するように制御し、最終キャプスタンを定速運転する以外には特に人為的操作は加えない。最終キャプスタン以外の  $C_1, C_2, C_3$  等の速度は線速に応じて自然に決まる。キャプスタン  $C_1$  のトルクを調節すると、キャプスタンに巻きつけた線の両端の張力差  $S_1$  が変化する。第1ダイスの逆張力  $T_1$  と  $S_1$  との和は、第1ダイスの引拔抵抗に等しく、伸線中はほぼ一定値であるから、 $S_1$  の調節はとりもなおさず逆張力値の調節になる。

この方式は前記の速度制御方式に較べて、機械的な構造が簡単になるばかりでなく、線の径路が簡単なので太線の場合には手数が非常に省ける利益がある。この方式を採用したものは Marshall Richards 社製伸線機がある<sup>9)</sup>。第7図は同機の電気方式、第8図は外観である。



第 7 図



第 8 図

この伸線機も直流式であって、各ブロックごとに独立のモーターを設けてある。各モーターのフィールドの手動界磁抵抗  $F_1 \sim F_5$  により、モーター相互間の回転モーメントの比が調節できる。基本速度までの速度調節は抵抗  $F_7$  の調節により行い、基本速度以上の加速減速は抵抗

$F_6$  の調節によって行う。 $F_6, F_7$  により全体の速度を一斉に変化する際には、各モーターの回転モーメントの比は変化しないから、あらかじめ設定した逆張力比をほぼ維持しながら伸線できる。生研式逆張力連続伸線機<sup>9)10)</sup>は中・細線用機であるから、ここでは採り上げないが、やはり張力制御方式に属する。

すでに本稿でも指摘したように、張力制御方式の方が速度制御方式に較べて構造が簡単であるから、かりに両者とも直流駆動の方式を採用するとしても、著者は張力制御方式を推薦する立場を採るが、もしもトルクコンバータを介して交流モーターで駆動する方式を採用すれば、両方式の間の差異はさらに開いて、張力制御方式ではトルクコンバータの長所を十分活用できるのに対して、速度制御方式では複雑な装置を設ける必要があって、しかも使用上特にすぐれた効果は期待できない。この理由は以下本文中で述べるつもりであるが、とにかくこのような事情があるのでトルクコンバータの応用は張力制御方式の場合に限って考察することとした。

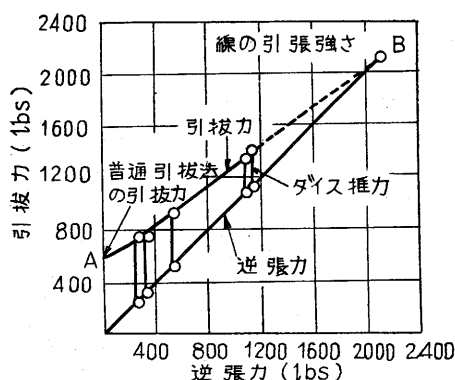
### 3. 張力制御式連続伸線機の特性 に対する使用上の諸要求

伸線機の特性に対する使用上の要求には、定常的な伸線が行われている際の必要条件と、最初に線を順次各キャプスタンに巻着けていくいわゆる線通しの際や、不意に断線した際等の不定常の状態における必要条件と2種類が考えられる。もしも1台の伸線機を多用途に使用するような場合には、線径・材質等の変化した際に、これが伸線機の特性にどのような影響を及ぼすかも考慮しておく必要があり、問題はさらに広範囲になる。これらの問題を検討するために、Marshall Richards 社の伸線機の試験結果をまず検討する<sup>11)</sup>。

**a 試験機の諸元** さきに第7図に電気方式を示した伸線機であって、5ダイス、キャプスタン径 12.1, 径 0.06~0.135in (1.525~3.43mm) の高炭素鋼線用、伸線速度 600~1400fpm (182~425m/min) である。ダイスが油圧装置で支持されているので、油圧からダイス推力(ダイスを線が通過する抵抗)を読取ることができる。またモーターのアマチュア電流を読取って、キャプスタンが線を引く力を求める。

**b 引抜き力と逆張力との関係** 第9図は引抜き力・逆張力・ダイス推力の3者の間の関係を示す一例であって、鉛ベントした 0.187in の 0.75% C 鋼線を、20%ずつ5回断面積を減少して最終径 0.105in にする際の最終ダイスの測定値である、逆張力をぜんぜん加えない場合と、逆張力値を5種類変えた場合と合計6組の測定値から求めた線図である。

逆張力を増すに従って引抜き力はほぼ直線的に増大し、正味のダイス推力はほぼ直線的に減少することは、他の研究結果でも見られることである。逆張力を増大するに



第 9 図

従って見掛けの引抜き力は増大するが、ダイスの正味の引抜き抵抗は逆に減少する点が、逆張力伸線法の長所であるとともに、この種の伸線機の特長上の大きな特徴である。なおこの点は最終ダイスに限らず途中のダイスについても同様である。

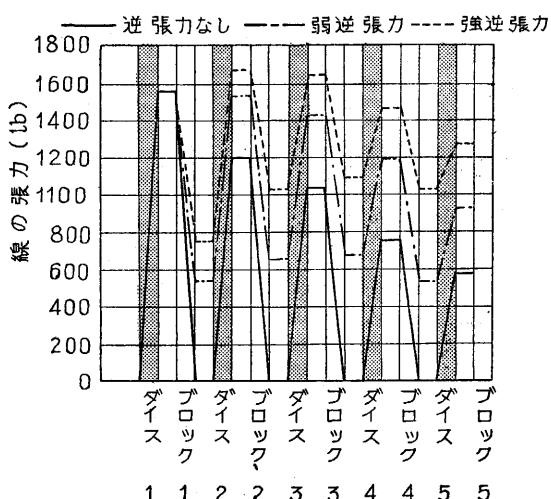
c 伸線動力 引抜き力・逆張力・各キャプスタンの伝える力、キャプスタンごとの所要動力等の測定例を第1表に示す。直径 0.187in の素線を 5 回で 0.095in まで引落す場合（全断面減少率 74.2%）を例にとり、普通の伸線方法と、弱い逆張力を加えた場合と、強い逆張力を加えた場合の 3 場合を示してある。また第 10 図は伸線機の各部分で線に作用している張力を図示したものである。

第 1 表

キャプスタン番号		1	2	3	4	5
断面減少率 %		24.6	23.8	23.7	23.8	22.3
ダイス出口線速 fpm		438	575	754	990	1300
逆張力を加えない	逆張力 lb	0	0	0	0	0
	ダイス推力 lb	1560	1190	1030	750	580
	引抜き力 lb	1560	1190	1030	750	580
	巻取車の伝える力 lb	1560	1190	1030	750	580
	ダイスにおける消費動力 HP	20.65	20.7	23.5	22.5	22.9
	巻取車の消費動力 HP	20.65	20.7	23.5	22.5	22.9
全消費馬力 HP		110.3=100%				
弱い逆張力を加える	逆張力 lb	0	535	648	678	530
	ダイス推力 lb	1560	995	778	512	408
	引抜き力 lb	1560	1530	1426	1190	938
	巻取車の伝える力 lb	1025	882	748	660	938
	ダイスにおける消費動力 HP	20.65	19.60	21.30	20.20	21.0
	巻取車の消費動力 HP	13.60	15.35	17.10	19.80	36.9
全消費馬力 HP		102.75=93%				
強い逆張力を加える	逆張力 lb	0	755	1023	1090	1027
	ダイス推力 lb	1560	913	622	369	248
	引抜き力 lb	1560	1668	1645	1459	1275
	巻取車の伝える力 lb	805	645	555	432	1275
	ダイスにおける消費動力 HP	20.65	19.10	18.70	19.85	19.5
	巻取車の消費動力 HP	10.65	11.25	12.65	12.95	50.3
全消費馬力 HP		97.80=88.6%				

この結果を検討すれば、この種の伸線機の特長には 2 つの特徴があることがわかる。その第 1 は逆張力の強さを増すに従って途中のキャプスタンの所要動力が減り、最終キャプスタンの所要動力が増大することである。すなわち第 1 キャプスタンの所要動力はほぼ半減しているのに対して、最終キャプスタンでは 2 倍以上に増大している。

第 2 の特徴は逆張力の強さを変えるに従って全消費動



第 10 図

力が変化することであって、弱い逆張力を加えた際には消費動力は 7% 低下し、強い逆張力を加えた場合には 11.4% 低下している。この種の伸線機では、このように逆張力を増すに従って全消費動力が減少するのが普通であるが、伸線機の構造によってはわずかながら増大する場合もある<sup>10)</sup>。

上記の 2 種類の特長は、トルクコンバータを採用する場合にも十分考慮に入れなければならない。

#### 4. トルクコンバータ付伸線機の特長

現用のトルクコンバータは、その用途に応じて構造・容量とも多種類あり<sup>13)</sup>、したがってトルクコンバータ全部の特長を一括して論じることは困難であるが、多段連続逆張力伸線機に採用するには種々の制約があるので、利用できるものの特性にはそれほど大きな相異はないとみてよからう。すなわちまず容量については、伸線機のキャプスタン 1 頭あたりの必要馬力は、ワイヤーロード用の大型伸線機でも最大 30~50HP であり、自動車用のものよりも多少下まわっている。また細線用の逆張力伸線機としては、各キャプスタンごとにトルクコンバータを設ける形式は採らないから、最小 5HP 程度と考えてよからう。このように使用する伝達馬力範囲は比較的狭く限られている。また量産した廉価な製品を使用するのが経済的には好ましいが、伸線機用として使用されるものは自動車用のものに較べればはるかに少数である。これ等の理由から少なくとも今後相当期間は自動車用のトルクコンバータを転用すると考えられる。筆者の計画中の伸線機には、いすゞ自動車製の MT-10 型を使用の予定であるので、これを例にとって特長を述べる。

4.1 トルクコンバータの特性 ここに引例したいすゞ MT-10 型トルクコンバータの主要目は下記のとおりである。

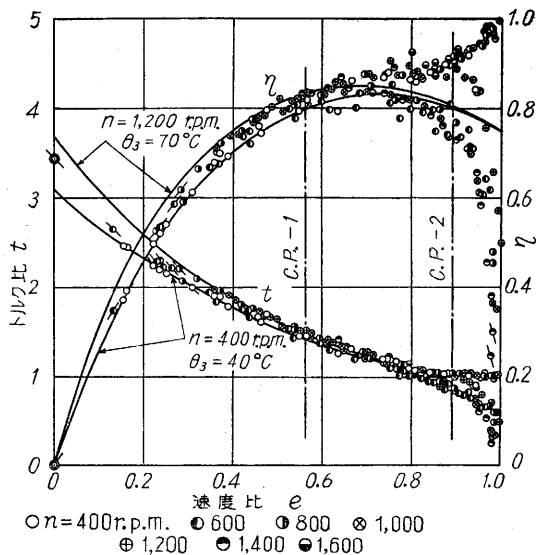
名 称 MT-10

形式 4要素1段3相

容量: 32HP—1000rpm  
 原動軸回転数 129HP—1600rpm  
 256HP—2000rpm

全直径 (ケーシング) 560mm

用途 大型リヤエンジンバス用

第 11 図は実験により求めた特性曲線であって<sup>14)</sup>、右

第 11 図

下りの曲線は (被動軸トルク) / (原動軸トルク) の比  $t$ 、右上りの曲線は動力伝達効率  $\mu$  である。図の右端の速度比が 1 に近いところで実験値が 2 群に分れているが、上方の群はステータが空転したときの継手性能を、下方の群はステータを固定したときのコンバータ性能を表わしている。

原動軸の速度一定の場合には、滑りが増して被動軸の速度が低下するに従ってそのトルクは増大する。連続伸線の場合には、調和速度よりも速すぎるキャプスタンには大きな荷重が加わるから、上記の特性は連続伸線を安定させる好ましいものである。

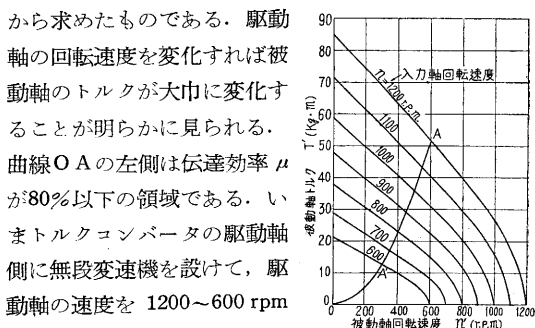
速度比  $e$  の小さい領域では効率が低い点も注意すべき点であって、伸線機のように正規の運転状態では速度変動の小さい場合には、速度比  $e$  が少なくとも 0.5 を超える領域に正規の運転条件を設定するように考慮しなければならない。最初にダイスに線通しをする場合等の短時間の伸線ならば、速度比の大きい領域を使用しても差つかえないことはいうまでもない。

なお第 11 図によれば、トルク比  $t$ ・効率  $\mu$  の両者とも速度比  $e$  の函数ではあるが、原動軸の回転速度が  $n=400\sim1200$  の広範囲に変化してもほとんど変化せず、回転速度の絶対値に無関係である点は注目値する。

また本図には現われていないが、トルクコンバータの伝達馬力が原動軸の回転速度の 3 乗に比例する点は、伸

線機として使用する場合には重要な要素であって、原動軸の速度を変化することによって、キャプスタンのトルクあるいは伸線速度を大巾に調節することが可能となり、同一伸線機で各種の材質・線径の伸線作業に対処することができる。したがって伸線機の特性を考察するに当っては、トルクコンバータと変速機とを組合わせた総合特性を検討しなければならない。

4.2 トルクコンバータと変速機の組合わせ特性 伸線機としての特性を考察するに便利のように、トルクコンバータの被動軸の回転速度とトルクとの関係を示すと第 12 図のようになる。図はいすず MT-10 型の実験結果

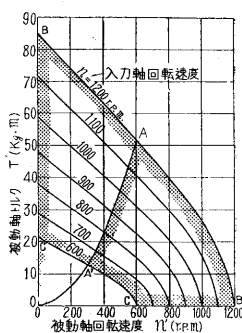


第 12 図

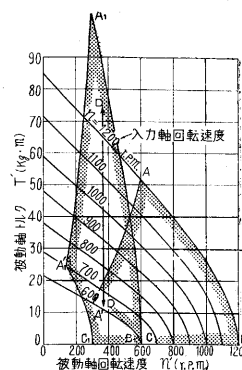
から求めたものである。駆動軸の回転速度を変化すれば被動軸のトルクが大巾に変化することが明らかに見られる。曲線 OA の左側は伝達効率  $\mu$  が 80% 以下の領域である。いまトルクコンバータの駆動軸側に無段変速機を設けて、駆動軸の速度を 1200~600 rpm の間で任意に調節できるとすれば、第 13 図 BBCC' 内に在る点で示されるトルクと回転速度の組合わせが利用できる。定常的作業に使用されるのは ABCA' の領域であることはいうまでもない。

さらにトルクコンバータの被動軸に  $1/2$  の減速装置を設ければ、領域 ABCA' に応じて  $A_1B_1C_1A_1'$  の領域が新たに利用できる。したがって被動軸の比較的低速の領域で荷重トルクが広範囲に変化する直線 DD' で表わされるような場合には、駆動軸の速度を無段変速するとともに、被動軸側にも変速装置を併設するのが好ましい。

4.3 伸線機の特性 トルクコンバータ付の連続伸線機的主要因素の配置は、1 台のモーターで全キャプスタンを共通駆動する場合には第 15 図、各キャプスタンごとに独立に



第 13 図



第 14 図

モーターを設ける場合には第 16 図のようになる。実際の伸線機ではなおこれ以外に補加的な要素と、さらに性能を改善するための制御装置が若干設置されるが、基本

