

パワーショベルの動的性能測定結果について

Test Results of the Dynamic Mechanical Performance of the Power Shovel

阿 部 哲 義* 中 村 明* 吉 田 宗 生*
Tetsuyoshi Abe Akira Nakamura Muneo Yoshida

内 容 梗 概

パワーショベルは大地を相手とする作業だけに、過酷な衝撃荷重をうけ、またその程度も掘削条件や運転法などにより差があり、理論的にはきわめてはあくしにくく、従来もこの種の研究はあまり発表されていない。この報告は実際に作業するショベルについて、種々の要素をオシログラムに記録し解析したもので、この結果

- (1) 掘削中あるいは旋回・走行中ショベルにかかる衝撃トルクの程度
- (2) 流体伝導装置を装着することによって得られる衝撃緩和の効果、および作業性向上の効果
- (3) 電気ショベルにおける二次インピーダンス方式の電動機のショベル作業への適応性
- (4) 空気操作方式のショベル作業への適応性

などを明らかにすることができた。

1. 緒 言

パワーショベルは岩石、土砂などの掘削、積込みをおもに行うもので、当然きわめて過酷な衝撃荷重を受けることは容易に想像されるが、その大きさ、性質などを理論的に究明することは困難で、どうしても実測結果によらなければならない。ところがこの方面の研究発表はごく簡単なものの一例⁽¹⁾を除いてはほとんどみられず、その研究が要望されていた。この要望にこたえて今回日立 U12形 1.2m³のパワーショベルについて、工場内の試験場および実際の掘削現場において作業中の各種の性能、特に各動作時に原動機にかかる衝撃トルク、各駆動方式に対するそのトルクの大きさの比較、空気操作方式の性能などを詳細に測定したのでその結果について述べる。

本文においては次の用語を使用する。

駆動方式

原動機から次の減速装置を駆動する方式で、直結式、流体継手付、トルクコンバータ付、電気駆動式に区分する。

直結式

エンジンと減速装置との間に流体伝動装置を入れないで直結するもの。

流体継手付

エンジンに流体継手を付けて減速装置に連結するもの。

トルクコンバータ付

同じくトルクコンバータを付けて減速装置に連結するもの。

電気駆動式

原動機に電動機を使って減速装置と直結するもの。

流体伝動

流体継手付とトルクコンバータ付との総称。

原動機にかかるトルク

直結式および電気駆動式の場合は原動機そのものにかかるトルクをいい、流体継手またはトルクコンバータ付の場合はその出力軸にかかるトルクをいう。

原動機の出すトルク

直結式および電気駆動式の場合は原動機そのものが出すトルクをいい、流体継手またはトルクコンバータ付の場合はその出力軸が出すトルクをいう。

2. 測定ショベルの概要

2.1 仕 様

本測定に使用したショベルの仕様を第1表に示す。

2.2 構 造

原動機1個にて全動作を行う1原動機式で、その外観は第1図に示すようなもので、ウインチ部分はいわゆる二軸式、旋回ローラはフックローラ式、推圧引込みはロープ式、主動作の操作は空気式であるが、駆動方式は原動機にディーゼルエンジンを使用した直結式、流体継手付、トルクコンバータ付と、モータを使用する電気駆動式の4形式になっている。なおエンジンと流体継手とを組合わせた場合の性能は第2図に、エンジンとトルクコンバータとを組合わせた場合の性能は第3図にそれぞれ示してある。

また電気駆動式の場合のモータの特性は第11図に示すとおりである。

3. 測 定 方 法

本測定を行った場所ならびにその測定方法は次のとおりである。

3.1 測 定 場 所

ショベルの性能はその駆動方式によって異なるとともに掘削条件すなわち掘削物の種類、地形、運転法、運転手の技倆と、走行条件すなわち地盤の凹凸、かたさ、傾斜などにより大幅に変ってくるので、測定はなるべくいろいろの場所にて行うことが必要であるが、今回は第2表に示す各場所の1.2m³ショベルについて行った。

3.2 測 定 方 法

まずショベルの旋回時に原動機にかかるトルクおよび回転数（流体伝動の場合は入力軸と出力軸との両方の回転数）、旋回操作レバーのストロークと旋回クラッチシリンダ空気圧力、旋回速度およびこれらの間の時間的關係などをオシログラフにより測定した。

すなわちブーム角度を一定に保ったままジッパハンドルをストローク一杯まで突出して最も慣性モーメントを大きくし、ジッパを空

第1表 測定ショベルの仕様

形 式		日立U12形	原 動 機	直結式および 流体継手付	DE形 定格出力 150 PS(1,000 rpm) 最大トルク 125 kgm
ジ ッ パ 容 量		1.2 m³			トルク コンバータ付
ブ ー ム 長 さ		6.8 m		モ ー タ	
速 度	巻 上	25 m/min	機		流 体 継 手
	推 圧	28 m/min			
	引 込	42 m/min			
度	回 仰	4.1 rpm		トルクコンバータ	
	俯 行	10 m/min			
	走 行	1.4 km/h			
操 作		空気制御式			

* 日立製作所亀有工場

および掘削物を満たした状態で相当急激に左右の旋回を繰返した。

また旋回を行わないで掘削すなわち巻上、推圧、引込みの動作中にエンジンにかかるトルクおよび回転数、巻上力、推圧力、ジッパハンドルのストロークとその傾斜角度、操作レバーのストローク、シリンダの空気圧力および両者間の時間的關係などを同様に測定した。

次に実掘削作業すなわち(掘削+旋回)の動作中に上記と同様の測定を行った。

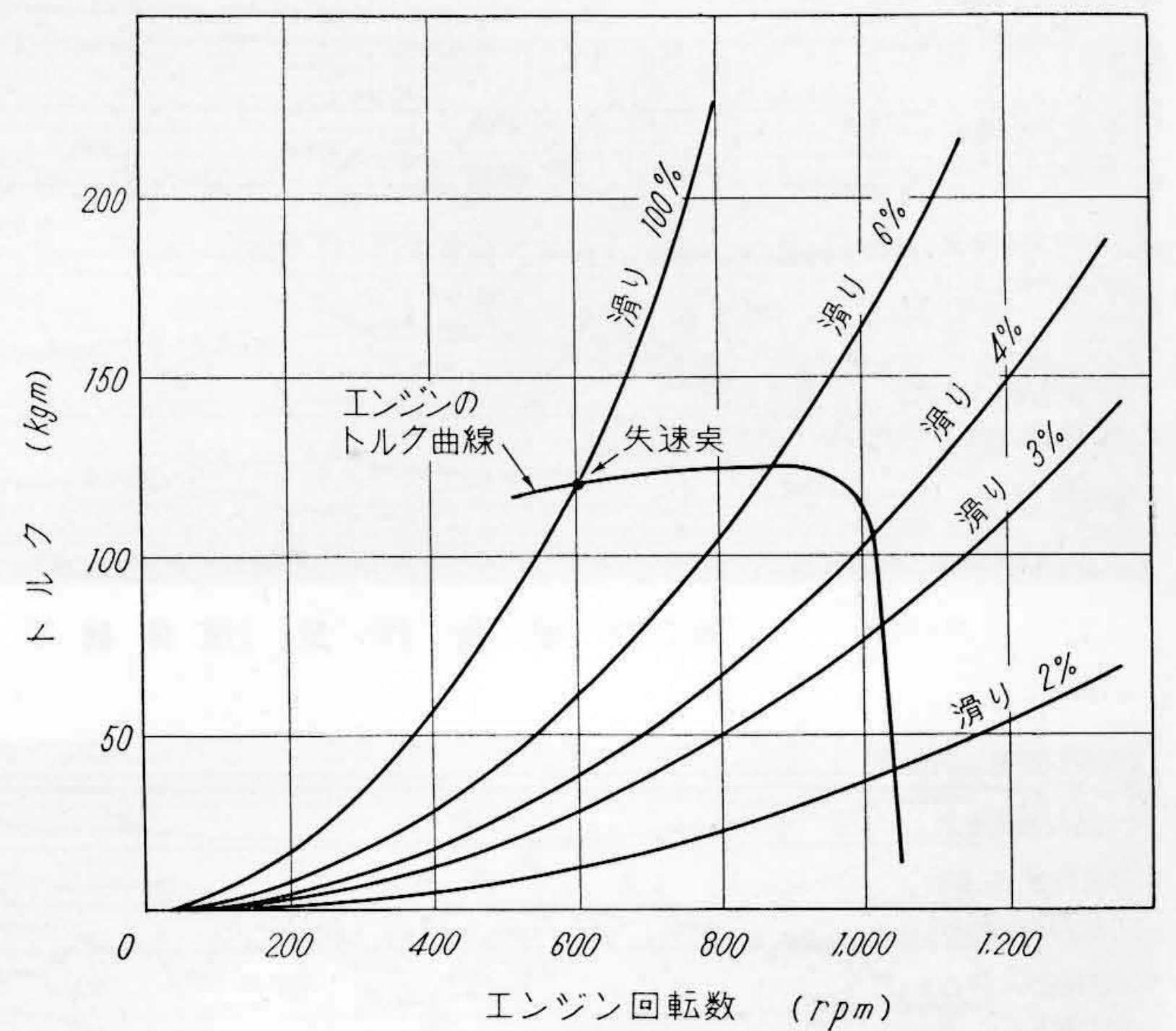
さらに平坦地で走行(前進、後進、ステアリング)を行い、その時エンジンにかかるトルクならびに回転数、走行速度、操作レバーのストローク、シリンダの空気圧力、およびこれらの間の時間的關係などを測定した。

本測定でエンジンのトルクは第2表Fのトルクコンバータ付以外は、第一段減速用チェーンホイール軸の軸受ボスの部分にストレインゲージをはりつけて測定した。すなわちこのボスが旋回主フレームからオーバハングしていて、チェーンの引張力に比例した曲げモーメントを受けるので、エンジントルクを曲げ応力に換えてストレインメータにて測定するものである。



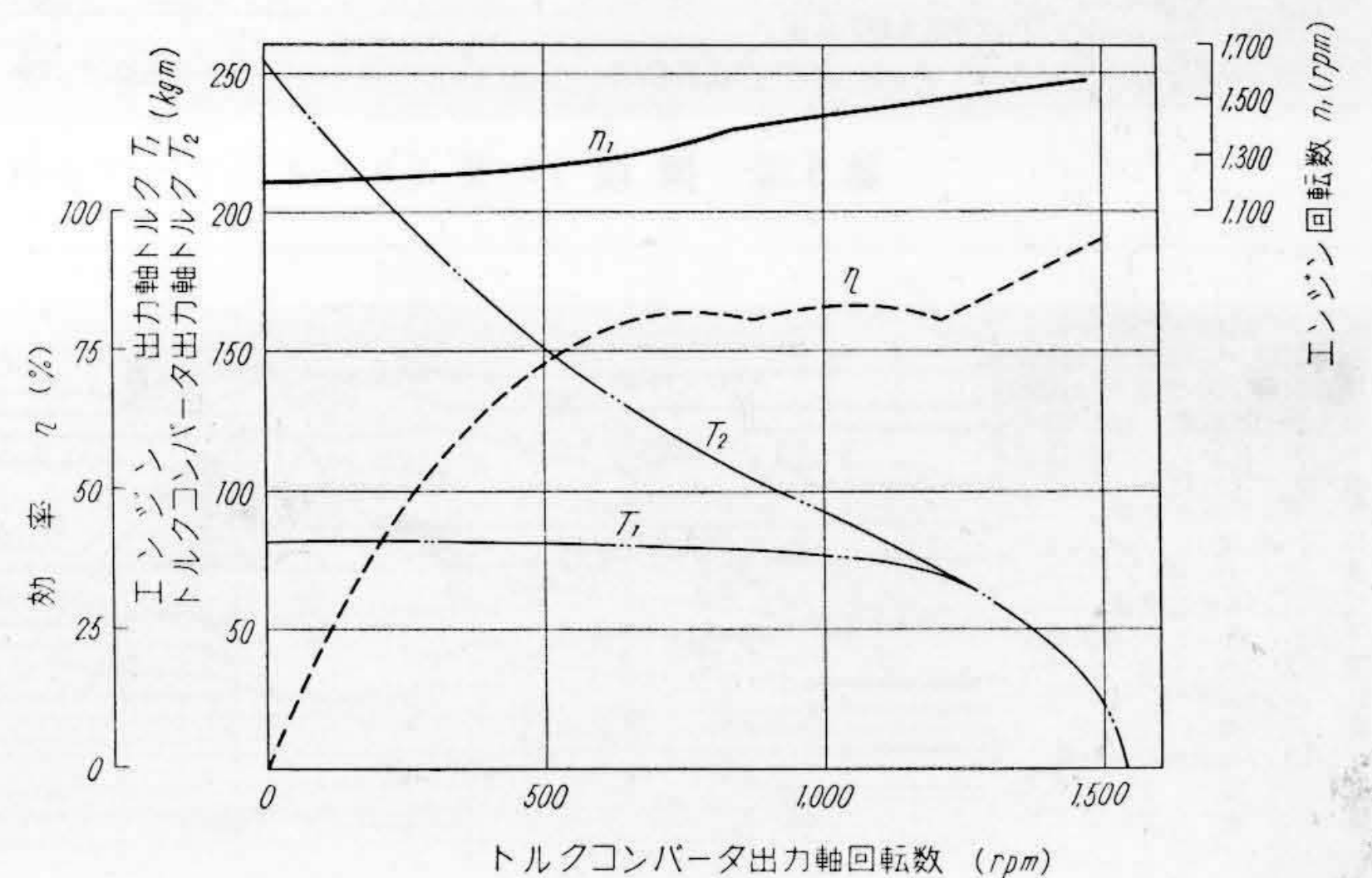
第1図 掘削作業中のパワーショベル

第2表 測定場所				
符号	駆動方式	使用原動機	掘削物	測定場所
A	直結式	DE形エンジン 150 PS 1,000 rpm	粘土	工場内試験場
B	直結式	DE形エンジン 150 PS 1,000 rpm	岩石	ダム用採石場
C	直結式	DE形エンジン 150 PS 1,000 rpm	粘土	工場内試験場
D	直結式	DE形エンジン 150 PS 1,000 rpm	石灰石	石灰石山
E	流体継手付	DE形エンジン 150 PS 1,000 rpm	石灰石	石灰石山
F	トルクコンバータ付	DL形エンジン 143 PS 1,500 rpm	粘土	工場内試験場
G	トルクコンバータ付	DL形エンジン 143 PS 1,500 rpm	玉石	ダム用採石場
H	電気駆動式	75 kW 830 rpm	軟岩石	ダム用採石場



第2図 エンジンと流体継手のトルク曲線

第3表 測定項目		
測定項目	測定計器	測定場所
エンジンにかかるトルク	抵抗線式ストレインメータ またはトルクメータ	チェーンホイールの軸受ボス またはエンジンとチェーン ピニオンの間
エンジンの回転数	直流発電機	エンジン
出力軸の回転数	直流発電機	出力軸
旋回回転数	直流発電機	ローラパス
巻上力	抵抗線式ストレインメータ	パッドロックシーブボックス
推圧力	抵抗線式ストレインメータ	推圧用イコライザシーブ
ブームとジッパハンドルとの 相対角度	抵抗線式変位計	ブーム
ジッパハンドルのストローク	抵抗線式変位計	サドルブロック
各動作用シリンダの圧力	抵抗線式圧力計	
各動作用レバーの動き	抵抗線式変位計	操作レバー



第3図 エンジンとトルクコンバータの出力特性曲線

また第2表Fのものはこの測定法のほかに、エンジン付近を改造してエンジンと第一段のチェーンピニオンとの間にトルクメータをはさんで、エンジンにかかるトルクを直接測定する方法を併用した(両者の測定結果はきわめてよく一致した)。

なお測定項目とその測定計器とは第3表に示すとおりでこれをオシログラムに同時記録した。

また測定中にはブームの角度は常に 40 度にし、操作用空気圧力を

一定に保つなど、できるだけ一定条件のもとで測定するようにつとめた。

4. 測定結果とその考察

第2表に示すように 1.2 m³ のパワーショベルについて各所でその性能を測定したが、その結果をまとめこれに考察を加えると次のようになる。

4.1 掘削時原動機にかかる衝撃トルク

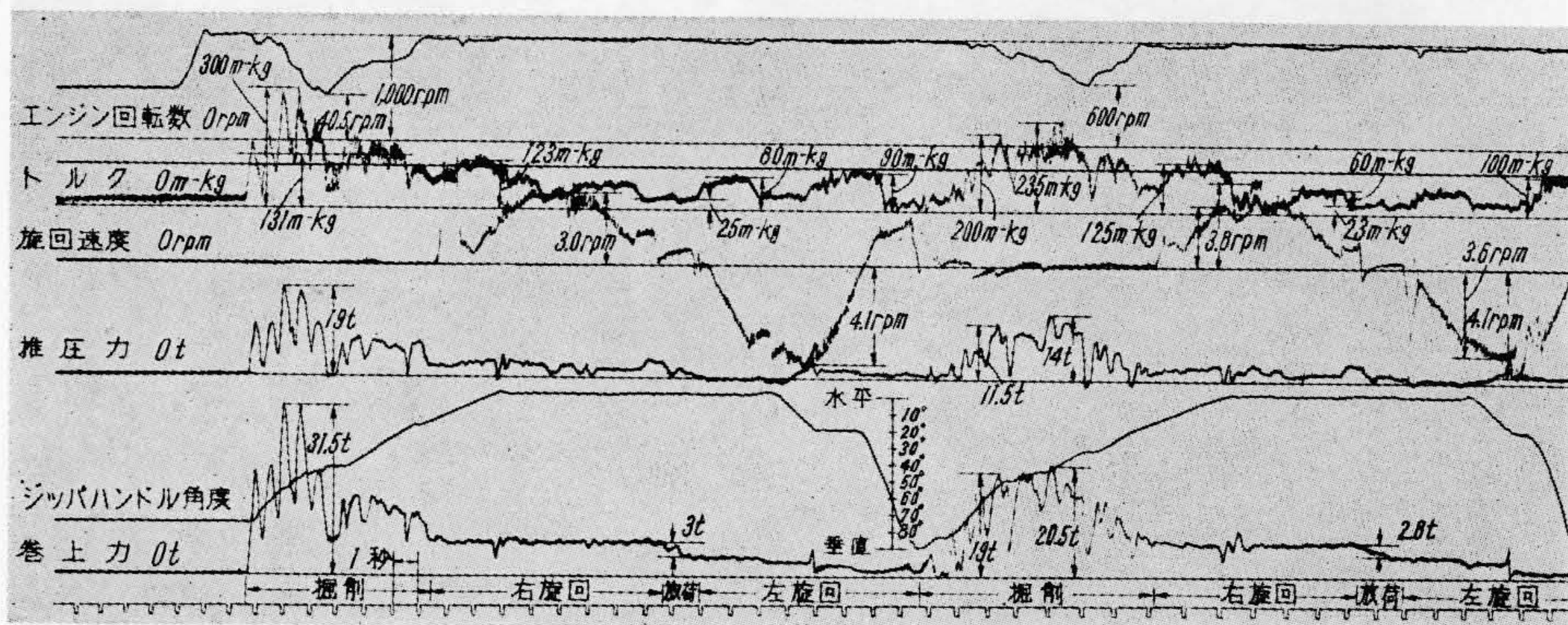
掘削中の代表的なオシログラムを第4～7図に示す。すなわち第4図は直結式(第2表のD)、第5図は流体継手付(第2表のE)、第6図はトルクコンバータ付(第2表のG)、第7図は電気駆動式(第2表のH)のものである。また第8図は第4図のオシログラム中の1掘削工程中に原動機にかかるトルクを取り出して図示したものである。同様に第9図は第5図に、第10図は第6図に、第11図は第7図にそれぞれ対応するもので、これらの図を観察して次のことがわかった。

(1) ショベルの掘削中には、原動機が静的に出しうる最大トルク T よりかなり大きい衝撃トルク T_m が原動機にかかり、この衝撃トルクの度合すなわち T_m/T は駆動方式ならびに掘削条件によって大幅に変わるが、通常の掘削では大略第4表の値くらいになるとみるべきである。

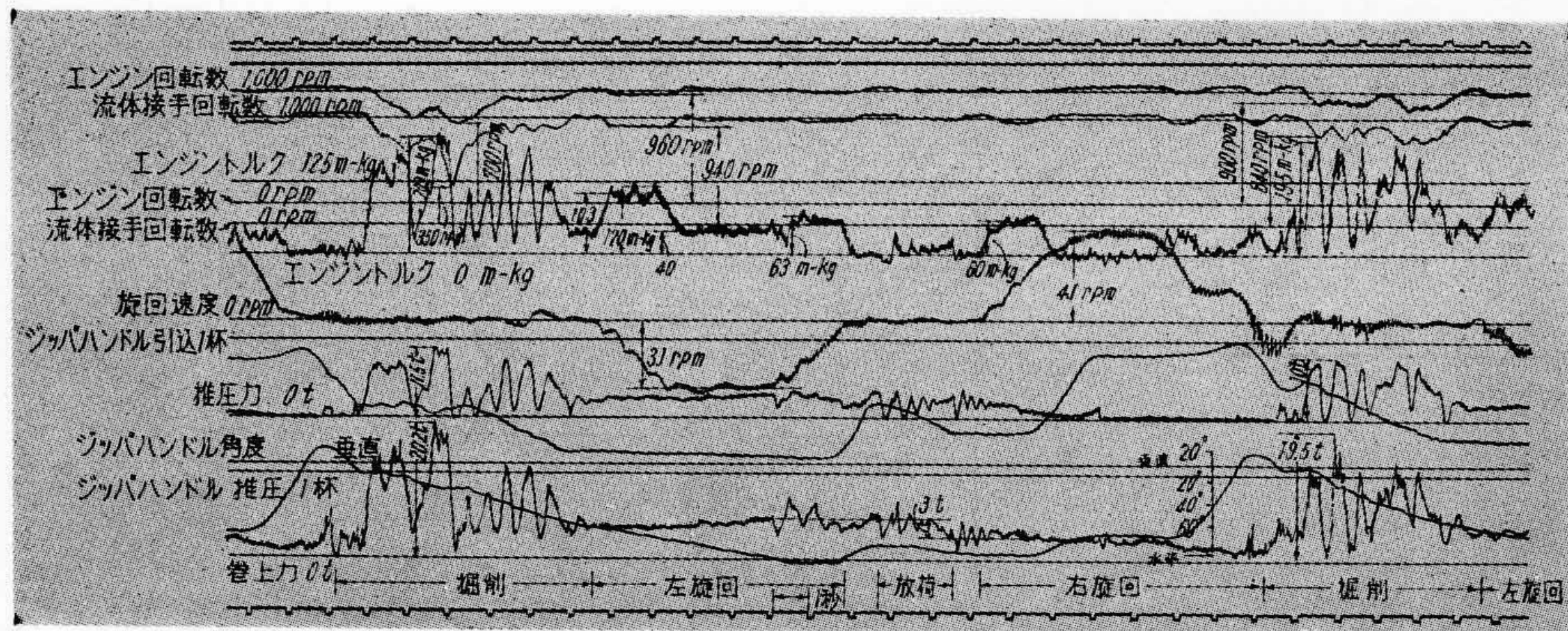
(2) 第4表にみられるとおり、トルクコンバータ付のものは直結式のものに比較して T_m/T が非常に小さく、 T_m が T (トルクコンバータ付の場合はストールトルク) より大きくなることはほとんどない。流体継手付のものはトルクコンバータ付よりは大きいが直結式よりは十分小さい。すなわち流体伝動のものは掘削中に原動機にかかる衝撃を緩和することは明らかである。

(3) 電気駆動式のものも直結式のものより T_m/T は大分小さくなっている。第12図に見られるとおり原動機の最大トルクの位置は直結式(図中のC)では高速部分にあるに反し、電気駆動式(図中のA)は低速部分にあるため衝撃荷重を受けた場合に、最大トルク付近の原動機の角減速度 α は直結式よりも小さくなり、(4)項の理論によって衝撃トルク T_m も小さくなるわけである(電気駆動式と直結式とは通常回転部分の慣性能率に大きな差はないから)。

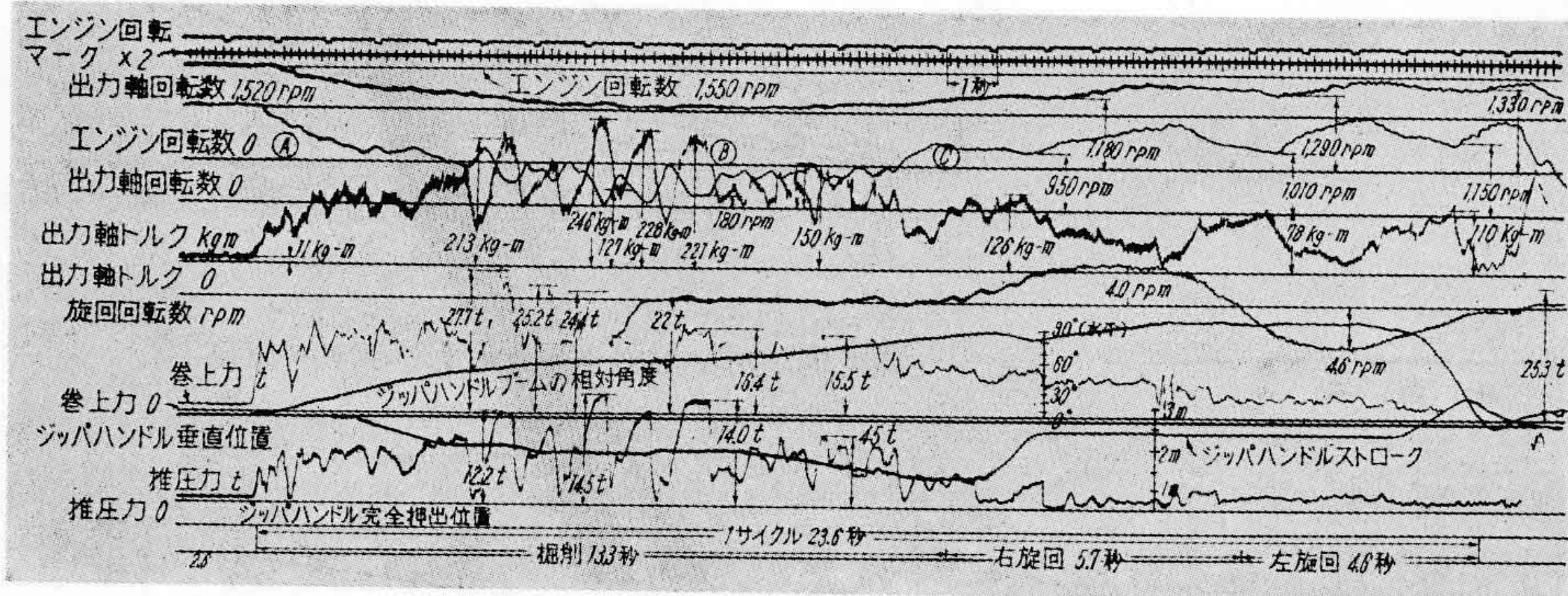
従来からショベル用原動機の特性は第12図のAのごとく垂下式のものが、ジッパにかかる荷重が増せば原動機の



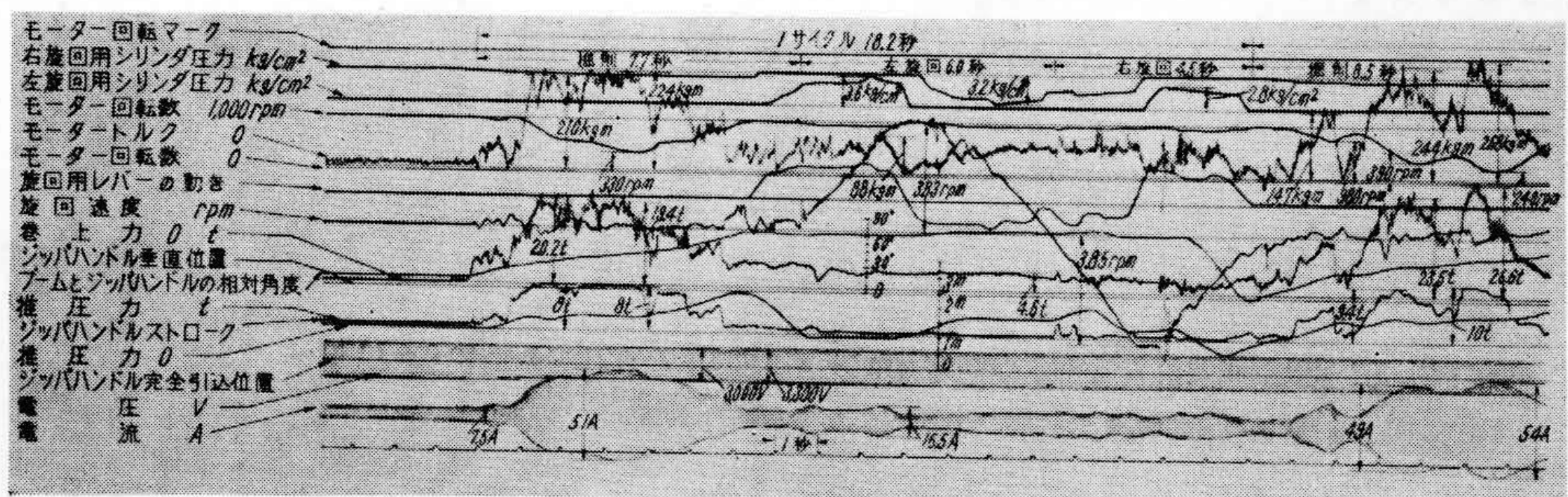
第4図 掘削作業(直結式)



第5図 掘削作業(流体継手付)



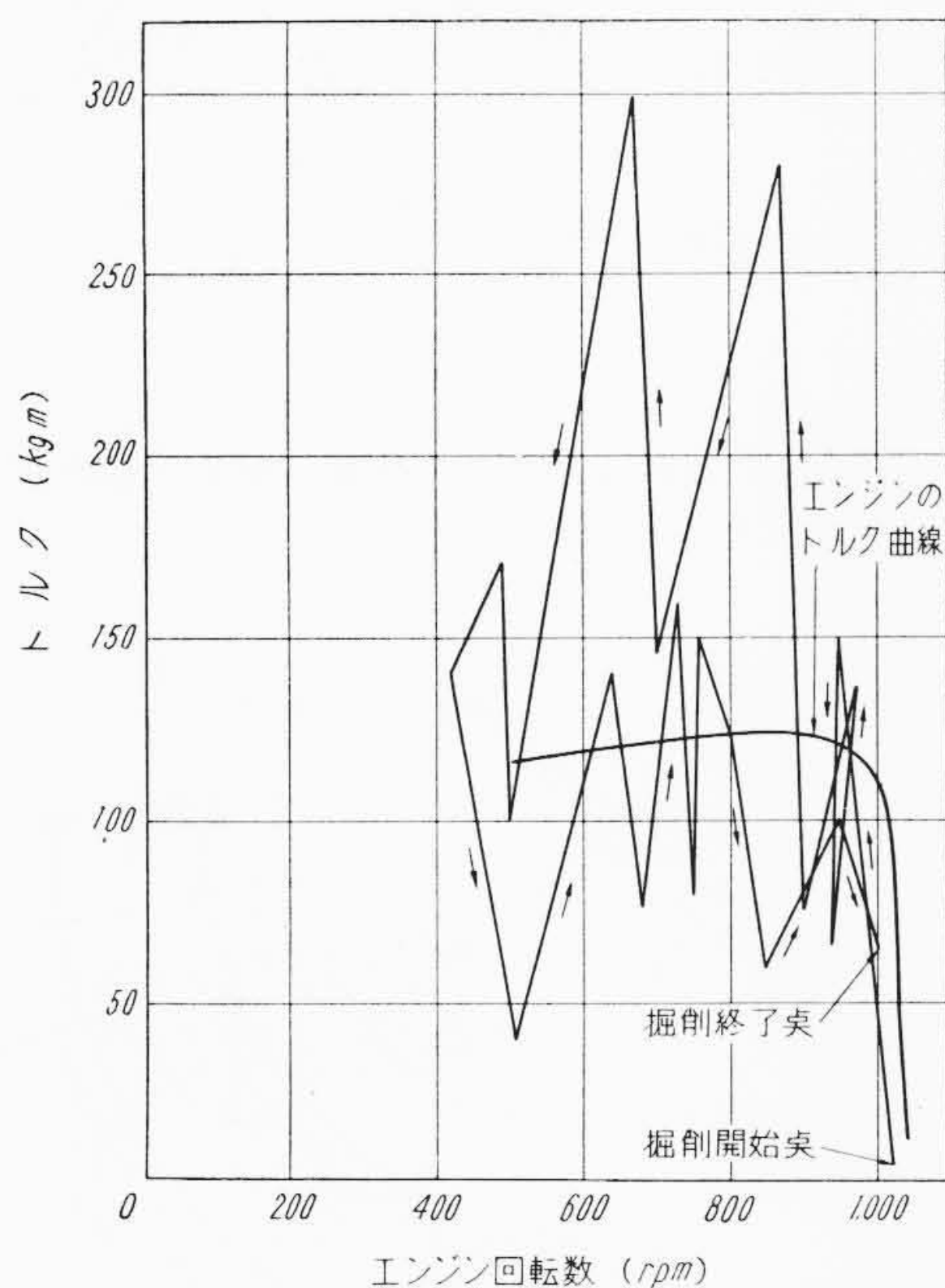
第6図 掘削作業(トルクコンバータ付)



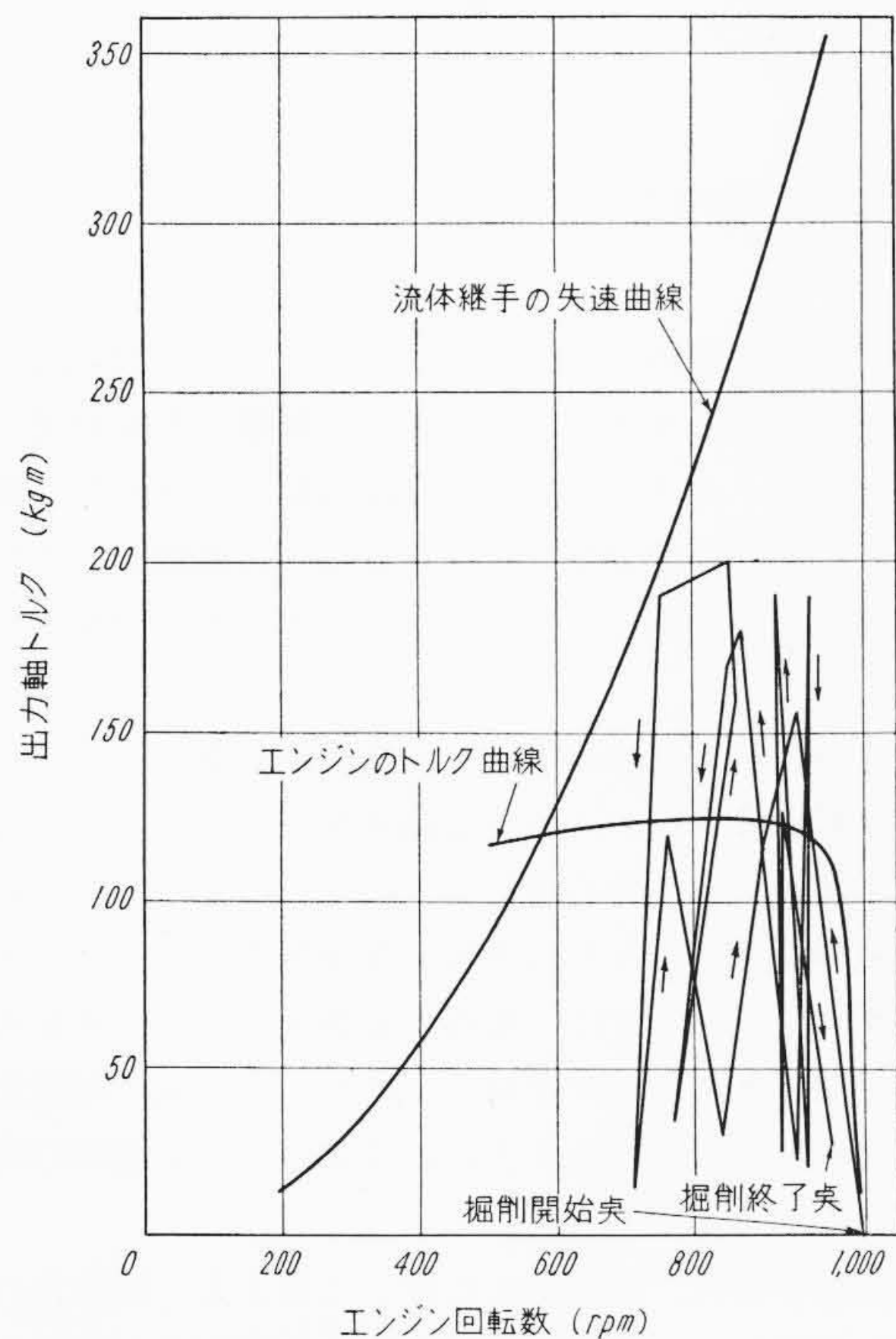
第7図 掘削作業(電気駆動式)

速度が自動的に下り、トルクすなわち掘削力が大きくなるため掘削しやすく、また衝撃トルクを小さくする点からも、すこぶる好適であると考えられていたが、このことが十分立証された。なお同図中のBのような特性の普通の巻線形モータでは、そのトルク曲線がエンジンと同様に垂下式でないため、衝撃トルクも直結式と同程度に大きくなるものと考えられる。

(4) 衝撃トルク T_m は原動機の種類から算出できる。今こ



第8図 直結式ショベルの掘削時のトルク変化

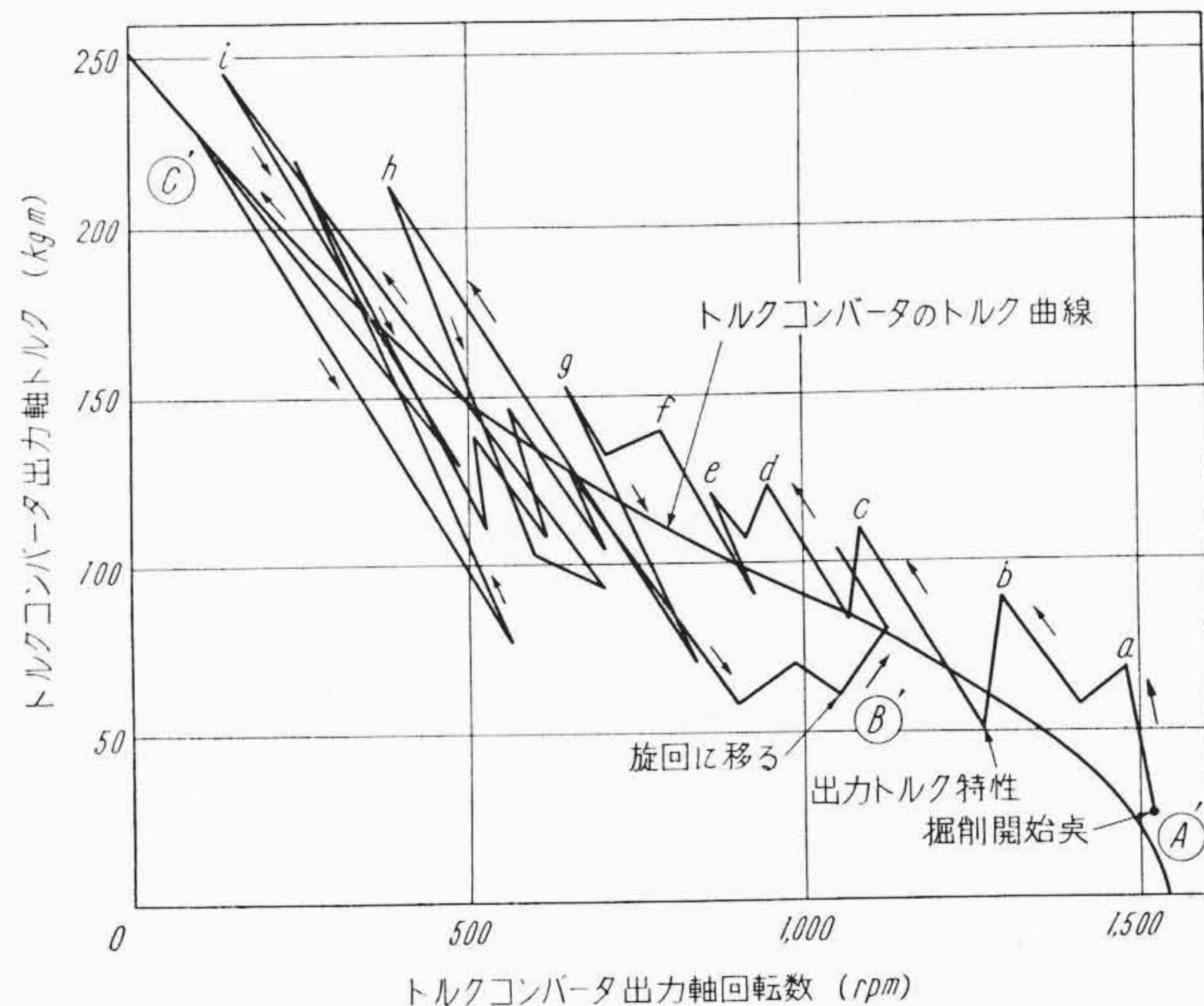


第9図 流体継手付ショベルの掘削時のトルク変化

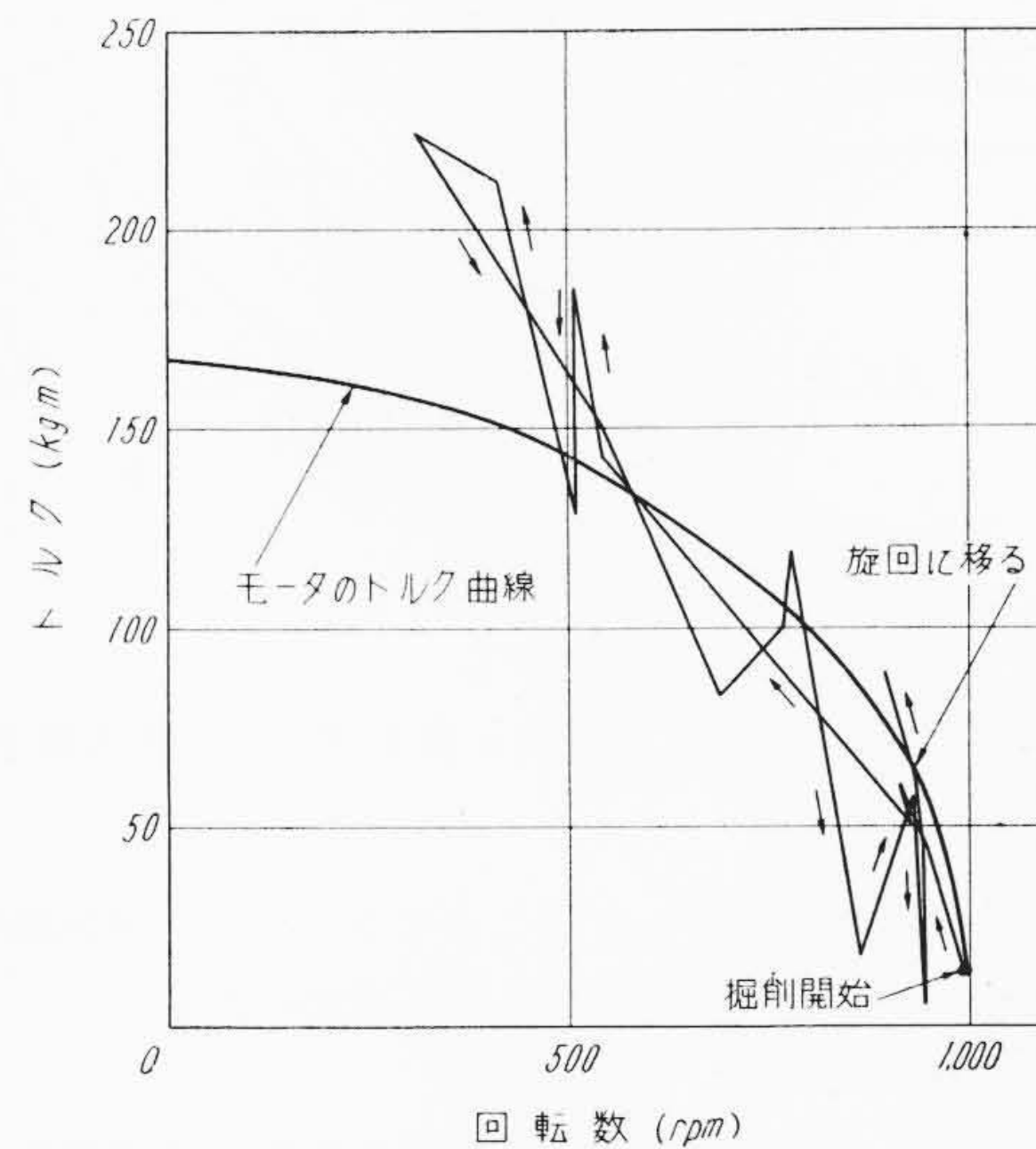
第4表 掘削時の衝撃トルクの割合

	T_m/T (%)
直結式	240
流体継手付	160
電気駆動式	140
トルクコンバータ付	100

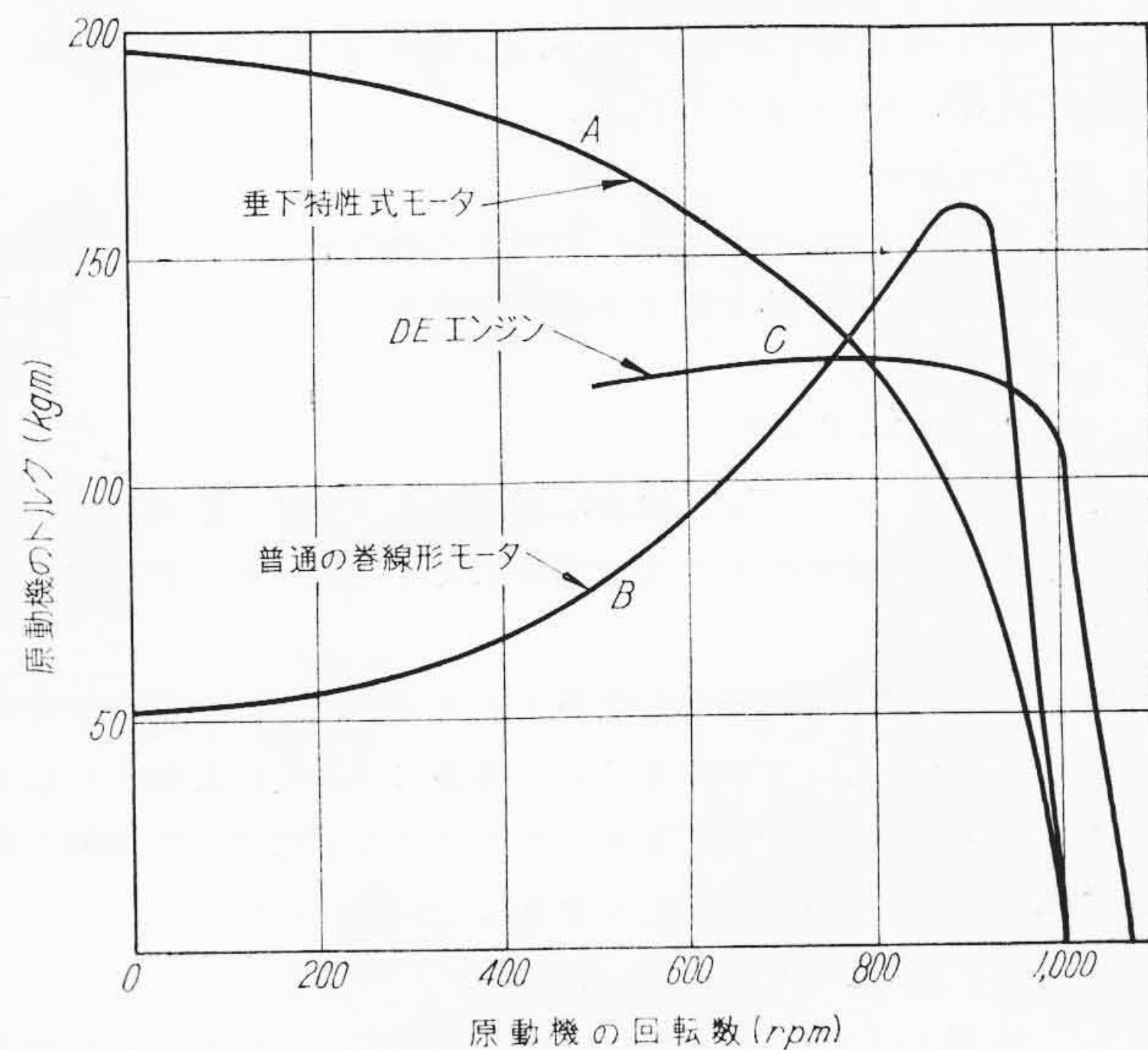
れを流体継手付の場合について述べれば、まずオシログラム中のエンジンの速度変化からその角減速度(α_i)を求め、またエンジンおよび流体継手の入力軸側の慣性モーメント I_i を計算により求



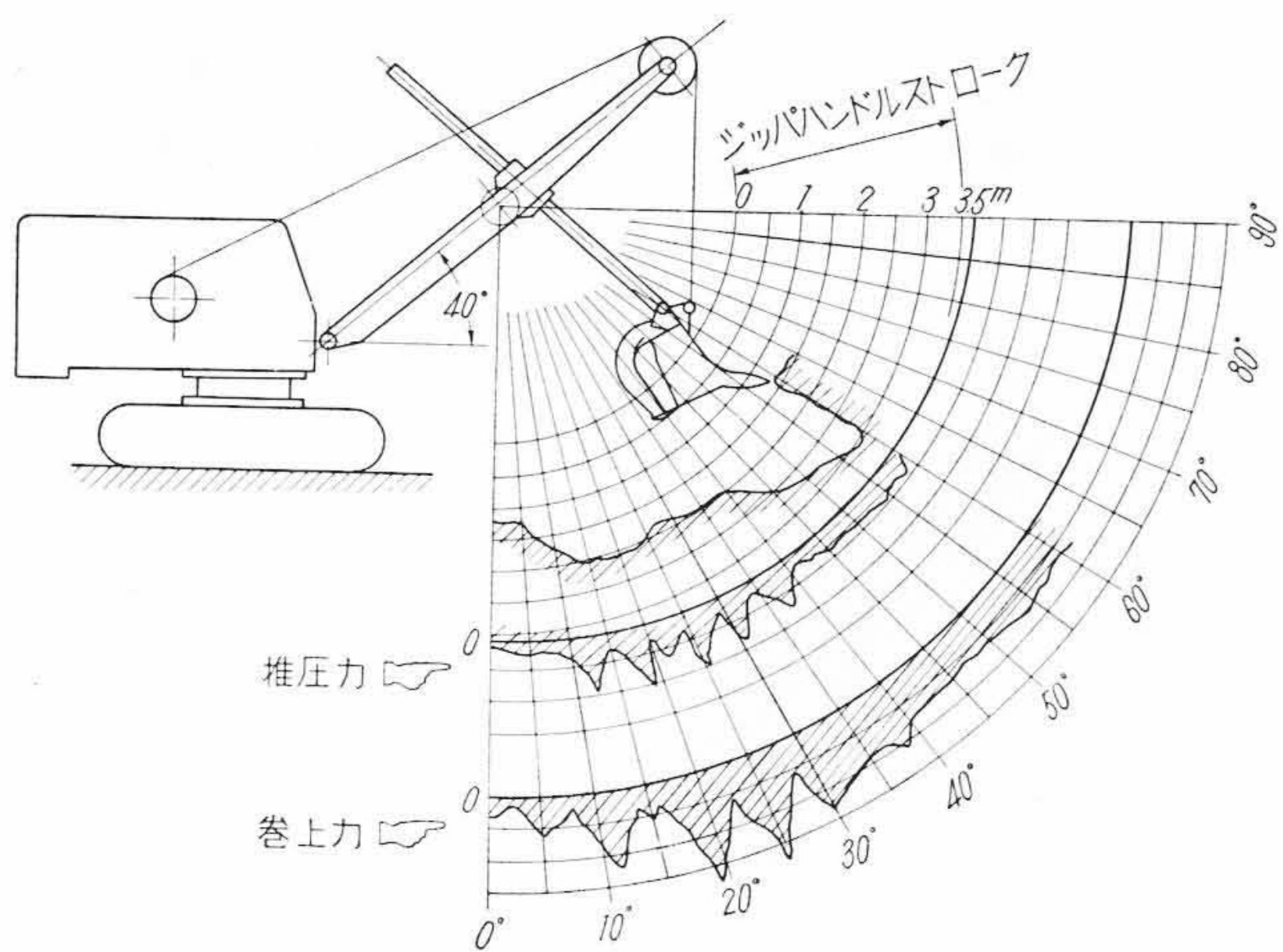
第10図 トルクコンバータ付ショベルの掘削時のトルク変化



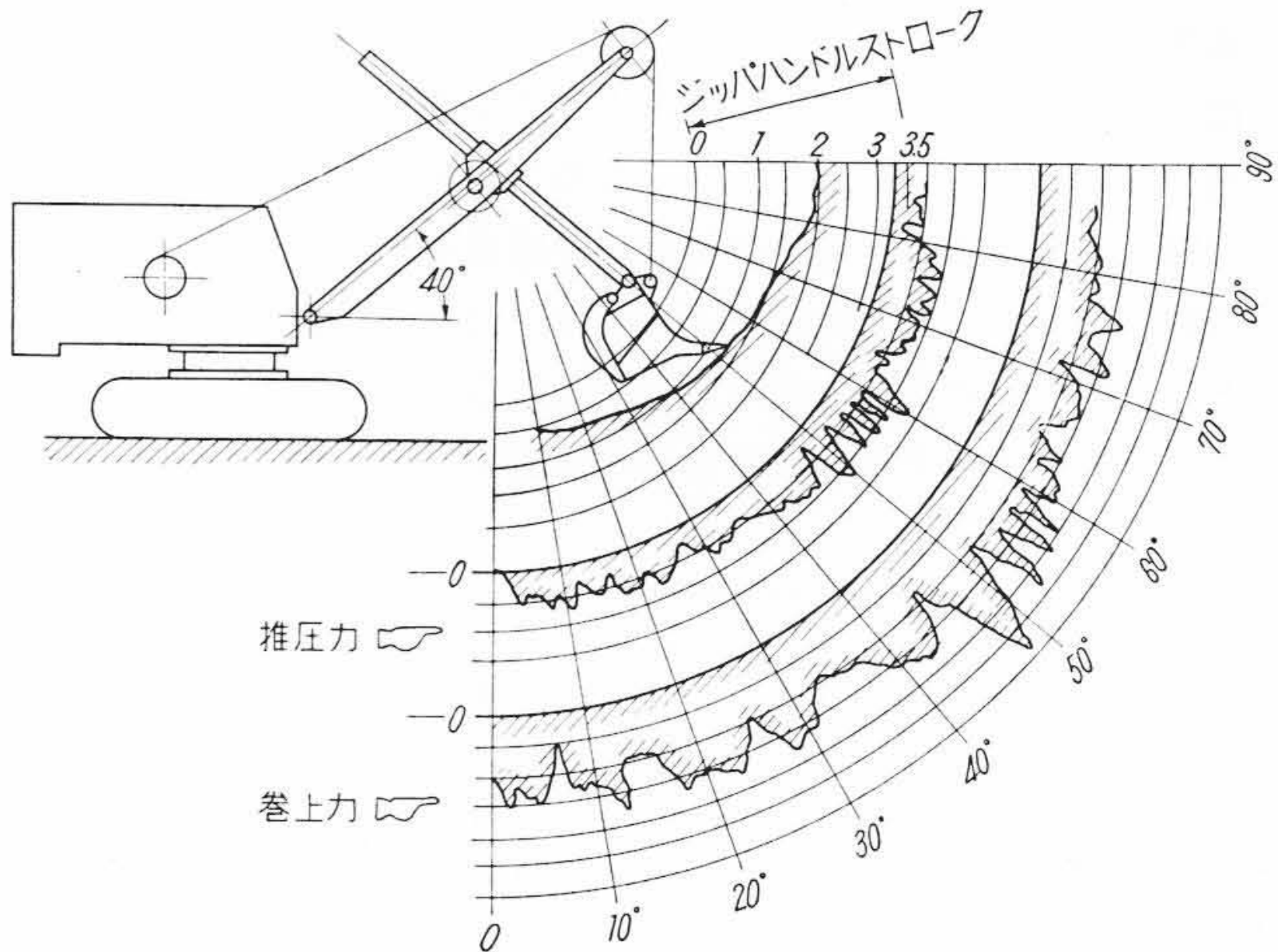
第11図 電気ショベルの掘削時のトルク変化



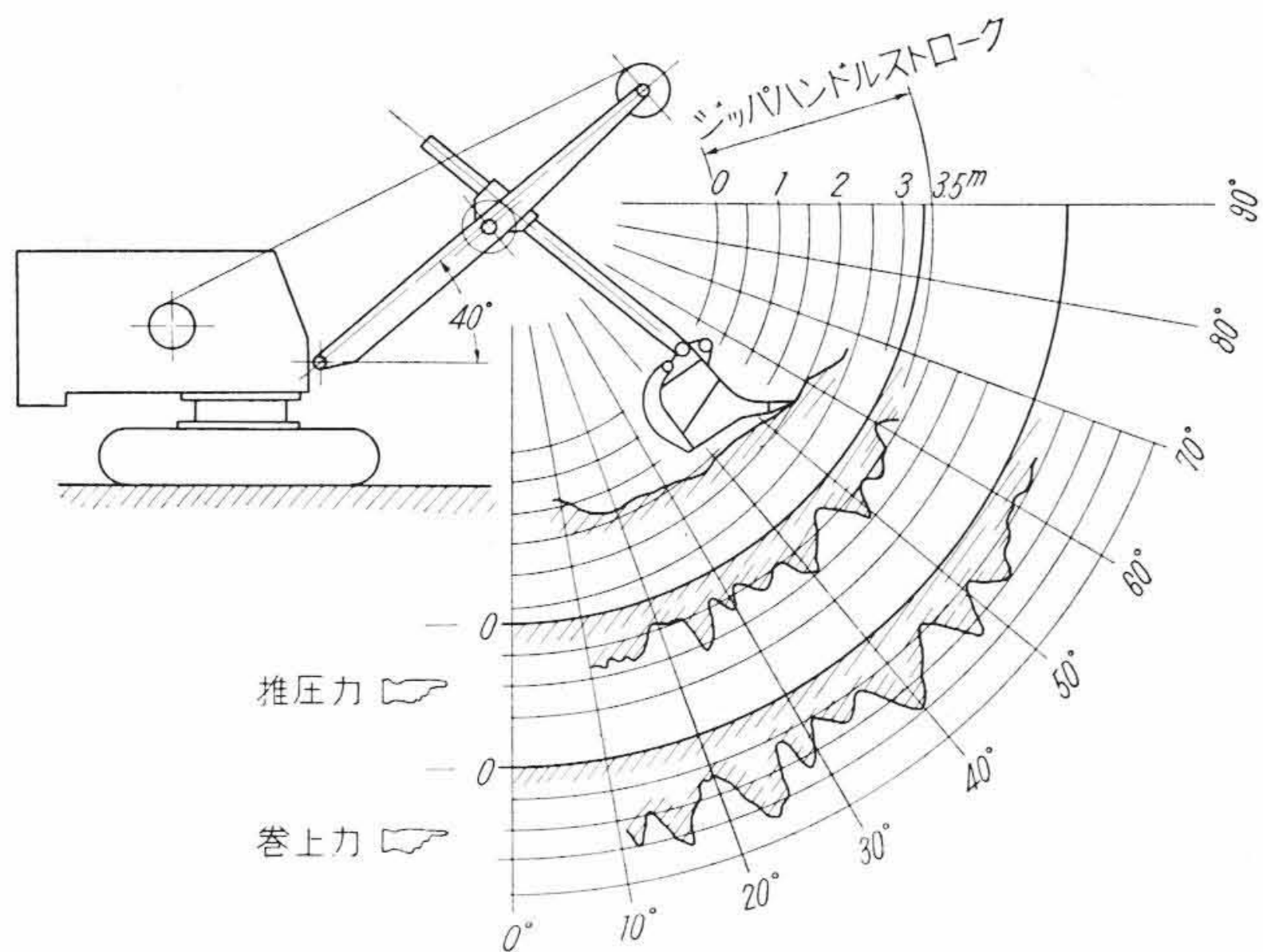
第12図 原動機のトルク曲線の比較



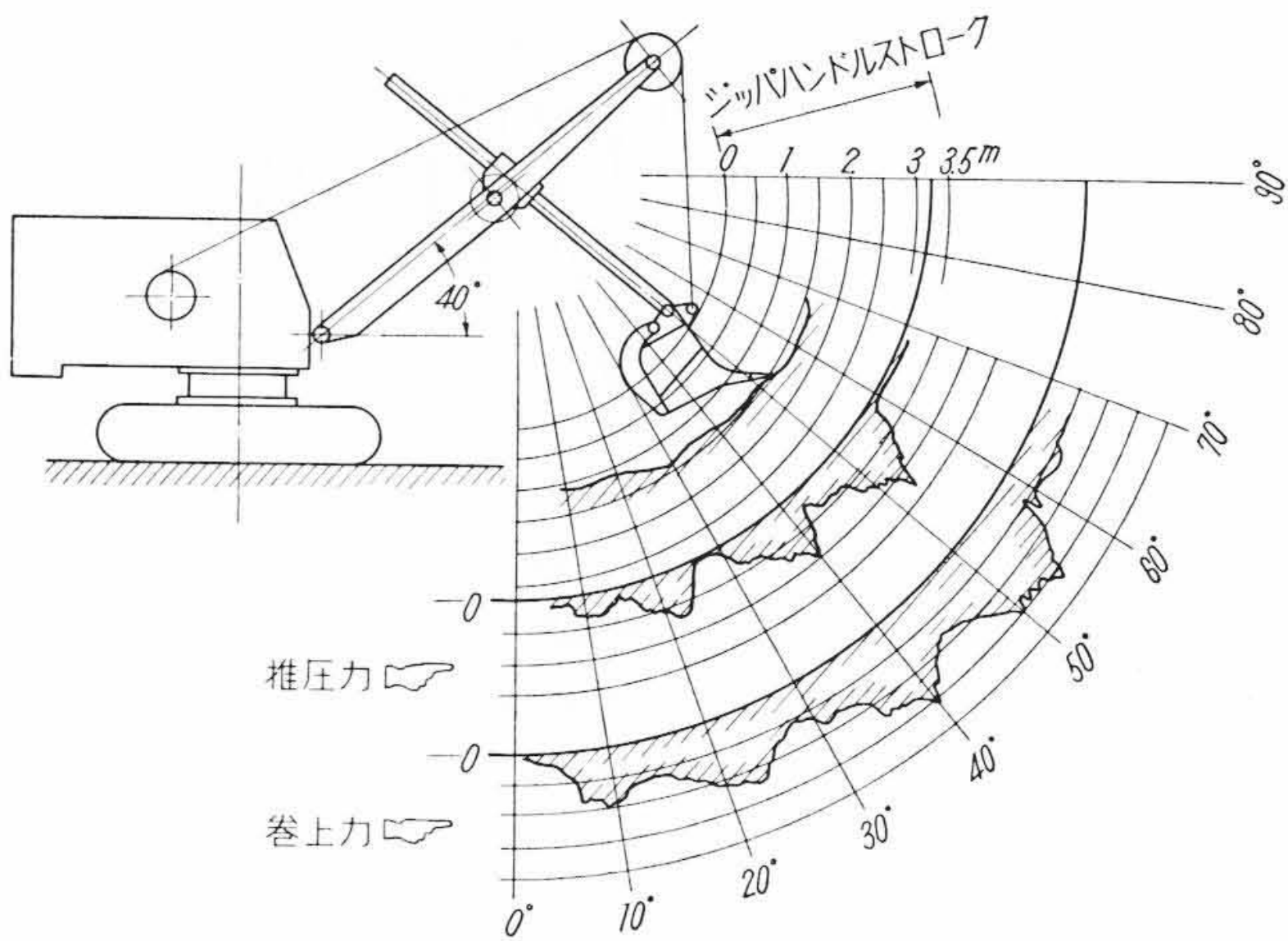
第 13 図 掘削時の爪先の軌跡と掘削力（直結式）



第 15 図 掘削時の爪先の軌跡と巻上，推圧力（トルクコンバータ付）



第 14 図 掘削時の爪先の軌跡と巻上，推圧力（流体継手付）



第 16 図 掘削時の爪先の軌跡と巻上，推圧力（電気駆動式）

めれば、この角減速度 α_i を起こさせるために、流体継手の入力軸に必要なトルク T_i は次式によって求められる。

$$T_i = I_i \alpha_i$$

次に同じくオシログラム中の流体継手出力軸の速度変化からその角減速度 α_0 を求め、また出力軸側全体（流体継手の出力軸からジッパにいたるまでの可動部分全部）の慣性モーメント I_0 を計算し、この α_0 を起こさせるために出力軸に必要なトルク T_0 は、同様に次式によって求められる。

$$T_0 = I_0 \alpha_0$$

またエンジンはその回転数に相当する静的トルク T_e を出しているが、この T_e は第 2 図より求められる。

これらを合計して

$$T_m = T_i + T_0 + T_e$$

となり衝撃トルク T_m は容易に算出され、この方法で算出したものと実測から求めたものとは割合によく一致することが確認された。

すなわち従来から掘削中の衝撃トルク T_m はその変動が非常に大きく、計算によって求めることは容易にできないと考えられていたが、原動機の色度変化をオシログラフなどによって詳細に測定すれば、比較的簡単に算出できることがわかった。

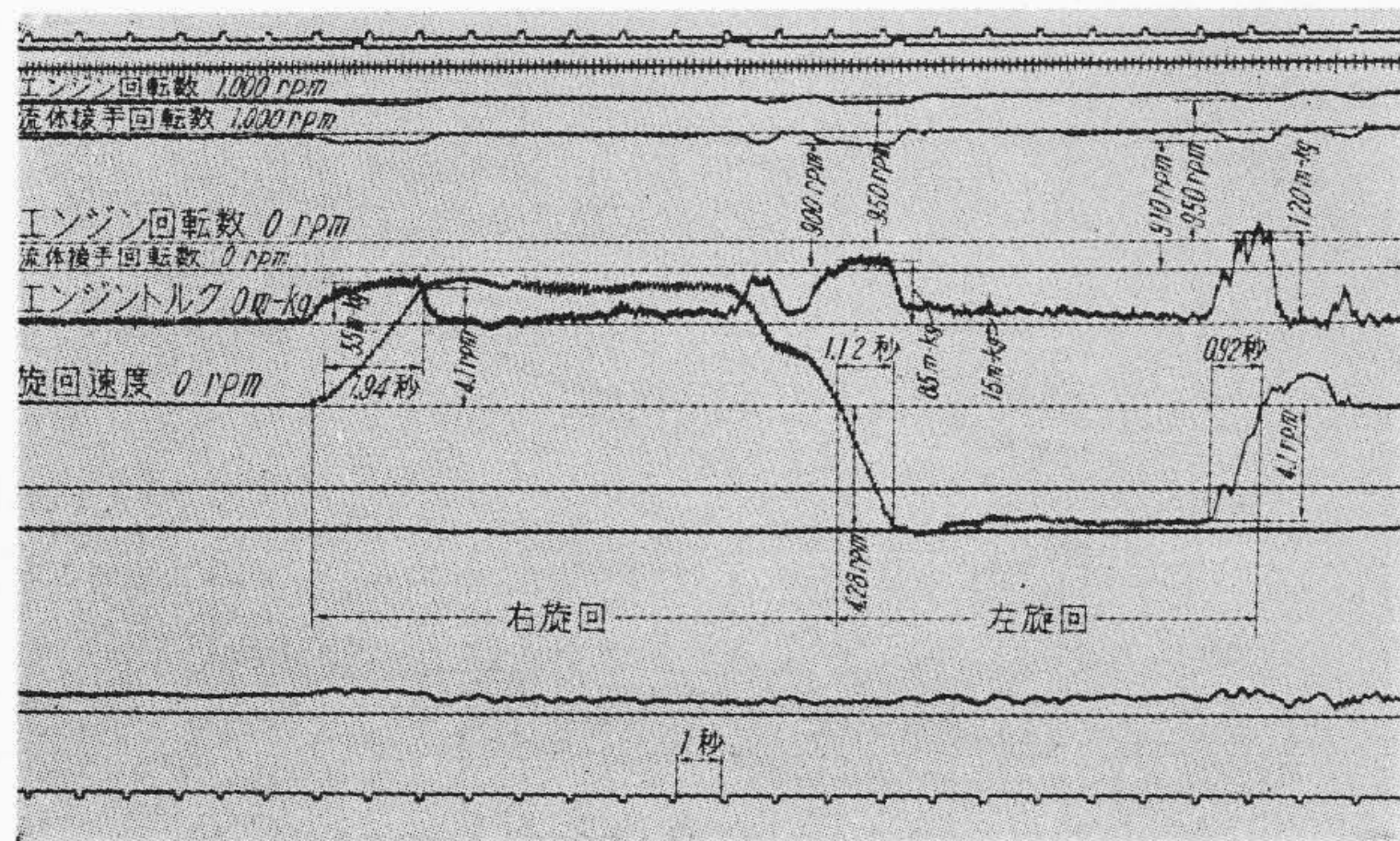
4.2 掘削力（推圧力と巻上力）と作業性

第 13～16 図はそれぞれ直結式、流体継手付、トルクコンバータ付、電気駆動式のショベルで、掘削のサイクルタイムをほぼ一定に

した場合の掘削工程中に、ジッパにかかった推圧力および巻上力と、ジッパ爪先の軌跡とをオシログラムから転載したもので、図から明らかのように、トルクコンバータ付は直結式に比較して推圧力、巻上力ともにその変動が少なく、かつ安定した掘削をしていることがわかり、その値も大きく、したがって大きな掘削力を出していることがわかる。

一方爪先の軌跡も直結式はすこぶる凹凸が多いのに反し、トルクコンバータ付は非常にスムーズな動きを示している。すなわち直結式は運転手がエンストを心配して、しばしば推圧、引込みを行い、ジッパの突込みを加減しながら不安定な掘削をしていることを示し、またトルクコンバータ付は一度推圧と巻上のクラッチを入れたのちは、運転手はほとんど神経を使うことなく、一気に掘削を終えたみごとな軌跡を示し、掘削性がきわめてよく、作業能率の高いことを実証している。

また流体継手付は、直結式に比較して巻上力、推圧力の平均大きさはほとんど同じで、その瞬時最大値はやや小さいが爪先の動きのスムーズさの点では相当まさる。すなわち掘削中にエンストの心配がないから、エンジンに一杯の荷重をかけ十分な馬力を出させるため、流体継手の滑り損失を補って直結式と同等の仕事をし、安定した掘削ができ、作業能率もやや高くなることを示している。電気駆動式は直結式に比較して巻上力、推圧力の平均大きさはやや小さいが、これはモータの定格馬力がエンジンより小さいためと考えられる。一方爪先の動きのスムーズさの点ではまさり、これはモータの

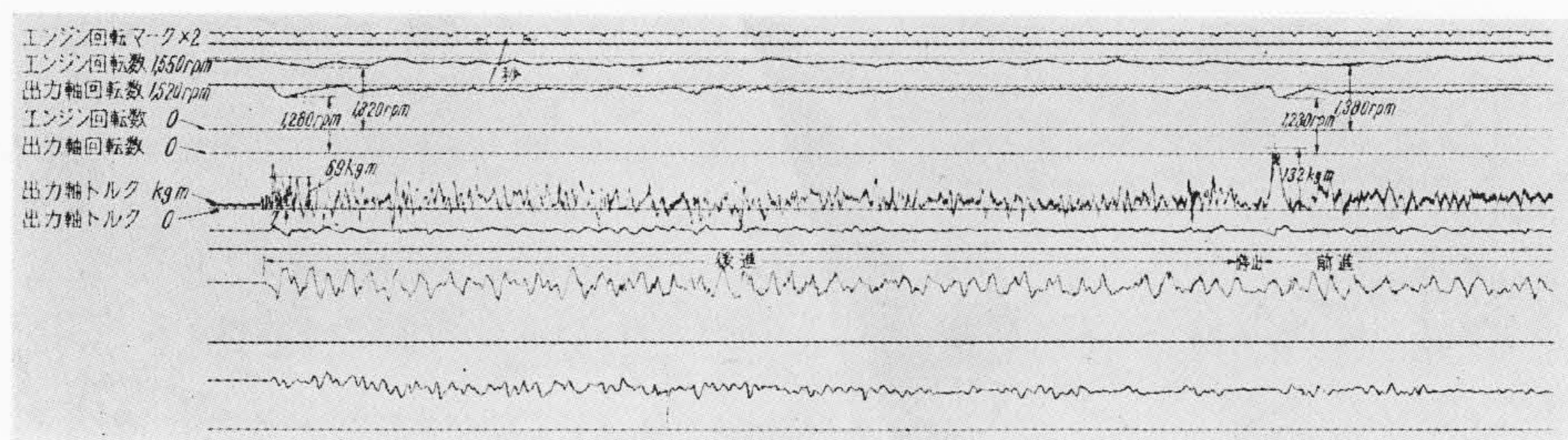


第17図 旋回時（流体継手付）

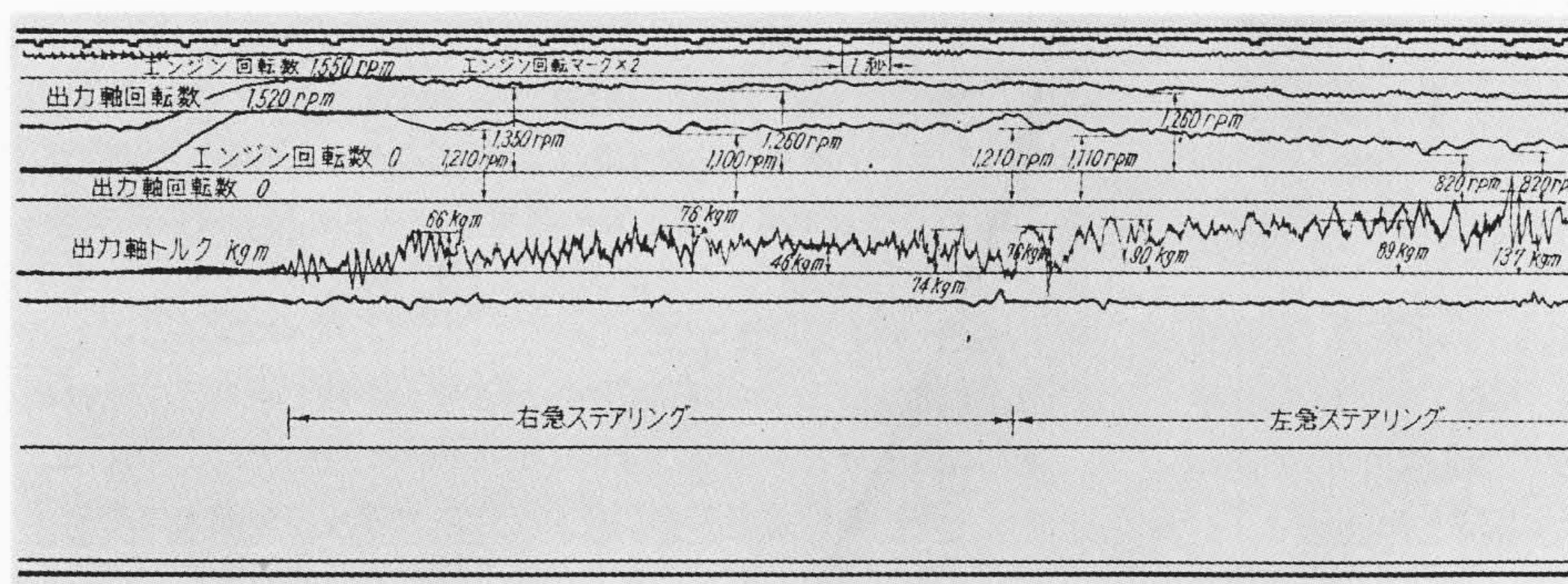
第5表 旋回時の衝撃トルクの度合

	$T_{m'}/T$ (%)
直結式	160
電気駆動式	110
流体継手付	100
トルクコンバータ付	70

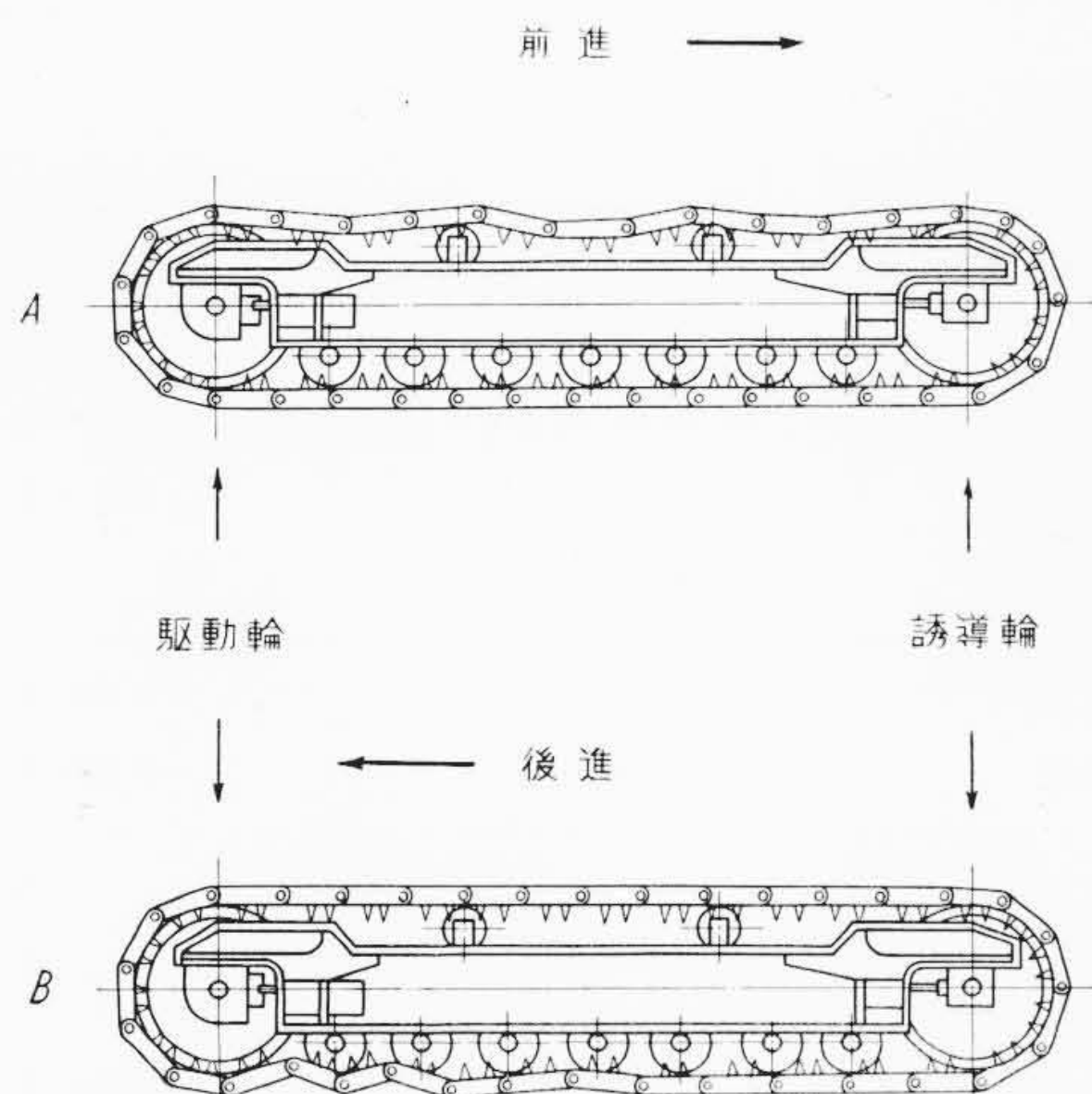
注：ジッパ満杯、ジッパハンドルは最大突出



第18図 走行時（トルクコンバータ付）



第19図 ステアリング時（トルクコンバータ付）



第20図 進行方向と駆動輪の位置

第6表 走行時の衝撃トルクの度合

		$T_{m'}/T$ (%)	k
直線走行	スタート時	50~100	—
	ランニング時	20~40	0.13~0.35
ステアリング	スタート時	55~100	—
	ランニング時	40~50	0.41~0.73

$$\text{注： } k = \frac{R}{W}$$

R ：ショベルの全走行抵抗（走行装置の機械損失を含む）
 W ：ショベルの全重量

特性が垂下式であるのでトルクコンバータ付に似てくるためである。

4.3 旋回時に原動機にかかるトルク

（1）加速、減速時の衝撃トルク

実掘削作業中のオシログラムは第4～7図に、旋回単独動作中のオシログラムは第17図に見られるとおり、旋回の加速、減速時にも原動機に、その最大トルク T に比較して相当大きい衝撃トルク $T_{m'}$ がかかり、この衝撃トルクの度合すなわち $T_{m'}/T$ も掘削時と同様に、駆動方式、クラッチの入れ方、ジッパハンドルの位置（突

出しているか、引込めているか）、ならびにジッパに入っている掘削物の量などにより大幅に変わるが、その値は大略第5表のようになる。

同表に見られるとおり $T_{m'}/T$ の最も大きいのは直結式で、最も小さいのはトルクコンバータ付であって、ここでも流体伝動のものが衝撃の度合いが小さいことをあらわしている。

（2）定速時のトルク

加速あるいは減速をしてない定速時に原動機にかかるトルク T_s は比較的安定しており、 T_s/T も駆動方式、クラッチの入れ方、ジッパハンドルの位置、ジッパに入っている掘削物の量などによって変えることも少なく、またその値は非常に小さく、8～20%くらいの範囲にはいっている。

（3）衝撃トルクの計算

衝撃トルク $T_{m'}$ は旋回時の速度変化から算出できる。

旋回の加速あるいは減速時に原動機にかかる衝撃トルク $T_{m'}$ は、直結式の場合には理論的に次式で表わされる。

$$T_{m'} = \frac{I \alpha_s \pm F}{R \eta} \pm L$$

ここに I ：旋回中心に対する旋回体の慣性モーメント
 α_s ：旋回の角加速度または角減速度
 R ：原動機出力軸から旋回用最終ギヤまでの全歯車比
 η ：原動機出力軸から旋回用最終ギヤまでの総合効率
 F ：旋回中心に対する旋回体の旋回抵抗モーメント
 L ：伝動装置を空転するに要するトルク

また式中+は加速時—は減速時に対するもの、なお旋回時に速度変化を受けるギヤ、軸などの慣性モーメントはきわめて小さいので無視した。

上式中、角加速度 α_s 以外は計算によって相当正確に算出でき

原動機が静的に出す最大トルクの通常 60~160%で、この比はやはりトルクコンバータ付のものが最小であった。

(4) 走行のスタート時原動機にかかる最大衝撃トルクは、原動機が静的に出す最大トルクの通常 50~100%で、その絶対値はトルクコンバータ付が最大であった。

(5) 流体継手は衝撃荷重を減少し、しかも仕事量が減らないから、ショベルにはすこぶる好適である。

(6) トルクコンバータは大きな力を出し、しかも衝撃荷重を減らすから、重掘削の場合ショベルに特に有効である。

(7) 垂下特性をもった電動機も、ショベルにすこぶる好適である。

(8) 掘削および旋回時に原動機にかかる衝撃トルクは、原動機軸および旋回速度の変化から算出したものと割合よく一致する。

(9) 空気操作方式はタイムラグも少なく、ショベルに好適である。

稿を終るにあたり、本測定に深いご理解とご協力をいただいた現地ご使用者側のかたがたと、測定を担当された日立製作所亀有工場設計部ならびに研究課の諸氏に深く感謝する次第である。

参 考 文 献

- (1) Garbotz: Handbuch des Maschinenwesens beim Baubetrieb, 118 (1937)
 (2) 阿部, 久保沢: 日立評論 38, 2, 93 (昭 31-2)

特 許 と 新 案

最近登録された日立製作所の特許および実用新案

(その2)

(第6頁より続く)

種 別	登録番号	名 称	工 場 別	氏 名	登録年月日
実用新案	502832	電 磁 接 触 器 の 復 帰 力 調 整 装 置	日 立 工 場	桜井政蔵	34. 11. 17
"	502836	押 ボ タ ン ス イ ッ チ	日 立 工 場	高品忠博	"
"	502825	エ レ ベ ー タ と び ら 開 閉 制 御 装 置	国 分 工 場	白土井真	"
"	502834	水 平 切 り 断 路 器 接 触 部	国 分 工 場	松角田誠	"
"	502835	断 路 器 接 触 部	国 分 工 場	酒森藤清	"
"	502839	コ ン デ ン サ	国 分 工 場	加藤藤昭	"
"	502840	コ ン デ ン サ	国 分 工 場	加藤藤亮	"
"	502841	油 入 蓄 電 器 の 接 地 端 子	国 分 工 場	斎山藤中	"
"	502842	油 入 蓄 電 器 な の 接 地 端 子	国 分 工 場	斎山藤中	"
"	502851	空 気 遮 断 器 の ノ ズ ル 形 可 動 電 極 装 置	国 分 工 場	宮沢木一	"
"	502854	油 入 断 路 形 空 気 遮 断 器	国 分 工 場	鈴高砂常	"
"	502809	内 燃 機 関 冷 却 用 送 風 機 の 自 動 制 御 装 置	笠 戸 工 場	高山砂常	"
"	502823	洗 面 台 兼 用 テ ー ブ ル	笠 戸 工 場	中丸村輝	"
"	502824	車 両 用 手 ブ レ ー キ ス タ ン ド	笠 戸 工 場	岡金子良	"
"	502807	計 量 ホ ッ パ	亀 有 工 場	田中部春	"
"	502811	ガ イ ド シ ー ブ	亀 有 工 場	磯小林三	"
"	502815	無 限 軌 道 ロ ー ラ	亀 有 工 場	小盛武花	"
"	502816	わく形ジブに使用するコールカッタチェン	亀 有 工 場	尾田中林	"
"	502818	水 切 り 装 置	亀 有 工 場	小館中林	"
"	502822	パ ワ ー シ ョ ベ ル 系 掘 削 機 の 走 行 装 置	亀 有 工 場	安河内春	"
"	502826	巻 胴 装 置	亀 有 工 場	中河村元	"
"	502827	ジ ッ パ ー ハ ン ド ル 用 引 込 ロ ー プ の 固 定 装 置	亀 有 工 場	岡田沼三	"
"	502837	ベ ル ト コ ン ベ ヤ の テ ー ク ア ッ プ	亀 有 工 場	阿上沼部	"
"	502843	石 炭 水 力 輸 送 管 の 閉 塞 防 止 兼 水 撃 防 止 装 置	亀 有 工 場	若森俊二	"
"	502844	シ ー ブ	亀 有 工 場	小田井保	"
"	502847	ク レ ー ン の 巻 上 速 度 制 御 装 置	亀 有 工 場	小原高橋	"
"	502848	ク レ ー ン の ブ ー ム 巻 上 制 限 装 置	亀 有 工 場	久保沢敏	"
"	502849	バ ラ 物 の 移 送 装 置	亀 有 工 場	大西野	"
"	502850	焼 入 用 冷 却 装 置	亀 有 工 場	浜久保	"
"	502852	複 合 レ バ ー 装 置	亀 有 工 場	久保沢	"
"	502853	フ ラ ッ プ	亀 有 工 場	木近藤	"
実用新案	502918	ク レ ー ン	亀 有 工 場	赤川木勝	34. 11. 17

(第50頁へ続く)