油圧ブレーカにおけるアキュムレータの 挙動に関する実験的考察*

高橋 義雄¹ 渋谷 嗣² 大日方 五郎³
中村 富雄⁴ 木 沢 悟⁵

[UDC 622.23.05]

Experimental Consideration on Accumulator Behavior of Oil Hydraulic Breaker

by Yoshio TAKAHASHI¹, Yotsugi SHIBUYA², Goro OBINATA³,
Tomio NAKAMURA⁴ and Satoru KIZAWA⁵

Experiments are made to determine the condition of accumulator of oil hydraulic breaker. The influence of the accumulator behavior on the oil hydraulic breaker performance against variation of the volume and gas pressure of the accumulator is considered.

The results are as follows:

- (1) The oil hydraulic breaker fitted with the accumulator can have higher percussion speed of the piston and more improved efficiency than the one with no accumulator.
- (2) The percussion speed of the piston is increased against each accumulator volume with increase of supply oil flow rate, but it is saturated as increasing the accumulator volume over 0.2 or 0.3 l. For the gas pressure of the accumulator over 3.43 MPa, it is also saturated.
- (3) Relation between the percussion speed and the mean pressure of the rear chamber at the forward stroke of the piston is strong.

KEY WORDS: Oil Hydraulic Breaker, Accumulator, Experimental Study, Design, Performance

(1 ~ 4. Mining College, Akita University.

1. Prof., Dr. 2. Lecturer, Dr. 3. Assoc. Prof., Dr. 4. Research Assoc., Dr.)

5. Engineer, TDK Corporation.

1. はじめに

これまで著者らは、油圧ブレーカの性能について理論的ならびに実験的に検討を加え、とくに作動油の温度の性能への影響¹⁾や解析解によって各性能値を求める方法²⁾などについて報告してきた。

一般の油圧回路系において、アキュムレータは、アクチュエータが間欠運動を行う場合に瞬間的に大量の圧油を供給する必要があるときに使用される。さらに、アキュムレータを使用することにより、脈動の除去、衝撃圧力の吸収および圧力の保持、補償などができるという利点もある。

油圧ブレーカにおいても岩石、ノロなどを破砕するとき、ピストンとバルブの相互制御作用でピストン後室に間欠的に圧油が供給されることより、アキュムレータの効果が期待できる。ピストン前進行程において、より大きな打撃速度を得るためには、ピストン後室を高い圧力に保持すべきであり、そのためには瞬間的に大流量の圧油を供給する必要がある。

アキュムレータは算定式を用いて設計できることが知られているが、油圧さく岩機と同様に油圧ブレーカの場合には既存の一般の算定式は使用できないといわれている。

従って本報では、より優れた油圧ブレーカを設計する場合の基

礎的資料を得るため、アキュムレータの封入ガス容積とガス圧力を変化させた実験を行い、油圧ブレーカの性能がアキュムレータの挙動によってどのような影響を受けるかを調べ、考察を加えたので、その結果について報告する。

2. 実験装置および方法

2・1 供試油圧ブレーカおよびアキュムレータ

本研究では寸法諸元の異なる2種類の油圧ブレーカを用いたが、その基本的構造は同一のものである。すなわち、シリンダ、ピストン、スライド式のバルブ、アキュムレータおよびチゼルから主に構成されている。ポンプから供給される圧油は常にピストンとバルブの前室側受圧面に作用しており、一方ピストンとバルブの後室は両者の相互制御によってポンプあるいはタンクに交互に通じ、それらの受圧面積差および圧力差でピストンとバルブが前進、後退する。両供試油圧ブレーカにおいて、ピストン前室側受圧面積に対する後室側のその比は、いずれも約2.88でほぼ同じである。また、2種類の油圧ブレーカの中で小形の方をNo.1とし、後室受圧面積がNo.1の1.086倍の大形のものをNo.2とする。なお、小形および大形の油圧ブレーカを以後単にNo.1, No.2とそれぞれ呼ぶことにする。

本供試アキュムレータは、気体(N₂ガス)圧縮式ダイヤフラム型であり、油のエネルギーを一時蓄える働きをする。また、このアキュムレータは、特別に設計されたもので、封入ガス容積のみが可変できる構造となっており、両方の油圧ブレーカに取付け可能である。その他油の流入出口、ダイヤフラムなどの条件は同一である。

* 1989年6月19日受付 10月12日受理

1. 正会員 工博 秋田大学教授 鉱山学部生産機械工学科

2. 正会員 工博 秋田大学講師 鉱山学部生産機械工学科

3. 工博 秋田大学助教授 鉱山学部生産機械工学科

4. 工博 秋田大学助手 鉱山学部生産機械工学科

5. 正会員 TDK(株)

キーワード: 油圧ブレーカ, アキュムレータ, 実験的研究, 設計, 性能

2.2 実験装置

実験装置の回路図は図1に示す。実験装置は、ブレーカおよびブレーカ作動用油圧発生装置と測定記録装置、ならびに図示していないがブレーカ送り台および送り台作動用油圧発生装置の3系統より構成されている。

ブレーカ作動用油圧発生装置は、可変容量型ポンプ、リリーフ弁、手動式方向制御弁、温度計、積算型流量計および冷却器などから主に構成されている。ポンプからの供給流量は可変容量型ポンプについている流量調整つまみで、また供給圧力はリリーフ弁によってそれぞれ調整できる。

測定記録装置は、供給圧力、ピストン前、後室圧力、アキュムレータ内封入ガス圧力、バルブ後室圧力を測定する圧力変換器、動ひずみ計、ピストン変位を測定するための光学式非接触型変位計、A/D変換器、記録計およびデータ処理用コンピュータなどによって主に構成されている。圧力は圧力変換器によって測定され、A/D変換器を通して数値化した。ピストン変位は、その後端を帯状に白くし、その動きをカメラによって検出して、この出力電圧を記録計によって数値化する。これらの数値化されたデータはコンピュータに取り込まれる。

また、送り台用油圧発生装置は、定容量型ポンプ、リリーフ弁、手動式方向制御弁などから成り、送り台によって被打撃体を油圧ブレーカに押し付ける。このときの押し付け力は、リリーフ弁の圧力を調整することで任意に設定できる。

2.3 実験方法

本研究では油圧ブレーカの性能に関するアキュムレータの効果を検討するためにアキュムレータの封入ガス容積と封入ガス圧力を変化させて油圧ブレーカの性能試験を行った。アキュムレータの条件として、封入ガス容積は、0.1, 0.2, 0.3, 0.5 lの4種類とし、封入ガス圧力は、1.47, 3.43, 5.39 MPaの3段階と変化させて実験を行った。また、アキュムレータの有無による相違を検討するために、アキュムレータを取り外した場合についても実験を行った。

実験条件として、油温は60°C(±1°C)一定とし、また送り台用リリーフ弁の設定圧力を1.96 MPaとして被打撃体の押し付け力は一定とした。さらに、供給圧力は、7.84, 9.80, 11.76 MPaの3段階に設定して油圧ブレーカを作動し、供給流量は供給圧力のそれぞれについて可変容量型ポンプの流量調整つまみを変化させて実験を行った。このときの供給流量は低圧側に取り付けた積算型流量計で油が5 l流れる時の所要時間を測定して求めた。油温は高圧側に取り付けられた温度計により読み取り、また油圧ブレーカ本体などが設定温度に達するまで十分ならし運転をした後に実験を行った。

また、各条件におけるピストン変位、アキュムレータ封入ガス圧力およびピストン後室圧力は、記録計によりサンプリングタイム

0.02 msec, 11 bitの精度で数値化し、供給圧力、ピストン速度、ピストン前室圧力およびバルブ後室圧力はデジタルメモリにより、サンプリングタイム0.5 msec, 8 bitの精度で数値化した。

3. 実験結果および考察

No.1, 2の両油圧ブレーカにおける実験条件は前述の通りであるが、その中で供給圧力(P_s)を変化させても両油圧ブレーカの性能への影響は同傾向を示した。従って以後は $P_s=11.76$ MPaの場合を一例にとり考察した。

3.1 アキュムレータの有無による検出波形の比較

本供試油圧ブレーカのピストンは、その前、後室の受圧面積差および圧力差で往復運動する。ピストン前進行程において、ピストン後室にはポンプからと差動回路としてピストン前室から圧油が流入するほかに、補助動力源としてのアキュムレータからもピストン速度の増加に伴い瞬間的に大流量の供給が加わり、ピストン後室圧力を高圧に保持する構造となっている。もちろん、このピストン後室圧力の大小がピストン打撃速度を左右する。

図2はアキュムレータの有無によるピストン変位(x_p)、アキュムレータ内ガス圧力(P_a)およびピストン後室圧力(P_r)の波形の比較である。アキュムレータを取り付けない場合、ピストン後室圧力の変動が大きく、とくにピストン前進行程中および打撃点^{a)}付近の圧力の低下が著しい。一方、アキュムレータを取り付けるとその圧力波形が滑らかになり、ピストン前進行程中における後室圧力波形はアキュムレータ内のガス圧力波形と同傾向を示し、前述のように、アキュムレータからピストン後室に瞬間的に圧油の供給がなされているようである。このことは、一般の油圧回路と同様に、アキュムレータの利点、すなわち、ピストン速度の増大とともに大流量の瞬間的供給がピストン後室になされ、その圧力を高く保持する働きを裏付けている。

3.2 両供試油圧ブレーカの性能について

前述の実験条件で同一寸法のアキュムレータを寸法諸元の異なる油圧ブレーカに1コ取り付けて、アキュムレータの挙動の性能への影響を実験的に調べた。ここでの油圧ブレーカの性能としては、打撃数(N)、ピストン打撃速度(V_p)および効率(η)をとりあげ考察した。

図3は、アキュムレータの封入ガス圧力(P_g)を3.43 MPa一定とした場合の両油圧ブレーカの打撃数と平均供給流量(Q_s)との関係で、封入ガス容積(V_a)をパラメータとして比較したものである。なお、アキュムレータを取り付けない場合の値を、No.1を実線で、No.2を破線で示している。寸法諸元の異なる両油圧ブレーカとも同傾向を示す。すなわち、アキュムレータを取り付けない場合に比べて取り付けた場合の打撃数はわずかに少ないが、封入ガス容積の大きさに無関係に、平均供給流量に対してほぼ直線的に変化する。

Fig. 2 Oscillation curves of piston displacement and oil pressure.

a) $x_p=0$ の点が打撃点である。

Fig. 3 Relationship between number of blows and supply flow rate.

Fig. 4 Relationship between percussion speed of piston and supply flow rate.

Fig. 5 Relationship between efficiency and accumulator volume.

る。アキュムレータを取り付けない場合、打撃数がわずかに大きくなるのは、後で示すようにピストン打撃速度が低下して打撃直後の反発が小さくなり、ピストン後退所要時間が減少するためと考えられる。これらの結果は、他のアキュムレータ封入ガス圧力の場合も同傾向で同程度の値を示している。

図4は、図3と同様の条件におけるピストン打撃速度と平均供給流量との関係である。打撃数と同様に平均供給流量の増大とともにピストン打撃速度も増加するが、打撃数とは逆にアキュムレータを取り付けない場合の両油圧ブレーカのピストン打撃速度は小さく、アキュムレータがピストン打撃速度の増大に寄与していることは明らかである。図2に示したピストン後室圧力波形がこの結果を裏付けていると考えられる。また、両油圧ブレーカともにアキュムレータの封入ガス容積によってピストン打撃速度が影響をうけていることを示している。この傾向は他のアキュムレータ封入ガス圧力の条件の場合も認められる結果である。

前述のように、アキュムレータは大流量の瞬間的供給ができる補助動力源としての働きもあるが、これを評価するために効率を次式のように定義して考察を試みた。

$$\eta = \frac{M_p \cdot V_p^2 \cdot N}{2 \cdot P_s \cdot Q_s} \quad \dots\dots\dots (1)$$

ただし、 P_s は供給圧力を、 M_p はピストン質量を表す。

図5は効率とアキュムレータ封入ガス容積との関係で封入ガス圧力をパラメータにして示したものである。実験点がばらついてるので、No.1を実線で、No.2を破線でその傾向を示している。両油圧ブレーカともに、アキュムレータ封入ガス圧力が1.47 MPaでガス容積が0.2 l以下の場合の効率は、アキュムレータを取り付けないそれと同程度かむしろ低下しているが、それ以上の条件の場合にはアキュムレータの効果が認められる。この場合、効率には、封入ガス容積に対して大きな差はないが、No.1では $V_a = 0.2$ l付近に最大値が存在するようであり、No.2では $V_a = 0.2$ l以上で飽和する傾向にある。最大値が存在するのは、ポンプの供給流量、通路抵抗などにも関係するが、ピストン後退行程の所要時間とアキュムレータへの補給量が影響しているものと考えられる。

3.3 性能に及ぼすアキュムレータの封入ガス容積および封入ガス圧力の影響

前節で寸法諸元の異なる2種の油圧ブレーカの性能についての実験結果を示したが、アキュムレータの有無などの挙動の性能への影響は同傾向であった。従ってここでは、No.1の油圧ブレーカを一例としてとりあげ、可変容量型ポンプにより平均供給流量を27.5と35.8 l/minの条件でNo.1油圧ブレーカを作動させ実験を行った。そして、油圧ブレーカの性能、とくにピストン打撃速度に及ぼすアキュムレータの封入ガス容積および封入ガス圧力の影響について考察した。

(1) アキュムレータの封入ガス容積の影響 図6(a), (b)は、ピストン打撃速度とアキュムレータ封入ガス容積との関係で封入ガス圧力をパラメータとして示したものである。図中の●印はアキュムレータを取り付けない場合である。(a)図は平均供給流量が27.5 l/minの場合で、(b)図は35.8 l/minの場合である。(a)図の方が(b)図に比べて全般的にピストン打撃速度は小さいが、封入ガス容積に対する変化はほぼ同傾向である。(b)図の場合、封入ガス圧力が1.47 MPaで封入ガス容積が0.2 l以下を除いては、アキュムレータの働きが効果的となり、ピストン打撃速度が向上するが、封入ガス容積が0.2 l程度以上になると封入ガス圧力に無関係に、一定値に飽和する傾向を示す。一方(a)図の場合、封入ガス圧力が5.39 MPaのピストン打撃速度は●印を同程度か以下である。これはポンプからの平均供給流量が少なくなるとピストン後室圧力が封入ガス圧力の5.39 MPa程度しか上昇しないため、アキュムレータとして作動できなくなるからである。すなわち、可変容量型ポンプを使用する場合、その仕様を設定するに当たってはアキュムレータの効果を十分引き出すように注意して設定すべきであると考えられる。

ピストン打撃速度に対するアキュムレータの効果を評価するために、アキュムレータ封入ガス圧力の変化を検出記録した結果より、ピストン前進行程中の最高圧力(ピストン後死点付近の圧力に相当)と最低圧力(打撃点での圧力に相当)の値を読み取り、(2)式によってアキュムレータの仕事量(L)を算出した。

Fig. 6 Relationship between percussion speed of piston and accumulator volume.

$$L = \frac{P_1 \cdot V_1}{n-1} \left\{ 1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right\} \dots\dots\dots (2)$$

ただし、 n はポリトロップ指数(ここでは断熱変化を仮定し、 $n=1.4$ とした)を、 P_1 、 V_1 はピストン前進行程中のアキュムレータ内ガスの最高圧力とその時のガス容積を、 P_2 は打撃点でのアキュムレータ内のガス圧力(最低圧力)をそれぞれ表す。

(2)式より求めたアキュムレータの仕事量と封入ガス容積との関係を、図6(a)、(b)と同一条件の場合について示したのが図7(a)、(b)である。図6(a)、(b)と比較すると、アキュムレータの仕事量とピストン打撃速度とが明らかに良好な相関関係にあることが認められる。(a)図のポンプの平均供給流量が少ない場合、 $P_g=1.47$ MPaでは $V_a=0.2$ l以上で、 $P_g=3.43$ MPaでは全実験範囲において、また(b)図の平均供給流量が多い場合、 $P_g=1.47$ MPaでは $V_a=0.2$ l以下、 $P_g=3.43$ MPaで $V_a=0.1$ lの条件を除いた範囲において、アキュムレータの仕事量が一定となる。換言すればアキュムレータの仕事量が50 J以上であれば(a)、(b)両条件ともにアキュムレータの効果が封入ガス容積および圧力に関係なく同一程度となる。

No.2の油圧ブレーカにおけるこれらの傾向は、図5に見られるように、同程度かあるいはアキュムレータ封入ガス容積の大きい方にわずかに移動する程度である。

(2) アキュムレータの封入ガス圧力の影響 前項と同様の条件におけるピストン打撃速度とアキュムレータ封入ガス圧力との関係が図8(a)、(b)であり、アキュムレータの仕事量と封入ガス圧力との関係が図9(a)、(b)である。いずれの図においてもアキュムレータ封入ガス容積をパラメータとして示している。図6、7と同様にポンプの平均供給流量の大小にかかわらず、ピストン打撃速度とアキュムレータの仕事量とは良好な相関が認められる。(a)図の平均供給流量が少ない場合にはピストン打撃速度を最大にする封入ガス圧力が封入ガス容積の大きさに無関係に存在する。一方(b)図の平均供給流量が大きくなると、封入ガス圧力および封入ガス容積が小さい範囲を除いては、封入ガス圧力が変化してもピストン打撃速度には大きな影響を与えず、ほぼ一定値に落ち着く傾向を示す。全般的には、封入ガス圧力は3.43 MPa程度にするか、あるいはポ

ンプの能力が十分であれば3.43 MPa以上に封入ガス圧力を保持すれば、より優れた性能を有する油圧ブレーカが得られるものと考えられる。

また、ポンプの能力によっては封入ガス圧力の最適値が存在するので、設計する場合あるいは現場で実際に操作する場合には、この点を十分考慮する必要がある。

3・4 ピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力について

前節と同様にNo.1の油圧ブレーカを一例にとり、図2に示したピストン後室圧力波形とその性能との関係の検討を試みた。図2の波形に見られるように、アキュムレータの有無によりピストン後室圧力が著しく異なり、打撃数には大きな影響を与えないが、とくにピストン打撃速度と効率を左右する。

図10(a)、(b)は、ピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力(P_{rmean})とアキュムレータ封入ガス容積との関係で封入ガス圧力をパラメータとして示したものである。また、図11(a)、(b)は、同様にピストン後室平均圧力と封入ガス圧力との関係で封入ガス容積をパラメータとして示したものである。両図ともポンプの平均供給流量、すなわちポンプの吐出量の差による影響も示している。これらの図は、ピストン後室平均圧力をピストン打撃速度と示した図6(a)、(b)および図8(a)、(b)とそれぞれ同傾向にある。このことは、アキュムレータの仕事量がピストン後室平均圧力を大きく左右していることを裏付けている。

3・5 アキュムレータ設計に関する一考察

油圧ブレーカは岩石、ノロなどを破碎する機械であり、その性能向上のためには打撃エネルギーの増大が望まれる。打撃エネルギーはピストン打撃速度の2乗に比例するので、その速度の増加が性能向上に最も大きく寄与する。

本研究では寸法諸元の異なる2種の油圧ブレーカの性能を実験的に検討し、前節で図6と図10が同傾向にあることを示した。そこでピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力とピストン打撃速度との関係を求めた。図12はNo.1の場合を、図13はNo.2の場合を示している。両図は各油圧ブレーカのすべての実験点を

(a)

(a)

(a)

(b)

(b)

(b)

Fig. 7 Relationship between work and volume of accumulator.

Fig. 8 Relationship between percussion speed of piston and gas pressure of accumulator.

Fig. 9 Relationship between work and gas pressure of accumulator.

Fig. 10 Relationship between mean oil pressure of rear chamber and accumulator volume.

Fig. 11 Relationship between mean oil pressure of rear chamber and gas pressure of accumulator.

用いており、また●印はアキュムレータを取付けない場合である。いずれもばらつきはあるが、ピストン後室平均圧力とピストン打撃速度は直線関係にあり、良好な相関関係が存在する。

また、両図中のピストン打撃速度の増分 (ΔV_p) は、同一実験条件でのアキュムレータの有無の差により生じたピストン打撃速度が向上した定量的な値を示している。この ΔV_p の向上は、ピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力の上昇分 (ΔP_{rmean}) による結果である。すなわち、アキュムレータの仕事量はピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力を上昇させ、その圧力の増分がピストン打撃速度をより増大させる結果となる。

さらに、No.1の ΔV_p の値がNo.2のそれより大きく、No.1のアキュムレータの方が効果的であるという興味ある結果となっている。

本実験範囲においてピストン後室平均圧力を上昇させるためには、アキュムレータ封入ガス容積は0.2~0.3 lで、封入ガス圧力はダイヤフラムの寿命などを考慮して3.43 MPa程度にアキュムレータの寸法諸元などを決定すべきである。この場合、ポンプの能力も大きく関係することを考慮する必要がある。

4. おわりに

より性能の優れた油圧ブレーカを設計するための基礎的資料を得るために、寸法諸元の異なる2種の油圧ブレーカを用いて、アキュムレータの挙動の性能への影響を実験的に検討し、考察した結果、主に次のことが明らかとなった。

(1) 両油圧ブレーカともに打撃数にはアキュムレータの効果は大きく現れないが、アキュムレータを取り付けた場合、ピストン打撃速度および効率が増大する。この結果は検出された圧力波形が裏付けている。

(2) ポンプの吐出量が大いほど、ピストン打撃速度はアキュムレータ封入ガス容積に対して大きい値をとるが、封入ガス容積

Fig. 12 Relationship between mean oil pressure of rear chamber and percussion speed of piston.

Fig. 13 Relationship between mean oil pressure of rear chamber and percussion speed of piston.

が0.2~0.3 l以上になると一定値に近づく傾向にある。一方、封入ガス圧力に対するピストン打撃速度は、ポンプ吐出量が少ない場合には3.43 MPa付近で最大値を持つが、十分な吐出量になると封入ガス容積が小さい場合を除いて3.43 MPa以上で飽和する傾向を示す。この両者のピストン打撃速度の傾向は、アキュムレータの仕事量およびピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力と同傾向である。

(3) 両油圧ブレーカともに、ピストン打撃速度とピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力とは良好な相関関係が存在する。このことは、アキュムレータからの圧油のエネルギーが有効に作用してピストン前進行程におけるピストン後室平均圧力を上昇させ、その上昇した圧力がピストン打撃速度を増大させ、油圧ブレーカの性能が向上する結果を与える。従って、とくにピストン後室平均圧力に着目して、最適条件が得られるように、アキュムレータならびに油圧ブレーカを設計すべきであると考えられる。

謝辞 本研究を行うに当たりアキュムレータの設計、製作ならびに貴重なご助言、ご協力を賜りました(株)不二越油圧製造所大住真次技術部長はじめ他関連関係の方々へ深甚なる謝意を表す。

また実験に多大のご協力をいただいた、当時学生の筒井広志(現 厚木自動車部品)、宮西昭次(現 SMK)、水野浩(現 秋田大学大学院)、野村誠(現 国際電気)の諸君に謝意を表する。

参考文献

- 1) 高橋義雄・李治才・渋谷 嗣: 日本鉱業会誌, 104 [1199], 23~28, (1988)
- 2) 高橋義雄・大日方五郎・渋谷 嗣・荒川篤志: 日本鉱業会誌, 104 [1204], 371~376, (1988)