混合金属粉体の静水圧圧縮*

——改良川北粉体圧縮式による整理と検討——

服 部 一 郎** 岸 上 守 孝***

Hydrostatic Pressing of mixed Metal Powder

Ichiro HATTORI, Moritaka KISHIGAMI

Some experiments on hydrostatic compression have been carried out using the mixture of Fe powder and nonferrous metal powder. As a result, the modified Kawakita's equation[2)5)] is shown to be well applicable to the relation between pressure and volume-reduction. The initial porosity and characteristic constant 1/b in the equation are found to relate to the mixing ratio and size ratio of component powders. The fact cited above could be explainable in the sence of physical properties of powder. And these results support the physical meaning of constants in the equation given previously.[2)3)5)]

1. 緒　　言

粉体の圧縮成形は各種工業，例えば製鉄用ペレット，焼結材のグリンモールド，医薬品の錠剤の製造，その他化学工業の各種過程に利用される重要なプロセスである．

従って古くより粉体圧縮に関する数多くの研究がなされ，各種の粉体圧縮式が提案されている[1)2)5)]．これらの

* 原稿受付　昭和54年1月25日
** 長岡技術科学大学機械系（長岡市上富岡町長峰1603-1）
*** 石川島播磨重工業(株)技術研究所
（東京都江東区豊洲3-1-15）

表1 各種粉体圧縮式

Table 1 Various compression equations

Walker Balshin	$lnP=-C_1\frac{V}{V_\infty}\times C_2$
Jones	$lnP=-C_3\left(\frac{V}{V_\infty}\right)^2+C_4$
Nutting Nishihara	$ln\left(\frac{V_0}{V}\right)=C_5PC_6$
Smith	$\frac{1}{V}-\frac{1}{V_0}=C_7P^{1/3}$
Athy	$\frac{V-V_\infty}{V}=\frac{V_\infty-V_\infty}{V_0}exp(-C_8P)$
Kawakita	$(V_0-V)/V_0=abP/(1+bP)$
Konoipcky Sapiro-Kolthoff Torre Murray Kunin-Yunckenko	$\frac{V-V_\infty}{V}=\frac{V_0-V_\infty}{V_0}exp(-C_{10}P)$
Heckel	$\frac{V-V_\infty}{V}=\frac{V_0-V_\infty}{V_0}exp(-C_{11}P+C_{12})$
Nikoleav	$P=C_{13}\frac{V_\infty}{V}\ln\left(\frac{V_\infty}{V-V_\infty}\right)$
Ballhausen Vergnon Tsuwa Tanimoto	$\frac{V_0-V}{V_0-V_\infty}=\frac{C_{14}P}{1+C_{15}P}$ (Summanzed indication)
Bockstiegel	$P=\sigma_0\frac{V_\infty}{V-V_\infty}$ σ_0: yieid strength
Gumham	$P=C_{16}exp(C_{17}/V)$
Cooper-Eaton	$\frac{V_0-V}{V_0-V_\infty}=C_{18}exp(-C_{19}/P)+C_{20}exp(-C_{21}/P)$
Shapiro	$\frac{V_\infty-V}{V}=C_{22}exp(-C_{23}/P)+C_{24}exp(-C_{25}/P)$
Terzaghi	$\frac{V-V_\infty}{V_\infty}=C_{26}ln(P+C_{27})-C_{28}(P+C_{29})-C_{30}P+C_{31}$
Aoki	$\frac{V_0-V}{V_0}=C_{32}P^{C_{33}}$

P : Applied pressure,　V : Powder volume under applled pressure,
V_∞ : Powder volume under infinitely large pressure (net volume),
V_0 : lnitial apparent volume,　$C_1\cdots C_{33}$: Constanis,　a, b : Constants

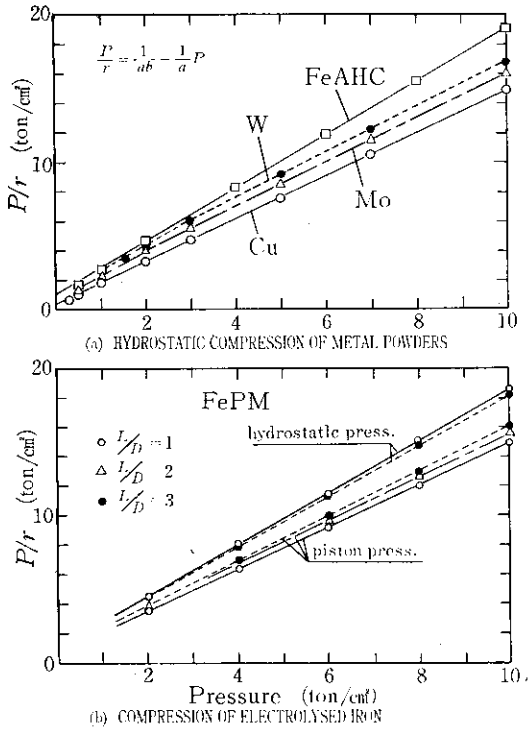

図1 各種金属粉体の圧縮成形
——川北式による $P/r\sim P$ の関係

Fig. 1 Hydrostatic compression of some metal powders
——Kawakita's P/r–P plot——

うちには，純経験的に求められた実験式あるいは解析的に導かれた理論式があるが，表1に示すように，いづれも粉体およびプロセスにより定まる特性定数を含んでいる．これらの定数の多くは実験値に適うように任意に決められたもので粉体の物性などの物理的意味を持たないものである．従って極論すれば定数値を操作することにより実験結果をどの圧縮式に適合させることも可能である．

もしこれらの定数に物理的な意味づけが出来るならば，その圧縮式の信用度は高いものとなり，またこの式を導くような粉体の圧縮メカニズムを検討すれば工業的利用の面でも有益であろう．

著者らは先に[2)~5)]，鉄粉，銅粉，モリブデンおよびタングステンの微粉を圧縮成形して，加圧の方法と成形品の形状には無関係に成形圧と容積減少率の関係が川北式によく一致することを知った．図1にその例を示す．

川北式を書き直すと

$$\frac{P}{r}=\frac{1}{ab}+\frac{P}{a} \tag{1}$$

となる．

$P\to\infty$ のときの r を値を r_∞ とすれば

$$a=r_\infty=(V_0-V_\infty)/V_0 \tag{2}$$

となる．いま $V_\infty=V_t$ とすれば $r_\infty=N_0$ であって結局 a は初期空隙率 N_0 と等しくなければならない．図1の直線から a，b を求めると表2のようになって a は実測した初期空隙率にほぼ一致した．

定数の意呼をさらに深く検討するため(2)式を利用して川北式を次のように書き更めた。

$$P\,\frac{V-V_\infty}{V_0-V_\infty}=\frac{1}{b}\,\frac{V_0-V}{V_0-V_\infty} \tag{3}$$

$V_\infty=V_t$ として実験結果を(3)式によってプロットすると図2のようになった．(3)式が正しいならば全プロットは

表2 川北式の定数 a,b の値

Table 2 Characteristic constants a and b in Kawakita's compression equation

試料粉体	L/D	静水圧成形 図から求めた値 a	静水圧成形 図から求めた値 b	静水圧成形 実測値 初期空隙率	静水圧成形 実測値 初期密度 (g/cm³)	プレス成形 図から求めた値 a	プレス成形 図から求めた値 b*	プレス成形 実測値 初期空隙率	プレス成形 実測値 初期密度 (g/cm³)
FePM	1	0.57	1.9	0.55	3.51	0.69	2.1	0.68	2.5
	2	0.57	1.7	0.55	3.51	0.67	2.6	0.68	2.5
	3	0.58	1.9	0.56	3.43	0.64	3.2	0.68	2.5
FeNC	1	0.61	1.8	0.59	3.15	0.66	1.5	0.69	2.4
	2	0.60	1.5	0.58	3.24	0.64	1.6	0.69	2.4
	3	0.62	1.6	0.60	3.12	0.61	1.7	0.69	2.4
FeAHC	1	0.55	1.7	0.54	3.57	0.70	1.2	0.63	2.9
	2	0.54	1.7	0.53	3.69	0.68	1.2	0.63	2.9
	3	0.55	1.7	0.54	3.63	0.67	1.4	0.63	2.9
Cu	1	0.69	4.0	0.69	2.79	b*:全圧力範囲の実験点から $P-P/r$ のプロットを行なって求めた b の値 (cm²/ton)			
Mo	1	0.66	1.7	0.67	3.33				
W	1	0.65	1.3	0.63	6.15				

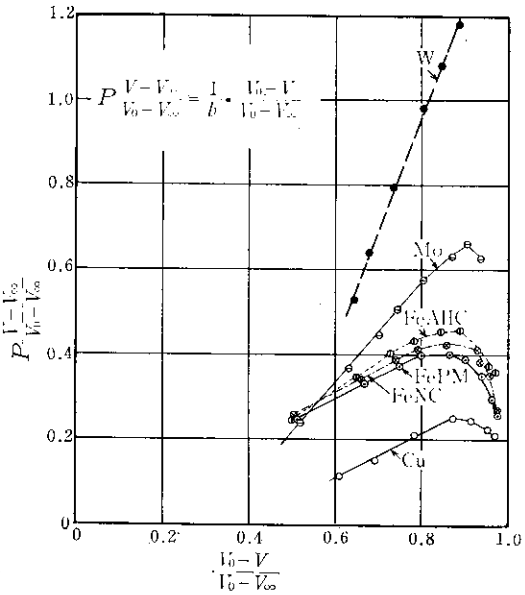

図2 $(V_0-V)/(V_0-V_\infty)$ と $P(V-V_\infty)/(V_0-V_\infty)$ の関係——(3)式による川北式の検討——

Fig. 2 Relation between $(V_0-V)/(V_0-V_\infty)$ and $P(V-V_\infty)/(V_0-V_\infty)$
——From Kawakita's equation (3)——

原点を通る直線群となる筈であるがプロットの延長は原点を通らず，また圧縮の後期には直線から著しくズレている．このことは川北式が厳密にはこの実験結果には適合しないことを意味している．つまり図1のような検定ではほゞ適合しているように見えたものが図2のような検定で，成形圧力の高い領域および低い領域で喰い違いのあることが示されたわけである．

図2の直線部分は

$$P\left(\frac{V-V_\infty}{V_0-V_\infty}\right)=\frac{1}{b}\left(\frac{V_0-V}{V_0-V_\infty}\right)+\mathrm{Const}$$

とあらわされる．いま $\mathrm{Const}=-(V_0-V_{a0})/b\cdot(V_0-V_\infty)$ とおけば上式は

$$P(V-V_\infty)=\frac{1}{b}(V_{a0}-V) \qquad (4)$$

或は $$P\left(\frac{V-V_\infty}{V_{a0}-V_\infty}\right)=\frac{1}{b}\left(\frac{V_{a0}-V}{V_{a0}-V_\infty}\right) \qquad (5)$$

(4)式あるいは(5)式を改良川北式と命名し，式中にあらわれる定数 V_{a0} および b について検討した．

以上の解析から明なように V_{a0} は成形圧力の極く低いところで到達される V の値である．静水圧圧縮の実験値から $N_{a0}=(V_{a0}-V_\infty)/V_a$ を求めると表3のようになって，粉体によっても異なるが $N_{a0}\fallingdotseq 55\%$ の程度であった．いづれの場合でも初期空隙率 N_0 よりは僅かに小さく，V_{a0} が初期状態から僅かに充てんされた状態に対応するものであることが判る．表3には定数 $1/b$ の測定値も示してある．この値の大小の順番は粉体金属の降伏値 σ_0 の大小順番と一致し，その値自体も σ_0 にかなり近いものである．従って定数 b は $1/\sigma_0$ と密接な関係があるものと推定された．

表3の特性値を使い(5)式によりデータを整理すると図3のようになってプロットは傾き45°の直線上にきれいにならぶが横軸の値0.7を過ぎるあたりからズレ始める．この点に相当する成形圧力と空隙率 $N_{0.7}$ を表3に示してある．$N_{0.7}$ の値が球の最密充てん空隙率26%に近いものであることに注目し度い．

以上の解析から金属粉の静水圧圧縮では，極く低い圧力で粉体が殆んど変形することなく主としてすべりにより充てんされる前期過程，つゞいて粉体の表面の細い凹凸が変形して最密充てんにまで達する中期過程と，最後に粒子本体が変形して全体として一体化する後期過程とがあり，改良川北式は中期過程に適用されるものであると結論した．

表3 改良川北式の特性値

Table 3 Characteristics in modified Kawakita's equation

試料粉体	Cu	FePM	FeNC	FeAHC	Mo	W
1/b (kg f/mm²)	5.42	5.80	6.08	6.81	11.94	27.99
N_0 (%)	68.8	55.3	59.2	54.4	67.4	68.2
N_{a0} (%)	56.7	52.8	56.7	50.3	58.4	53.9
$N_{0.7}$ (%)	28.2	25.1	28.2	23.3	29.6	26.0
$P_{0.7}$ (ton f/cm²)	1.26	1.35	1.42	1.59	2.79	(6.59)

$N_{a0}=(V_{a0}-V_\infty)/V_{a0}$
$N_{0.7}$：$(V_{a0}-V)/(V_{a0}-V_\infty)=0.7$ のときの空隙率
$P_{0.7}$：〃 のときの成形圧力

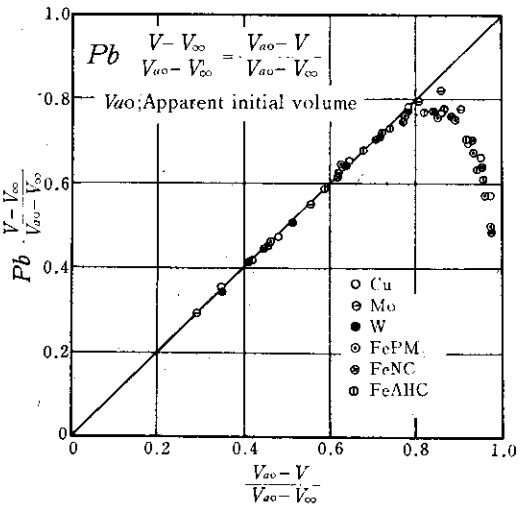

図3 $(V_{a0}-V)/(V_{a0}-V_0)$ と Pb $(V-V_0)/(V_{a0}-V_0)$ の関係

——(5)式による改良川北式の検討——

Fig. 3 Relation between $(V_{a0}-V)/(V_{a0}-V_0)$ and Pb$(V-V_0)/(V_{a0}-V_0)$

——From modified kawakita's equation (5)——

前報[4] では圧縮成形体の強度試験の結果からも，このことを確認している．

本報に述べる研究の目的は，異種金属混合粉体を静水圧圧縮したとき，単体金属粉末の圧縮から得られたこれまでの推論が，同様に成立するものか否かを調べることにある．

使　用　記　号

P：圧力 〔ton f/cm²〕

V：加圧後の容積 〔cm³〕

V_∞：$P\to\infty$のときの容積 〔cm³〕

V_0：初期容積 〔cm³〕

V_{a0}：見掛けの初期容積 〔cm³〕

V_t：真の容積 〔cm³〕

ρ：加圧後の見掛け密度 〔g/cm³〕

ρ_a：粉体の見掛け密度（初期見掛け密度） 〔g/cm³〕

ρ_t：粉体の粒子密度 〔g/cm³〕

Cu：銅粉

FeAHC：噴霧鉄粉

Mo：モリブデン粉

W：タングステン粉

$r=(V_0-V)/V_0$：容積減少度

$r_a=(V_{a0}-V)/V_{a0}$：見掛け容積減少度

$r_\infty=(V_0-V_\infty)/V_0$：$P\to\infty$のときの容積減少度

$N=(V-V_t)/V$：空隙率

$N_0=(V_0-V_t)/V_0$：初期空隙率

$N_{a0}=(V_{a0}-V_t)/V_{a0}$：見掛け初期空隙率

y：混合粉体中の一成分の濃度 〔vol. %〕

ε：混合粉体中の一成分だけの空隙率

a, b：定数

$C_1\cdots C_{31}$：定数

L：成形体の高さ 〔mm〕

D：成形体の直径 〔mm〕

2. 実 験 方 法

2.1 実験に用いた試料

実験に用いた試料粉体を表4に示した．粉体の製法はそれぞれ電解，還元および噴霧法のいずれかであって，加工硬化などの履歴はない．静水圧圧縮に際しては潤滑剤や結合剤は用いていない．

2.2 実験方法

FeAHC と Mo，FeAHC とWおよび FeAHC と Cu の組合について，それぞれ容積比率を変えて混合した．この場合 Mo および Cu に対しては表4のまゝの FeAHC を用い，Wとの混合では150～170メッシュに分級した FeAHC を用いた．

V型混合器で十分混合した粉体をゴム型に充てん密封し，内径30mm，高さ100mmの内容積をもつ高圧容器に入れ，液圧で圧縮成形した．ゴム型は内径および高さがともに20mm，内厚2.5～3mmのシリコンゴム円筒である．

成形圧力は粉体によって異なるが0.3～7 ton f/cm² の間であって，一種類の粉体について最低7点の圧力で成形した．所要圧力での保持時間は3分間とした。

粉体の粒子密度 ρ_t を比重ビンで測定し表4に示してある．成形体の見掛け密度 ρ は降圧後ゴム型から取り出し，JIS Z 2505 "金属焼結体の焼結密度測定方法" に従い，成形体の表面をパラフィンで表面処理して水中で

表4 試　料　粉　体

Table 4 Particle densities and size distribution of metal powders used

粉体の種類	記号	粒度分布(%) 100 147	150 104	200 74	250 61	325mesh 43 μm		粉体粒子密度 (g/cm³)
電解銅粉	Cu	0	6	24	18	24	28	8.91
噴霧鉄粉	FeAHC	0	38	28	9	11	14	7.83
モリブデン粉	Mo	平均粒径4.2μm						10.22
タングステン粉	W	平均粒径2.9μm						19.33

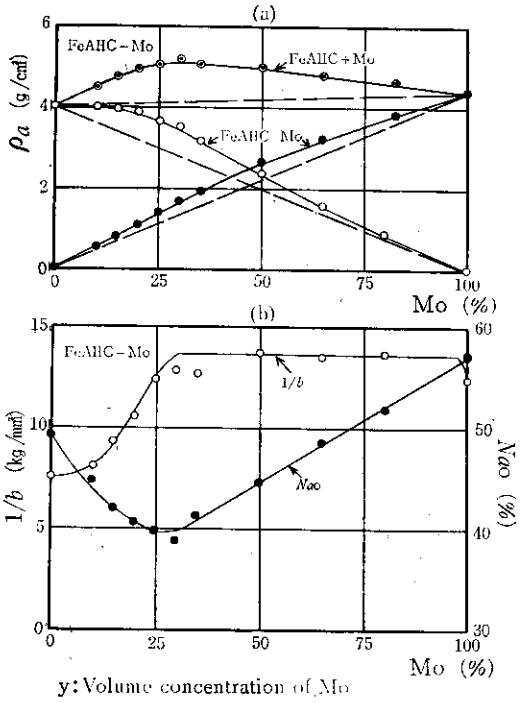

図4　Fe−Mo 混合粉体の ρ_a, N_{a0} および $1/b$

Fig. 4　ρ_a, N_{a0} and $1/b$ for hydrostatic compression of Fe−Mo powder

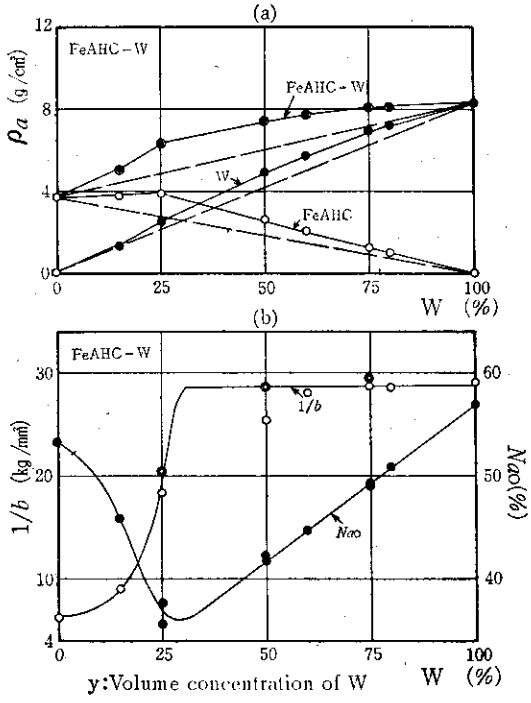

図5　Fe−W 混合粉体の ρ_a, N_{a0} および $1/b$

Fig. 5　ρ_a, N_{a0} and $1/b$ for hydrostatic comperession of Fe−W powder

の重さを計測することにより求めた.

3. 実験結果

一定比率の混合粉体の成形体から得た一組の ρ の計測値から $1/\rho$ を横軸に $P(1/\rho-1/\rho_t)$ を縦軸としてプロットすると図2のような形の曲線がえられる. 直線部を $P=0$ の点まで外押したときの横軸の値 $1/\rho_a$ を読みとり, ρ_a をこの粉体の見掛け密度とした. 粉体の重量を ρ_a で除したものが(4)および(5)式の V_{a0} である. またこの直線の傾きから(4)式により $1/b$ が得られる. 初期空隙率 N_{a0} は $N_{a0}=(1/\rho_a-1/\rho_t)/1/\rho_a$ として求めた.

各粉体の組合せについて混合率を横軸に, 縦軸に ρ_a, N_{a0} および $1/b$ をプロットしたものが図4～6に示してある.

粉体Aと粉体Bの混合率はA, Bの重量をそれぞれ, m_A, m_B 見掛け密度をそれぞれ ρ_{aA}, ρ_{aB} とすると

$$y=\frac{m_B}{\rho_{a,B}}\Big/\left(\frac{m_A}{\rho_{a,A}}+\frac{m_B}{\rho_{a,B}}\right) \qquad (6)$$

により混合粉体中のBの容積混入率が規定出来る. 図4～6の横軸に目盛った数字はこの値である.

4. 考　　察

4.1 粗粒と細粒の混合

図4, 図5でまず目につくことは, 混合率30%のあたりに初期空隙率 N_{a0} の最低値があり, しかもこの組成の附近から定数 $1/b$ の値が右側の粉体, すなわちMo, あるいはWのそれとほゞ等しくなっていることである. これに反し図6ではこの様な傾向は全くあらわれていない.

表4あるいは図7から知られるように Fe は中央値約90μm, Cu は中央値約60μm の粗粒であって10μm 以下の成分は殆んど含まれていない. これに対し Mo は4μm, Wは 3μm 程度の微粉である. 従って図4, 図5は粗粒と細粒の混合, 図6はほゞ同粒径の粗粒の混合の特徴を示すものと考えてよい. 特に図5では Fe は150～170メッシュ (88～104μm) の間に分級してあるのでより明白である.

一般に粗粒に微粒を少量加えた場合, 微粒はまず粗粒の間隙を埋めるであろう. このことは図4, 図5の(a)図で, 初期には単位体積中の Fe の量が殆んど変わらず

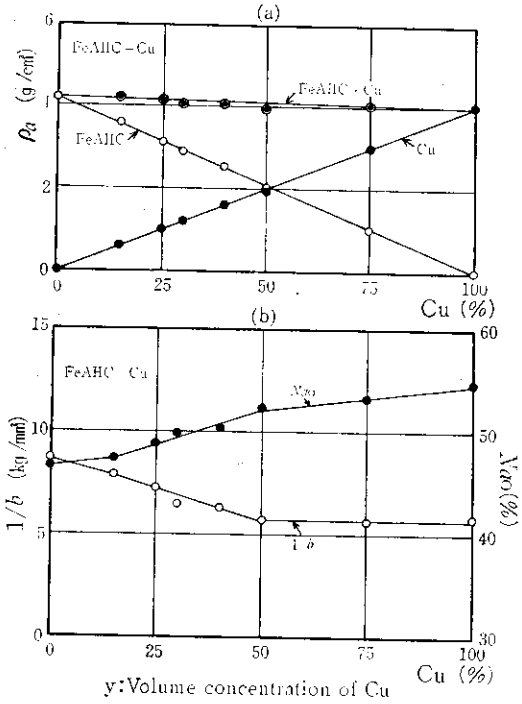

図6　Fe−Cu 混合粉体の ρ_a, N_{a0} および $1/b$

Fig. 6　ρ_a, N_{a0} and $1/b$ for hydrostatic compression of Fe−Cu powder

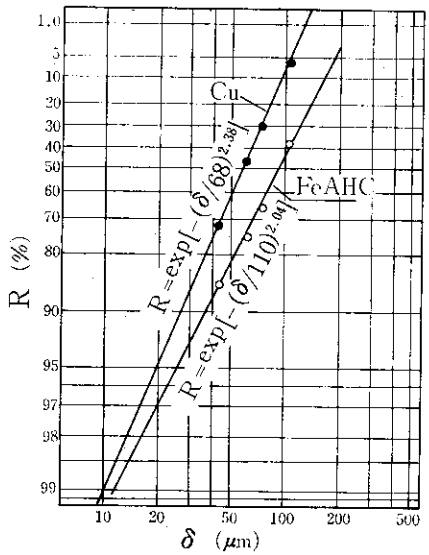

図7　鉄粉と銅粉の粒度分布

Fig. 7　Particle size distribution of Fe powder and Cu powder

Mo あるいはWの量のみが増えることにより緻密化が進んでいることからも推察出来る．

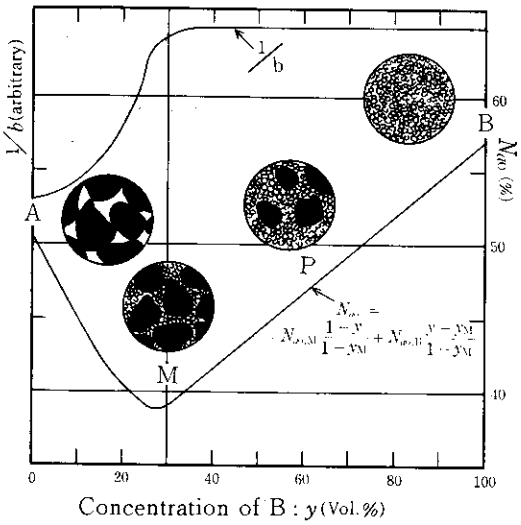

図8　粗粒と細粒の混合粉体の圧縮，$N_{a0}, 1/b$ および混合様式（模式図）

Fig. 8　Hydrostatic compression of mixed metal powder consisted of fine particles with gross particles (Schematic model)

これらの関係を図8の模式図で示してある．Aは粗粒Bは細粒である．横軸の y は(6)式で定義したような意味で混合体中のBの濃度を示す．M 点は N_{a0} が最小になる組成であって Fe−Mo，Fe−W の場合いずれも $y=25\sim30\%$ の附近である．PはM点とB点の間の任意の組成に対応する．

若しM点で成分Aのみを考えたときの空隙率がA点の空隙率と同じであって，その空間を成分BがB点におけると同じ程度に充てんするとすれば，簡単な計算から判るように $y=30\%$ で Fe−Mo のとき $N_{a0}=28\%$，Fe−W で $N_{a0}=30\%$ となる筈で，これは実測値より低い値である．即ちM点における成分A，Bの充てん度はAおよびB点とは多少異るものと考えざるを得ない．しかし少くとも Fe−W の場合には図5から知られるように単位体積中の Fe の量はA点とM点で殆んど変らない．このことはWの充てん度がM点では可成小さいことを意味するように思われる．

成分A（粗粒）m_A グラム，成分B（細粒）m_B グラムよりなる組成 y（%）の混合粉体中で見掛け容積 V_a からA成分の実容積 $V_{t,A}$ を除いた空間をB成分が満したとき，その空間に対する空隙率を ε とすれば

$$\varepsilon=N_{a0}\Big/\left(1-\frac{V_{t,A}}{V_a}\right) \tag{7}$$

となる．$V_{t,A}=m_A/\rho_{t,A}$，$V_{t,B}=m_B/\rho_{t,B}$，$V_t=V_{t,A}+V_{t,B}$

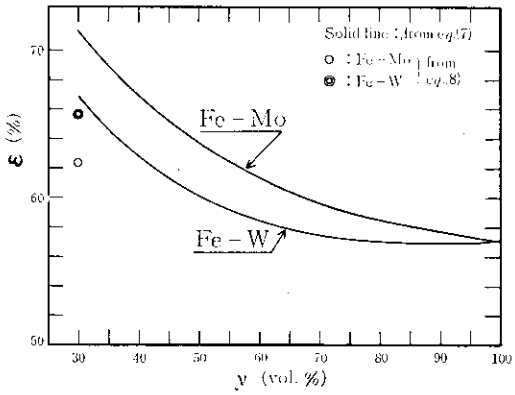

図9　εの計算値
Fig. 9　Caluculated value of ε,

$V_t=(1-N_{a0})V_a$ であるから(6)，(7)式を使って任意の y に対する N_{a0} の実測値から ε を計算出来る．$y=30\sim100$ % の間の N_{a0} の値を図4および図5より求めて ε を計算した結果が図9に示してある．

また $y=30$%では(7)式の $(1-V_{t,A}/V_a)$ がA点の空隙率 $N_{a0,A}$ に等しいと仮定し $N_{a0}=(1-V_t/V_a)$，$V_t=V_{t,A}+V_{t,B}$ の関係から V_a を消去すると

$$\varepsilon_{y=30}=\{1-(V_{t,B}/V_{t,A})(1-N_{a0,A})/N_{a0,A}\} \qquad (8)$$

となる．(8)式より計算した値も図9に示してある．二つの計算値は Fe−W では一致しているが Fe−Mo では差が大きい．これは図4，図5から知られるようにA点（$y=0$）とM点（$y=30$）における単位体積中の Fe の量が前者ではほゞ等しいが後者では差のあることゝ関係がある．つまり粗粒の配置のパターンが Fe−W では $y=0\sim30$% の間ほゞ一定に保たれているが，Fe−Mo では $y=15$%あたりから変り始める故であろう．なぜ両者の挙動に差があるか，またそれにもかゝわらず同じように $y=25\sim30$% のあたりで N_{a0} の最低値が得られるかについては明でない．

始にも述べたように $y=30$%のあたりから $1/b$ が細粒のそれとほゞ等しくなる．著者らの見解によれば $1/b$ は粉体の圧縮され易さの尺度であって，粉体の表面の性質とくにその強度に比例するものであるから，この組成で粗粒の表面は細粒によりほゞ全面的に被われ粗粒同志の接触はなくなるのであろう．つまり粗粒は圧縮に対して細粒の成分からなる大きな粒として挙動をするものと推察される．

このことが Fe と Mo，W のように，比較的軟い粗粒と硬い細粒の組合せのときのみ起るのか，或はもっと一般的な現象なのかについては，本実験からは明らかになし得ないが興味のあるところである．

図9で明かにしたように混合粉体中の細粒のみに注目すると，その初期密度は細粒だけの場合に比して小さい。このことは初期密度の測定方法に関係ありそうである．諸言に述べたように本報では粉体を加圧圧縮したときの圧力と形成体の見掛け容積の関係から，これを圧力零の点まで外押しして得た見掛け容積より初期密度を求めている．粉体を静水圧加圧した場合粉体の粒度がそろって居れば個々の粒子にはほゞ均等な力が加わるであらう．しかし本報の場合のように十倍以上の径をもつ巨大な粒子が混入するときには，内部応力は主として巨大粒子を伝わって伝播するため，細粒のうちには全く加圧されぬか或は少しか加圧されないものがあるからであらう．その程度は粗粒の量にほゞ比例するので空隙の存在割合も増えるはずである．図9の y と ε の関係はこのようにして定性的に説明できる．

4.2　二種類の粗粒の混合

図6では前項で述べたような特徴は一切見当らない．諸量は成分比の変化に従いほゞ単調に変化している．Fe−Cu がほゞ同程度の粒度の粒子の組合せであるから，これはむしろ当然である．

このうちで $1/b$ だけは $y=50$%の辺りから Cu の値とほゞ等しくなっている．この組成では混合粉体中で Fe と Cu の占める容積がほゞ等しいから，平均的には Fe と Cu の粒子が交互に存在すると見てよい．このような混合粉体では加圧に伴うと緻密化は主として軟い方の粒子の変形により進行するのであらう．

5.　結　　語

2種類の金属粉を混合して圧縮したとき，混合粉体の性質はそれぞれの成分の性質が混合した比で現われてくるのか，または一方の粉体の性質のみが現われるのかは興味深いところである．本報では Fe に Mo，W および Cu の粉体をそれぞれ組合せた場合を実験し，改良川北式[2)5)]により整理した結果，成分の粒子の硬さと粒径比および混合比により異なる挙動を示すことがわかった．

(1)　粗粒に細粒を少量混合すると，細粒は粗粒の充てん構造の中に埋るので，全体の空隙率 N_{a0} は減少する．

(2)　一定の混合比に達すると N_{a0} は最低となり，その後は細粒の容積濃度 y に対し直線的に変化する．しかしこの間でも細粒だけで見た空隙率 ε は細粒単独の場合に比し小さい。その理由は粗粒の混入による内部応力の不均等性により説明できる．

(3)　上記の成分の範囲では圧縮したとき改良川北式に現われる定数 $1/b$ は細粒単独のときの $1/b$ と等しい値と

なる．これは比較的軟い粗粒の表面に硬い細粒が密着し，圧縮に際し粗粒は細粒成分の巨大粒子であるかの如く挙動すると解釈できる．

(4) 2種類の粗粒を混合すると特性値は両成分の性質が混合した形で現われる．しかし両成分の容積比がほゞ1となったあたり（$y=50\%$）から軟い粒子のみ（$y=100\%$）になる成分範囲では，$1/b$ は軟成分の値と等しくなる．すなわちこの領域では圧縮は軟い粒子の変形により進行するように見える．

(5) 上記の実験結果と解釈は，改良川北式の定数 a が初期空隙率を，また $1/b$ は粒子の表面強度に比例するという前報[2)4)5)]の結論を確認するものである．

おわりに，本研究を実施するにあたり，川北粉体圧縮式の提案者である前法政大学教授川北公夫氏より種々御指導と助言を賜わったことを述べ，心から感謝する．

文　献

1) 川北公夫；材料，18，189（1969），2.
2) 川北公夫ほか2名；川北粉体圧縮式の特性定数，粉体工学研究会誌，11，8（1974），453.
3) 服部一郎ほか2名；日本材料学会，第6回研究発表会，予稿集（1969）
4) 岸上守孝ほか3名；"金属粉の静水圧成形機構"，材料 20，215（1971），924.
5) Kawakita, K. et al.; Characteristic Constants in Kawakita's Powder Compression Equation, J. Powder & Bulk Solid Tech., 1, 2 (1977), 2.