

- (1) 爆薬と雷管 (explosive and detonator)
- (2) 被圧接金属板 (metal plate to be bonded)
- (3) 金属線材 (metal wire)
- (4) 緩衝板 (buffer plate)
- (5) 金敷 (anvil)
- (6) 仕切り紙 (paper)
- (7) 間隔保持用細片 (spacer)

本実験に使用する爆薬は新綱ダイナマイトであり、起爆は6号電気雷管によって行う。また Fig. 1に見られるように爆薬はシート状にして紙箱に詰め、これを上部緩衝板の上に置く。また緩衝板には図示の通り上部緩衝板と下部緩衝板があるが、上部緩衝板は爆圧が直接上部金属板にかからないように設けたものである。上部金属板と下部金属板との間には、金属線材がある間隔をもって平行状に配置した。本実験においては、金属線材としてステンレス鋼線を用いるが、鋼線を一定の間隔で平行に配置させるための工夫が必要であった。Fig. 1 下図は各要素の配置状態を幾分詳しく示したものであるが、圧接されるべき上部および下部金属板と緩衝板の間には仕切り用の紙（トレイシングペーパー使用）を挿入し、相互の圧着を防いだ。ただし、下部緩衝板は別に使用しなくても圧接可能である。

次に本実験において試験片として使用する金属板ならびに金属線材は次の通りである。

金属板としては

- (1) アルミニウム板：材質は A1050P
寸法は 200×100×3 (mm)
- (2) 銅板：材質は TCu P1
寸法は 200×100×3 (mm)

金属線材としては

ステンレス鋼線：材質は SUS-W

寸法は 0.2φ, 280mm 長に切断して使用する。

ステンレス鋼線の平行配列法は、旋盤を利用して、ドラム上に一定のピッチでスパイラル状に鋼線を巻きつけておいたものの表面にセロテープをドラムの軸方向に二本並列して貼りつけた後、両テープの中間を軸方向に切断すれば、一定のピッチで配列された平行状線材ができる。また上部金属板を高速度で下部金属板に衝突させるために Spacer としてビニール製の細片を挿入した。（この細片は圧接時に吹き飛ばされるので混入することはない。）上部、下部の緩衝板には爆発衝撃に堪え得る金属板を使用した。

2.2 本実験において技術上問題となる点

本実験において技術上問題となる点を列挙すると次の通りである。

(1) 使用爆薬の爆速と爆薬量

特に爆薬量は単位面積当りの爆薬量として検討する上で重要である。

(2) 上下の金属板の間隔 (Stand off)

これは板の衝突速度を調節する上において重要である。

(3) 線材の配列間隔 (あるいは配列ピッチ)

2.3 実験諸条件と実験結果ならびにその考察

前述の通り本実験においては、被圧接金属板としてアルミニウム板と銅板を使用した。ただし、いずれの場合も上部金属板と下部金属板は同一の材質とした。

Table 1 は今回行った 10 種類の実験について実験諸条件と実験結果を表示したものである。すなわち、この表には、実験番号、金属母材、線材料、総爆薬量、単位面積当り爆薬量、上下金属板間隔、線材配列間

Table 1 Experimental conditions and results

experimental condition							result
number	matrix	wire	weight of explosive (g)	weight of explosive per unit area (g/cm ²)	Stand off (mm)	pitch of wire arrangement (mm)	rate of bonded area (%)
No. 1	A1050P	sus-w (0.2φ)	240	0.9	0.7	1.0	100
No. 2	"	"	270	1.0	"	0.5	"
No. 3	"	—	240	0.9	0.5	—	"
No. 4	TCuP1	sus-w (0.2φ)	270	1.0	0.7	1.25	"
No. 5	"	"	"	"	1.4	1.0	"
No. 6	"	"	"	"	0.7	0.5	"
No. 7	"	—	"	"	0.5	—	"
No. 8	"	mesh	"	"	0.9	16/in.	30
No. 9	"	sus-w (0.2φ)	216	0.8	0.7	0.75	60
No. 10	"	"	270	1.0	"	0.3	40

隔等の実験諸条件と実験結果としての圧着面積割合 (rate of bonded area) が示されている。圧着面積割合は試験片の面積に対する完全圧着部の面積の割合を指すものである。すなわち、超音波探傷器を用いて圧着の不良箇所を調べ、完全圧着部がどの程度あるかをおおよその割合で示したものである。表中の No.3 と No.7 の実験では線材は全く使用せず母材のみ圧着を行った。また No.8 の実験では直交した網目状の線材を使用した。

圧接後の線材の配列状態はX線写真により調べた。Fig.2 はその一例であるが、この場合、母材はアルミニウムで線材は白い線として写っているが、圧接後の配列状態に乱れは認められない。

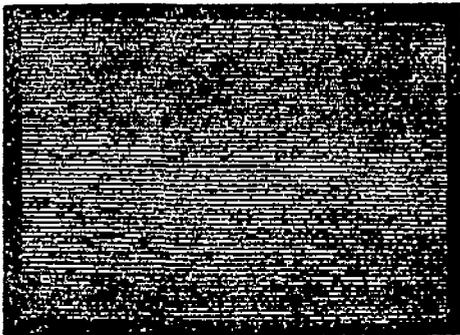


Fig. 2 The wire arrangement after bonding by X' ray photograph

本実験における爆薬の爆速は約 2200m/sec であるが、今回の実験では使用爆薬を1種類に限ったので、爆速の実験結果に及ぼす影響については調べていない。

Table 1 に示した実験条件とその結果より特に注目すべきことは、No.10 の実験において、線材径 0.2 mm に対し、線材配列間隔を 0.3mm にした時圧着面積割合が低い値を示している。これは上下母材の接触可能な面積が少ないためと考えられる。すなわち、平行状に線材を配列する場合には、配列間隔に圧着可能限界のあることがわかる。また、No.8 の実験結果より網目状の線材を圧着させることは、線状の線材を圧着させる場合に比し困難であることがわかる。

3. 強化金属材料の強度に関する実験と結果の考察

3.1 実験方法

前章にて述べた爆発圧接法により、ステンレス鋼線強化金属を製造し、この複合材料に関する強度特性を調べた。まず試験片について説明すると、圧接後、Fig.3 に示すようにたんざく形に切り、これを Fig.4 のような引張試験片に加工した。なお線材の含有量の

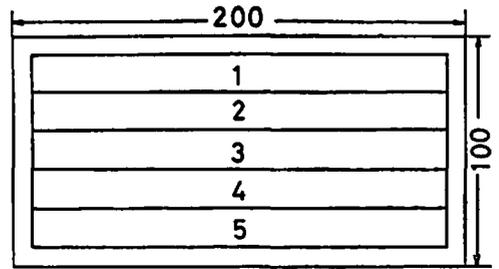


Fig. 3 Division of composite metal plate

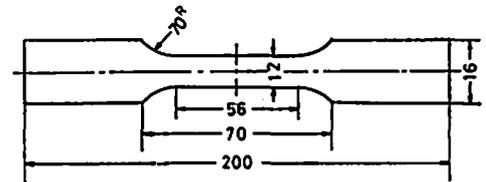


Fig. 4 Dimension of tensile testpiece

異なった試験片を作るために、試験片の厚さを変えた。引張り試験はインストロン型材料試験機を使用した。

3.2 線材配列間隔の変化による荷重-伸び曲線の変化

Fig.5 はアルミニウムを母材としたときの荷重-伸び曲線であり、Fig.6 は鋼を母材とした場合である。この両図共、試験片の断面寸法 (12mm×5.8mm) は一定とし、線材の間隔を変えて、その影響を示した。

3.3 線材含有率の変化による応力-ひずみ曲線の変化

ここでは線材の含有率のみ変化する場合の応力-ひずみ関係を調べた。Fig.7 は母材がアルミニウムの場

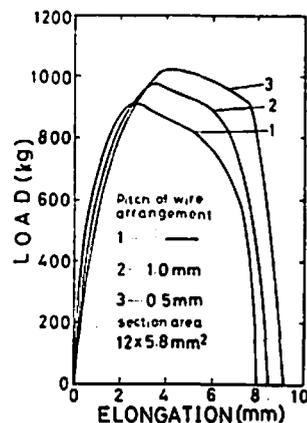


Fig. 5 Load-elongation curves (matrix: A1050P)

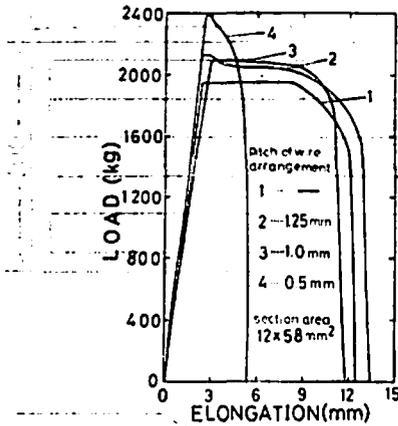


Fig. 6 Load-elongation curves (matrix: TcuP1)

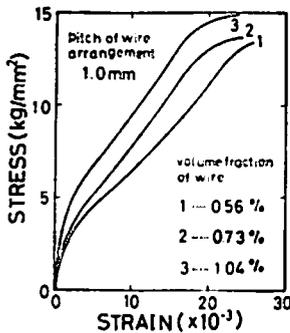


Fig. 7 Stress-Strain curves (matrix: A1050P)

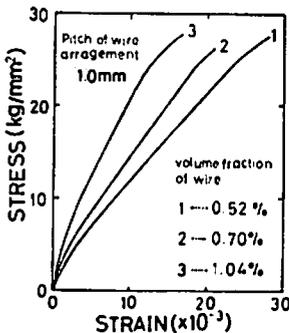


Fig. 8 Stress-Strain curves (matrix: TCuP1)

合であり、Fig. 8 は母材が鋼の場合である。これらの図は引張り試験より得られる荷重-伸び曲線を基にして得られたものである。すなわち、縦軸に示す応力値は荷重値を試験片断面積で割って求めた値である。また横軸に示すひずみ値は伸びの値をチャック間距離で割って求めたものである。図中の各曲線は最大応力値

を示す点までの範囲に限定して示した。

さて、上述のような方法で求めた応力値の正確さについて検討してみると、前述の Fig. 5 (母材がアルミニウムの場合) と Fig. 6 (母材が鋼の場合) の両図における (1) の曲線を比較してもわかるように、母材自体の荷重-伸びの関係に顕著な差異が見られる。すなわち、母材が鋼の場合にはくびれの生ずる点まではほぼ直線状に変化しているが、母材がアルミニウムの場合にはくびれが生ずる以前から塑性変形が始まっている。このような場合は試験片の断面積は逐次変化をきたしているはずであり、断面積は不変なものとして求めた応力値は正確なものとはいえない。したがって Fig. 7, Fig. 8 には以上の理由に基づく誤差が含まれていることを断っておく。

(ここにいう線材含有率は体積含有率をさす。)

3.4 実験結果の考察

(i) Fig. 5, Fig. 6 より

両図とも線材配列間隔 (1 ピッチ) が 0.5mm の場合に高強度を得ている。このことより、高強度を得るための最適配列間隔が存在することがわかる。

(ii) Fig. 7, Fig. 8 より

線材配列間隔を一定にして、線材含有率のみ変化させると、応力-ひずみ曲線はかなり顕著な変化を示す。本実験において、引張り試験機にて材料を引張っている途中、線材の破断音が聞かれるが、この破断音より判断すれば、線材含有率の低い材料は早期より線材の破断が始まり、次々と破断を起して行くが、含有率が高くなると、低荷重の域では線材の破断は起らず、高荷重の域に達して一斉に破断を起す。すなわち、荷重負荷の過程において、母材と強化材 (線材) の負担割合が刻々に変化するものと想像され、線材の含有率によっても両者の負担割合が複雑に変化するものと推測される。Fig. 7, Fig. 8 において、応力-ひずみ線図が複雑な曲線になった理由はここにあるものと考えられる。いま、両図において、含有率の変化による応力-ひずみ曲線の差異を検討してみると、初期の立上りの勾配にかなりの差が生じている。すなわち、線材の含有率を高めることにより、高弾性率の材料が得られることがわかる。

4. 結 言

今回の実験の結果、爆発圧接法により、アルミニウムならびに鋼の母材中にステンレス鋼線を含有させることが可能であり、かつこのようにしてできた複合材料が母材よりも強度を高め、さらに弾性率をも向上させ得ることがわかった。

今回の実験においては、線材の配列は一層のみであり、線材の含有率は最高 1.04% にとどまった。すな

わち、低含有率範囲での材料特性を調べたに過ぎない。今後はさらに含有率を高めるための方法を考案するとともに、母材と線材の圧着機構を究明して、両者の接着強度を高め、さらに高強度、高弾性率の材料を得るよう研究する必要がある。

終りに今回の実験に当り日本化薬株式会社姫路工場

の方々より多大の御協力を得たことを付記し、謝意を表する次第である。

文 献

- 1) 林毅編：「複合材料工学」日科技連，p.385(1971)
- 2) 牧広，島村昭治編：「複合材料技術集成」産業技術センター，p.486 (1976)

Stainless steel wire reinforced metals fabricated by explosive welding method

T. Inoue*, T. Sawada* and S. Morimoto*

In recent years, the studies on reinforced metals have been developed rapidly. The authors carried out some experiments on the metal matrix composites by the explosive welding method. In this experiment, aluminium and copper were used for matrix, and stainless steel wires were used for reinforcement. For loading, dynamite were used in the shape of sheet. Fabricated composite materials were tested by Instoron Material Testing Machine, and the data of tensile were obtained. The conclusions of these experiments are as follows ;

The tensile strength of composites varies with the volume fraction of wire, and the elastic modulus of those varies remarkably by the volume fraction of wire.

(*Junior College of Engineering, University of Osaka Prefecture

**Nippon Kayaku Co. Ltd. Himeji plant)