被覆アーク溶接棒の溶滴移行性について（第3報）*

— 溶滴移行の機構 —

安藤弘平** 西川 淳** 石崎敬三*** 野口幸三***

On the Metal Transferring Characteristics of Welding Electrodes (Report 3)*

— Mechanism of Droplet Transfer —

By Kohei Ando**, Jun Nishikawa**, Keizo Ishizaki** and Kozo Noguchi***

Abstract

In order to obtain the melting surface of slagcovered welding electrode, strong impact was horizontally exerted upon the welding rod in the course of welding. The molten droplet hanging at the tip of electrode was thrown away, and the resulting convex or concave melting surface during welding was observed and measured. In addition to this, specific melting rate (S.M.R.), and mean diameter of droplet (d_{50}), as defined in the previous paper, were measured with five types of electrode at various welding currents and polarities. The results obtained were as follows.

(1) The melting surface of each electrode changes from convex to concave as welding current increases, and the more concave it becomes, the higher is the specific melting rate of the electrode, excluding D4316 type electrode. The changes in melting surface with current are remarkable in case of D4316, being the highest in S.M.R., and in case of D4313 being, the lowest.

(2) The specific melting rate is not affected by the changes in welding current, mean diameter of droplet, or electrode tip pattern.

(3) Difference in specific melting rate, d_{50} or electrode tip pattern, with the polarity of welding current, is rather small compared with that which occurs with the flux type of electrode, and there is no definite rule on the effect.

(4) Small indentations always were observed on the melting surface except in the case of very small current, which might prove direct action of the arc accompanying the indirect action on the bare surface of melting during welding

(5) A new mechanism for detachment of droplet from the tip of welding electrode is proposed, which is based on the rotation of the droplet around the melting surface of electrode, motivated by the interaction between surface tension of droplet and repulsive force of the arc.

1. ま え が き

本研究第1報で 溶接中の溶滴を水中に滴下させ そのまま急冷することにより、溶接棒の溶滴移行性を溶滴の粒度分布図として表現する方法について述べ、第2報では この方法を用いて移行性に影響する諸因子を検討したが、その結果 細粒—粗粒の変化が包被アーク—露出アークの変化¹⁾に対応することを定量的に裏づけることができた。このとき 被覆筒の長さの測定を行なったが、溶接中電源を開いてアークを切った溶接棒の先端を観察すると、高電流のときは 心線中央が凹んで滑らかなのに、低電流のときは不規則な形状の凝固金属により蔽われていることに気付いた。そこで 著者の一人がさ

きに行なった、溶接中母材に衝撃を加え溶融金属を払い落して 溶接時の母材溶融面または凝固面を現出させる方法を溶接棒に応用し、アークによる溶接棒先端の溶融状態を明らかにしようと考えた。

被覆アーク溶接棒の心線の溶融と、溶接時の母材の溶込み生成は、アークにより溶融される点では 全く同じであるから、その一方に起ることは 他にも適用できることが多いであろう。ただし母材の溶込みは 溶接棒のいわゆる吹きつけによって支配され、経験的にもアーク長によりとけこみを加減できるが、溶接棒の溶融は使用電流によってのみ定まりアーク長さに関係しないと思われる。また母材の溶込みは 運棒につれ一方向に進行し、つば（とけこみ面）は 左右対称でその後部は凝固面となるが、心線の場合は溶融は心線の軸方向に進行し、下向き溶接では 方向性はほとんどないから、溶融面は ほぼ回転体面であると考えられる。したがってそれだけ解析も容易であると期待される。

* 原稿受付、昭和38年8月26日（昭和37年度溶接学会春季全国大会にて発表）

** 正員、大阪大学工学部 Member, Faculty of Engineering Osaka University

*** 正員、八幡溶接棒株式会社 Member, Yawata Welding Electrode Co. Ltd.

Table 1 Electrodes used in this experiment

Coating type	Size (mm)	Dia. of coating (mm)	Coating ratio %
D4301	6.0×450	9.10	29.2
D4311	6.0×400	8.30	16.2
D4313	6.0×400	8.90	24.0
D4316	6.0×450	9.40	29.4
D4320	6.0×405	9.30	32.1

Table 2 Slag composition of electrode

Containing type	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	CaO	MgO	BaO	CaF ₂
D4301	28.3	20.1	6.2	11.9	22.7	4.9	1.4	—	—
D4311	24.8	16.1	10.8	16.3	12.7	0.6	3.3	—	—
D4313	20.8	49.4	4.9	6.7	8.8	2.0	0.5	—	—
D4316	17.1	6.4	0.8	13.7	2.4	28.3	0.3	6.7	14.8
D4320	41.5	1.5	7.4	20.3	21.8	0.5	1.7	—	—

本研究の目的は 被覆系の差, 電流の種類および強さを変えた場合の棒の溶融速度, 溶滴大きさ d50 および棒先端の形について測定および観察を行ない 心線の溶融機構について考察を加えようとするものである。

2. 実験方法

実験に用いた溶接棒は JIS 規格市販溶接棒に準じて試作した各種系統の 6mm 棒で, その諸元とスラグの化学成分は Table 1, 2 に示した。

溶接電源は セレン整流型の直流溶接機を使用し, 直流正極または逆極性でアークが切れない程度の 100Amp から過大電流の 300 Amp まで 50 Amp おきに実験した。電流値は予め所定の値に合せてから測定を行なった。

溶滴大きさは, 第 1 報で詳述した方法で採取した急冷試料から 積算重量比が50%のときの中実球と見なした粒子直径 d50 を求め, これで示した。測定は 各電流値および極性毎にそれぞれ 2 回づつ行なったが 再現性はきわめて良好であった。結果には平均値のみかかげた。

溶融速度については, はほぼ全長を溶かすに要した時間を測定し, 溶融速度 (mm/min) を求め, 心線重量より計算した比溶融速度 S.M.R. (mg/sec. Amp) で表示した。溶融速度は 鋼板に対し下向き溶接によって測定したが, カーボン電極に対した場合でも電流値が同じであれば差は認められなかった。

下向溶接中先端から 1.5~2 cm 溶かしたとき, 横方向にハンマーで棒に強い衝撃を加え, アークを切ると同時に先端に付着した溶滴を払い落とし, 得られた溶接時の溶融面についてその形状を観察し, 10ヶの試料についてその凹凸の程度を測定した。

3. 実験結果

心線先端の溶融面の形は 棒の種類および溶接電流により変化する。概して電流の低いときは 中央部が突出しているが, 電流を増すとしだいに平坦になり, さらに逆に中央が凹んでくることが観察された。この傾向を定量化するために Photo. 1 に示すような 6 個の標準形状を選び, 凸形から凹にわたる 1 から 6 までの形状番号 T.N. を付した。すべての試料の溶融面を標準試料のそれと比較し形状番号を判定して棒種, 電流の種類および電流値ごとの形状頻度分布図を描いたものが Fig. 1 である。

上述の傾向は 何れの場合も認められるが, 電流の増加による凸より凹への傾向は 棒種により著しい相異が

Photo. 1 Various patterns of electrode tip with various welding current

Fig. 1 Type number frequency diagrams of various electrodes with various current and D.C. polaris

ある。しかし電流極性によるその傾向の差は ほんの少しである。

つぎに Photo. 1 の心線断面図に示したように、溶融面と心線側面の交線を基準にとれば、心線中央の凹みあるいは凸出は 正負の心線先端深さ T.D. (mm) で示することができる。Fig. 2 にはこれを実測した平均値を電流値に対してプロットした。同時に前述の形状番号の平均値、平均溶滴大きさ d_{50} (mm)、溶接棒の比溶融速度 S.M.R. (mg/sec. Amp) 等も同様にしてプロットした。

Fig. 2 の各棒種別の曲線は 比溶融速度 S.M.R. の大きい順に並べた。D4316 を除く 4 種の被覆は有機物を多量に含み $\text{SiO}_2\text{-TiO}_2\text{-FeO-MnO}$ を主成分とするスラグを作る点で本質的に類似しており、まづこの 4 種で T.N. および T.D. 曲線を比較すると、比溶融速度が小さくなるに伴ない溶融面はしだいに凹から凸の方に移行するようである。

溶滴大きさ d_{50} は 一見溶融速度の中等程度の D4301 が最も細粒で溶融速度の最大の D4316 および最小の D4313 が粗粒であるようである。

Fig. 2 に明らかなようにいずれの数値でも極性による差は比較的少なく棒種による差の方が大きい。溶融速度の場合、これまで言われているように逆極性の S.M.R. が被覆タイプによって不変ということではなく傾向がつかめなかった。D4301, D4320 のみ正極性が溶融速度が大きく他の 3 種は逆であった。

溶融速度の大なる極性で溶融面がより凹の傾向を示すのは D4313 の場合だけで、他はすべて逆の傾向を示し

た。注目すべきは先端形状 T.N. または T.D. が電流により著しく変化しても比溶融速度はほとんど変化しないことである。D4316 は 比溶融速度は最大であるのに D4320, 01, 11 等よりはるかに広い範囲に溶融面の形状が変化し、また高電流でも溶滴大きさが小にならず 甚だしい粗粒移行を示す点で、著しい特性がある。面白いことに S.M.R. が最小の D4313 も程度は低いと同様な傾向がある。

D4320 のほかは溶滴大きさ d_{50} は全部溶融速度の大きな方の極性の場合により小さい。

4. 考 察

4.1 心線溶融面

溶接中 溶接棒に横方向から打撃を加えるとき、いかに急速な打撃であっても溶滴の一部は残留して溶接中の心線溶融面上に凝固し、あるいは 心線の露出面が拡大しつつある間にこの面が新たにアークにより溶融されることを免れない。このようにして得られた心線の端面が真の溶融面にどれだけ近いかは 判別し難いことであるが、これには二つの手がかりがある。

第 1 に打撃を急速にすればするほど残留溶滴が少なく 真の溶融面に近いものが得られると考えられることで、第 2 は残留した溶滴の形は接触角の存在にもとづき特有の形状を呈することである。以下これを事例について説明する。

Photo. 2 は 裸棒を溶接中打撃して得られた心線端面で、A 試料の下半部の比較的滑らかな面は真の溶融面と考えられる。上半部はこの溶融面上に溶融金属が流れ

Fig. 2 Relations between specific melting rate (S.M.R.), mean diameter of droplet (d_{50}) and type number (T.N.) or tip depth (T.D.) of various electrodes, with various welding current.

Photo. 2 Bluntly edged tip of bare electrode obtained by means of blowing the electrode with a hammer during welding

Photo. 3 Sharply edged electrode tip of D4313 obtained in the same means

つつ、その一部が凝固薄層となり大部分が掃い落された痕である。中央を劃する溶融面と凝固薄層との境目を見ると、溶融金属は 固体金属に対し濡れ難くかなり大きい接触角をもつことが想像される。凝固薄層の境界近くに見える凹部はそこだけ溶融金属の膜が切れその下の固体面を露出したもので 露出面の境界はニス塗りの机の上の水膜のように明りような接触線となっている。B 試料の周囲は 同様溶接中の溶融面であり、その上の幾重にも重なった等高線様の形は 溶融面上に残留した金属液滴が凝固面に対し一定の接触角を保持しつつ凝固した急冷凝固体である。これについては別報²⁾で詳論するが、この形は 接触角の存在を実証するものである。

Photo. 3 は 被覆棒の場合の 1 例で、ハンマーによる打撃が十分でなく、かなりの溶滴を残留した場合である。写真の上方周辺付近の滑かな面は 真の溶融面で、中央近くの山は急冷円錐²⁾でこれも接触角の存在を実証するものである。その中間のアバタ状の面は 溶融面上に薄い液膜が残っていたときにアークが局部的に飛び、電極点近くの溶融金属膜を押し除けてその下の心線溶融面を露出すると同時に その場で急冷凝固されたものと考えられる。

このような急冷凝固層または凝固体を識別できれば、その下にある溶接時の真の溶融面を推定できる。打撃が十分大であれば少なくともマクロ的の観察には支障はないものと考えられる。

裸棒と被覆棒の溶融面の大きな差異は、裸棒では Photo. 2 に示すようにつねに端面のかどは丸みをおび、溶融面の凹凸が少ないのに対し、被覆棒の端部は角ばっていることである。Photo. 1 に示すごとく 一般に高電流では溶融面は全体が滑らかな凹みであるが、電流が低くなるとともに中央の凹みのほかに溶融面の周囲に沿った不規則な小凹点または溝が見られるようになり、このため心線端は角ばっている。このような小凹点は「アーク溶接現象に関する界面張力理論」第 4 章³⁾に詳述したつばの前縁に沿った小凹点に酷似しており、アークの直接作用の証拠と考えられる。

安藤の高速度写真による観察によれば、裸電極棒では アークはつねに溶滴より発生しているが、被覆棒の場合は 被覆筒より突出した溶滴上に電極点があるときと、被覆筒の内部よりアークが出ているときがある⁴⁾。本研究の一つの目的は溶融面の形から被覆アーク溶接棒の場合のアーク発生場所を明らかにすることにあったが、その結果は 6 mm の棒に対し 150 Amp というような過小電流で、d 50 がきわめて大きく肉眼によっても著しい粗粒移行を示す場合でも、周辺部の小凹点が存在する事実によって少なくともアークの一部は直接に心線（露出面）より出ていること、換言すれば心線はアークの直接作用によっても溶融していることが確かめられた^{脚注}。

4.2 溶滴落下の機構

本研究の第 2 報で溶滴の生成機構には 心線の溶融と棒端よりの溶滴の離脱の 2 段階を考えなくてはならないと述べた。前者を支配するものは熱の授受であり、後者は溶滴の心線に対する付着力とこれを分離しようとする外力の関係として考えるべきである。ここで外力というのは、溶滴に加わる重力、被覆から発生するガスが溶滴に当る際の衝風力、または電流によるピンチ力等を考えるのが普通であるが、ここではアークが電極点でその周囲に及ぼす圧力について考えてみたい。

このような圧力が存在することは 簡単な実験により確かめることができる。Photo. 4 は 溶接棒をビードができない程度に速くアーク長を長く保ちつつ鋼板上を走らせた後の鋼材表面であるが、アークが飛び飛びに母

脚註 最も突出した形を示す D4316 で再検討したところ、直流正極性でも 80 Amp および 100 Amp では 溶融面は鈍頭の円錐状で Photo. 1 No. 1 のような周辺部の凹点は見られない。150 Amp になるとときには凹点が現われる。他 種 の 棒 では つねに小凹点が見られた。興味深いのは正極と逆極で 溶融面 の 凹点 の 状態 に は と っ と 差が見られないことである。

Photo. 4 Metal drop blown away by the arc force

材を溶融すると同時に溶融金属をその周囲に吹き飛ばしていることが明りように察せられる。Photo. 4 に示したアバタの面もこのようなアーク圧力の痕跡であろう。アーク圧力がこのように電極点を中心として周囲に及ぶものであれば電極点の近くに他の物体があるときはこれに当たったアーク圧力は逆にアーク自体に対する反撥力となってアークを動かす筈である。

裸棒の溶滴上の電極点はわずかのアーク圧力を溶滴に及ぼすだけであるが、心線の周囲に被覆筒がある場合は溶滴の側面上の電極点に働くアーク圧力は被覆筒のために溶滴を強く押して凹ませるとともに、アーク自体も被覆筒の壁におされてこれと溶滴の間を通ることになる。Photo. 1 に示したように、小凹点または溝状の凹みがふちよりいくらか内側に入った位置に並んでおり、心線の端部が角ばっているのは、このような被覆筒の作用に基づくもので、これがない裸棒の場合と本質的に異なる点である。

溶接中の電極点の位置をこのように推定し得れば、心線の溶融機構は Fig. 3 のように考えられる。3組の

Fig. 3 Schematic diagram showing the melting mechanism of electrode core

小凹は母材方向より見た被覆筒の中の状況を示し、心線に付着した溶滴接触面 l と露出した心線の固体面または溶融面（ハッチを施した面）を描いてある。前述のごとくアーク圧力は溶滴を被覆筒より押し除けるように働くので、溶滴は断面図に示すように凹んだ形をしており、アークは露出面上を移動しつつ直接にこれを溶融すると考える。このような固体の凹面と溶滴との関係は前報⁴⁾で詳述したつばと母滴との関係と本質的には変りない。母滴に対しては、露出面に対するアークのとけこみ作用と、母滴の界面張力との共同作用により、母滴とアークはつばの前方で揺動することを述べたが、この場合つばは線対称形で、したがって同様な原因による溶滴の運動も一方向への廻転となり、アークは廻転する露出面を次々に溶融すると考えられる。

電流が小でアーク圧力も小さいときは、心線露出面も小さいであろう。このときは T.N. 1 の列で示したように、溶滴が心線の溶融により増大すると露出面はしだいに減少し、アークの作用はいよいよ周辺近くに局限されるが、溶滴が落下し露出面が増大すれば、アークは再びより内方にも作用し得るようになる。溶滴の大部分が移行後も残留するとすると、心線の中央部は露出する機会がなく、アークの直接作用がおよばないので、この付近が凸出するであろう。

逆に T.N. 6 のように電流が大きいときは心線露出面も広く、心線中心部は常時露出した状態にあるが、周辺部は却って間けつ的に溶滴で蔽われアークの直接作用がない時間がある。これが電流が過大のとき、どの棒でも心線端面が凹面となる理由である。

Fig. 3 の T.N. 1 の溶滴落下直前の状態と、T.N. 3 の溶滴落下直後の状態とは露出面の広さにおいて同程度であるが、この対応する時期に衝撃が与えられれば溶接棒の溶融面の形も同様である筈である。これが Fig. 1 に示した心線端の形状係数にばらつきがある理由である。

4.3 溶融速度と溶滴粒度の関係

吉田、阿部、尾上⁵⁾は各種被覆アーク溶接棒の移行現象について研究し、D4301 をスプレー移行、D4316 をグローブラー移行、D4311 を爆発移行と分類している。本研究に使用した溶接棒は尾上のそれと同じでないが、被覆系により溶滴粒度分布に差異があるかどうか、捕集した溶滴について検討してみたが、これを裏づけることはできなかった。

また極性によっても明りような粒度分布の差は見出せない。Fig. 4 には測定した粒度分布曲線全部すなわち被覆系、電流を変えた場合について示してある。それぞれの分布曲線はほとんど平行して走り、唯一つのパラ

Fig. 4 Summary of size distribution diagram of droplet of various electrodes

メーターで粗粒から細粒までの分布を表現し得るようである。それからみて粒子の離脱に及ぼす電流または被覆の影響は同質であるように思われる。

単に溶滴粒度のみならず比溶融速度、Type Number においても極性の差は被覆系の差に比べれば比較的少ない。とくに比溶融速度は 正極では著しく変化し得るが逆極では被覆によって変らないという従来の考え⁶⁾はこのように比較的厚被覆の場合には成立しないのではないかと思われる。

溶滴の離脱機構を前節のように考えれば、溶滴の大きさと心線端の溶融状態には密接な関係があるはずである。そこで Fig. 2 の結果から mean Type Number,

Fig. 5 Relation between type number and mean droplet diameter with various electrodes

Table 3 Comparison of mean arc voltage, specific melting rate, type number at 3mm d50 and contact angle of various electrodes

Coating type*	Mean arc voltage	Specific* melting rate	Type number** at 3mm d50	Contact angle***
D4316	28.5(1)	3.35(1)	5.4(2)	67(2)
D4320	28.5(1)	3.15(2)	5.5(1)	79(1)
D4301	27.0(3)	3.00(3)	5.2(3)	61(3)
D4311	20.1(4)	2.65(4)	4.9(4)	—
D4313	20.0(5)	2.70(5)	3.7(5)	59(5)

* Mean values with both polarities of D. C. current 250Amp.

** d50 : Diameter of droplet at 50% cumulated weight percentage in the size distribution diagram of droplet

*** Mean solidifying angle of the surface of penetration, (3) and assumed tentatively to be equilibrium contact angle characteristic to the electrode.

T.N. と溶滴の平均直径 d50 の関係をプロットしてみると Fig. 5 のように示される。ただし S.P., R.P. の差は 被覆系の影響に比し少ないと考え、それぞれの平均値をとった。D4320, 01, 11 の高電流から低電流までの各点は ほぼ平行した斜線群上にあり、溶滴が小さくなるほど 心線溶融面は凹になる傾向を示している。上から 20, 01, 11, 13 の順序は また平均比溶融速度の大きい順であり、これが最大の D4316 は はなはだしい特殊性を示しているようであるが、これも電流の大きい 2 点はほぼ S.M.R. の大小の順を満足している。

Table 3 には 各被覆系の諸量間の比較を行なったものである。mean arc voltage は 直流 250 A で下向き溶接を行なったときの正極および逆極の際の溶接電圧を平均したものである。また S.M.R. d50 は 同様 S.P., R.P. の平均値である。最後の接触角 Contact angle は 下向き溶接時のつぼの凝固角で、暫定的には 平衡接触角と考えられるものである⁷⁾。このような諸量は T.N. と接触角で 16 と 20 と逆になっているほかは全部表示した順になっている。

この程度のデータから推論することは早計ではあるが、もし前節の機構が正しいならばつぎのごとく考えられる。1 回に移行する溶滴が同じなら溶滴接触角が小さいほど残留する溶滴は多いはずで、アークのふきつけ力が同じように働くならば心線端の露出面も小さく、したがって 心線端は凸型になるはずで 事実もそのとおりである。アーク電圧と比溶融速度 S.M.R. は密接な関係があるのは当然であるが、これらと T.N. および接触角の大小の順が一致することは、本質的な理由によるものか偶然の一致かこの実験だけでは決められない。

5. ま と め

棒径 6 mm の D4316, 20, 01, 11, 13 被覆アーク溶接棒を用い 直流正, 逆極性において 100~350A までの溶接電流でアークを発生させている間に横方向から棒に強い衝撃を与え, 溶滴を払い落して心線の溶融面を現出させ, 凸形から凹形にわたるその形状の変化の傾向を明らかにし, これと関係すると思われる諸量, すなわち比溶融速度 S.M.R., 平均溶滴粒度 d 50 およびアーク電圧を測定した. 得られた主な結果はつぎのごとくである.

1. 何れの溶接棒も電流が小さい場合は 溶融面は凸形であるが, 高電流になると凹形になる. 16および13はとくにその変化が著しく, 16を除いては S.M.R. の大小の順に凹形から凸形の傾向になる.

2. 比溶融速度は 電流のみならず d 50 および先端形状が著しく異なってもほとんど一定である.

3. 極性による S.M.R., d 50, 先端形状の差被覆系の差に比すれば小さく, S.P., R.P. の場合の大小も傾向が明らかでない.

4. 非常に低電流の場合を除き 得られた溶融面にはアークの直接作用点と見られる凹痕があり, 少なくとも一部は直接心線露出面からアークが出ていたと思われる.

5. これらの事実から 心線の溶融端面に付着した溶滴が 露出面に対するアークの吹つけ作用と接触線における界面張力による付着力との関係で旋廻しつつ成長し, ある大きさで離脱する模型を考えることにより, ある程度現象を説明することができた.

参 考 文 献

- 1) 安藤「溶接アーク現象」産業図書 1962 p 231
- 2) K. Ishizaki "On the Bead Formation" Report Presented at Inst. of Welding (Brit.) 1962 Oct.
- 3) 石崎「アーク溶接現象に関する 界面張力理論—第4章」溶接学会誌 Vol. 32 (1963) No. 3
- 4) 石崎「アーク溶接現象に関する 界面張力理論—第3章」溶接学会誌 Vol. 32 (1963) No. 2
- 5) 吉田, 阿部, 尾大「被覆アーク溶接棒の溶着現象」(第一報) 講演概要 溶接学会誌 Vol. 31 (1962) No. 3 P 187
- 6) 安藤「溶接アーク現象」産業図書 1962 P 310
- 7) 石崎, 熊谷「アーク溶接現象に関する 界面張力理論」講演概要 溶接学会誌 Vol. 31 (1962) No. 3 P 186

次 号 予 告

講 議

☆超高張力鋼の溶接上の問題点 増 淵 興 一

資 料

☆アルミ薄板の溶接 中 根 守 久

☆鋼管の高周波誘導溶接 上 山 文 男

論文および報告

☆再現溶接金属の連続冷却変態図 { 木 鈴 西 鈴 下 原 木 垣 春 道 博 義 夫 茂 久 一 和 仁

☆鋼合金の溶接における "Pre-Peening" の効果 { 前 内 小 田 木 杉 生 蔵 夫 豊 虎 貞

☆多数の溶接機が接続される△結線 (またはV結線) の3相電源の熱的容量の算定 安 藤 弘 平

☆アーク溶接現象に関する界面張力理論 (第6章) 石 崎 敬 三

☆ステンレス溶接部のX線異常深傷像 { 藤 井 政 夫 佐 土 井 治 文 実 士