

ポリエチレン管の超高速・低コスト接合法の開発とその評価

長谷川 正義

小澤 泰裕, 木村 政雄 (アサダ株式会社)

1995年の阪神・淡路大震災以降、ガスおよび水道管は鋼管から可とう性が高く、耐震性に優れたポリエチレン管に交換されている。現在、我が国ではポリエチレン管の本管、支管および栓の接合法として、ニクロム線の埋め込まれた高価なソケットに通電、加熱し溶融接合させるエレクトロフュージョン法が採用されている。しかし、エレクトロフュージョン法は時間がかかる上、接合面の入念な清掃作業が必要となるため、接合にかかる費用が著しく高い。そこで、本研究室では摩擦圧接接合法を用いたガス用ポリエチレン直管の超高速・低コストの接合法を開発し、すでに公表してきた。本研究では既報の直管の摩擦圧接法を利用して、不要となったガス管の栓溶接を安全に行う方法について検討したので報告する。

1. はじめに

ガスは通常道路下に埋設されている本管から、地中の支管を通して家屋あるいは工場に送られている。そのため家屋や工場が移転し、ガスを使用しなくなっても支管だけが地中に残る。この土地を再利用するため更地にする際には重機が用いられ、その重機により埋設されているガス管を破損させ、ガス爆発の危険性がある。したがって、このような破損を防止するため、支管はできる限り本管の近くで切断・撤去した後、栓をして完全にガス漏れがないようにする必要がある。現在、栓溶接には接合部に埋め込まれた電熱線に通電してソケットを溶融接合させる EF 法が採用されている。しかし、近年のガス工事はガスの供給を止めずに作業を行っているため、コントローラーの電源を先に入れて、その後、発熱体を接続した場合、火花が散りガス爆発の危険性があるばかりでなく、この工事は複雑でコストがかかる。そこで、本研究では既に開発したテーパー付ポリエチレン管の迅速かつ低コストの摩擦圧接接合法¹⁾を利用してポリエチレン管の栓溶接を行った。この方法を用いれば、摩擦熱のみで接合するためガス爆発の危険性がないが、摩擦のためのモーター内では絶えず火花が散っているので、回転を伝える軸にフレキシブルシャフトを用い、遠く離れたところに置く必要がある。これによって高価なソケットを用いない低コストが実現するのみならず、ガス爆発の危険性のない施工が可能となるものと思われる。

2. 実験方法

本研究で用いた供試材料は、呼び径 30 (外径 $D=42.0\text{mm}$, 内径 $d=33.6\text{mm}$, 厚さ $t=4.2\text{mm}$) のポリエチレン管および栓には呼び径 40 の高密度ポリエチレン丸棒を切削して使用した。本研究では密度の異なるポリエチレンを接合するため、高密度および中密度ポリエチレン管を用いて摩擦圧接を行い、引張試験により接合面の強度および接合状況を電子顕微鏡で調べた。Fig. 1 は摩擦圧接による栓溶接に用いた試験片の形状および寸法である。開先形状を $5\sim 15^\circ$ のテーパーにしたのは接合面にくさび効果が働くことにより、大きな面圧が生まれるので温度上昇が早くなり、また接合面も広がるので強度が増大することが期待できるからである。ここでは、栓の長さを 160mm と

長くしたが、それは引張試験を行うためであり、施工用の栓は約 50mm である。接合長さ $L=20\text{ mm}$ と一定とし、テーパ角 θ を種々に変化させ、摩擦トルクを測定し、適切な θ を決定した。

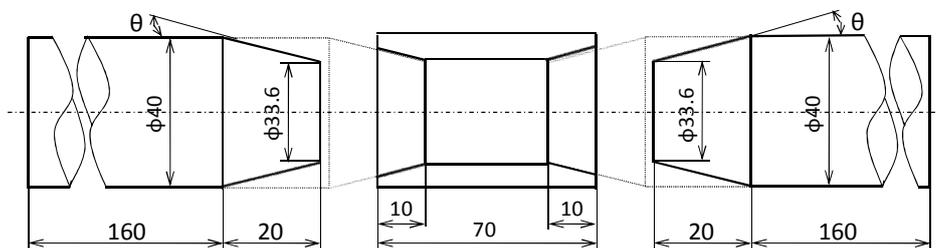


Fig. 1 Shape and size of tension test specimen (mm)

Table 1 はガス用ポリエチレン管の摩擦圧接栓溶接法の圧接条件を示したものである。回転数 $N=60\text{ s}^{-1}$ を一定とし、摩擦推力 $F_1=F_2=100\sim 300\text{ N}$ およびより速度 $V=10\sim 100\text{ mm/s}$ に変化させて摩擦圧接を行った。一般的に摩擦推力およびアップセット推力は接合面の断面積で割り、圧力で示されることが多いが、このテーパ摩擦圧接法では摩擦圧接中に接合面が増大していくことから、圧力で示すことは難しい。よって、このテーパ摩擦圧接法では接合面にかかる圧力を示すのではなく、摩擦推力およびアップセット推力で示すこととした。

接合面の温度測定にはクロメル-アルメル熱電対を用いた。継手の評価は引張試験および気密試験を行った。

Table 1 Friction welding conditions

Friction Pressure $F_1(\text{N})$	Upset Pressure $F_2(\text{N})$	Rotation Speed $N(\text{s}^{-1})$	Upset Time $T_2(\text{s})$	Travel speed $V(\text{mm/s})$	Burn-off length $L(\text{mm})$
100~300	100~300	60	60	10~100	20

3. 実験結果および考察

高密度および中密度ポリエチレン管の摩擦圧接を行い、引張試験を行った。その結果を Table 2 に示す。試験片は中密度側の母材で破断した。引張強さは 17.8 MPa で伸びは約 580% であり、母材の 18.6 MPa および 600% と同程度の値が得られた。

Table 2 Result of tension test

	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Base	18.6	600
Joint	17.8	580

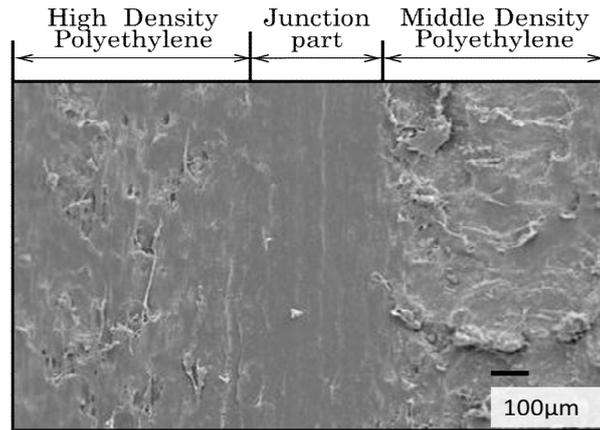


Fig.2 SEM photograph of joining part

Fig.2に接合部のSEM写真を示す。写真中央の縦に伸びる帯状の層が接合面である。接合部では高密度および中密度ポリエチレンの間には明確な境目が見られないほど一体化していることから、中密度ポリエチレン管の栓溶接において、高密度ポリエチレンを使用できるものと考えられる。

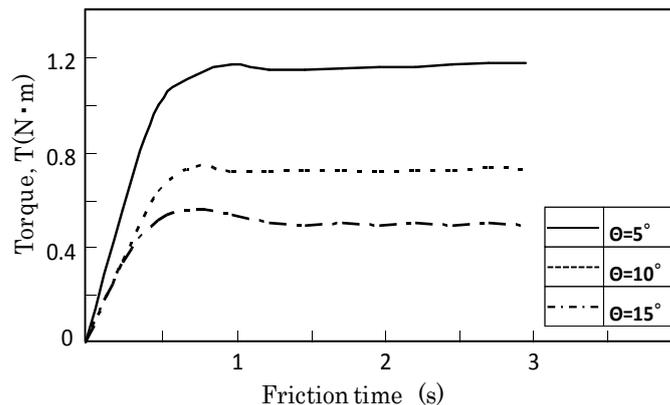


Fig.3 Effect of friction time on torque

Fig.3は $F=100\text{N}$ および $N=60\text{s}^{-1}$ を一定とし、 5° 、 10° および 15° に変化させた場合のトルク曲線の変化を示したものである。摩擦トルクはいずれも接触後約 0.5s の間に急激に立ち上がり、その後はほぼ一定となることが認められた。これは、接触後約 0.5 秒までは固体接触であるが、その後温度が上昇し、流体接触となるために、接合面積が増大してもトルクはほぼ一定となるものと思われる。 $\theta=5^\circ$ の場合の初期トルク T_1 は $1.2\text{N}\cdot\text{m}$ であり、 $\theta=10^\circ$ および 15° と角度を大きくすると約 0.8 および $0.5\text{N}\cdot\text{m}$ にまで低下した。これはくさび効果により θ が増加すると垂直応力が減少し、摩擦力が低下したためである。これらの結果より $\theta=5^\circ$ において最も大きな摩擦トルクが発生することが明らかとなった。これは同じ推力でもより大きな面圧が発生していることを示し、摩擦熱も増大することから最も発熱効率が良好であると考えられるため $\theta=5^\circ$ と決定した。

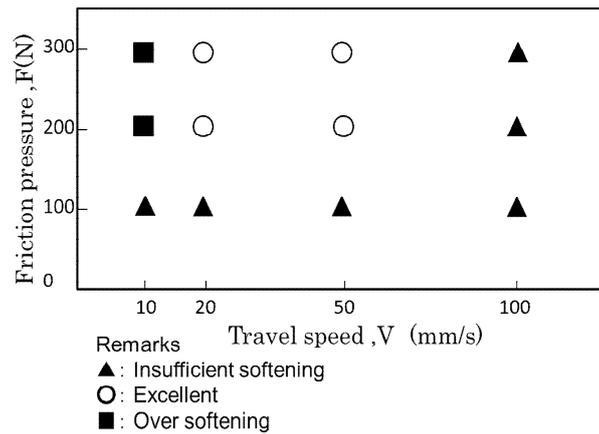


Fig. 4 Effect of friction pressure and travel speed on appearances of welded joint

Fig.4に種々の条件で圧接した結果を示す. 同図中に示す○印は, ばり形状が良好となる場合のものである. ▲印は発熱不足のため, ばりに光沢のない状態のものであり, ■印は溶融過多により外観が不良となった場合である. 同図より, $V=100\text{mm/s}$ および, $F=100\text{N}$ の場合はいずれの場合も光沢のないばりが発生した. $F=200$ および 300N の場合に, V を 50mm/s および 20mm/s と低くすると光沢のあるばりが発生した. $V=10\text{mm/s}$ では溶融過多によりばりの外観が悪くなる様子が観察された.

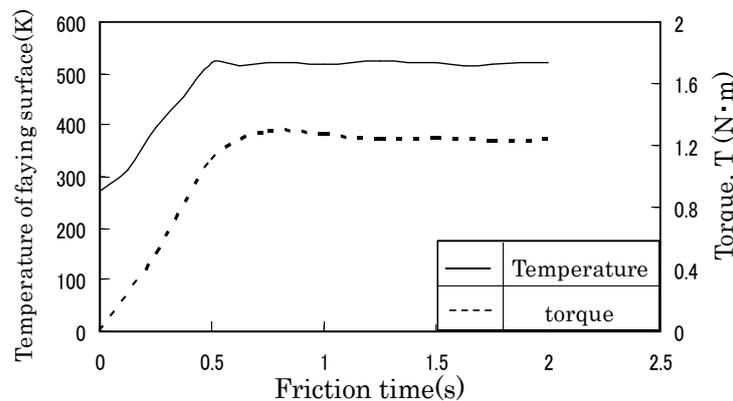


Fig.5 Effect of friction time on temperature of faying surface and torque

ここで, 摩擦圧接中の接合挙動の変化について考察する. 本研究のテーパ摩擦圧接法では, 前述の Fig.3 に示すとおり, 摩擦初期にトルクが立ち上がるまでの時間が非常に短く, 定常状態に到るまでの時間は約 0.6s である. そのため, 温度上昇が早く摩擦開始直後に接合面が軟化及び溶融しているため, 摩擦初期のポリエチレン同士が硬い時に摩擦により粉が発生する時間が短く, 溶融する以前に発生した粉はその後, 溶融ポリエチレンと一体化したものと考えられる. そこでこの現象を調べるため, $N=60\text{s}^{-1}$, $F=200\text{N}$, $V=20\text{mm/s}$ の圧接条件において, 熱電対を用いて接合面の温度測定を行うと同時に, 摩擦トルクの測定を行った. Fig.5 にその結果を示す. 摩擦初期の温度上昇は著しく, 摩擦開始後 0.3s には融点である 400K を超えて, その後 510K ほどにまで上昇している. 粉の発生はこの 0.3s までの短い時間であり, その量も極めて少ないものと考えられる.



Fig.6 Appearance of broken tension test specimen

Table 3 Results of tensile test

	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Base	18.6	600
Plug	17.0	520

Fig.6 および Table 3 は引張試験後の試験片の一例とその結果である。接合面のはく離は観察されず、母材から破断した。引張強さと伸び率は 17.0MPa および 520%であり、母材の 18.6MPa および 600%と比べると、やや低い値が得られた。これは、栓の先端付近から破断していることから、接合面の栓と管の段差による応力集中のためと考えられる。

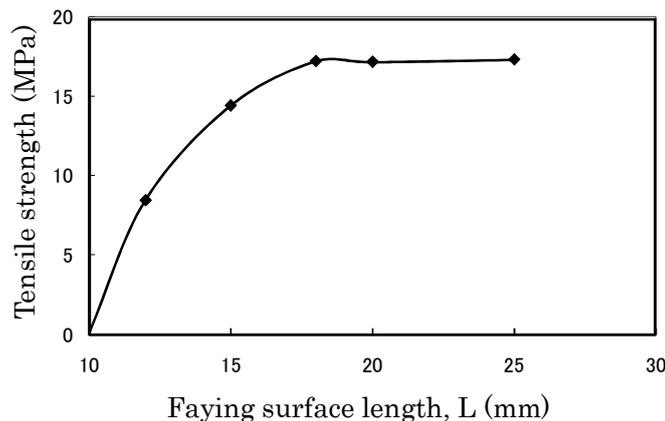


Fig.7 Effect of faying surface length on tensile strength

接合長さ $L=20\text{mm}$ が強度を有するのに十分な長さであるのかを調べるため、 $N=60\text{s}^{-1}$, $F=200\text{N}$, $V=20\text{mm/s}$ の条件で L を種々に変化させて摩擦圧接し引張試験を行い、 L が引張強さにおよぼす影響を調べた。Fig.7 にその結果を示す。 $L=12\text{mm}$ の場合は 8.5Mpa (継手効率 45%) で接合部から破断したが、 $L=15\text{mm}$ では引張強度が 14.4Mpa (同 77%) にまで上昇し、 $L=18\text{mm}$ 以上のものはいずれの場合も母材から破断した。この結果より、安全を見た上で $L=20\text{mm}$ で問題はないと考えられる。

ガス管は地中に埋設されているため現場での作業時には土や泥が接合部に付着することが考えられる。現在ガス管の栓溶接に採用されている EF 法での接合は、泥などの汚れは拭き取らなくてはならず、その上、スクレーパーで接合面を削り、アセトンを染み込ませたペーパータオルで表面の油脂を拭き取るなどの入念な清浄作業が必要となっている。それらの作業にかかる時間および材料がコスト高の原因となっていると考えられる。しかし、摩擦圧接法での接合の場合は摩擦により常



Fig.8 Appearance of specimen
with mud



Fig.9 Appearance of section
with mud

に新しい面が出ているため、接合面が泥で汚れている場合でも、十分な強度を持つ継手が得られると考えられる。そこで Fig.8 に示すように、あらかじめ多量の泥を故意に接合面に付着し、摩擦圧接を行い接合挙動の観察および引張強度を調べた。Fig.9 は摩擦圧接終了後の継手断面の写真である。粒径の大きな泥は回転とともに接合面から飛散した。接合面に付着した残りの少量の泥も摩擦によりはく離し、ごく少量の汚れはばりとともに継手内部に排出されて熔融ポリエチレンと一体化した。したがって、接合面に泥が残存するなどの現象は全く見られず、清浄な状態で圧接した継手と同等の外観となった。引張試験を行った結果、引張強さが 16.9MPa、伸びは 500%であり、接合面が清浄の場合のものと同程度の値が得られている。この結果から、摩擦圧接法による栓溶接では接合面が泥で汚れている場合においても強度および伸びは保持されることが確認された。気密試験を行った結果、漏れは確認されず気密性は保持されているものと言える。

4. おわりに

ガス用ポリエチレン管の迅速かつ低コスト接合法として摩擦圧接栓溶接法を開発した。得られた結果は次のとおりである。

- 1) テーパー付き摩擦圧接法では摩擦初期のトルクの立ち上がりが非常に早く、発熱量が大きいいため、接合面の温度は瞬時に融点を超えるので、著しく短時間で接合が完了することが明らかとなった。
- 2) この方法は従来の方法に比べ著しく迅速で低コスト施工法である。
- 3) 摩擦圧接による栓接合部は、十分な引張強さを有すると共に、気密性も保持していることが認められた。
- 4) 接合面が泥で汚れている場合でも摩擦により接合面は常に清浄な状態となり、接合強度に影響はなく、十分な強度および伸びが得られた。

参考文献

- 1) 長谷川 正義, 山口 陽輔; 摩擦圧接によるポリエチレン管の迅速及び低コスト接合法の開発, 溶接学会全国大会講演概要, 第 81 集, (2007), p. 186-187