ガス用ポリエチレン支管の摩擦圧接および非掘削道路施工法の開発*

長谷川正義**, 山口 陽輔***, 海野 輝****, 古川 ゆみ*****, 浅田 一吉*****, 小澤 泰裕*****

Development of Joining Method of Polyethylene Branch Pipe for Gas and Non-Excavation Construction Method*

by HASEGAWA Masayoshi**, YAMAGUCHI Yosuke***, UMINO Akira****, FURUKAWA Yumi*****,
ASADA Tadayoshi***** and OZAWA Yasuhiro*****

The purpose of this study is joining main and branch gas pipes by friction welding without digging a paved road. By this development, only making a hole at vertical side of the paved road, the branch pipe can be connected to main pipe. In this study, an end face of branch pipe was welded to a side of main pipe. Furthermore, in consideration that gas main pipe is laid in the ground, an influence of mud on joining state is examined.

The experimental results are as follows;

- 1) Branch pipe welding without digging a paved road was enabled by friction welding method.
- 2) Developed method does not require digging and repairing the paved road. Therefore, construction cost can be reduced, and traffic is not obstructed.
- 3) Tensile strength and elongation of branch pipe friction welded joint were 17.7~17.8MPa and 520~525%, respectively. These were nearly equal to those of the base polyethylene.
- 4) A large amount of mud was eliminated from faying surface by friction. Therefore, the influence of the mud on tensile strength and elongation was not recognized.

Key Words: Friction welding, Polyethylene, Branch pipe, Main pipe, Low cost, Development, Joining method

1. 諸 言

阪神・淡路大震災においてガスおよび水道用ダクト、パイプ、あるいは鋼管（以下、これらを鉄管という）は壊滅的な打撃を受けたが、ポリエチレン管の破壊箇所は全く認められなかった。これを契機に鉄管からポリエチレン管への交換工事が大都市から始まり、現在では地方都市に移りつつある¹⁾。ガスの本管は舗装道路の端から約 1200 mm および道路表面から深さ約 600 mm の箇所に埋設されている。したがって、支管が新しく必要となった場合には舗装道路を破壊し、本管が露出するまで泥を掘削して支管の接合が行われている。我

が国では本管に支管を接合するには、電熱線入りの高価なエレクトロフュージョン法継手（以下、EF 法という）のうち、支管付きサドルが採用されている。さらに、支管接合工事を行った後、掘削した泥をもとに戻して再舗装する必要がある（以下、この工法を従来法という）。これらには莫大な費用を要するのみならず、道路は通行止めか片側通行となり、通行車両に多大な迷惑をかけている。

そこで本研究では、これらの一連の工事による莫大な費用、通行車両の迷惑および高価な EF 法を用いる支管接合法を改善するため、摩擦圧接による支管接合法により舗装道路には一切触れず、道路端面の歩道あるいは道路路面から摩擦圧接機を設置して接合工事ができる深さまで堅穴を掘削し、本管に支管接合できる位置まで水平な横穴をあけて本管に支管を接合する方法について検討した。この場合、道路端面から掘削した堅穴に設置した摩擦圧接機のチャッキング部の長さ約 100 mm に道路端面から本管までの長さ 1200 mm を加えると約 1300 mm と長尺となるので、まず、支管をチャッキングする前に湾曲しているポリエチレン管の真直度を 2 mm 以内に高めた後、これを穴の中ではなく実験室で摩擦速度 60 s^{-1} の高速回転をして摩擦圧接を行った。その結果、支管先端の振れは約 100 mm 以上で支管全体の振動も激しく摩擦圧接できないことが明白となった。そこで、チャッキング部と本管の中間部に軸受を取り付け、支管接合を行った

*受付日 平成24年10月23日 受理日 平成25年3月12日
平成24年度秋季全国大会で発表

**正 員 中部大学工学部 Member, Faculty of Engineering,
Chubu University

***学生員 中部大学大学院（現在 丸菱工業(株)） Student
Member, Chubu Graduate University (Present Address;
Marubishi Industries Co., Ltd.)

****学生員 中部大学大学院 Student Member, Chubu Graduate
University

*****学生員 中部大学工学部 Student Member, Faculty of
Engineering, Chubu University

***** アサダ(株) Asada Co., Ltd.

*****正 員 アサダ(株) Asada Co., Ltd.

が、この場合には振動は完全に防止できた。しかしこれによって摩擦圧接機が大型化し、それに伴って高剛性も要求されるので重量の増大は避けられない。支管接合は現場工事なので摩擦圧接機は常時移動させる必要があるため、大型化および重量化は好ましくない。そこで本研究に用いたポリエチレン用試作摩擦圧接機の最大断面は縦約300および横約400 mmと小さいので横穴を約□400 mmとし、その横穴の中間600 mmの箇所に摩擦圧接機を設置したことを仮想し、実験室内で約650 mmの位置をチャッキングし、前述の摩擦速度で回転した。この場合の支管先端の振れは約2~3 mmで振動はほとんど見られなかった。また、支管先端を本管に推力200 Nで押し当てた場合は振れも振動も全く認められなかった。したがって、本研究では上述の支管のチャッキング位置を支管の中間である約650 mmと短くして実験を行った。

なお、本研究では泥の中に埋設されている本管に支管を接合する場合の適正摩擦圧接条件を泥のない実験室内で求めたが、これによって得られた適正条件は、実際に道路端面に横穴をあけて泥の中で支管接合する場合にも十分適応するものと考えられる。

また、本管は地中に埋設されているため、接合部である外周には泥が付着し、さらに、支管接合も泥を掘削した場所で行われるので泥が付着しやすい条件下にある。EF法の場合にはこの泥および酸化膜の除去が必要となるが、摩擦圧接法では摩擦により接合面は常に正常な状態になると考えられる⁶⁾。そこで、本研究では泥が付着した場合の摩擦圧接支管接合についても検討した。これらの結果について報告する。

2. 実験方法

Fig. 1は従来のEF法および新しく開発した摩擦圧接による支管接合法を比較して示したものである。(a)に示す従来法では上述のように莫大な費用を要する上に通行車両に多大な迷惑をかけるが、(b)に示す摩擦圧接による支管接合法では舗装道路に一切触れないため、従来の莫大な費用や通行車両への迷惑は著しく軽減できるものと考えられる。

本研究で用いた供試ポリエチレン管は、JIS K 6774-2009に規格されているガス用ポリエチレン管で、本管には呼び径100 (外径 $D_m=114.0$ mm, 内径 $d_m=91.9$ mm)、支管には呼び径30 (外径 $D_b=42.0$ mm, 内径 $d_b=33.6$ mm)のものをを用いた。

なお、本研究で用いた試作摩擦圧接機は既報¹⁻⁵⁾のものと同様であるが、既報では中実丸棒および直管同士並びに直管に栓溶接を行うための研究を行ってきたので、一般のブレーキ方式であるが、今回の研究では本管が泥の中に埋設し、その上無限に近い長さに接合されているので、これを摩擦推力により支管に押し付けることは不可能であるから、回転側にチャッキングした支管に推力を与えて移動させた。

摩擦圧接条件は既報¹⁻⁵⁾の実験結果から Table 1 に示すように、摩擦推力 F_1 およびアプセット推力 F_2 は同一の値で

$F_1=F_2=F=200$ N, 摩擦速度 $N=60$ s⁻¹, アプセット時間 $t_2=60$ sを一定とした。なお、本研究ではa点から全面接触するb点までは時間の経過と共に接触面積が増大するので、摩擦推力 F_1 を用いた。

本研究では Fig. 2 に示すように、本管の外周に平面である支管端面を接合するので、支管端面と本管の外周が初めて接触した位置をa点としたが、この点では支管先端と本管は線接触となる。また、このa点から挿入深さ(以下、この深さ

Fig. 1 Comparison of current and developed method. unit: mm

Table 1 Friction welding conditions.

Friction =Upset force, $F_1=F_2$ (N)	Rotational speed, N (s ⁻¹)	Upset time, t_2 (s)	Insertion depth of branch pipe, L_d (mm)
200	60	60	4~11

Fig. 2 Location of tip of branch pipe.

を L_d という) 4 mm の b 点で支管の接合面が本管に全面接触する。なお, a 点から 11 mm の c 点の位置で支管が本管の内壁頂点を突き破ることになる。

支管の接合のような比較的小規模な工事はガスの供給を止めずに行われているため, 摩擦圧接による支管接合が完了後の工事手順は従来の EF 法と全く同様で, ガスの使用箇所側から配管されてきた支管と本管に摩擦圧接した支管を瞬時に接合できる準備が整うまで, 支管と接合した本管の内壁を残す必要がある。これは準備が整う以前に本管に接合した支管を導通させるとガスが支管から大気中に流出して爆発や火傷のような事故が起きるからである。そこで, 摩擦圧接による支管と本管の接合の場合も準備が整ってから本管の内壁にタッピングツールで穴をあけ, 直ちに準備しておいた支管と本管に接合した支管を接合する必要がある。したがって, L_d の許容深さは前述のように 4~11 mm 未満となる。

しかし, この L_d は接合部の外部からは全く見えない。そこで, 後述の Fig. 6 に示すように全寄り代 (以下, L_t という) から L_d を推察する図を作成した。作成に当たっては L_t を約 1~2 mm ごとに細かく回転を停止し, その都度, 接合部の縦断面から L_d を正確に測定し, L_t と L_d の関係を明らかにした。

本研究で作製した支管と本管の摩擦圧接継手の種類は接合面が全面接触する前述の Fig. 2 の b 点から 1, 2 および

3.5 mm ($L_d=5, 6$ および 7.5 mm) の 3 種類とし, これらの継手について引張試験並びに曲げ試験を行った。また, 接合面の温度測定には著者らが開発したポリエチレン専用の外挿法で接合面の温度測定⁹⁾, さらに L_t は変位計を用いて測定した。

引張試験を行うにあたって引張試験機のスロークを考慮し, 支管長さを約 70 mm に切断した。また, 支管と本管との接合部の引張強さを正確に求めるため Fig. 3 に示す治具を作製し, 上側の支管には長さ約 200 mm のポリエチレン中実丸棒を栓溶接⁹⁾してこの部分をチャッキングし, 下側のチャックには長さ約 300 mm の S55C 中実丸棒を中実アルミニウム合金にねじ接合してチャッキングした。また, 本管の内径と外径が等しいアルミニウム合金を本管内に挿入し, 支管の軸線近傍の本管に S55C より約 15 mm 大きな直径 30 mm の穴をあけた。これは上側と下側にチャッキングしたポリエチレン中実丸棒と S55C の軸芯が直線からずれている場合に引張によりアルミニウム合金が左右に移動し, 自動的に軸芯が直線になるためと, 支管と本管の接合部が本管の変形により単純な引張とならないのを防止するための工夫である。試験は JIS K 6774-2009 に示す試験温度で行った。

曲げ試験を行うにあたっては継手の支管内部に直径 25 および長さ 300 mm の S55C 中実丸棒を本管の外周面まで挿入した後, 人力により支管を本管の軸方向に両者が接触する (90°) まで曲げて接合部の剥離および曲げ状態を観察した。

ガス工事では泥を掘削して本管に支管を接合することが多いので, 誤って本管や支管を泥上に落したり, 踏みつけたりすることは度々起こる。そこで, 本研究では本管および支管に付着した泥の影響についても検討を行った。この場合には後述の Fig. 9 に示すように, 本管側面の接合部となる箇所の $\square 50$ mm の範囲に故意に平均粒径約 $50 \mu\text{m}$ および含水量約 45% の泥 (重さ約 5 g で厚さ約 1 mm) を付着させて摩擦圧接を行い, 圧接時の泥の状況を詳細に観察すると共に, 引張強さおよび伸び率に及ぼす影響についても検討を行った。なお, 泥が全く付着していない本管および支管を約 1000 mm の上方から自然落下させた場合あるいは変形しない程度に踏みつけた場合の泥の付着量はいずれもほぼ同じで, $\square 50$ mm の範囲で約 0.1 g (厚さはまばらで測定不能) であった。したがって, 故意に付着した 5 g は作業中に誤って付着する量の約 50 倍である。

3. 実験結果とその検討

Fig. 4 は支管を本管に摩擦圧接接合した場合のトルクおよび接合面の温度の時間的変化を示したものである。圧接開始直後, わずか約 1 s でトルクが a 点の約 $1.1 \text{ N}\cdot\text{m}$ まで急激に上昇している。これは同図中 a に示す継手の外観写真からも明らかなように, 接合初期の硬いポリエチレン同士が互いに削られた結果であると思われる。この瞬間は, 本管の円形の頂点に支管が線接触したもので, 本管との未接触部の隙間に

Fig. 3 Jig of tension test.

Fig. 4 Effect of friction time on torque and temperature.

Fig. 5 Effect of friction time on burn-off rate.

Fig. 6 Relation between L_t and L_d .

Table 2 Result of tension test of friction welded branch pipe specimen.

Joint type		L_d (mm)	Tensile strength (MPa)	Elongation (%)
Friction welded joint	A	5	17.8	520
	B	6	17.7	520
	C	7.5	17.8	525
Base metal		—	18.6	600

存在するばりは全く軟化していないことが観察され、両者の接合面は固体接触により著しく大きな抵抗が生じたものと考えられる。その後、約4sでトルクの増加はやや緩やかとなる傾向に変化しているが、これはbの写真に示すように、光沢のあるばりとなじばりが混合していることから接合面a点に比べ、ポリエチレンがかなり軟化しているものと推察される。その後、約7sまで摩擦を続けた場合にはトルクはb点からc点に向かって急上昇しているが、これは時間の経過と共に接合面が急激に増大し、約7sで接合面は全面接触することが後述のFig. 6から推測される。またcの写真に示したように、この点では支管の全周にわたり、光沢のあるばりが排出され、この場合の接合面温度は約390Kでポリエチレンの融点(約400K)より低い値であった。したがって、接合面は溶融していないものと考えられるが、それよりわずかに1s後の8sでの温度は約400Kで融点に達していることから、接合面の接触状態は液体接触にかなり近いものと推察され

Fig. 7 Appearance of broken tension test specimen.

Fig. 8 Appearance of bending test specimen.

Fig. 9 Effect of mud on branch pipe friction welding.

Fig. 10 Appearance of broken tension test specimen with adhered mud joint.

る。また、本研究では25sまで摩擦圧接を継続したが、その場合でもトルクは極わずかに上昇する程度であった。これは時間の経過と共に、溶融したポリエチレン量が増加する傾向が認められ、接合部近傍の支管と本管に押し出されたばりが付着するためと思われる。なお、支管が本管の内壁を突き破る摩擦時間25sの温度が約430Kであるものと思われる。

Fig. 5は寄り速度に及ぼす摩擦時間の影響を示したものである。摩擦開始直後から接合面が全面接触する約7sまでの寄り速度は約1.3mm/sから0.8mm/sに著しく減少する傾向が見られる。これは摩擦開始直後には線接触であったものが時間の増加とともに接合面積も急増したためと考えられる。

なお、接合面が全面接触した約7s後はほぼ一定となる傾向が見られる。

Fig. 6は全寄り代 L_1 から L_d を推測するためのものである。支管端面と本管の両者が全面接触する場合の最小の L_1 および L_d の値は約6および4mmである。したがって、それ以下では全面接触しないのでこの図から削除してある。同図によれば、それ以上では両者はほぼ比例関係にあることが認められ、 L_1 が約2mm増加すると L_d は約1mm増加することが推測される。すなわち、この結果から、支管の円形端面の寄り代と板状に近い本管壁面の寄り代は全く同じであることが認められた。

Table 2は $L_d=5, 6$ および7.5mmでそれぞれ摩擦圧接した継手の引張強さおよび伸び率を母材のそれと比較して示したものである。いずれの継手の場合も引張強さおよび伸び率は17.7~17.8MPa並びに520~525%で母材のそれ(18.6MPaおよび600%)とほぼ同程度の値が得られている。これは、接合面の温度測定結果からいずれの場合も400~425Kで、本研究で用いたポリエチレン管の融点(約400K)を超えているので、接合温度に十分達し、したがって、接合も完全に行われているためと考えられる。また、 $L_d=4$ mmで支管が初めて全面接触した場合の接合面の温度は約390Kと融点よりわずかに低く、支管接合は不可能であった。なお、 $L_d=5, 6$ および7.5mmの場合の引張強さおよび伸び率はいずれも母材と同程度の値で支管部から破断した。しかし、 L_d が浅いと前述のタッピングツールで除去する厚さが当然大となる。摩擦圧接における接合面を除去する速度はFig. 5で示したように約0.8mm/sであるが、タッピングツールの場合は作業者によっても異なるが約0.08mm/sであり、摩擦圧接の方がタッピングツールよりも約10倍大きいので、除去の時間を短縮するために本研究では $L_d=7.5$ mmを採用した。この値は本管壁面の丁度中間点であり、これ以降の実験は全て $L_d=7.5$ mmを採用した。Fig. 7は引張試験後の破断試験片の一例を $L_d=5$ mmについて示したものである。前述のTable 2に示したように、支管の伸び率は約520%にも達しているので向こう側が透き通って見えるほど肉厚が薄くなり、支管部で破断していることから健全な継手であることが観察される。

Fig. 8は $L_d=7.5$ mmの継手の曲げ試験後の外観写真を示したものである。実験方法に示したように90°まで曲げた後、力を除去したことでスプリングバックによりわずかに角度は小さくなっているが、接合面の剥離はなく、良好な継手であることが認められた。

Fig. 9は本管の側面に大量の泥(約5g)を付着させて摩擦圧接を行った場合の泥の様相を示したものである。(a)は本管の側面に付着した泥の状態を示したもので、(b)は摩擦圧接開始後、 $L_d=7.5$ mmに到達した直後に回転を停止すると同時に支管と本管を引き離し、両者の接合面近傍を観察した結果の外観写真を示したものである。支管と本管接合部の泥は

摩擦により完全に除去されていることが観察される。なお、引張試験を行った結果、引張強さが17.7MPa、伸び率は520%で、接合面が清浄な場合のものとはほぼ同程度の値が得られている。Fig. 10はこの場合の引張試験後の外観写真を示したものである。この結果から摩擦圧接法による支管接合では接合面が泥で汚れている場合でも泥を除去するための清掃作業は不要であり、接合強度に対する信頼性と低コスト接合が可能であることが確認された。

4. 結 言

摩擦圧接法を用いたガス用ポリエチレン管の支管接合法として、道路の掘削を必要としない迅速で低コストの施工方法の開発について検討した。得られた結果は次のとおりである。

- 1) 摩擦圧接法を用いれば、舗装道路は一切触れず、道路の端面からの横穴をあけただけで支管を本管に接合できる。
- 2) したがって、従来の舗装道路を破壊し、支管接合工事終了後に掘削した泥および舗装道路を元に戻す必要がないため、大幅な施工コストおよび時間の削減のみならず、交通を妨げない接合が可能となる。
- 3) 良好な継手を得るためには5mm以上の挿入深さが必要で、このときの引張強さおよび伸び率はそれぞれ17.7~17.8MPaおよび520~525%であり、母材のそれとほぼ同程度であった。
- 4) 接合面に付着した大量の泥は摩擦により除去され、泥付き継手の引張強さおよび伸び率は清浄な継手と同程度であった。したがって、接合部の清掃作業が不要となり迅速で低コスト接合が可能となった。

参 考 文 献

- 1) M. Hasegawa, T. Asada and Y. Ozawa; Study on Friction Welding of Polyethylene, Quar. J. JWS, 19-4 (2001) 634-640. (in Japanese)
- 2) M. Hasegawa and K. Ogura; Effect of Friction Welding Condition on Temperature of Friction Welded Joint with Polyethylene, Quar. J. JWS, 23-3 (2005) 476-483. (in Japanese)
- 3) M. Hasegawa and K. Ogura; Study on Friction Welding of Polyethylene Round Bar and Pipe, Quar. J. JWS, 24-3 (2006) 265-272. (in Japanese)
- 4) M. Hasegawa, Y. Yamaguchi, A. Umino and T. Asada; Development of the Joining Method by Rapid and Low Cost of Polyethylene Pipe with Friction Welding, Quar. J. JWS, 29-4 (2011) 319-325. (in Japanese)
- 5) M. Hasegawa, A. Umino, Y. Furukawa, T. Asada and Y. Ozawa; Development of Plug Friction Welding Method of Polyethylene Branch Pipe for Safety, Rapidity and Low Cost. Journal of Japan Friction Joining Association, 11-1 (2012) 9-14. (in Japanese)
- 6) A. Hasui and T. Matsui; On the Effect of Faying Face Condition on Weldability in Friction Welding, Quar. J. JWS, 50-1 (1981), 77-83. (in Japanese)