

# インサクション工法におけるガス支管施工法の開発

長谷川 正義

小澤 泰裕, 木村 政雄 (アサダ株式会社)

阪神・淡路大震災以降、ガスおよび水道用導管には全てポリエチレン管が用いられている。近年、既存のダクタイル鋳鉄あるいは鋼管をそのまま残し、その中に 1 サイズ小さなポリエチレン本管を引き込むインサクション工法が開発され、この工法により、工費は約 1/2 に低減した。ところが新しくガスの使用者が現れると鋳鉄あるいは鋼管内のポリエチレン管に支管を接合するために道路を掘削しなければならない。これではインサクション工法の利点が全く生かされない。

そこで本研究では舗装道路には一切触れず、摩擦圧接法を用いて支管接合する方法を開発したので報告する。

## 1. はじめに

阪神・淡路大震災以降の調査において、被害が拡大した原因の一つとしてガスおよび水道用導管として用いられていたダクタイル鋳鉄管あるいは鋼管(以下、これらを鉄管という)が壊滅的な打撃を受け、寸断したことがあげられている。その結果、流出したガスは火災を拡大し、また、消火水もないため消火活動は遅延したためである。しかし、錆を嫌う食品および薬品会社等で独自に用いられていたポリエチレン管の破損箇所は皆無であった。これを契機に鉄管は全てポリエチレン管に置き換える工事が大都市から始まり、現在では地方都市で行われている。この工事は舗装道路を破壊して鉄管を掘削除去し、ポリエチレン管に置き代えた後、掘削した泥を元に戻し、再舗装する(以下、この方法を従来法という)必要があるため膨大な費用と通行車両に大きな迷惑をかける。そこで近年、既存の鉄管をそのまま残し、鉄管の中に 1 サイズ小さなポリエチレン本管を引き込むインサクション工法が開発され、従来法による掘削を行わずに既存の鉄管の中にポリエチレン本管を呼び径 100 の場合には約 100m の間にわたって挿入できるので工事費が約 1/2 と大きく減少した。

一般にガスの本管は舗装道路の端から約 1200mm および道路表面から約 600mm の箇所に埋設されている。したがって、新しくガスの利用者が現われれば、鉄管を大きく切断開口し、内部の本管に電熱線入りの支管付エレクトロフュージョン(以下、EF 法という)サドルを接合する必要性が生じる。しかし、接合部であるサドルの面積が大きいため鉄管の切断開口面積も大きくなるので、鉄管を従来法で露出することが不可欠である。これではインサクション工法の利点が全く生かされず、支管接合には従来と同様な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ることになる。そこで本研究では、これら一連の従来法による莫大な施工費用、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、摩擦圧接法を用い、道路には一切触れず、道路の歩道あるいは法面に縦穴をあけ、そこから鉄管に達する横穴をあけ、その横穴の中に試作したポリエチレン専用の小形摩擦圧接機を設置し、本管に支管を接合する方法を開発した。

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易い条件下にある。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。



試作摩擦圧接機の支管の回転側が摩擦推力で本管側に移動するように改善したものをを用いた。

なお、Fig.4 の太い実線で示す鉄管に穴をあけるに当たっては、鉄管に支管の外径 42.0mm よりも約 3mm 大きな穴をホールソーを用いて直線 a-a に沿ってポリエチレン管に傷を付けないように注意してあけた。本研究では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では支管先端と本管は線接触となる。そこを基準とした場合、挿入深さ(以下、この深さを  $L_d$  という)4mm の位置で支管の接合面が本管に全面接触し、11mm 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ことが一般的である。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、既にガスの使用者側から配管して準備が整った支管先端が完成してから本管の内壁にタッピングツールで穴をあけ、瞬時に支管と本管に接合した支管同士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 4~11mm 未満となる。

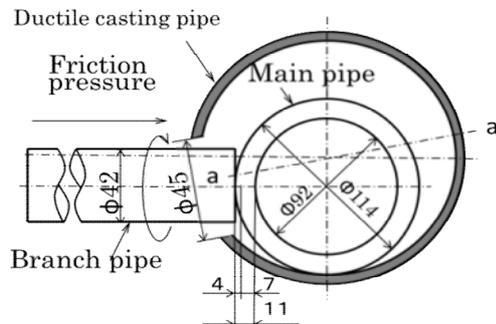


Fig.4 Joining method of branch pipe

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	4~7.5

しかし、 $L_d$  は接合部の外部からは全く見えない。そこで  $L_d$  と全寄り代(以下、 $L_t$  という)との関係を示す図を作成した。作成に当たっては  $L_t$  を約 1~2mm 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。

摩擦圧接条件は既報<sup>1)5)</sup>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  $F_1=F_2=F=200N$ 、摩擦速度  $N=60s^{-1}$ 、アプセット時間  $t_2=60s$  を一定とした。なお、本研究では接合面が全面接触する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  $F$  を用いた。

本研究で作製した支管と本管の摩擦圧接継手は接合面が全面接触する 4mm の位置から 1, 2 および 3.5mm ( $L_d=5, 6$  および 7.5mm) の 3 種類とし、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<sup>2)</sup>、引張試験並びに曲げ試験を行った。

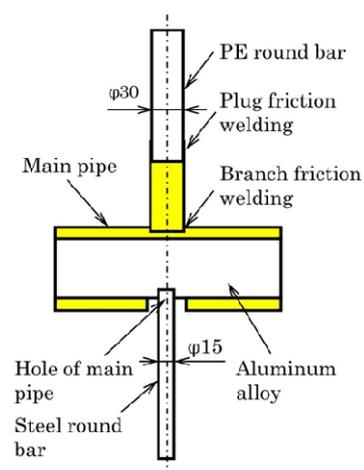


Fig.5 Jig of tension test. (unit: mm)

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 70mm に切断した。また、支管と本管との継手強度の精度を高く求めるため、Fig.5 に示す治具を作製し、上側の支管には長さ約 200mm のポリエチレン中実丸棒を栓溶接<sup>5)</sup>してこの部分をチャッキングし、下側のチャックには曲げモーメントを除去できる治具を作製して用いた。試験は JIS K 6774-2009 に示す試験温度で行った。

また、ガス工事では管に泥が付着することが多いため Fig.6 に示すように、本管側面の接合部となる箇所<sup>6)</sup>に平均粒径約 50 $\mu$ m および含水量約 45%の泥を $\square$ 50mm に重さ約 5g (厚さ約 1mm)の大量の泥を故意に付着させて摩擦圧接を行った。この量は上述の泥上に誤ってポリエチレン管を落とした場合あるいは泥上にあるポリエチレン管を踏んだ場合に付着する泥は約 0.1g であり、これを $\square$ 50mm におけば、まばらで、ポリエチレン管の所々に見える程度であった。この故意に付着させた大量の泥については、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。

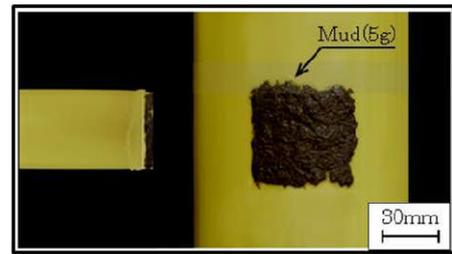


Fig.6 Effect of mud on friction welding.

### 3. 実験結果とその検討

Fig.7 は支管を本管に摩擦圧接接合した場合のトルク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 1s でトルクが a 点の約 1.1N $\cdot$ 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り、支管と本管との未接触部の隙間に存在するばりは全く軟化していないことが観察されることから、この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り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著しく増大し、約 7s で接合面は全面接触することが観察された。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)よりわずか 10K 低いだけであることから、接合面はほぼ液体接触に近い状態になっているものと思われる。なお、本研究で接合面が融点に達する時間は約 8s であった。また、本研究では 26s まで摩擦圧接を継続したが、その場合でもトルクは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、熔融したポリエチ

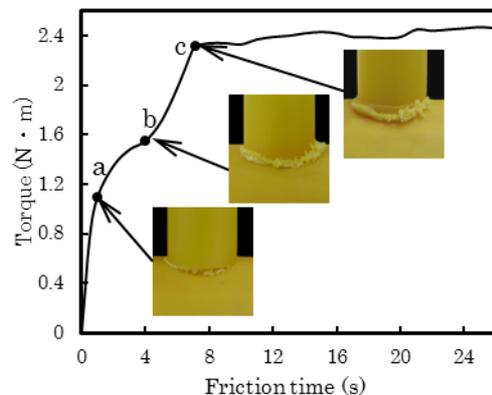


Fig.7 Effect of friction time on torque.

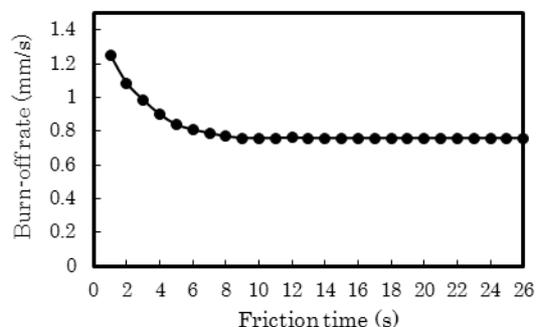


Fig.8 Effect of friction time on burn-off rate

レン量が増加し、これが接合部近傍の支管と本管に付着し、回転時の抵抗となるためと思われる。

Fig.8 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 1.3 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.9 は全寄り代  $L_t$  から  $L_d$  を推測するためのものである。支管端面の全面が接触する場合の  $L_t$  および  $L_d$  は約 6 および 4mm である。したがって、それ以下はこの図から削除した。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、 $L_t$  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、支管の円形接合面の寄り代と板状に近い本管壁面の接合面の寄り代は全く同一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 および 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、

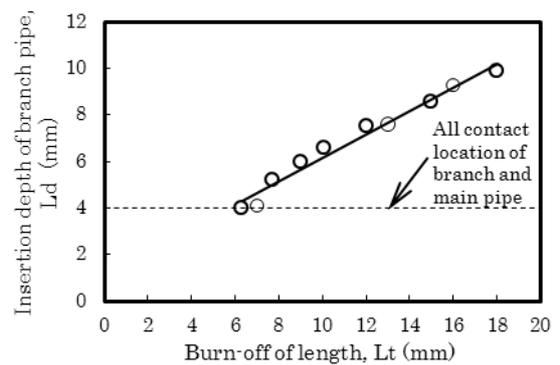


Fig.9 Effect of  $L_t$  on  $L_d$

Table 2 Result of tension test.

Materials		$L_d$ (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

接合面の温度測定結果からいずれの場合も 425~430K 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、 $L_d=4\text{mm}$  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が、除去する速度は摩擦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  $L_d=7.5\text{mm}$  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  $L_d=7.5\text{mm}$  を採用した。

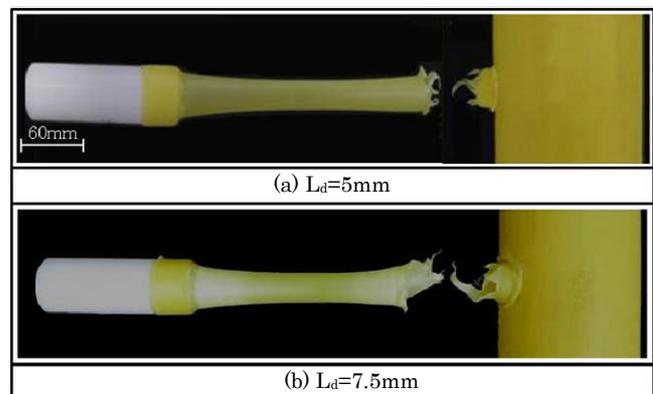


Fig.10 Appearance of broken tension test specimen.

Fig.10 は引張試験後の破断試験片の一例を示したものである。支管は向こう側がすきとおって見えるほどよく伸びていることが観察された。

Fig.11 は  $L_d=5,6$  および  $7.5\text{mm}$  で摩擦圧接した継手の縦断面マクロ写真を示したものである。なお、上段の写真は下段の接合部の○の箇所を拡大したものである。

$L_d=6, 7.5\text{mm}$  の場合に接合部の外周部にアンダーカットが発生し、その深さは  $L_d$  の増加と共に深くなっていることが観察される。しかし、アンダーカットの深さに無関係に接合部の強度が全く同一である原因を上段の拡大写真から検討した。その結果、いずれの場合もアンダーカットを除いた接合部の面積は同一であることと、ポリエチレンの可とう性のためにアンダーカットによる応力集中に及ぼす影響が緩和されるためと推察される。

Fig.12 は本管の側面に大量の泥(約  $5\text{g}$ )を付着させて摩擦圧接開始後、 $L_d=7.5\text{mm}$  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。

Fig.13 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。引張強さが  $17.7\text{MPa}$ 、伸び率は  $520\%$  で、接合面が清浄な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。

Fig.14 は鉄管に直径  $45\text{mm}$  の穴をホールソーであけ、その穴に支管を通し、本管と摩擦圧接して得られた支管継手の外観写真を示したものである。鉄管の端面近傍でもポリエチレン管を固定する治具を用いなくても本管が浮き上がったりあるいは移動することがなく良好な継手を得られている。

#### 4. 結言

インサクション工法におけるガス支管接合法に摩擦圧接法を用いることでインサクション工法の利点を生かし、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。

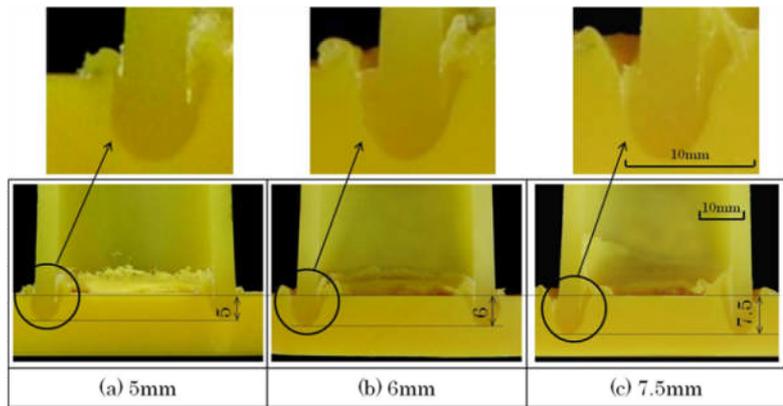


Fig.11 Appearance of vertical section of friction welded joint

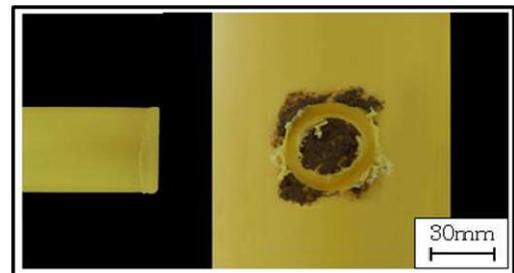


Fig.12 Effect of mud on friction welding.

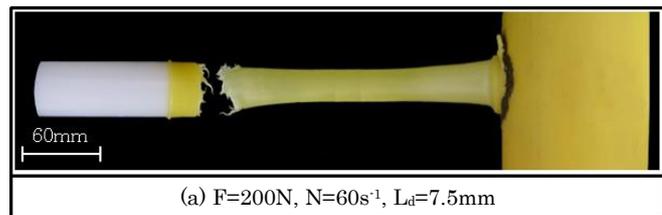


Fig.13 Appearance of broken tension test specimen with mud.

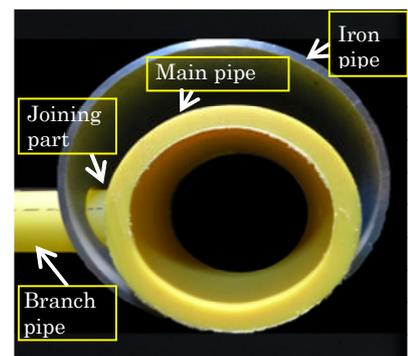


Fig.14 Appearance of friction welded joint

- 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道路を再舗装する必要がないため、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、この場合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、摩擦圧接法を行えば接合部の清掃作業が不要となる。

#### 参考文献

- 1) H. Kimura; Welding of Plastics(2), Quar. J. JWS, 34-12 (1965) 1221-1242. (in Japanese)
- 2) H. Yoshida, K. Yamauchi, T. Matsui; Morphology of Weld Interfaces between High-Density Polyethylene and Different Types of Low-Density Polyethylene, Japanese Journal of Polymer Science and Technology, 56-12 (1999) 869-872. (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, T. Asada and Y. Ozawa ; Study on Friction Welding of Polyethylene, Quar. J. JWS, 19-4 (2001) 634-640. (in Japanese)
- 5) 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)
- 6) 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)
- 7) 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)