

## 材種の異なるガス用樹脂管の耐衝撃性能に関する研究

中山 歩\*, 玉井 宏樹\*\*, 園田 佳巨\*\*\*, 神川 創太\*\*\*\*  
 Ayumi Nakayama, Hiroki Tamai, Yoshimi Sonoda, Sota Jinkawa

\*西部ガス株式会社, 総合研修所 (〒819-0162 福岡市西区今宿青木 421 番地 4, TEL:092-805-1521)

\*\*博(工), 九州大学大学院助教, 工学研究院社会基盤部門 (〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 ウエスト2号館 1102号室)

\*\*\*工博, 九州大学大学院教授, 工学研究院社会基盤部門(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 ウエスト2号館 1113号室)

\*\*\*\*九州大学大学院修士課程学生, 工学府建設システム工学専攻(〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 番地 ウエスト2号館 1102号室)

*Key Words:(Gas conduit, Polyethylene, Polyamide, Falling weight impact experiment)*

キーワード: ガス導管, ポリエチレン, ポリアミド, 落錘式衝撃試験

### 1. 緒言

現在ガス導管として広く普及している樹脂管である中密度ポリエチレン管(以降, MDPE管と称す)は, 優れた耐腐食性, 可撓性, 施工性を持ち, 2016年の熊本地震においても被害が発生しなかったりことから, その耐震性の高さが実証されている。しかしながら, 金属管と比べて外力に弱いため, 経済産業省の調査によると, ガス事業者以外の者が行う建設工事等に伴って, 地中埋設された MDPE 管を重機の先端で損傷させる事故が毎年発生しており<sup>2)</sup>, 第三者による事故に対する防護措置の検討が必要となっている。防護措置の一つとして, 著者らは, 図-1に示す強化繊維と不織布からなる防護材を開発し, その有効性について検討してきた。さらに, 事故を防ぐためには事故で想定される衝撃荷重に対する MDPE 管単体の耐衝撃性能を明らかにする必要があるため, 過去の検討では, MDPE 管に対して実際の事故を想定した衝撃試験を実施することで, MDPE 管の耐衝撃性能を把握するとともに, 防護材を MDPE 管に2層まくことで損傷事故を防げることを明らかにした。

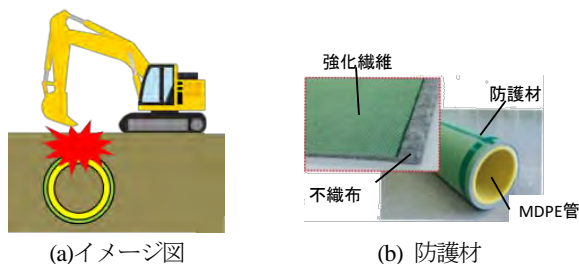


図-1 第三者による事故のイメージ図とその防護材

一方で, 鋼管のように管単体の強度を上げることで, 事故による損傷に耐えることを目的としたガス導管材料の検討もなされており, 高密度ポリエチレン管, ポリアミド管(以降, 各々HDPE管, PA管と称す)といった日本では流通していない樹脂管が新たなガス導管材料として挙げられているが, 実際の事故におけるそれらの耐衝撃性能は明らかとなっていない。

そこで, 本研究では, 耐衝撃性能および変形性状を把握するために, MDPE 管, HDPE 管, PA 管に対して静的試験と実際の事故を想定した衝撃試験を実施した。

### 2. 樹脂材料の基本的な力学特性

MDPE, HDPE, PA の基本的な力学特性を明らかにするために, JIS K 6815-3 に準拠した引張試験と JIS K 7161-1 を参考にした圧縮試験を行った。図-2 と図-3 にはそれぞれ試験片及び設置状況を示す。

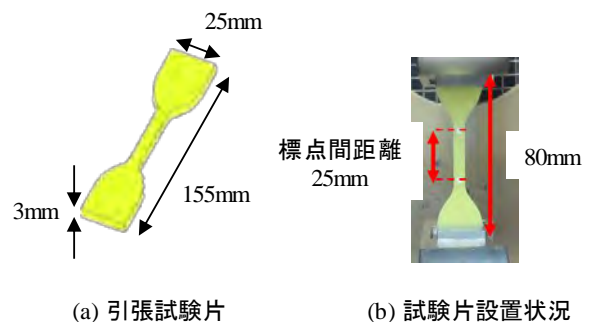


図-2 引張試験片及び試験片設置状況

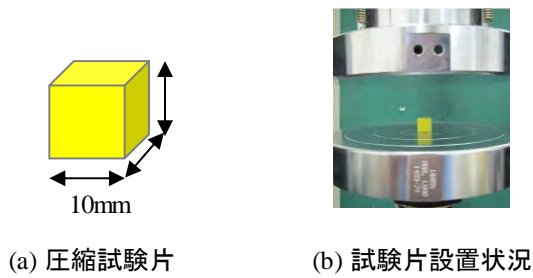


図-3 圧縮試験片及び試験片設置状況

図-4 に引張試験の公称応力-公称ひずみ関係を示す。実際の試験はそれぞれの材種で5回ずつ行ったが、グラフにはその代表ケースを載せている。平均の最大応力は、MDPEが22.43MPa、HDPEが26.41MPa、PAが43.73MPaとなった。破断ひずみはすべての材種で250%を超えたことから、MDPE、HDPE、PAのような樹脂材料は引張荷重に対して優れた変形性能を持つことがわかった。破断までの変形過程では、まず、最大応力にて試験片中央部にくびれが発生した後、そのくびれが局所化することなく軸方向に伝播し、伸びが大きくなった。くびれが伝播した部分には写真-1に示すようなクレーズと呼ばれる小さなひび割れの発生によって白化する現象が見られた。

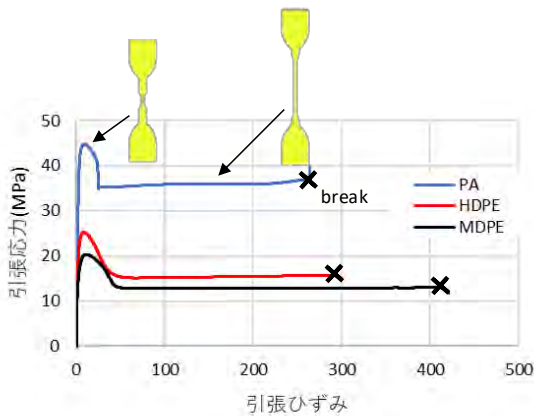


図-4 公称応力-公称ひずみ関係 (引張試験)



写真-1 引張試験で破断後の試験片

図-5 には圧縮試験の公称応力-公称ひずみ関係を示す。低圧縮時は圧縮応力が小さかったことから、MDPE、HDPE、PA はともに粘性を持つことが確認された。3種の材料は明確な降伏点を持たないが、降伏後は硬化することが確認された。圧縮後の試験片を写真-2に示す。

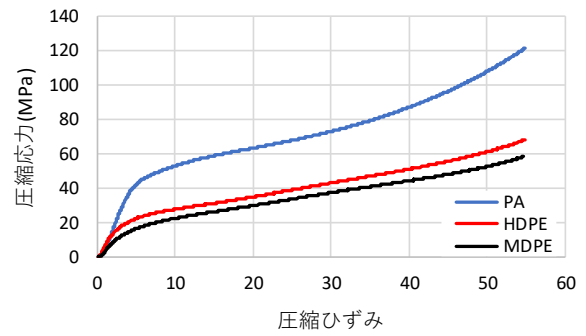


図-5 公称応力-公称ひずみ関係 (圧縮試験)



写真-2 圧縮試験後の試験片

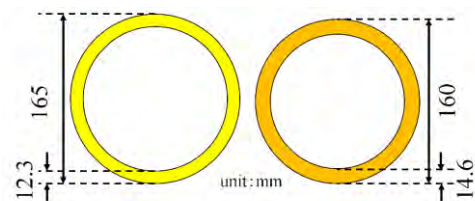
### 3. 実験概要

#### 3.1 静的圧縮試験

樹脂管の静的な載荷特性を把握するために、MDPE管、HDPE管、PA管に対して写真-3に示す万能試験機を用いて静的試験を行った。管の寸法は、軸方向長さ500mm、断面寸法は図-6に示す通りとした。HDPE管とPA管に関しては日本で流通しておらずMDPE管と同じ規格がないため、同様のサイズの規格を実験に用いた。図-7(a)の載荷部には図-7(b)に示す重機のバケットの先端を模した器具を管軸方向に平行になる向きに取り付け、管の底面はM10ボルトによって5か所底板上に固定した。荷重はロードセル、載荷部の変位は高感度変位計によって計測した。



写真-3 万能試験機



(a) MDPE (b) HDPE, PA

図-6 管の断面寸法

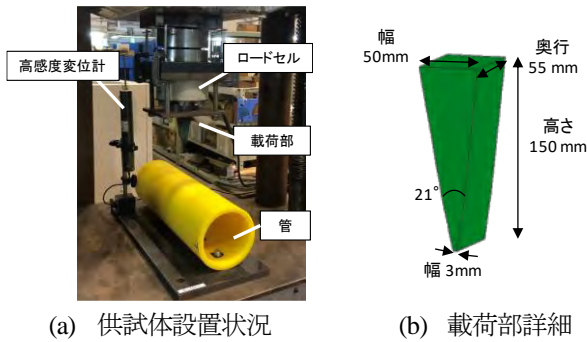


図-7 供試体設置概要

### 3.2 落錘式衝撃試験

衝撃荷重に対する耐衝撃性能の把握のために、図-8に示す落錘式衝撃試験装置を用いた衝撃試験を実施した。この装置は重錘を固定した供試体に向けてガイドレールに沿って鉛直方向に自由落下させることにより衝撃力を与える装置である。管は静的試験と同様の寸法のものでM10ボルトで底板に固定し、重錘の先端には静的試験で用いた器具を取り付けた。過去の検討<sup>3)</sup>から、重錘の質量は220kgとし、実験時の重錘の衝撃速度は、事故で起こりうる最大の衝撃速度である3m/sを参考に設定した。測定項目は、重錘の衝撃力、重錘の移動量とし、衝撃力は重錘側に取り付けたロードセルにより計測し、重錘の移動量は底板に固定したレーザー変位計によって計測した。また、管の変形状況を高速度カメラによって撮影した。

実験ケースは表-1に示すように、単発衝撃と繰り返し衝撃の2通りを設定した。単発衝撃試験終了後には、図-9に示す管厚変化率を測定し、繰り返し衝撃試験終了後には、衝突部表面残留変位を測定した。

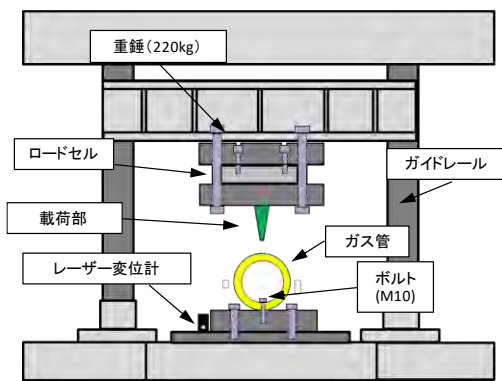


図-8 落錘式衝撃試験装置概要

表-1 実験ケース

载荷方法	詳細
単発	初期衝突速度2m/s以降、貫通破壊が生じるまで0.5m/sずつ漸増载荷
繰り返し	衝突速度2m/sで一定とし、貫通破壊が生じるまで繰り返し衝突させるものとした

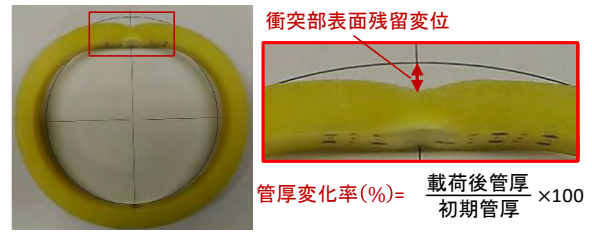


図-9 衝突部表面残留変位と管厚変化率の定義

## 4. 実験結果

### 4.1 静的圧縮試験

図-10に荷重-変位関係を示す。3種の管は明確な降伏点を持たなかった。最大荷重に関しては、MDPE管が14.92kN、HDPE管が19.97kN、PA管が34.47kNとなり、HDPE管とPA管がMDPE管より優れた耐荷性能を持つことが確認された。一方で最大変位に関しては、MDPE管が105.4mm、HDPE管が82.51mm、PA管が69.07mmとなり、MDPE管の方が変形性能は優れた結果となった。

写真-4には荷重10kN時のMDPE管とHDPE管の変形状況の比較を示す。荷重10kN時では図-10においてMDPE管は荷重に対する変位の増加が大きい段階である一方で、HDPE管はまだ最初の立ち上がりの段階である。実験の対象となった3種の管は全て、変位約20mmまでは写真-4(b)のように管全体がへこむような変形をした後、変位約20mm以降は写真-4(a)のように载荷部の変形が卓越し、変位の増加量が大きくなった末に破断に至る事が確認された。

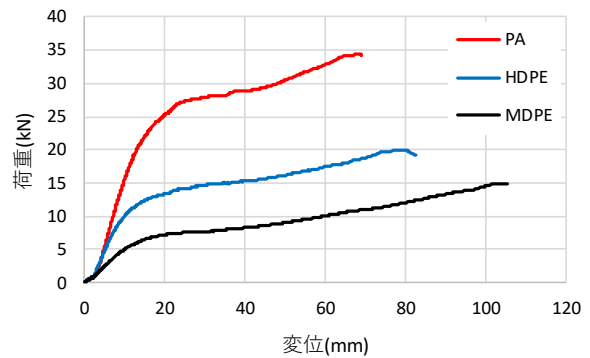


図-10 荷重-変位関係



(a) MDPE 管 (b) HDPE 管  
写真-4 変形状況の比較 (荷重10kN時)

## 4.2 落錘式衝撃試験

図-11 に衝撃速度 2m/s 時の重錘衝撃力波形の比較, 図-12 に重錘移動量-時間関係の比較を示す. 最大衝撃力は MDPE 管が 12.6kN, HDPE 管が 20.2kN, PA 管が 29.3kN となった. また, HDPE 管と PA 管が MDPE 管より変位が小さくなっており, PA 管, HDPE 管, MDPE 管の順に衝撃荷重に対してより硬く, 変形しにくい性質を持っていることがわかった.

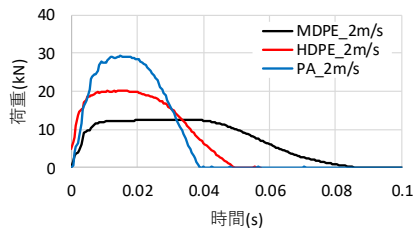


図-11 荷重-時間関係 (衝撃速度 2m/s)

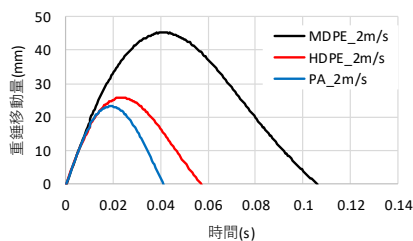


図-12 重錘移動量-時間関係 (衝撃速度 2m/s)

表-2 に単発衝撃実験の結果として管厚変化率と損傷状況のまとめを示す. ガス管の品質評価では, 管厚変化率が 20%を超えると「損傷」と判定される. 事故で想定される最大の衝撃速度である 3m/s に着目すると, MDPE 管は貫通破壊が生じ, HDPE 管は損傷に至るものの, 貫通破壊は生じないことがわかった. 一方で PA 管に関しては衝撃速度 3m/s においても損傷せず, 事故で想定される最大の衝撃速度にも耐えられることが確認された.

表-2 管厚変化率と損傷状況

材料	衝突速度 (m/s)	管厚変化率 (%)	損傷状況
MDPE	2	20	損傷
	2.5	42	損傷
	3	-	貫通
HDPE	2	12	-
	2.5	25	損傷
	3	41	損傷
	3.5	-	貫通
PA	2	5	-
	2.3	6	-
	3	14	-
	3.5	18	-
	4	-	貫通

図-13 には繰り返し衝撃試験の結果として, 衝突部表面残留変位と衝撃回数との関係を示す. 貫通に至った载荷回数は, MDPE 管が 3 回, HDPE 管が 6 回であった. 一方で PA 管に関しては, 40 回载荷しても貫通には至らなかった. MDPE 管と HDPE 管は 1 回目衝撃後の衝突部表面残留変位は異なるものの, 2 回目衝撃後での残留変位の増加量は概ね同様の傾向を示した. PA 管は衝撃回数が増加しても, 衝突部残留変位が MDPE 管, HDPE 管と比べてゆるやかに増加し, 40 回に達しても貫通しなかったことから, 衝撃速度 2m/s 以下の繰り返し载荷に対しては優れた耐衝撃性能を持つことがわかった.

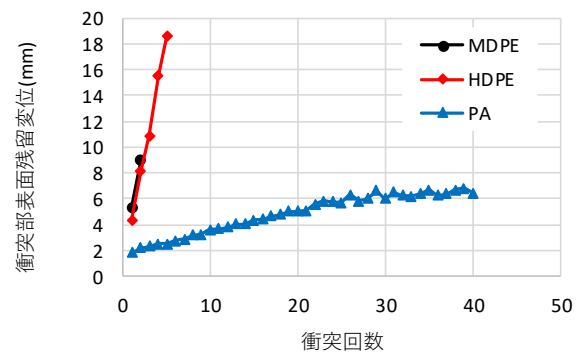


図-13 衝突部表面残留変位-衝撃回数関係

## 5. 結論

MDPE 管, HDPE 管, PA 管に対して実際の掘削工事中の事故を想定し, 衝撃速度をパラメータとする落錘式衝撃実験を実施することで, それぞれの耐衝撃性能を明らかにした.

単発载荷実験では, PA 管, HDPE 管, MDPE 管の順に衝撃荷重に対して硬く, 変形しにくい性質を持つことがわかった. また, HDPE 管, PA 管に関しては建設重機等で起こりうる想定した場合の最大衝撃速度 3m/s でも貫通が生じず, PA 管に関しては損傷なく耐えることがわかった. 繰り返し载荷実験では, PA 管が衝撃速度 2m/s 以下の繰り返し载荷に対して優れた耐衝撃性能を持つことがわかった.

### 参考文献

- 1) ガス安全小委員会, 産業構造審議会, 保安分科会. 平成 28 年度熊本地震を踏まえた都市ガス供給の地震対策検討報告書. 2017 年 3 月
- 2) 経済産業省. 建設工事等におけるガス管損傷事故の防止について. 2018 年 3 月 2 日
- 3) 玉井宏樹, 吉武翔, 園田佳巨, 中島健一郎, 中山歩. ガス用ポリエチレン管の耐衝撃性能およびその防護材の効果に関する実験的研究. 構造工学論文集, Vol.64A, pp.847-854. 2018 年 3 月