

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

玉井, 宏樹
九州大学大学院工学研究院社会基盤部門 : 助教

吉武, 翔
九州大学大学院工学府建設システム工学専攻 : 修士課程

園田, 佳巨
九州大学大学院工学研究院社会基盤部門 : 教授

中島, 健一郎
西部ガス株式会社総合研究所

他

<https://hdl.handle.net/2324/4793195>

出版情報 : Journal of structural engineering. A. 64, pp.847-854, 2018-03. Japan Society of Civil Engineers

バージョン :

権利関係 :



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

An experimental study on impact resistance capacity of polyethylene gas pipe and effect of its protecting sheet

玉井宏樹[†], 吉武翔*, 園田佳巨**, 中島健一郎***, 中山歩***

Hiroki Tamai, Sho Yoshitake, Yoshimi Sonoda, Kenichiro Nakashima and Ayumi Nakayama

[†]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)

*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)

**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)

***西部ガス株式会社, 総合研究所 (〒819-0162 福岡市西区今宿青木 421 番地 4)

The use of polymeric material such as polyethylene (PE) as gas pipe made it possible to achieve significant profits in construction times and costs. PE gas pipe also has some advantages such as high flexibility and earthquake resistance capacity. However, according to the research of Ministry of Economy, many accidents regarding damage of it due to the impact of heavy equipment have been reported during the construction every year. To protect it from such accidents, the protecting sheet made of reinforced fiber and non-woven fabric has been invented but yet to have proved its impact resisting capacity qualitatively. In this study, impact loading tests were conducted. As a results, both the impact resistance capacity of PE gas pipe and the protecting effect of its protecting sheet were clarified.

Key Words: Polyethylene gas pipe, protecting material, impact loading test

キーワード: ポリエチレン管, 防護材, 衝撃実験

1. 緒言

ガス用ポリエチレン管 (以降, PE 管と称す) は, 1979 年に JIS が制定されて以降, 低圧導管材料として利用され始め, 1995 年の兵庫県南部地震において優れた耐震性が実証されたことや施工性の向上などから急速に普及し, 現在では新設の低圧導管のほとんどに中密度 PE 管が用いられており, 低圧導管材料のみならず, 中圧 B 導管材料への適用についても検討が進められている¹⁾. PE 管は他のプラスチック管に比べて耐腐食性, 可撓性, 接合の安定性に優れており, 経済性では塩化ビニル管に劣るものの, ガス導管材料として広く用いられている. 一方で, 経済産業省の調べによると, ガス事業者以外の者が行う建設工事等に伴い, ガス管の損傷を伴う事故が国内で毎年発生しており, 平成 22 年から平成 26 年の 5 年

間で 444 件に上ることがわかっている²⁾. 特に, バックホウなどの重機による掘削工事中に誤ってガス管を損傷する事故の場合, 被害が大きくなることがわかっており, このような事故に対する防護措置の必要性が高まっている. その防護措置の一つとして, 新設管に対しては防護材を敷設することが考えられる. 防護材を敷設することで掘削時におけるバックホウのバケットの衝撃から管の損傷を防げることなどが明らかにされているが, 具体的にどのような防護材をどの程度の厚みで敷設すべきかなど, 定量的には明らかにされていない. さらに, PE 管においては, 耐震性や可撓性に関する研究^{3) 4)}は多いものの, 衝突事故のように偶発的に荷重が作用する場合を想定した研究はほとんど存在していないため, 防護材を敷設する前の裸管の状態での耐衝撃性も明らかにされていない.

そこで, 本研究では, 既に施工実績のある防護材の一つである強化繊維と不織布から成る防護材に着目し, PE

[†] 連絡著者 / Corresponding author

E-mail: tamai@doc.kyushu-u.ac.jp

管自体の耐衝撃性、ならびに、その防護材の衝撃緩衝効果を明らかにするために、PE 材、防護材単体の基礎特性を把握した上で、実際の施工時に起こりうる衝突条件下における落錘式衝撃実験を実施した。

2. ポリエチレン材の基礎特性

2.1 ガス導管用ポリエチレンについて

PE 材は、JIS K6748:1995 によると、その密度により低密度、中密度、高密度に分類されるが、ガス導管用としては、主に中密度が用いられており、本研究でも中密度を対象とした。また、先に述べたように、PE 材は一般的に耐震性に優れるとともに、土中に直接埋設しても腐食の恐れがなく、クリーブ破壊に至るまでの時間が非常に長い長寿命な材料である⁵⁾という長期性能に特色を有する材料であるといえるが、本研究では長期性能よりも、耐荷力に寄与する短期性能に着目し、今後の数値解析検討のための基礎資料を得る目的で、静的載荷時の PE 材の力学特性の把握を試みた。

2.2 各種物性試験概要及び結果

(1) 引張試験

図-1 に示すように、PE 材の引張特性を明らかにするため JIS K 6815-3 に準拠した引張試験を実施した。供試体はチャック間距離 80mm、標点間距離 25mm のダンベル試験片を用い、載荷速度は 100mm/min で一定とした。試験は恒温槽を用いて常温である $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ の環境下で実施した。まず、図-2 に示す公称応力-公称ひずみ関係を見てわかるように、破断ひずみが 600%にまで達することから、PE 材は引張力に対する変形性能に優れた材料であることがわかった。次に、破断までの変形過程として、最大応力以降に試験体中央部でくびれが形成され、その後、そのくびれ部分では変形が起こりにくくなり、くびれが軸方向に伝播しつつ試験片の伸長が続き、原色が黄色だったものが白化し、最終的に破断に至ることが確認できた。なお、この白化は結晶性ポリマ特有のクレーズ⁶⁾⁻⁸⁾が形成された証である。(写真-1 参照)

(2) 圧縮試験

図-3 に示すように PE 材の圧縮特性を明らかにするため JIS K 7181 を参考とした圧縮試験を実施した。供試体には 1 辺が 10mm の立方体状の試験片を用い、載荷速度は 1mm/min で一定とした。引張試験と同様に、試験は恒温槽を用いて常温である $23\pm 2^{\circ}\text{C}$ の環境下で実施した。その結果として、図-4 に公称応力-公称ひずみ関係を示す。この図より、低圧縮時には荷重への抵抗は少なく粘性を有すること、また、明確な降伏点は有さないものの、降伏後は硬化することが確認された。

(3) ポアソン比及び引張弾性率の測定試験

(1) の引張試験では横ひずみの測定が困難であったため、別途、JIS K 7161-1 を参考にして長方形の試験片

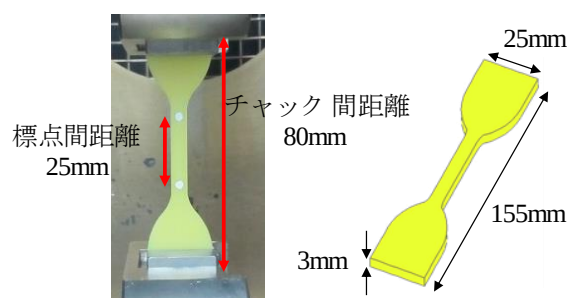


図-1 引張試験片及び設置状況

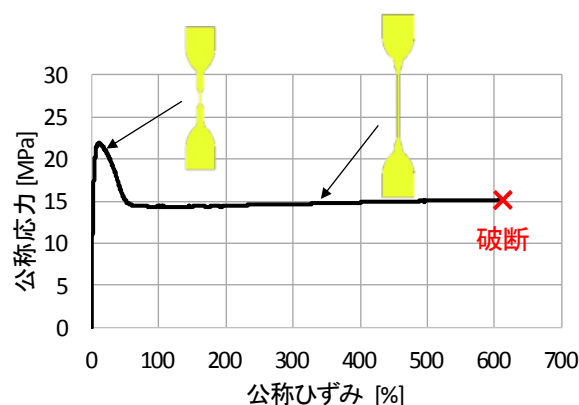


図-2 引張試験結果



写真-1 破断後の試験片状況

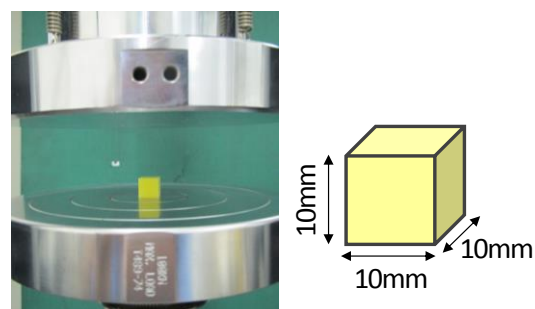


図-3 圧縮試験片及び設置状況

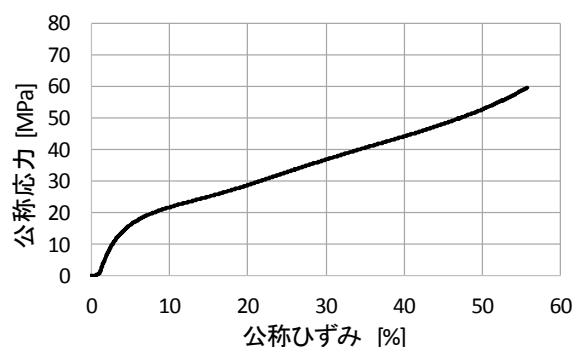


図-4 圧縮試験結果

を用いて引張試験を実施し、ポアソン比ならびに引張弾性率を測定した。なお、本試験においても、恒温槽を用いて常温である $23\pm2^{\circ}\text{C}$ の環境下で実施した。その結果、ポアソン比は 0.403、引張弾性率は 677.0MPa であることがわかった。この際、引張弾性率は JIS K7161-1 に従い、ひずみが 0.05% と 0.25% の 2 点間の傾きから算出した。

3. 防護材の基礎特性

3.1 対象とした防護材について

対象とした PE 管用防護材は、図-5 に示すように強化繊維と不織布といった 2 種類の異なる材料の組み合わせにより構成される。具体的には、ポリプロピレン製の強化繊維シートと不織布を樹脂系接着剤により接着しており、防護材は強化繊維の厚みが 0.7mm 以上、不織布の厚みが 6mm 以上と規定されている。なお、不織布は綿状のリサイクル PET を用いて作製されている。

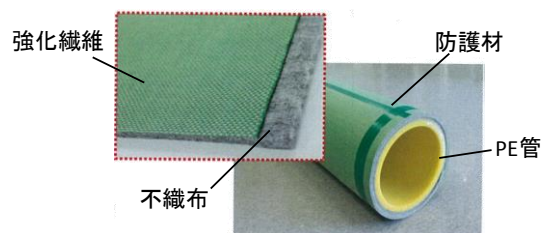


図-5 対象とした防護材

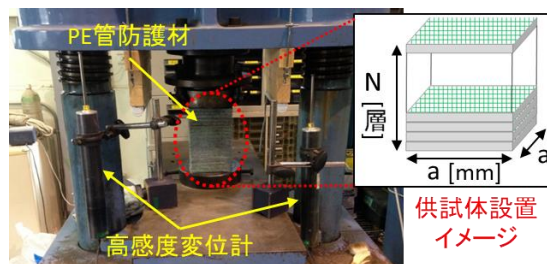


図-6 供試体設置状況図

3.2 実験概要

防護材の衝撃緩衝特性を明らかにするために、防護材の基礎特性として、厚み方向の圧縮特性を把握することは重要であるが、防護材の標準厚さは薄く、厚み方向の圧縮特性を正確に把握することは難しい。そこで、防護材を多層に重ねたものを供試体として静的圧縮実験を実施することで、防護材単層の特性の推定を試みた。図-6 に圧縮実験の概要ならびに供試体設置状況を示す。表-1 に実験ケースを示すが、ゴム等の材料においては受圧面積が力学特性に影響を及ぼすため、本防護材においても層数に加え、寸法を実験パラメータとした。測定項目は荷重と変位であり、荷重は耐圧試験機（測定荷重レンジ 500kN）、変位は高感度変位計を用いて計測した。

表-1 実験ケース

寸法 $a \times a$ [mm]	積層数 N [層]	寸法 $a \times a$ [mm]	積層数 N [層]
100×100	3	75×75	5
	5		10
	7		15
	10	150×150	5
	15		10
	20		15

※全ケース各 3 回実施

3.3 実験結果および考察

まず、図-7 に供試体寸法 100mm×100mm、積層数 5 層、10 層、20 層の場合のケースの荷重－変位関係を代表として示す。この図より、層数が増加すると、初期高さが大きくなることで、発生変位が大きくなることがわかった。これは当たり前の傾向であるものの、図中の結果に対して変位を層数で除して整理したものを併せて載せているが、変位を層数で除すると層数の異なるケースはほぼ同一のラインに載り、他の積層数のケースでも同様の結果を示すことから、防護材単層の特性を推定できることがわかった。つまり、この防護材の場合、層数を乗じることで異なる層数の防護材の荷重－変位特性を推定可能であるといえる。

次に、横軸を初期高さに対する変位の割合である圧縮率 (%) で整理して、他の受圧面積のケースも含めて整理したグラフを図-8 に示す。これより、荷重－圧縮率関係は積層数や受圧面積に拠らないこと、また、圧縮率 70% まではほぼ荷重に抵抗せず、それ以降に急激に荷重

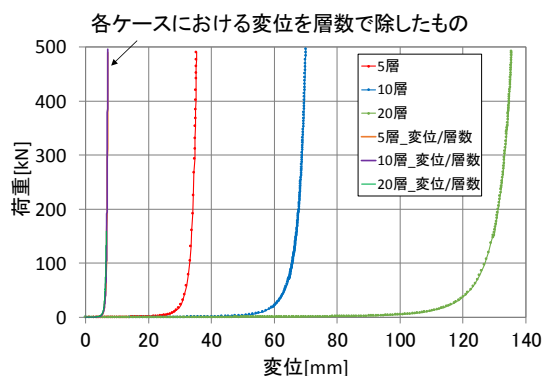


図-7 荷重－変位関係

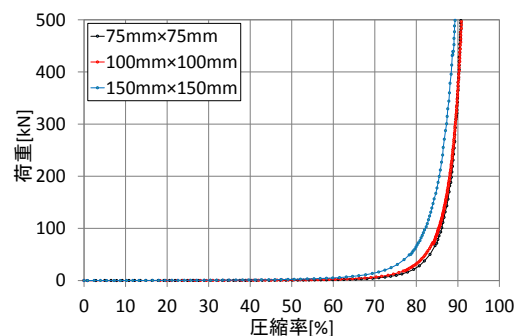


図-8 荷重－圧縮率関係（代表して 10 層の場合）

が立ち上がることが確認できた。つまり、この防護材は高圧縮時に荷重に抵抗する機構を有することが確認できた。

4. 落錘式衝撃実験による PE 管の耐衝撃性能ならびに防護材の緩衝特性の検討

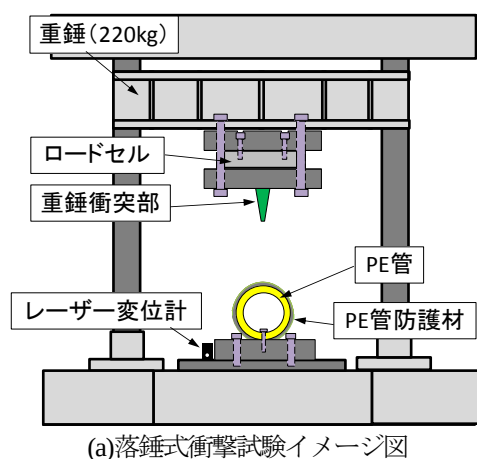
4.1 実験概要

PE 管および防護材で被覆した PE 管の耐衝撃性能を明らかにするために、落錘式衝撃装置を用いて衝撃実験を実施した。図-9 に衝撃試験装置の概要ならびに供試体設置状況を示す。本試験装置では、ガイドレールにより自由落下挙動時や衝突時の鋼製重錘の偏心を制御できるようになっており、衝突速度と落下高さの関係は理論値通りであることを実験開始前に確認している。対象とした PE 管は、管種 1 号 U の口径 150 であり、寸法は図-10 に示す通りである。载荷条件は、実物のバケット先端を模した器具を取り付けた鋼製重錘を供試体のスパン中央に所定の高さから自由落下させるものとし、供試体は衝撃载荷時の回転や跳ね上がりを防止するために管の底面を M10 のボルトで底板に固定した。ガス導管は実際には地中埋設管が多いため、本研究で仮定した実験条件は PE 管に対して厳しい条件下であるといえる。载荷方法は単発衝撃ならびに一定速度の繰り返し衝撃とした。なお、载荷条件の設定については、4.2 節に詳細を記す。PE 管裏面が破断した場合ならびに明確に貫通が見られたときを終局とみなした。いくつかのケースでは、载荷部裏面が固定部に接触寸前まで変形しても終局に至らない場合もあったが、その時点で载荷を終了した。測定項目は重錘衝撃力、重錘移動量、衝突部表面残留変位、管厚変化率、変形状況とした。衝撃力は重錘側に取り付けたロードセル（容量 100kN、応答周波数 0.9kHz）、重錘移動量は非接触型レーザー式変位計（応答周波数 915Hz）により計測した。また、図-11 に示す衝突部表面残留変位と管厚変化率はいずれもデジタルノギスにより計測し、変形状況は高速度カメラによって得られた映像により分析した。

4.2 载荷条件の設定

本研究では、実際の掘削工事で起こりうる事故を想定して、落錘式衝撃試験装置における载荷条件の設定を試みた。実際の掘削工事において PE 管に作用する等価質量と衝突速度を明らかにする必要がある。

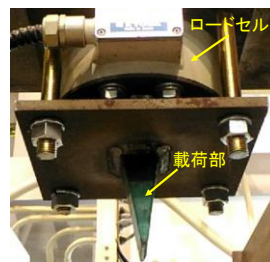
まず、等価質量の推定については、1)バックホウ(図-12 参照)のバケット部のみの質量がそのまま等価質量として作用する、2)アーム部を含めたフロント部の機構全体の慣性能率を考慮してバケット部の等価質量を決める⁹⁾などのことが考えられる。既往の研究で検討されている後者の方法では、フロント部を力学的に簡略化したモデルを仮定し、振動解析を行うことで地面への衝撃応



(a)落錘式衝撃試験イメージ図

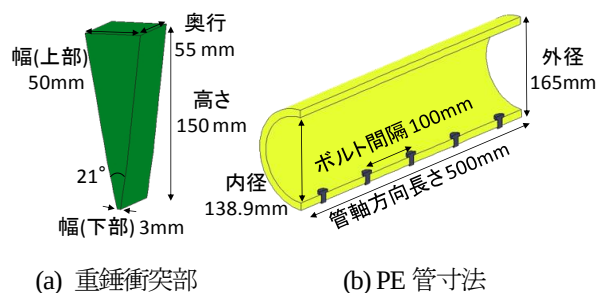


(b)供試体設置図



(c)重錘衝突载荷部

図-9 落錘式衝撃試験概要図



(a) 重錘衝突部

(b) PE 管寸法

図-10 重錘衝突部、PE 管の寸法



(a)载荷後の供試体

(b)载荷部の拡大図

図-11 衝突部表面残留変位と管厚変化率の定義

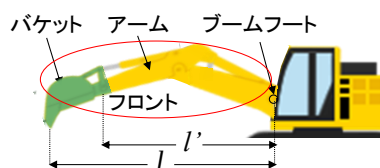


図-12 バックホウの模式図

力を算定しており、そのバケット部の等価質量は、

$$m = \frac{J - m'l'^2}{l^2} \quad (1)$$

で算出されるとしている。ここに、 m はバケットの質量、 J はブームフット周りのフロントの慣性能率、 m' はバケット部を除いたフロントの等価質量、 l はブームフットからバケット先端の距離、 l' はブームフットからアームとバケットの接合部までの距離を表す。そこで、実際のガス工事で広く使われる後方超小旋回型バックホウを想定し、バケットの容量を 0.45m^3 と仮定したときの情報を用いて等価質量を計算すると、バケットの質量が 218kg であるのに対して等価質量 m は 240kg となる。また、実際に工事で用いられる後方超小旋回型バックホウのバケット容量が約 $0.1\text{m}^3 \sim 0.45\text{m}^3$ で、そのときの質量が $100 \sim 220\text{kg}$ であることを考えると、後者の方法で算定される等価質量はほぼバケット部の質量と同程度になることがわかった。そこで、本研究ではバケット部の質量として考え得る最大の 220kg を重錘質量として設定した。

次に、掘削中に起こり得る衝突速度については、バックホウ操作者の熟練度によっても異なるため様々であるが、一般的に掘削速度（地盤を掘る速度）が 0.38m/s と言われていること¹⁰⁾、また、掘削作業ではコンクリート等を割る作業と異なり、高くても 50cm を超えた高さからバケットを振り下ろすことは無いというヒヤリング調査結果などを踏まえると、想定衝突速度は $0.38 \sim 3\text{m/s}$ 程度であると推定される。

4.3 実験ケース

4.2 節を踏まえ、本研究で設定した実験ケースは表-2の通りである。重錘質量は 220kg で一定とし、単発衝撃载荷、一定速度繰返し衝撃载荷での衝突速度は 2m/s 、 3m/s を基本とした。また、重錘衝突部の衝突方向としては、より危険側の衝突条件であると想定される図-13(a)に示す方向 A を標準とし、比較のため、図-13(b)に示す方向 B も実施した。

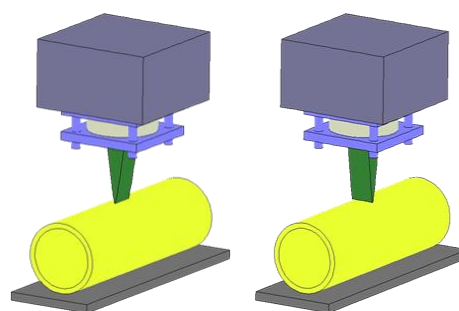
4.4 実験結果及び考察

(1) PE 管自体の変形及び破壊挙動について

PE 管自体の変形及び破壊挙動を考察するために、裸管に対して実施した静的载荷実験と衝突速度 3m/s の衝撃実験の結果として、荷重－変位関係の比較を図-14、衝撃载荷時の変形状態を写真-2 に示す。これより、静的载荷と衝撃载荷ではほぼ同様な傾向で推移するものの、同一変位時の荷重は衝撃载荷の場合のほうが大きくなることが確認できた。これは、ひずみ速度効果によるものと推察される。写真-2 を見てもわかるように、PE 管は可撓性に優れて大きく変形するが、除荷時にはほぼ元に戻ることから、PE 管自体のエネルギー吸収能が高いことも明らかとなった。また、両载荷に関わらず、衝突部

表-2 衝撃実験ケース

衝突速度 [m/s]	防護材層数 [層]	载荷方法	载荷方向
2	0	単発及び繰返し	A (標準)
	1	単発及び繰返し	
	2	単発及び繰返し	
	3	単発及び繰返し	
2.5	0	単発	
	1	単発	
3	0	単発	
	1	単発	
	2	単発及び繰返し	
	3	単発及び繰返し	
3.5	2	単発	
4	3	単発	
2	0	単発	B
	2	単発	



(a)载荷方向 A (標準) (b)载荷方向 B (90 度回転)

図-13 载荷方向について

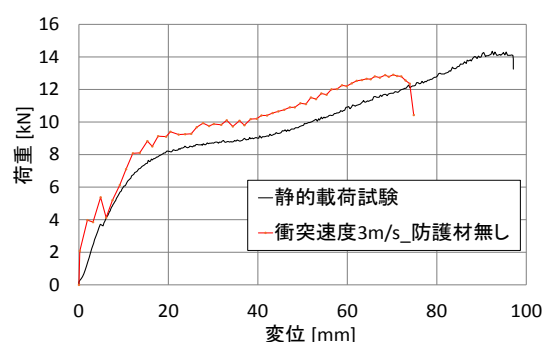
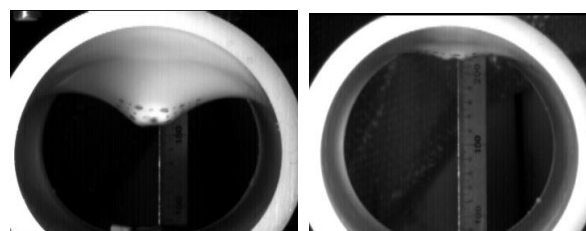


図-14 荷重－変位関係（静的と衝撃载荷の比較）



(a)最大変形時

(b)除荷後

写真-2 衝撃载荷時の PE 管の変形状態

裏面の引張域において白化領域が確認され、その白化領域が断面内に拡がることにより、最終的に破断に至ることが確認できた。

(2) 単発衝撃に対する防護効果

単発衝撃に対する防護材の効果に対して考察するために、衝撃力低減効果と局所変形抑制効果について検討した。図-15 に衝突速度 2m/s の場合の重錘衝撃力波形の比較図を示す。この図に示されるように、最大衝撃力やその継続時間に対して防護材の有無やその積層数による影響はほとんど見られなかった。つまり、本研究で対象とした防護材は、衝撃力低減効果や荷重の分散効果はあまり有していないものと考える。

次に、図-16 に衝突速度 2m/s の場合の衝突部表面残留変位と管厚変化率の結果、写真-3 に防護材が無い場合と防護材 2 層の場合の衝突部近傍断面図を示す。衝突部表面残留変位に着目すると、防護材無しの場合では 10.2mm に対し、1 層の場合では 8.6mm、2 層の場合では 7.3mm、3 層の場合では 6.8mm というように、積層数が増えるにつれて、低減できていることがわかる。また、ガスの品質評価に用いられる管厚変化率も同様な傾向を示した。なお、ガスの品質評価では管厚変化率が 20% を超えないことが規定されており、20% を超える場合は破損とみなされるが、衝突速度 2m/s の場合では防護材が無い場合では管厚変化率が 20% を超えているのに対し、防護材を被覆することにより、その品質評価をクリアできることが確認できた。つまり、本研究で対象とした防護材では強化繊維により衝突部の亀裂やきずといった貫通に繋がる局所変形を十分に抑制する効果を有するといえる。なお、写真-4 に衝突速度 3m/s の場合の最大変形図と防護材の損傷状況を示す。衝突速度 3m/s の場合、防護材が無い場合と防護材を 1 層被覆した場合

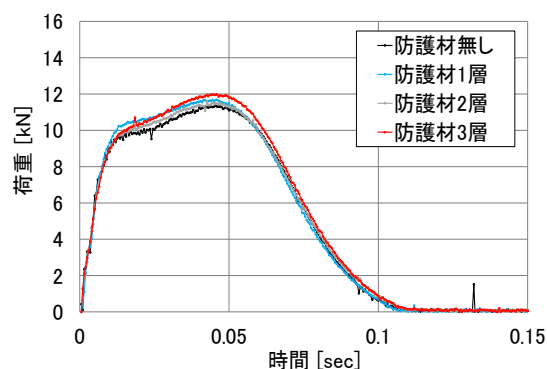


図-15 重錘衝撃力波形の比較図 (2m/s)

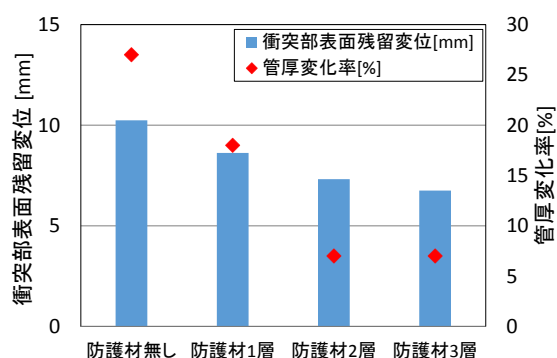
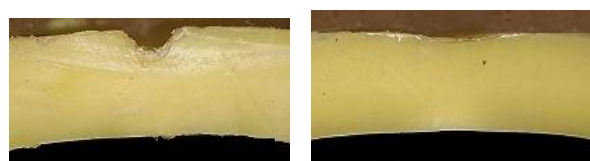
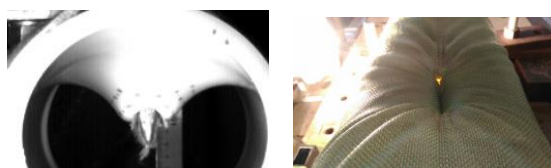


図-16 衝突部表面残留変位と管厚変化率 (2m/s)



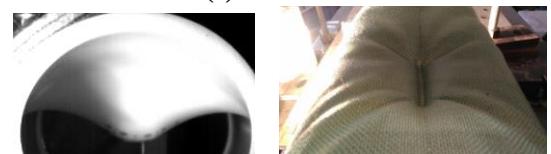
(a)防護材無し (b)防護材 2 層
写真-3 衝突部近傍断面図 (2m/s)



(a)防護材 1 層



(b)防護材 2 層



(c)防護材 3 層

写真-4 最大変形図と防護材の損傷状況 (3m/s)

表-3 単発衝撃载荷における結果一覧

衝突速度 [m/s]	防護材 層数	管厚変化率 [%]	損傷状況※	
			PE 管	防護材
2	0	27	損傷	
	1	18		
	2	7		
	3	7		
3	0	-	貫通	貫通
	1	-	貫通	貫通
	2	24	損傷	破損
	3	15		
2.5	0	-	貫通	貫通
	1	33	損傷	破損
3.5	2	-	貫通	貫通
4	3	35	損傷	破損

※PE 管の「損傷」とは貫通はしていないが、クレーズの生成が生じ、裏面にクラックが生じたものを示す。また、防護材の「破損」は一部で強化繊維の破断が生じたものを示す。

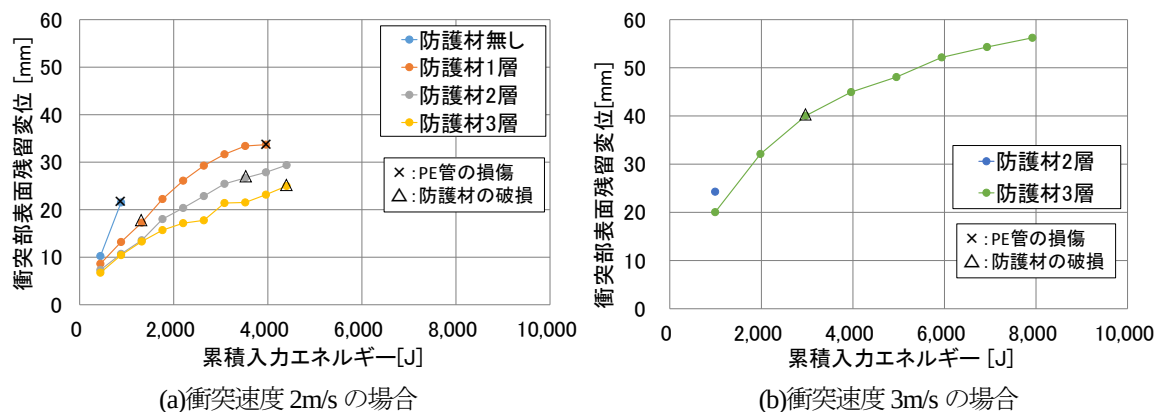


図-17 繰返し衝撃载荷による衝突部表面残留変位の推移

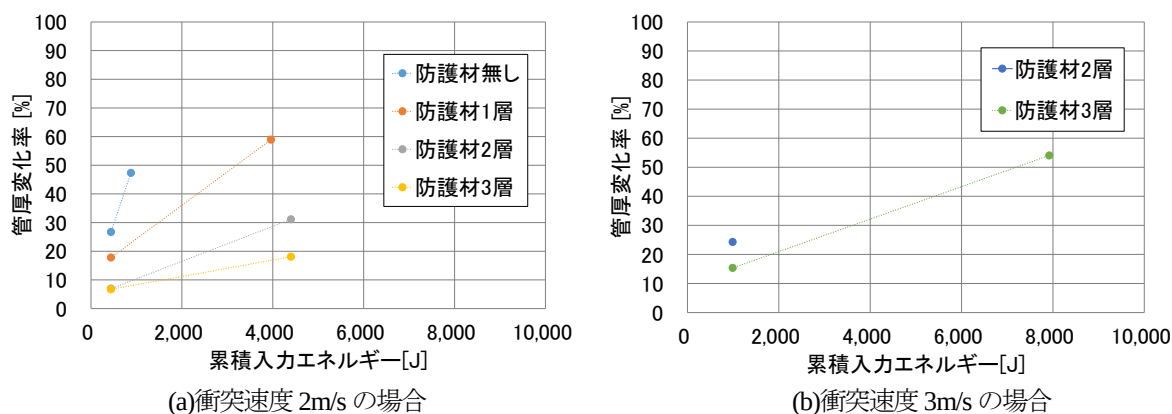


図-18 繰返し衝撃载荷による管厚変化率の推移

では PE 管は貫通破壊したが、2 層以上被覆することにより貫通を抑制することができた。また、防護材の損傷状況としては、防護材 2 層の場合では若干強化繊維の破断が見られたが、防護材 3 層の場合ではほとんど無損傷状態であった。

最後に、表-3 に各ケースの結果を纏める。この表には、局所変形の指標となる管厚変化率、防護材の損傷状況、PE 管の損傷状況を載せている。この表より、衝突速度を 0.5m/s 刻みで実施した本実験の結果として、貫通破壊が生じる限界衝突速度は、防護材が無い場合は 2.5m/s、1 層の場合は 3m/s、2 層の場合は 3.5m/s となり、3 層の場合は衝突速度 4m/s においても貫通破壊は生じなかった。4.2 節で述べたように掘削工事中に想定される衝突速度は 0.38m/s～3m/s 程度であることを考えると、本防護材で 2 層以上被覆すれば PE 管の損傷は防げるものと考えられる。

(3) 繰返し衝撃に対する防護効果

繰返し衝撃に対する防護材の効果に対して考察するために、局所変形を表す衝突部表面残留変位と管厚変化率について、衝突回数と運動エネルギーの積で表される累積入力エネルギーで整理した。ただし、累積入力エネルギーには重錘のリバウンドは考慮せず、初撃のみで算定した。まず、図-17(a), (b)にそれぞれ衝突速度 2m/s, 3m/s の場合の衝突部表面残留変位の結果を示す。なお、

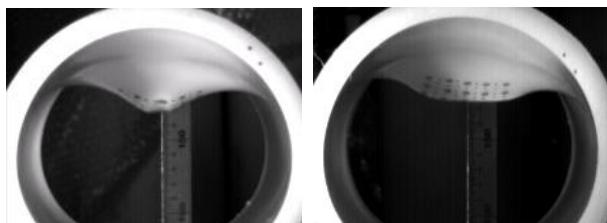
図中の△印は防護材の破損、×印は PE 管の損傷を示している。まず、衝突速度 2m/s の場合、積層数が多くなることで同一累積入力エネルギー時の衝突部表面残留変位は小さくなる傾向にあり、さらに、積層数が多くなるにつれて、防護材の破損や PE 管の損傷に至る累積入力エネルギーが大きくなることから、防護材は繰返し衝撃にも十分に有効であることが確認できた。また、衝突速度 3m/s の場合でも同様な傾向を示した。ただし、図-17(a), (b)より、累積入力エネルギーが同じであっても、衝突速度が異なれば、衝突部表面残留変位は異なることから、累積入力エネルギーと PE 管の局所変形を関係付けることは難しいと言える。次に、図-18(a), (b)にそれぞれ衝突速度 2m/s, 3m/s の場合の管厚変化率と累積入力エネルギーの関係を示す。なお、管厚変化率は PE 管を切断後に計測する必要があるため、単発衝撃による結果と繰返し衝撃の最終回後の結果のみを載せている。これらの図より、防護材の積層数を増やすことで管厚変化率を明らかに低減できていることが確認できた。

(4) バケット先端の衝突方向に関する検討

図-13(a), (b)に示すようにバケット先端の衝突方向の違いによる PE 管の変形挙動ならびに防護材の効果について考察する。本実験においては、図-13(a)に示す载荷方向 A を標準と考えているが、実際の掘削時には様々な方向からの衝突が考えられるため、極端なケースとして

表-4 载荷方向による局所変形への影響

衝突速度 [m/s]	防護材 層数[層]	载荷方向	衝突部表面残留変位 [mm]	管厚変化率 [%]	損傷状況※	
					PE 管	防護材
2	0	A	10.2	27	損傷	-
	2		7.3	7	-	-
	0	B	9.1	10	-	-
	2		6.8	5	-	-



(a)载荷方向 A

(b)载荷方向 B

写真-5 バケット先端部の载荷方向の違いによる影響

図-13(b)に示すように衝突方向を 90 度回転させた载荷方向 B のケースを実施して、その影響について調べた。その結果、表-4 に局所変形に関する結果を整理したものを、写真-5(a), (b)に変形状況の比較図を示す。これらより、载荷方向 B で衝突させる場合には、载荷方向 A のケースと比べて、管厚変化率が小さくなり、写真-5 を見てもわかるように局所的な変形が抑制されることが確認できた。つまり、本研究において標準として実施した载荷方向 A がより危険側の衝突条件であり、この方向で実施した結果をベースに考えることが安全側の評価に繋がるものといえる。

5. まとめ

本研究により得られた成果は以下の通りである。

- 1) PE 材の基礎特性を明らかにした。また、比較的厚みの薄い防護材単層の厚み方向の圧縮特性を多層積層供試体の圧縮特性から推定した。その結果、対象とした防護材は圧縮率 70%以上の高圧縮時に荷重に抵抗する特性を有することが明らかとなった。
- 2) PE 管の耐衝撃性能として、ひずみ速度効果により破断時の変位が静的载荷と比べて小さくなるものの、大変形を伴う同様な変形過程を示し、衝突部裏面の引張域において白化領域が確認され、その白化領域が断面内に広がることにより、最終的に破断に至ることが確認できた。
- 3) 本防護材は衝撃力低減効果をあまり有していないものの、PE 管の局所変形抑制効果は十分に有していることが明らかとなった。実際の掘削工事で起こりうる事故を想定して設定した衝突条件下における単発衝撃実験の結果、本防護材で2層以上被覆すればPE 管の損傷は防げると考えられる。

4) 本防護材は繰返し衝撃にも十分有効であることが確認できた。

5) 管軸に沿った方向で重錘衝突部を载荷する载荷方向 A はより危険側の衝突条件であることが明らかとなり、この方向で実施した結果をベースに考えることが安全側の評価に繋がるものといえる。

今後は、本研究で得られた成果をもとに数値解析による検討を実施し、他の口径に対する検討や地中埋設の条件下での検討を実施していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 高圧ガス保安協会：ガス用ポリエチレン管技術資料，第2改訂版，2013
- 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，平成28年1月
- 3) 塩浜裕一，坂本宏昭：水道配水用ポリエチレン管の耐震性能，日本地震工学会論文集，第15巻，第7号(特集号)，2015
- 4) 建設設備用ポリエチレンパイプシステム研究会：建設設備用ポリエチレン管技術説明資料，2009年3月
- 5) 西村寛之，川口隆文：プラスチックパイプにおける機械的長期特性評価，マテリアルライフ学会誌，18[1]，23~28，2006年1月
- 6) 飯田昌造，坂見宏：圧延ポリエチレンのネック延伸，高分子論文集，Vol.34，No.7，483-489
- 7) 高橋順一：結晶性ポリマにおけるクレーズ進展挙動のモデル化およびそれを用いた破壊予測シミュレーション，慶応義塾大学大学院理工学研究科学学位論文，2013(未公刊資料)
- 8) Ming-ming Xu, Guang-yan Huang, Shun-shan Feng, Graham J. McShane and William J. Stronge: Static and Dynamic Properties of Semi-Crystalline Polyethylene, Polymers 2016, 8, 77
- 9) 久保寺敬蔵：ドラグショベルフロントの衝撃応力，日立評論 1964 年 10 月号
- 10) 安国明：油圧ショベルの最適設計に関する研究，京都大学大学院学位論文，1989(未公刊資料)

(2017 年 9 月 25 日受付)

(2018 年 2 月 1 日受理)