

重機の衝突を受ける樹脂製ガス管の損傷状況及び貫通限界に関する実験的研究

九州大学大学院 学生会員 神川 創太 西部ガス株式会社 正会員 中山 歩
九州大学大学院 正会員 玉井 宏樹 九州大学大学院 フェロー会員 園田 佳巨

1. 緒言

現在ガス管として広く普及している中密度ポリエチレン管（以降、MDPE 管と称す）は、ガス事業者以外による工事で重機の衝突を受けて損傷する事故が毎年発生している。そのため、強化繊維と不織布から成る防護材を MDPE 管に被覆することで防護を行っている一方で、鋼管のように管自体の強度によって事故による損傷に耐えることを目的とした新たなガス導管材料の検討もなされている。本研究では、現行の MDPE 管と新たなガス導管材料として可能性のある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）に対して事故を想定した落錘式衝撃実験を実施することで、事故下における樹脂管の損傷状況を把握した。また、事故を防ぐためには衝撃実験によって管の損傷状況を把握することが必要である一方で、全ての管種、規格に対して様々な衝突条件で実験を行うにはコストを要する。そこで、管に対する静的圧縮実験の結果から衝撃実験で管に貫通が生じる速度の推定を行った。

2. 実験概要

図-1 に落錘式衝撃実験装置の概要図を示す。供試体にはガス管として一般的に用いられている管種 1 号 U の MDPE 管を用いた。HDPE 管と PA 管に関しては MDPE 管と同様の規格が存在しないため、大きさの近い規格を用いた。軸方向長さはすべての管種で 500mm とした。管の断面寸法は図-2 に示す。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設定した高さから自由落下させ単発衝突を与えるものとし、供試体の跳ね上がり、回転防止のために底面を M10 のボルトで固定した。衝突速度については、過去の検討から事故で想定される最大の衝突速度である 3m/s を基準に設定した。測定項目は重錘衝撃力、重錘変位、実験後の衝突部の管厚とした。実験ケースは表-1 に示すとおりである。静的圧縮実験についても、万能試験機と同様の载荷治具を用いて鉛直下向きに静的に载荷した。

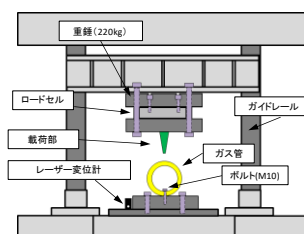


図-1 落錘式衝撃実験装置

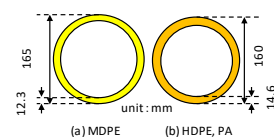


図-2 管の断面寸法

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

3. 実験結果

3.1 管の損傷状況

図-3 にガス管の品質評価に用いられる管厚変化率の定義を示す。この品質評価方法では管厚変化率が 20% を超えると損傷と判定される。表-2 には衝突速度ごとの管厚変化率と損傷状況を示す。HDPE 管は事故で想定される衝突速度である 3m/s で損傷に至るものの、貫通は生じないことがわかった。一方で PA 管は 3.5m/s でも損傷に至らず、事故で想定される最大の衝撃力に耐えられることがわかった。

3.2 貫通が生じる速度の推定

本項ではエネルギー論に基づいて貫通の有無の推定を行った。図-4 には 1 例として MDPE 管の静的実験と衝撃実験の吸収エネルギーの比較を示す。静的実験の吸収エネルギーは静的実験で得られた荷重-変位関係から、衝撃実験

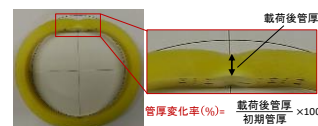


図-3 管厚変化率の定義

表-2 管の損傷状況

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
PA	3.5	-	貫通
	2	5	-
	2.3	6	-
	3	14	-
	3.5	18	-
	4	-	貫通

の吸収エネルギーについては、図-5 に示すように衝突した瞬間と管の最大変位に達した時の重錘の力学的エネルギーの差から算出した。

$$\begin{aligned} (\text{衝撃試験の吸収 } E) &= (\text{運動 } E) + (\text{位置 } E) \\ &= \frac{1}{2}mv^2 + mgh \end{aligned} \quad (1)$$

比較の結果、すべての管種において衝撃実験の吸収エネルギーが静的実験の吸収エネルギーを超えたケースで貫通破壊が生じていることが確認されたため、本実験では吸収エネルギーの比較によって貫通の有無を判定できるとした。そこで、次に静的実験の結果から衝撃実験の疑似的な吸収エネルギーの算出することで、衝撃実験無しに貫通の有無の評価を試みた。

1 例として MDPE 管の静的実験と衝撃実験における重錘の最大変位の比較を図-6 に示すように、全ての管種において静的実験の最大変位が衝撃実験の最大変位より大きくなるものの、管種毎に比較すると静的試験の値は衝撃試験の最大値に比較的近い値をとることが確認された。この結果から衝撃実験の吸収エネルギーを算出する式(1)の最大変位 h に静的実験の最大変位 h' を代入することで次のように疑似的な衝撃実験の吸収エネルギーを算出した。

$$\begin{aligned} (\text{疑似的な吸収 } E) &= \frac{1}{2}mv^2 + mgh' \\ h' : \text{静的試験の最大変位(mm)} \end{aligned} \quad (2)$$

図-7, 8, 9 に MDPE 管, HDPE 管, PA 管それぞれにおける衝撃実験で得られた実際の吸収エネルギーと静的実験の結果から算出した疑似的な吸収エネルギーとの比較を示す。誤差は MDPE 管が最も大きく衝突速度 2m/s で 19.4%, 3m/s では 7.1% となった。疑似的な吸収エネルギーは実際の吸収エネルギーを過大評価する結果となったが、貫通の有無を安全側で評価することには使用できると考えている。

4. 結論

MDPE 管, HDPE 管, PA 管に対して実際の掘削工事での事故を想定した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及び損傷状況を明らかにした。HDPE 管, PA 管に関しては事故で想定される最大の衝突速度である 3m/s においても貫通破壊が生じず, PA 管に関しては損傷なく耐えることがわかった。

衝撃実験における貫通が生じる速度の推定においては、静的実験の最大変位を用いて算出した疑似的な衝撃試験の吸収エネルギーと静的実験の吸収エネルギーを比較することによって、静的実験の結果のみで貫通破壊の有無を安全側で評価できる式を提案した。

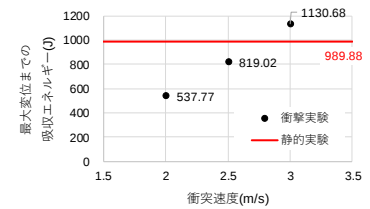


図-4 吸収エネルギーの比較 (MDPE 管)

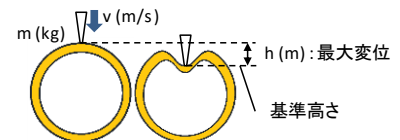


図-5 吸収エネルギーの算出 (衝撃試験)

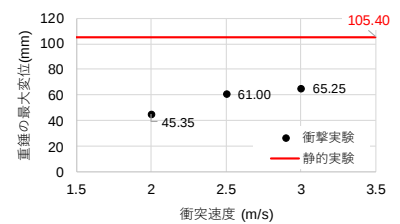


図-6 最大変位の比較 (MDPE 管)

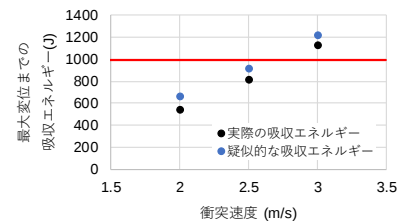


図-7 吸収 E の比較 (MDPE 管)

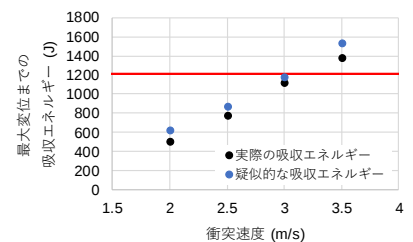


図-8 吸収 E の比較 (HDPE 管)

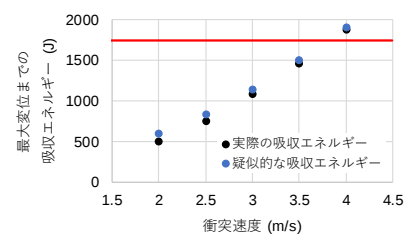


図-9 吸収 E の比較 (PA 管)