

ガス用中密度ポリエチレン管の耐衝撃性能に関する解析的検討

九州大学大学院 学生会員 ○神川 創太 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 西部ガス株式会社 正会員 中山 歩

1. 緒言

現在、ガス管として広く普及しているポリエチレン管（以降、PE 管と称す）は、ガス事業者以外による工事で損傷する事故が発生しており、防護措置の検討が必要となっている。過去の検討では、PE 管の耐衝撃性能を把握するために、固定した PE 管に対して鉛直下向きに重錘を落下させる落錘式衝撃実験を行った。本研究では、実運用下における地中埋設や内圧負荷といった実験での検討が困難な状況での PE 管の耐衝撃性能を明らかにするために、まず材料試験により得られた結果を踏まえて仮定した構成則を用い、有限差分法による PE 管の衝撃実験のシミュレーションを実施することでその妥当性を検証した。そして内圧、規格の影響について考察した。

2. 数値解析概要

本研究では、有限差分法ベースの衝撃解析ソフトウェア AUTODYN Ver18.0 を用いて解析を実施することとした。解析においては、状態方程式、材料構成則や破壊側などを設定する必要があるが、PE 材においては先に行った材料試験結果により材料定数を算出した。

図-1 に解析モデル、境界条件を示す。PE 管、重錘の先端部は実験と同様の規格、寸法のもの（図-2）を用い、重錘の質量は 220kg とした。PE 管は衝突部近傍において 1 辺約 2mm の立方体となるような格子分割とした。また、重錘は衝突する面が 1.5mm×5mm の長方形格子となるようにした。重錘には鉛直方向に初速度を与え PE 管中央に衝突させた。PE 材は静水圧依存性を示すことがわかっているため、図-3,4 に示すような Drucker-Prager の降伏条件に従う弾塑性体を仮定した。PE 材は引張試験において、発生したくびれが局所化せずに伝播していくことがわかっているため、降伏した後に再度急激に硬化させることでくびれの伝播を表現した。また、Cowper-Symonds 式により、ひずみ速度効果を導入した。材料定数としては、PE 材は明確な降伏点を持たないので、一軸圧縮・引張試験における 0.2%耐力である 17.95MPa を圧縮強度、16.36MPa を引張強度とし、ヤング率は 677MPa、ポアソン比は 0.403 を用いた。状態方程式は線形の状態方程式を用い、破壊則は設定せず、PE 材には破断に至るほどのひずみに達するとその要素を計算から除外するエロージョンを設定した。なお、重錘、銅板は弾性体とした。解析ケースは衝突速度 2, 3m/s とし、内圧の有無や管の規格の違いによる貫通限界衝突速度を明らかにすることとした。この際内圧には、今後普及が期待される中圧 B 規格で想定される最大圧力である 0.3MPa を設定した。

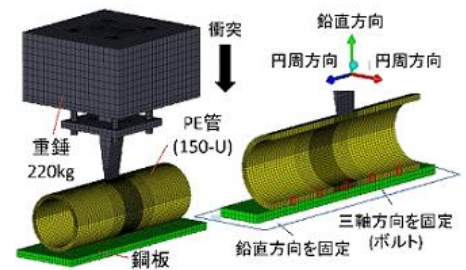
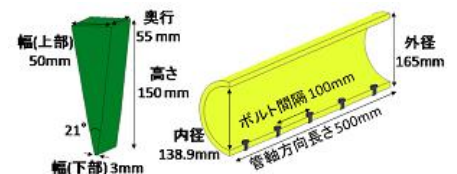


図-1 解析モデルおよび境界条件



(a) 重錘衝突部 (b) PE 管寸法図

図-2 重錘衝突部, PE 管の寸法

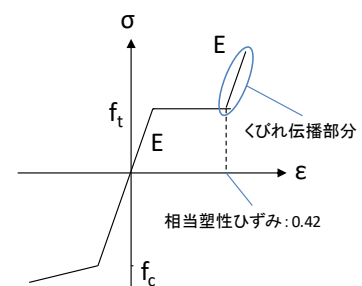


図-3 PE 材の構成則

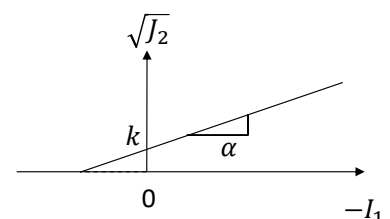


図-4 Drucker-Prager の降伏関数

3. 解析結果及び考察

3.1 解析の妥当性検証

図-5, 6 に衝突速度 2m/s, 3m/s の重錘変位量-時間関係を示す。図-7 の最大重錘変位量に着目すると、実験では、59.95mm, 解析では、65.95mm であり誤差は約 10%であった。

図-7, 8 には解析と実験における衝突速度 2m/s 時の変形比較図, 衝突速度 3m/s 時の貫通破壊状況比較図を示す。図-7 より、実験の白化域と解析のくびれ伝播部を定義した相当塑性ひずみ 0.42 以上 (赤色) の部分は概ね一致し、貫通せずに衝撃荷重にたいして管全体で変形するという機構を再現できた。しかし、図-7 の実験時の重錘衝突部裏面の、中央が凹み、その両側が山になるような状態を再現することはできていない。図-8 より、衝突速度 3m/s の場合には、実験と同様に重錘が PE 管を貫通することが確認できた。また、解析により PE 管の貫通は、衝突部表面における衝突部との接触による損傷に加え、裏面側の引張による破断の両面からの損傷によって生じることがわかった。重錘変位量は実験値と比べて少し大きくなっているが、全体的な変形挙動や貫通の有無は実験と同様の変形挙動を示したため、本解析モデルで貫通等を定量的に評価可能であることが確認できた。

3.2 内圧, 規格の影響に関する考察

図-5, 6 に PE 管に内圧 0.3MPa を与えたケースの重錘変位量-時間関係を示す。内圧を与えることで PE 管は見かけ上硬くなり、重錘変形量が少なくなることがわかった。また、衝突速度 3m/s での検討においては、内圧は PE 管の貫通破壊の有無にあまり影響を与えないことがわかった。

表-1 に PE 管の規格ごとの比較を示す。外径が 150-U の約 0.69 倍となる 100-U でも重錘衝突速度 3m/s にて貫通が生じたが、150-U の約 1.3 倍である 200-U では生じず、貫通する速度が大きくなることがわかった。このことから、口径や管厚に応じて貫通速度が異なり、規格が大きい場合衝突部の局所的な変形より管の全体的な変形が占める割合が大きくなることで貫通速度が大きくなったと考えられる。

4. 結言

PE 材を静水圧依存の弾塑性体として、材料試験で得られた特性を仮定することで、PE 管の全体変形挙動および貫通破壊の有無を再現可能であることが確認できた。しかし、重錘衝突部裏面の管の変形を考慮できておらず、今後検討が必要である。また、実際のガス管に想定される内圧、規格を考慮した解析を行うことにより、内圧、規格による PE 管の変形、破壊に対する影響を明らかにすることができた。

参考文献

- 1) 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(2018年3月)

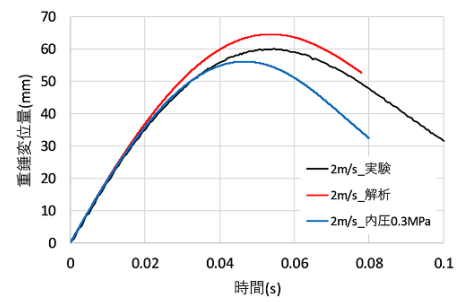


図-5 重錘変位量-時間関係 (2m/s)

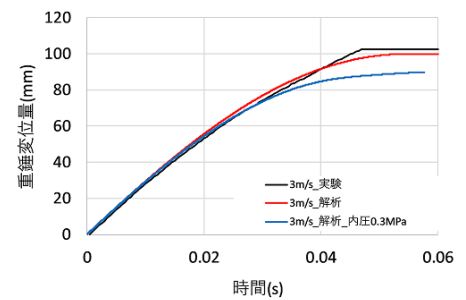


図-6 重錘変位量-時間関係 (3m/s)

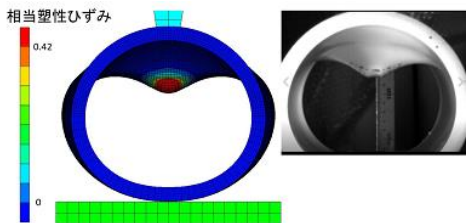


図-7 最大変形比較図 (2m/s)

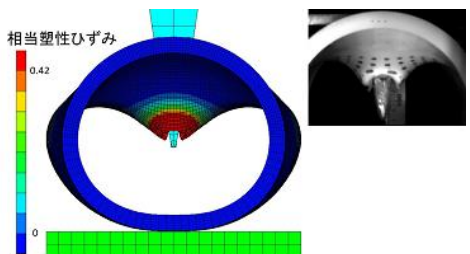


図-8 貫通破壊状況比較図 (3m/s)

表-1 規格の影響の比較

PE管規格	管厚 [mm]	外径 [mm]	衝突速度 [m/s]	貫通の有無
100-U	8.5	114	3	有
150-U	12.3	165	3	有
200-U	16	216	3	無
			4	有