ガス用ポリエチレン管の耐衝撃性能把握のための数値解析による基礎検討

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
西部ガス株式会社	正会員	中島 健一郎			

1. はじめに

近年,都市ガス用として普及しているガス用ポリエチレン管(以降,PE管と称す)は、ガス事業者以外の者が行う建設工事等に伴う事故によって重機のバケット先端の衝突作用を受ける場合があるため、防護材を敷設するなどの防護対策がとられている.著者らは、強化繊維と不織布から成る防護材に着目して、その防護効果について実験により検討してきたが、実運用下で想定される地中埋設状況やガスの内圧等の影響を実験で明らかにするのは困難であり、数値解析による検討が必要である.そこで、本研究では、材料試験結果に基づき PE 材の材料モデルを検

討し,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.さらに,管の貫通限界速度に及 ぼす内圧や規格(サイズの違い)の影響について考察した.

2. 数值解析概要

2.1 全体概要

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 Ver.14.5 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、材料構成則や破壊則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.

2.2 PE 材のモデル化

図-1 に解析モデル、境界条件を示す. PE 管、重錘先端部は実験と 同様の規格, 寸法のもの(図-2 参照)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 に示すような非線形 Drucker-Prager の降伏条件に従う弾塑性 体を仮定した。なお、引張側では、硬化後に軟化を示すモデルを採用 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.状態方程式は非線形的な衝撃荷重を受けても質量保存式や 運動量保存式,エネルギー保存式を満たすよう Mie-Gruneisen 型衝撃 ユゴニオ状態方程式を用い,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、鋼板は弾性体とした.解析ケースは衝突





キーワード ポリエチレン管, 衝撃解析

連絡先 〒819-0395 福岡県福岡市西区元岡 744 TEL092-802-3371

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 ている中圧 B 規格で想定される最大圧力である 0.3MPa を設定した.

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の重錘移動量-時間関係を示す.まず, 図-5の最大重錘移動量に着目すると,実験では59.95mm,解析では 54.28mmであり誤差は10%以内であった.図-6の最大移動量,貫通時点 の重錘移動量はともに解析の方が若干小さいが,本解析により概ね良好 に再現できているといえる.次に,図-7の荷重-時間関係においても実験 と解析は概ね一致しているといえる.また,後述するが,最大変形状況 を示す図-8,9を見てもわかるように,全体的な変形挙動も概ね実験と同 様の傾向を示したため,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貫通限界速度に関する考察

図-8,9に解析と実験における衝突速度2m/s時の最大変形比較図,衝 突速度3m/s時の貫通破壊状況比較図を示す.図-8より,実験と同様に衝 突部裏面に白化域が生じ,貫通せずに衝撃荷重に対して管全体で変形す るという機構を再現できた.図-9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物との接触による損傷に加え, 裏面側に引張による軟化域が生じ,断面内に拡がり最終的に破断に至る ことで,両面からの損傷により生じるということがわかった.

次に、図-5,6,7 に PE 管に内圧 0.3MPa を与えたケースの結果を示 す.まず、図-5,6 により内圧を与えることで PE 管は荷重に対して変形 量が小さくなり、貫通が生じる際の重錘移動量も小さくなることがわか った.また、図-7 に着目すると内圧の有無により荷重に大きな差が生じ ていることがわかった.内圧 0.3MPa によりその荷重は約 1.2 倍となって おり、PE 管の変形量が抑えられることで衝突部裏面の破断による損傷は 小さくなるものの、衝突により加わる荷重が大きくなることで衝突部表 面における損傷が大きくなり、より防護措置の必要性が高まるというこ とを確認することができた.

最後に PE 管の規格ごとの貫通速度の比較を表-1 に示す.規格(サイズの違い)が大きくなるほど貫通限界速度が大きくなることが確認された.

70 60 50 1 1 1 10 」 三 二 30 10 0 10 0 宝瞈 解析 内圧なし 解析_内圧0.3MPa 0 0.01 0.03 0.04 0.02 0.05 /2 時間 [s] 図-5 重錘移動量-時間関係(2m/s) 70 60 E 50 E 40 重錘移動量 20 10 0 FE 解析 内圧な 0.01 0.02 0.03 時間 [s] 図-6 重錘移動量-時間関係(3m/s) 20 実験 解析_内圧なし 15 ₹ 10 解析 内圧0.3MPa 一重 「「」」 「」」 0 0.02 0.1 0 0.04 0.06 時間 [s] 0.08 図-7 荷重-時間関係 (2m/s) 相当塑性ひずみ 0.42 赤:白化域 図-8 最大変形比較図(2m/s) 相当塑性ひずみ 0.42 赤:白化域

図-9 貫通破壊状況比較図(3m/s)表-1 貫通限界速度比較

PE管規格	管厚 [mm]	外径 [mm]	貫通限界 速度 [m/s]
100-U	8.5	114	2
150-U	12.3	165	2.5
200-U	16	216	3

4. まとめ

PE 材を静水圧依存の弾塑性体として、材料試験に得られた特性を仮定することで、PE 管の全体変形挙動及び貫通限界速度を再現可能であることが確認できた.しかし、本モデルにおいては、引張側でくびれが伝播する特性やひずみ速度依存性を考慮できていないため、今後、検討が必要である。なお、実際のガス管に想定される内圧、規格(サイズの違い)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.