

可塑性材料を充填したパイプインパイプの曲げ挙動に関する実験的検討

北海道大学大学院工学院 学生員 ○小渡 知己
 北海道大学大学院工学院 正 員 佐藤 太裕
 北海道大学大学院工学院 正 員 蟹江 俊仁
 (株) システム工学研究所 正 員 赤川 敏

1. はじめに

地盤変動が頻発する地帯や断層を有する地帯などにおいて、エネルギー資源の安定供給を実現するための輸送技術に資する構造安定性の高いパイプライン、配管設計法を確立する必要がある。そこで曲げ応力の低減という大きな技術的課題が指摘されているが、これに対処するための「高圧に耐え、かつ靱性の高いパイプ」は、必須の要素技術の一つでありながら、要求仕様を満足するものは現存していない。そこで本研究では、図-1 に示すようなパイプインパイプ断面¹⁾のコア部に砂のような可塑性材料を挿入することにより、世界で例を見ない新しいフレキシブルパイプの開発を提案する。つまり、可塑性材料を挿入することで、断面変形拘束性を向上させ、その結果として座屈に強く、要求される曲げ特性を発揮させるものである。本研究では、07 年度に行った中空の単管パイプに対しての曲げ実験結果²⁾と、08 年度から本年度も継続するパイプインパイプに対しての曲げ実験結果の双方を比較することで、中詰材とパイプの相互作用により発揮される性能を評価することを目的としている。

2. 実験概要

図-2 は本研究で用いた実験装置である。曲げモーメント M はロードセルによる荷重の値から、曲率 C は 3 箇所に設置した変位計からそれぞれ換算する。また、軸方向中央部圧縮側・引張側にひずみゲージを設置することにより圧縮・引張それぞれの曲げひずみからも曲率も換算できるようにした。本実験では供試体として中詰材に豊浦標準砂 ($D_{50}=0.2\text{mm}$) を用いたパイプインパイプを使用する。パイプはアルミニウムパイプを使用し、管厚 1mm の外管 (外径 $d=50\text{mm}$) と内管 (外径 $d=20\text{mm}$, 30mm , 40mm) から径比の異なる管長 1 m の 3 パターンのパイプイン

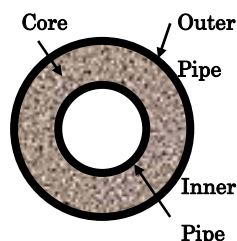


図-1 パイプインパイプ

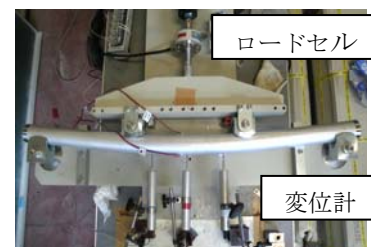


図-2 実験装置

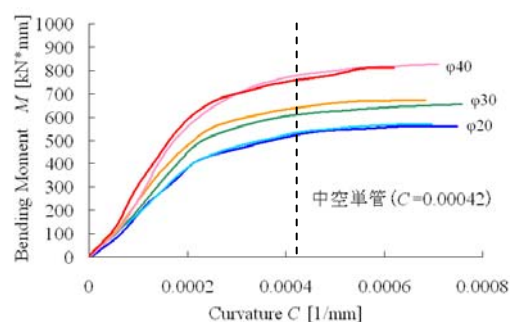


図-3 M-C 関係

パイプ (φ20, φ30, φ40) を 2 本ずつ作製し曲げ実験を行う。また、中詰材に用いる粒状体の粒径が結果にどのような影響を及ぼすのかを調べるために、中詰材としてガラスビーズ(粒径 0.05mm, 1mm)を用いた供試体についての実験も同様に行う。以上をもって作製する供試体にロードセルで載荷し、曲げを加えていく。ここで、ロードセルの値が下がった時点で載荷終了とする。

3. 実験結果と考察

図-3 は砂を充填したパイプインパイプの実験結果であり、パイプにかかる曲げモーメント M と曲率 C の関係である。図中の点線は 07 年度に行った中空単管パイプの破壊時の曲率である。これをみると、砂充填のパイプインパイプは中空単管の破壊時よりも非常に大きな曲率まで破壊しない、すなわち靱性が向上していることがわかる。中空単管の場合は、曲げモーメントが最大となる位置で断面のつぶれに

キーワード パイプインパイプ, 曲げ, 可塑性材

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目 北海道大学大学院工学院 TEL011-706-6176

より変形が局所化し破壊した(図-4(a)). これに対し、砂を充填したパイプインパイプは断面のつぶれを防ぎ、中空単管よりも大きな曲率まで破壊しなかったと思われる。载荷終了の際、内管径 30mm, 20mm のパイプインパイプでは载荷点付近でのせん断による破壊がみられた。これは純粋な曲げ破壊とは言えず、より大きな曲げ変形を許容できるであろうと推測できる。一方、内管径 40mm のパイプインパイプの破壊形式はパイプ中央部圧縮側での曲げによるしわ状の破壊であることから、材料自身の限界曲げ応力に達したと思われる(図-4(b)).

図-5 は外管・内管引張側のひずみからそれぞれ曲率を求めた場合の $M-C$ 関係であり、図中の直線は中空の外管と内管の弾性状態における理論解を足し合わせたものである。

$$M = EIC \quad (1)$$

ここで I は内管と外管の断面二次モーメントの和である。図-5 をみると、実験結果の初期段階において内外管の引張ひずみから求められた曲率がほぼ一致していることがわかる。これより、砂を充填したパイプインパイプは同一曲げモーメントを受ける際、少なくとも弾性域内では内外管はほぼ同じ曲率で変形し、中立軸のずれがないと考えられる。また、図-3 において、各パターン間での弾性域における曲げ剛性の差は各内管の曲げ剛性の差と近い。さらに図-5 において、パイプのみの曲げ剛性から求めた弾性の理論解と実験結果が弾性域においてほぼ一致している。以上2点より、中詰材に砂のような粒状体を用いたとき、中詰めした砂は曲げ剛性に寄与しないということがいえる。

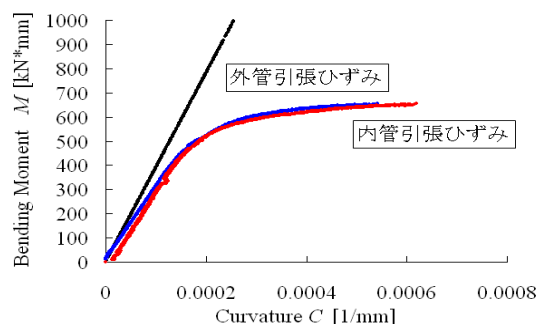
また、粒径 0.05mm のガラスビーズを中詰材として用いた場合、標準砂を用いたときと同様に中空単管よりも破壊時の曲率が伸び、靱性が向上した。また、3つの全てのパターンにおいて断面のつぶれはみられなかった。一方、粒径 1mm のガラスビーズを用いた場合、内管径 30mm, 20mm のパイプインパイプについては断面のつぶれもみられず、靱性も中空単管に比べ向上した。しかし、内管径 40mm のパイプインパイプでは、靱性は中空単管より多少伸びたものの、2本両方の供試体で断面のつぶれがみられた。これは中詰材を挿入する内外管の隙間幅に対する粒径の比が大きかったために、中詰材としての機能を



(a) 中空単管破壊

(b) 内管径 40mm 破壊

図-4 破壊形式

図-5 ひずみから曲率を求めた場合の $M-C$ 関係

うまく発揮しなかったのだと思われる。

4. まとめと今後の課題

本研究で行った実験により、中詰材として砂を用いたパイプインパイプは曲げ変形時の断面のつぶれを防ぎ、単管パイプに比べ非常に大きな曲率まで破壊しない高い靱性を持つということが確認できた。また、内外管の隙間幅に対する中詰材の粒径の比が小さいほうが上記性能(断面のつぶれを防ぎ、靱性が向上)を期待できることが示せた。今後は、中詰材の粒径やパイプの直径などを変化させることにより、粒径とパイプインパイプの性能の関連性についてさらに研究を進めていく。

謝辞：本研究は経済産業省革新的実用原子力技術開発費補助金により実施されたものであります。関係各位に厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) M. Sato and M. H. Patel: Exact and Simplified Estimations for Elastic Buckling Pressures of Structural Pipe-in-Pipe Cross-sections under External Hydrostatic Pressure, Journal of Marine Science and Technology, Vol. 12(4), pp.251-262, 2007.
- 2) 白石圭祐・佐藤太裕・嶋崎賢太・田中邦憲・蟹江俊仁・赤川 敏：可塑性材料を充填した鋼管の曲げ特性に関する基礎的検討，土木学会全国大会第 63 回年次学術講演会講演概要集，I-370, 2008