

フレキシブルパイプインパイプの曲げ特性に関する実験的検討

北海道大学大学院工学研究科	学生員	○白石圭祐
北海道大学大学院工学研究科	正員	渡辺香奈
北海道大学大学院工学研究科	学生員	佐藤太裕
北海道大学大学院工学研究科	正員	蟹江俊仁
北海道大学大学院工学研究科	正員	赤川 敏
国土交通省	正員	嶋崎賢太

1. まえがき

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ため、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。これに対処するための「高圧に耐え得るフレキシビリティ、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。そこで本研究グループでは、中詰材として砂や粒状体など流動性の高い可塑性材料を入れることにより、変形拘束性・応力伝達性能を向上させ、その結果として座屈に強く要求される曲げ特性を発揮し得る、図-1(a)に示すようなパイプインパイプ断面¹⁾のコア部を粒状体とする新しいフレキシブルパイプを開発すべく、07年度より実験・解析両面から研究を開始した。本研究では、07年度に行った、図-1(b)に示すような断面を持つ中詰材に砂を充填した単管の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構造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

2. 1 実験方法

図-2は、本研究で用いた4点曲げ実験装置である。曲げモーメント M はロードセルによる荷重から、曲率 C は3箇所を設置した変位計からそれぞれ換算する。

07年度の実験では、単管パイプについて中空状態と砂を充填した状態の比較を行い、供試体として外径 $d=50\text{mm}$ 、管厚 $t=1\text{mm}$ のパイプを用いている。また載荷点での破壊を防ぐために、供試体には中空・砂充填のどちらにも支持部材を挿入し、曲げ装置には図-3(a)に示すようなローラー型の接触点を用いた。

08年度からはパイプインパイプ構造に中詰材として

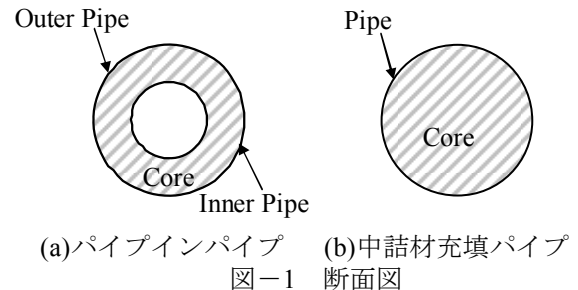


図-1 断面図

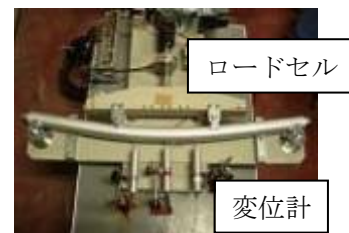


図-2 実験装置



図-3 接触部

砂を充填した供試体を用いた実験を行っている。供試体は、外管（外径 $d=50\text{mm}$ 、管厚 $t=1\text{mm}$ ）と3種類の内管（外径 $d=40\text{mm} \cdot 30\text{mm} \cdot 20\text{mm}$ 、管厚 $t=1\text{mm}$ ）を用いて、径比の異なる3パターンのパイプインパイプの曲げ実験を行う。また比較のため外管のみの単管に中詰した場合の曲げ実験も行う。また端部にエンドキャップをはめて、パイプインパイプ構造を成形するため、内部に支持部材を挿入できないので、接触点を図-3(b)で示すような、荷重が面で伝わり、曲がりに沿うよう回転する構造を用いた。

充填する砂は全て標準砂を用い、いずれの場合もソフトハンマーで叩くことで $1.58 \sim 1.62\text{g/cm}^3$ の高い密度を保つようにした。また内外管の軸方向中央に一对のひずみゲージを設置することで曲げひずみを計測する。以上をもって作製する供試体に曲げを加え、変位計・ひずみゲージの変動が一定になった時点で終了とする。

キーワード：パイプ、パイプインパイプ、曲げ、可塑性材、Brazier 効果
連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科
TEL 011-706-6176 FAX 011-706-6174

2. 2 実験結果

図-4 は 07 年度に行った単管パイプについて中空状態と砂を充填した状態の比較, 図-5 は 08 年度に行ったパイプインパイプ構造の径比による比較であり, いずれも実験によって得られた曲げモーメント M と曲率 C の関係を表したものである. 載荷終了の際の破壊形式は, 07 年度の中空単管が図-6 で示すような中央付近での曲げ圧縮側の断面のつぶれ, 07 年度の砂充填単管が支持部材と砂充填部の境界部での圧縮側の軸方向へのつぶれ, 08 年度以降の全実験が接触点でのせん断破壊となっている.

3 考察

図-4 と図-5 の内管径が 40mm のパターンより, 砂を充填することで, 単管パイプやパイプインパイプの靱性を高めることが可能であると確認できる. また 2. 2 項で説明したように 07 年度の砂充填単管は支持部材と砂充填部の境界部, 08 年度のパイプインパイプは載荷点との接触部で破壊している. これは純粋な曲げ破壊とはいえず, いずれのパターンもより大きな曲げ変形を許容できるだろうことが推測できる. 曲げを受けるパイプは, 一般的に曲げモーメントが最大となる箇所断面がつぶれ, 変形の局所化が起こり得る³⁾. これは 07 年度の中空単管に対する曲げ実験でも確認されている (図-6). それに対し本研究で取り上げた砂を充填したパイプインパイプでは, 中詰材に用いた砂がその可動性を活かすことで, 応力の再配分を行いつつ断面を円形に保つ役割を有することとなる. これが靱性を高めるメカニズムと考えられる. また, 図-4 で中空単管と砂重点単管の結果がほぼ重なっている点, 図-5 で各パターン間での弾性域の傾きの差が各内管の断面二次モーメントの差と近い点より, 中詰材に砂のような粒状体を用いた場合, 中詰材は曲げ剛性に寄与しないことを確認できる. 上記の点は本研究グループが提案するパイプインパイプが, 「靱性の高いフレキシブルパイプ」であることを示唆しているといえる.

4 まとめと今後の課題

本研究では中詰材として砂を用いたパイプインパイプを提案し, 基礎的な曲げ実験から著者らが期待する靱性の高い特長を確認した. ただし破壊は全て接触部で起こっており, パイプそのものはまだ曲げ変形に対し余裕があると考えられる. このため今後は, パイプの載荷点でのせん断破壊を防ぐために, 図-7 で示すよ

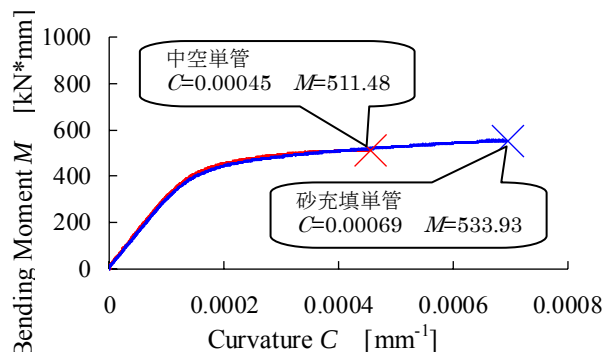


図-4 M-C 関係 (07 年度 単管 中空・砂充填比較)

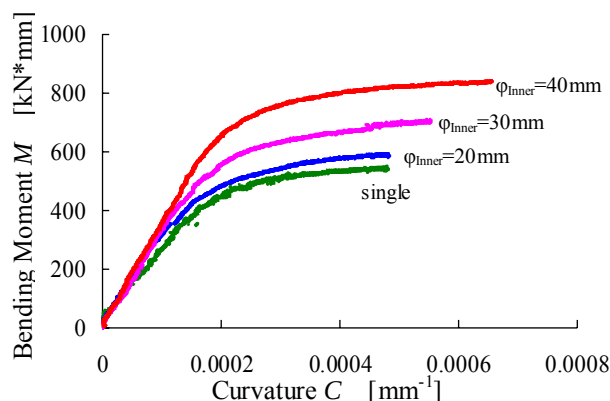


図-5 M-C 関係 (08 年度 パイプインパイプ)



図-6 断面のつぶれ



図-7 新アタッチメント

うな, パイプと角で接触しないように丸みを持たせたアタッチメントを用い, 実験を継続する. また中詰する砂の密度や粒径, 内外管の管厚比を変化させることで, 更なる研究を進める予定である.

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.
- 3) Brazier, L.G.: On the flexure of thin cylindrical shells and other "thin" sections, Proceedings of the Royal Society of London A116, pp.104-114, 1927.