

平成 21 年 5 月 20 日現在

研究種目：若手研究（B）
 研究期間：2006～2008
 課題番号：18760615
 研究課題名（和文）海洋パイプラインの複雑な挙動解析に適した新規な構造解析モデルの理論的構築
 研究課題名（英文）New structural model for the analysis of complicated structural behaviors of offshore pipelines
 研究代表者
 佐藤 太裕（SATO MOTOHIRO）
 北海道大学・大学院工学研究科・助教
 研究者番号：00344482

研究成果の概要：

海洋パイプラインは、大水深域での極めて大きな静水圧作用など、厳しい海洋環境下でも安定したエネルギー輸送が要求される構造物である。本研究はこの要求性能を高い次元で満足し、かつ構造設計の自由度が大きい海洋パイプラインとして現在世界的に注目されている「パイプラインパイプシステム」について、その構造設計に関わる構造解析モデルの構築と、構造挙動の把握を行ったものである。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2006年度	500,000	0	500,000
2007年度	800,000	0	800,000
2008年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	1,800,000	150,000	1,950,000

研究分野：船舶海洋工学

科研費の分科・細目：総合工学・船舶海洋工学

キーワード：海洋パイプライン、座屈、パイプラインパイプ

1. 研究開始当初の背景

海洋パイプラインの構造設計ではこれまで、細長構造物として梁理論による簡易解析や、限定的な条件下での実験データから外挿した式および定数に基づく有限要素解析等が主として行われてきた。しかしながら海洋パイプラインは静的、動的なさまざまな荷重が流体、海底地盤と連成し常時作用する、極めて過酷で予期せぬ崩壊現象が発生しやすい環境下にある。海洋開発の大規模化に伴い、強度や構造安定性について極めて高い性能が要求される近年、構造設計ではより高度な解析技術が

要求されてきており、従来型の考え方で複雑な構造挙動を解析するのは限界がある。また世界的な海洋開発の大水深化に対応した新しいエネルギー輸送技術の開発も近年非常に重要な課題となっている。

2. 研究の目的

1. において記述した研究背景を鑑み、今回実施した研究の目的を挙げると以下の2点に要約される。

(1) 海洋パイプラインの大変形を伴う崩壊、破壊や流体との連成問題への適用に適した、

新規な構造解析モデルを理論的見地から構築する。

(2) (1) にて構築した解析モデルを用いて、高温物質の輸送かつ海洋開発の大水深化に対応したパイプインパイプ断面 (図-1) を有する海洋パイプラインの構造設計において大きな問題となる、極大静水圧作用時における特殊な崩壊、破壊パターンを有する挙動の発生メカニズム、および曲げ作用に対する構造特性を解明する。

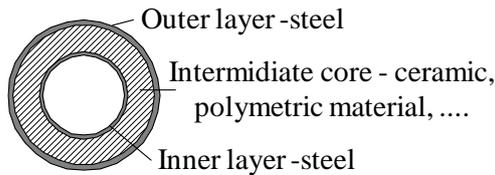


図-1 パイプインパイプ断面

3. 研究の方法

上述の研究目的を達成するため、主に解析的な面から検討を行った。具体的にはパイプを円筒シェル理論に基づき、コアについては2次元、3次元弾性論に基づき定式化を行い、静水圧、軸圧縮に対する座屈挙動を検討するとともに、構造設計において重要となる座屈荷重の簡易評価式の導出を試みた。同時にコアについては個別要素の概念に基づく定式化の適用性についてもけんとうした。また申請時には考慮していなかったが、パイプインパイプの曲げ特性把握も非常に重要であることから、検討項目に加えることとした。これについては構造力学的検討に加え、室内規模の実験も実施した。

4. 研究成果

本研究により得られた成果を列举すると以下の通りである。

- (1) 内側のコアを厳密な2次元弾性論に基づく形でモデル化し、静水圧作用時における座屈挙動の定式化を行った。これにより、外側パイプのみが座屈現象に至る局部座屈と、合成断面全体が一体となって変形する全体座屈の2通りの全く異なるモードが存在すること、また局部座屈荷重は、コア厚によらずほぼ一定の値となり、コア厚の減少とともに全体座屈に移行することを明らかにした。
- (2) 局部座屈荷重についてはコア厚によらずほぼ一定値をとるという性質を利用して、局部座屈荷重の簡易算定式を提案した。さらにこの提案式が、厳密解

に対して非常に高い精度を得ることを確認した。

- (3) 内側のコアを3次元弾性論に基づき定式化し、軸圧縮力作用に対するコアの力学的役割について検討を試みた。この結果、座屈荷重の増加という観点では、静水圧作用時に比べてコアの果たす役割は非常に小さいことを明らかにした。
- (4) 高ポアソン比のコアに対しても適用可能であり、かつ離散化解析も可能な構造解析モデルとして、個別要素法および粒子法に基づく新しい弾性連続体モデルについて提案を行った。
- (5) (2)において記述した、極大静水圧作用により外側パイプのみが座屈する局部座屈モードに対応する座屈荷重の簡易算定式に加え、全体座屈荷重についても簡易評価を可能とする方法について検討した。具体的には、パイプインパイプ断面を単一のパイプ断面とみなし、その中でコアのせん断変形を考慮することにより、精度よく全体座屈荷重を評価できることを示した。
- (6) パイプインパイプの曲げ変形についての検討を行った。具体的には曲げ変形による断面のつぶれ (Brazier 効果) を考慮した構造解析モデルを導出した。またこの構造解析モデルを用いて曲げ作用に対するコア部材の力学的役割を考察した。これによりパイプインパイプがコアの影響により、断面のつぶれを大幅に抑制させ、滑らかな曲げ特性を有することを解析的に示した。
- (7) 曲げ室内実験を実施し、本構造形式が昨年度実施した弾性解析による想定通り、断面のつぶれ (Brazier 効果) を大きく抑制することを確認した。
- (8) (7)の実験結果を踏まえ、内外パイプの弾塑性を考慮した曲げ解析モデルを構築した。これは梁理論に基づく定式化が基本となっているものの、実験結果とよく一致する結果を得ることができた。これは変形がある程度大きい状態でも断面が扁平化せず平面を保持するという性質を有するという、本構造形式の優れた性質によるものであるといえる。
- (9) コア材を3次元弾性論に基づき定式化を行うことで、パイプに作用する軸圧

縮力に対する座屈挙動の解析を行う構造解析モデルを構築し、座屈特性について検討を行った。これにより、外管、内管ともコア材のサポートにより軸対称の座屈モードが発生しやすいことを明らかにした。

- (10) (9)で示した性質を利用し、軸圧縮力に対する簡易座屈挙動算定式の導出を試みた。さらにこの式が厳密な解析結果と比較し、弾性座屈荷重を算定するのに実用上十分な精度を有していることを確認した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 13 件)

- 1) 嶋崎賢太, 佐藤太裕, 蟹江俊仁, 三上 隆: 弾性チューブの曲げ挙動における新しい数値モデルの提案, 土木学会北海道支部平成20年度年次技術研究発表会論文報告集 (査読無), 第65号, A-49, 2009.
- 2) M. Sato, M. H. Patel and F. Trarieux : Static Displacement and Elastic Buckling Characteristics of Structural Pipe-in-Pipe Cross-sections, Structural Engineering and Mechanics, An International Journal (査読有), Vol.30(3), pp.263-278, 2008.
- 3) 嶋崎賢太, 佐藤太裕, 蟹江俊仁, 三上 隆: パイプインパイプの曲げ作用に対する弾性座屈挙動の基礎的考察, 第63回土木学会全国大会年次学術講演会講演概要集 (査読無), I-371, 2008.
- 4) 白石圭祐, 佐藤太裕, 嶋崎賢太, 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第63回土木学会全国大会年次学術講演会 (査読無), I-370, 2008.
- 5) K. Shimazaki, M. Sato, S. Kanie and T. Mikami: Simplified estimations for axially compressed buckling pressures of cylindrical shells with elastic cores Proceedings of the 4th International Conference on advances in Structural Engineering and Mechanics (査読有), No. 440 (CD-ROM), 2008.
- 6) 嶋崎賢太, 佐藤太裕, 蟹江俊仁, 三上 隆: パイプインパイプ断面を有する海洋パイプラインの曲げ特性に対するコアの力学的役割について 海洋開発論文集 (査読有), Vol.24, p.1047-1050, 2008.
- 7) 白石圭祐, 佐藤太裕, 嶋崎賢太, 田中邦憲, 蟹江俊仁, 赤川 敏 : 中詰材を充填した鋼管の曲げ特性に関する解析的検討 平成19年度土木学会北海道支部年次技術研究発表会論文報告集 (査読無), 第65号, A-43, 2008.
- 8) 嶋崎賢太, 佐藤太裕, 蟹江俊仁, 三上 隆: パイプインパイプシステムの弾性座屈特性に関する基礎的考察 第62回土木学会全国大会年次学術講演会 (査読無), 1-069, 2007.
- 9) 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 (査読有), Vol.12(4), pp.251-262, 2007.
- 10) 佐藤太裕, 嶋崎賢太, 蟹江俊仁, 三上 隆 : パイプインパイプ断面を有する海洋パイプラインの静水圧作用時における簡易な座屈挙動評価式の検討 海洋開発論文集 (査読有), Vol.23, pp.907-912, 2007.
- 11) 嶋崎賢太, 佐藤太裕, 蟹江俊仁, 三上 隆: 合成断面を有する海洋パイプラインにおけるコアの力学的役割について, 土木学会北海道支部平成18年度年次技術研究発表会論文報告集 (査読無), 第63号, A-26, 2007.
- 12) 金 亨基, 佐藤太裕, 蟹江俊仁, 三上 隆: 個別要素を用いた弾性連続体モデルに関する解析的検討, 土木学会北海道支部平成18年度年次技術研究発表会論文報告集 (査読無), 第63号, A-27, 2007.
- 13) 佐藤太裕, M. H. Patel and F. Trarieux : 極めて柔軟かつ厚いコアを有するパイプ

ンパイブ断面の静水圧による局部座屈特性
応用力学論文集(査読有), Vol.9, pp.25-32,
2006.

[学会発表] (計 11 件)

- 1) 嶋崎賢太：
弾性チューブの曲げ挙動における新しい数
理モデルの提案
平成20年度土木学会北海道支部年次技
術研究発表会, 2009. 2. 1, 北見(北見工業大
学)
- 2) 嶋崎賢太：
パイプインパイプの曲げ作用に対する弾性
座屈挙動の基礎的考察第63回土木学会全
国大会年次学術講演会, 2008. 9.12, 仙台 (東
北大学)
- 3) 白石圭祐：
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
土木学会第63回年次学術講演会, I-370,
2008. 9.12, 仙台 (東北大学)
- 4) 嶋崎賢太：
パイプインパイプ断面を有する海洋パイプ
ラインの曲げ特性に対するコアの力学的役
割について,
第33回海洋開発シンポジウム (土木学会)
, 2008.7.1, 倉敷 (倉敷市芸文館)
- 5) K. Shimazaki:
Simplified estimations for axially compressed
buckling pressures of cylindrical shells with
elastic cores,
4th International Conference on advances in
Structural Engineering and Mechanics,
2008.5.26, Korea (Seogwipo KAL Hotel,
Jeju).
- 6) 白石圭祐：
中詰材を充填した鋼管の曲げ特性に関する
解析的検討
平成19年度土木学会北海道支部年次技術
研究発表会, 2008. 1.31, 札幌 (札幌コンベ
ンションセンター)
- 7) 嶋崎賢太：
パイプインパイプシステムの弾性座屈特性
に関する基礎的考察
土木学会第62回年次学術講演会, 1-069,
2007. 9.14, 東広島 (広島大学)

- 8) 嶋崎賢太：
パイプインパイプ断面を有する海洋パイプ
ラインの静水圧作用時における簡易な座屈
挙動評価式の検討
第32回海洋開発シンポジウム (土木学会)
, 2007.7.11, 長崎 (長崎市民会館)
- 9) 嶋崎賢太：
合成断面を有する海洋パイプラインにおけ
るコアの力学的役割について
土木学会北海道支部平成18年度年次技術
研究発表会, 2007. 2. 1, 室蘭 (室蘭工業大
学)
- 10) 金 亨基：
個別要素を用いた弾性連続体モデルに関す
る解析的検討
土木学会北海道支部平成18年度年次技術
研究発表会, 2007. 2. 1, 室蘭 (室蘭工業大
学)
- 11) 佐藤太裕：
極めて柔軟かつ厚いコアを有するパイプイ
ンパイプ断面の静水圧による局部座屈特性
第9回応用力学シンポジウム (土木学会)
, 2006.9.19, 京都 (京都大学)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 太裕 (SATO MOTOHIRO)
北海道大学・大学院工学研究科・助教
研究者番号：00344482

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし