

京都大学大学院工学研究科	正会員	小野 紘一
京都大学大学院工学研究科	正会員	杉浦 邦征
京都大学大学院工学研究科	学生員	大島 義信
京都大学工学部	学生員	○佐々木 貴史

1. はじめに

今日、世界の天然ガス貿易の 8 割は国際パイプラインを介して行われている。しかし、アジア圏において国際パイプラインは全くの皆無である。今後パイプライン網の整備は必要不可欠であり、海洋を横断するパイプラインについてもその必要性はより高まってきている。現在、海洋におけるパイプラインの敷設方法としては、沈埋方式が実用化されているが、大水深海域や海底地形急変部などでは施工上の問題も数多く存在する。この問題を克服できれば大水深海域におけるパイプライン敷設の具体化の可能性は非常に大きくなる。そこで本研究では、新たな敷設方法として水中浮遊式パイプラインを提案し、その力学的検討を行った。

2. 基本構造の検討

今回提案する水中浮遊式パイプラインとは、パイプラインを海底ではなく海中に留めておくものである。浮遊式パイプラインを定位置に安定させるためには、ポンツーンなどで吊り下げる方法と、係留索でアンカーする係留方法が考えられるが、本研究では垂直に係留索を設置する方式を採用した。

次に、鋼管には大きな浮力が作用するので、浮力による降伏について検討した。その結果パイプ自体に揚力が発生すると、係留間隔 100m 程度で係留部分においてパイプが降伏した。そこで本研究では、パイプ自体をコンクリートと鋼の複合構造とし浮力を抑制することで、パイプライン本体にかかる揚力を 0 とする構造を基本構造とした (Fig.1)。

他方パイプラインの水平方向の復元力は、係留索の張力によって生じる。しかし、揚力を 0 とすると当然張力は生じず、復元力も生じない。そこで、係留部分に浮きを取付け、集中的に揚力を付加することによって張力を確保し、変位によって生じる水平方向の復元力により、構造全体の安定をはかることとする。浮きの形状は、パイプラインを巻く形の円柱型とし、この浮きを FRP 素材のワイヤーにより係留する (Fig.2)。また浮力に対してアンカーの大きさが問題となるが、水中におけるコンクリートの単位体積重量を 1.5tf/m^3 とすれば、浮きの大きさ直径 15m 長さ 20m とした場合でも、アンカーの大きさを $20\text{m} \times 20\text{m} \times 10\text{m}$ とすれば安全率 2.0 程度で施工可能である。

3. 力学的検討

(1) 作用外力

実際に浮体に作用する外力は、波浪荷重、地震荷重、潮流や海流による荷重などさまざまであり、それらの組み合わせによって表現される。このうち常時作用する波浪荷重と潮流・海流による荷重について検討を行った結果、波浪荷重は 3.07kgf/m^2 程度と小さく、50 倍以上大きい潮流・海流による荷重を検討対象とした。ただし、対象海洋は水深 1100m の深水域である。

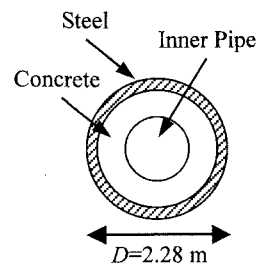


Fig.1 Pipe Section

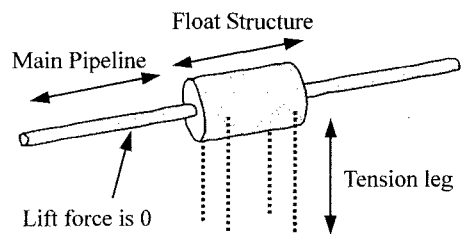


Fig.2 Floating Structure

(2) 解析モデル

パイプライン本体に作用する外力は一方向に分布作用する潮流力であるので、各要素に分布荷重が静的に作用するモデルを想定した。さらに留索部分をばねで表現し、パイプライン本体を2次元梁要素とする有限要素法による静的解析を行った。また作用外力は分布荷重に対する等価節点力を各節点に作用させた。ただし「浮き」部分には大きな外力が作用するので、浮きに関する節点には等価節点力とは別に集中荷重を作用させた(Fig.3)。

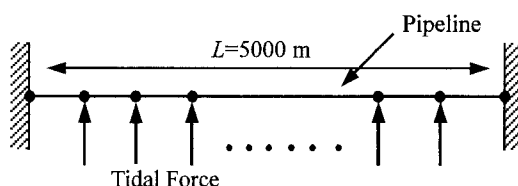


Fig.3 Analysis Model

(3) 解析結果

モデルの形状および諸元とあわせて解析結果を表1に示す。ただし、パイプの降伏ひずみを 3600μ とし、この値の $1/1.7$ までの値を許容範囲ひずみとして破壊判定の基準とした。図中の○×は許容値内か否かを示している。

表1 解析結果

係留間隔	浮き	係留索	最大変位(m)	最大ひずみ(μ)	破壊判定
500m	D=15m L=20m	100m	11.2	1073.5	○
		500m	46.6	2237.6	×
		1000m	99.3	3392.1	×
	D=10m L=20m	100m	17.14	1173.5	○
		500m	92.6	2914.3	×
		1000m	208.0	4789.0	×
300m	D=15m L=20m	100m	4.8	797.1	○
		500m	26.0	1893.3	○
		1000m	56.6	2901.9	×
	D=10m L=20m	100m	7.0	910.4	○
		500m	52.1	2466.0	×
		1000m	128.3	4090.3	×

4. 考察

解析の結果、係留間隔に関わらず係留索長さ 1000m では発生ひずみが許容範囲を大きく上回った。また係留間隔 500m の場合、係留索長さが 500m では浮きの大きさに関わらず発生ひずみが許容値を超えた。しかしこの場合でも、係留間隔を 300m とし浮きの大きさのある程度確保すれば、発生ひずみを許容値以下に抑えることが可能であることがわかった。

また本研究における解析モデルでは、最大ひずみの発生場所のほとんどが端部で生じていた。これは復元力を得るためにはある程度の変位が必要であるため、端点から係留索の第一番目との間で急激に変が生じるからである。この問題を解決するための方法として、両端に近い係留部分には、他よりも大きな浮力を付加する、あるいは、係留索に角度を付けて敷設し、はじめから復元力を確保する、あるいは、パイプ自体を流れに対してアーチ形に敷設する、などが考えられる。その他にも、構造的、技術的な問題点は数多く存在し、今後の検討課題となるが、係留方式がパイプラインの安定に非常に有効な手段であることがわかった。実際には個別の状況に合わせて、浮きの大きさや係留間隔、係留索の長さを調整すればよいであろう。

5. 結論および今後の検討課題

- 1) パイプ自体の浮力を抑制して揚力を 0 とすることで、浮遊式パイプラインの長距離化が可能である。
- 2) 係留間隔 300m、係留索長さ 500m または間隔 500m、索長さ 100m で設定すれば、潮流力に対して発生応力を許容値以下に抑えられる。
- 3) 対象海域によっては、波浪荷重や地震荷重に対する動的解析を行う必要がある。

参考文献

- 1) 角田與史雄；水中浮遊式トンネルの設計法開発に関する研究，1997. 3
- 2) 社団法人 水中トンネル研究調査会；水中トンネル，1995. 5