

## 波浪作用下における海底埋設パイプラインの浮上機構に関する実験的研究

岡山大学環境理工学部 正会員 前野 詩朗

岡山大学環境理工学部 正会員 名合 宏之

岡山大学大学院 学生員 星山 知恵

**1. はじめに** 近年、石油や天然ガス等の海底天然資源の掘削後の輸送手段として、数多くの海底埋設パイプラインが世界各地の海域に設置されるようになってきている。パイプラインが埋設される海域は一般に気象条件が非常に厳しく、パイプラインを埋設する場合には、静的な安定性のみならず高波浪による動的な安定性も考慮する必要がある。著者らは、このような高波浪場に設置される海底埋設パイプラインの周囲には、図1に示すような変動間隙水圧が作用し、波の峰の時にはパイプを下に押し下げようとする力が作用し、逆に、波の谷の時にはパイプを上を押し上げようとする力が周期的に作用することを実験により明らかにしている。これらの実験では、パイプ周囲の間隙水圧分布を計測するためにパイプを砂地盤内に固定していたが、現地では高波浪の影響を受けてパイプが徐々に浮上し破壊に至る事例が報告されている。そこで、本研究では、移動可能なパイプを砂地盤内に設置して、各種実験条件下における埋設パイプラインの移動特性を検討し、パイプの浮上限界を明らかにしようとするものである。

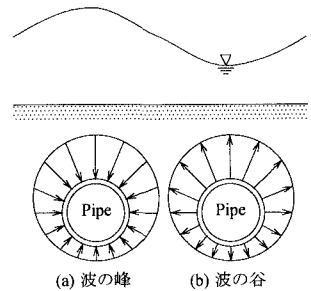


図1 変動流体力説明図

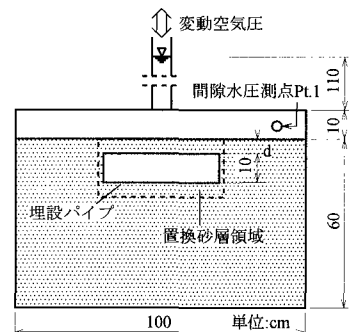


図2 実験装置

表1 実験条件

| Case | 置換砂層 | d(cm) | 比重  |
|------|------|-------|-----|
| 1    | 無    | 5.0   | 0.5 |
| 2    | 有    | 5.0   | 0.5 |
| 3    | 無    | 2.5   | 0.5 |
| 4    | 無    | 7.5   | 0.5 |
| 5    | 無    | 5.0   | 0.7 |
| 6    | 無    | 5.0   | 0.9 |
| 7    | 無    | 5.0   | 1.0 |
| 8    | 無    | 5.0   | 1.5 |

**2. 実験の概要** 図2は実験装置を示している。装置の奥行きは40cmである。実験に使用したパイプ模型は外径10cmで、試料容器奥行き方向の中央部の砂層表面からの深さdの所に設置している。砂層構成材料としては、高飽和状態の豊浦標準砂を用いた。砂層の作成にあたっては、まず、試料容器に水を張り、規定量の標準砂を水中自由落下により堆積させ、その後、所定の間隙率（約0.40）となるように、バイブレーターなどによって締め固めた。実験は表1に示すような条件下で行った。すなわち、Case1を基本として、Case2は図2に示すようにパイプ周辺砂層を透水係数（2.05cm/s）の大きな砂で置き換えた場合であり、パイプ上の土かぶり厚d（Case3, 4）およびパイプの比重（Case5～8）を変化させて実験を行った。

**3. 実験結果** 図3は、Case1の場合の変動間隙水圧およびパイプに作用する変動流体力 $F_z$ を示している（Pt.1は水中水圧測点、Pt.2～Pt.6は、それぞれパイプ上部から45度置きにパイプ下部までの水圧測点である）。この図より、間隙水圧は振幅減衰および位相の遅れを伴いながら伝播し、パイプにはかなり大きな変動流体力が作用することが分かる。図4, 5および6は、それぞれ、置換砂層の有無、パイプ上の土かぶり厚の違い、パイプ比重の違いによるパイプの移動量を示したものである。これらの図より、Case1の場合、実験開始後、50分程度で完全に浮上することが分かる。しかし、Case2のようにパイプ周辺砂層を透水係数の大きな砂で置換すると、パイプは殆ど浮上しなくなることが分かる。つぎに、土かぶり厚が大きくなるほど、パイプは浮上に

キーワード：海底地盤、液状化、埋設パイプライン、パイプの浮上限界、変動流体力  
〒7008530 岡山市津島中2-1-1 Tel：086-251-8151 Fax：086-251-8257

くることが分かる。また、パイプの比重が大きくなるほどパイプは浮上しにくくなる。この場合、Case6（比重0.9）とCase7（比重1.0）の場合には、今回の実験では、完全には浮上しなかったが、実験終了時において、わずかながら上昇傾向にあり、さらに長時間変動水圧が作用すると、いずれ浮上するものと考えられる。Case8の場合には、パイプは全く浮上しないで、わずかに沈下している。ここでは、パイプの浮上限界が図7に示すように変動流体力  $F_z$  と、パイプの自重  $W_p$ 、パイプ上部の砂層重量  $W_s$  およびパイプ

上部砂層の静的なせん断抵抗力  $T_s$  との関係に依存するものとして、式(1)で示す無次元量  $F$  によりパイプの浮上限界を検討した。この無次元量  $F$  が正の値をとるときには、パイプは浮上する危険性があり、負の値をとるときには、パイプは浮上しなくなることになる。なお、 $\mu$  は静的なせん断抵抗力に対する低減率である。

$$F = \{F_z - (W_p + W_s + \mu T_s)\} / (W_p + W_s + T_s) \quad (1)$$

図8は  $\mu$  の値を0.8とした場合の、各ケースの  $F$  の時間変化を示したものである(紙面の都合上  $\pm 2$  以上はカットしている)。この図より、パイプが比較的短時間に浮上したCase1、Case3およびCase4では  $F$  の値がかなり大きくなり、しかも、 $F$  の値が大きくなるほど浮上に要する時間が短くなることが分かる。つぎに、パイプが全く浮上しなかった、Case2とCase8では、 $F$  の値は正にならない。パイプの浮上に要する時間が2800分程度かかったCase4および今回の実験の終了段階で、パイプは完全には浮上しなかったが、上昇傾向にあった、Case6およびCase7では、 $F$  の値は、正の値をとるもののその大きさは小さいことが分かる。

**4. 結 論** 本研究では、波浪場に設置される海底埋設パイプラインの浮上機構について実験的に検討した。その結果、パイプにはかなり大きな変動流体力が作用し、パイプが徐々に浮上することが明らかにされた。また、パイプの浮上限界は、パイプを浮上させようとする変動流体力と、パイプの自重、パイプ上部の砂層重量およびパイプ上部砂層の静的なせん断抵抗力との関係に依存することが明らかにされた。

【参考文献】前野詩朗・Waldemar Magda・名合宏之：波浪下における海底埋設パイプラインに作用する変動流体力特性に関する研究，海工論文集，第44巻，pp.796-800，1997。

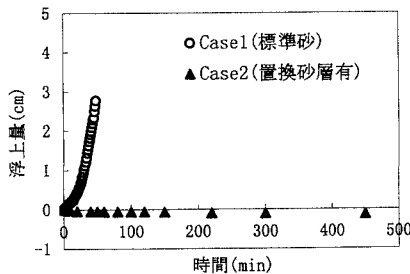


図4 パイプの移動量

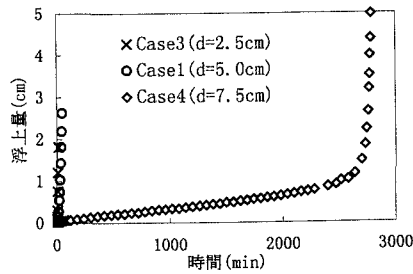


図5 パイプの移動量

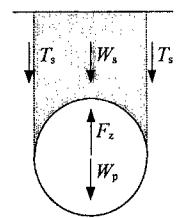


図7 パイプに作用する力

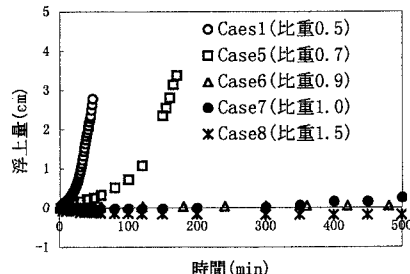


図6 パイプの移動量

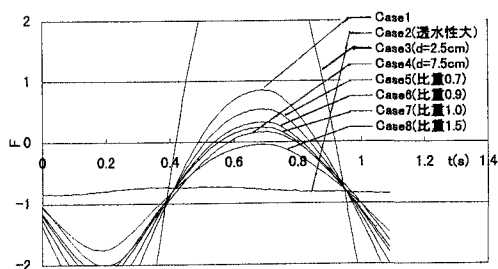


図8 パイプのつり合い条件  $F$

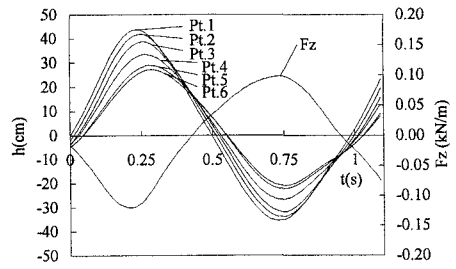


図3 変動間隙水圧(h)および変動流体力( $F_z$ )