

II-62 波浪作用下における海底埋設パイプラインの動的挙動に関する実験的研究

岡山大学大学院 学生員 星山 知恵

岡山大学環境理工学部 正会員 前野 詩朗

(株)建設技術研究所 正会員 猿木 広一郎

1.はじめに 海底天然資源の陸上への輸送手段として設置されている海底パイプラインが高波浪の影響を受けて破壊すると、壊滅的な環境破壊を引き起こすのみならず、その復旧に莫大な費用と労力を要する。このような観点から、著者らは、波—地盤—構造物系の動的応答問題の一つとして海底埋設パイプラインの動的応答問題を取り扱ってきた。その結果、波による変動水圧の影響を受けて埋設パイプが徐々に浮上することなどを明らかにしている^{1),2)}。今後、高波浪場における海底埋設パイプラインを設計する際には波による動的挙動も考慮する必要があると考えられるが、現在のところ波浪場における埋設パイプの浮上に関する実験的資料が少ないのが現状である。そこで、本研究は、変動水圧場におけるパイプの浮上実験を各種条件下で行い、高波浪場における海底埋設パイプの浮上限界を検討するための基礎的資料を得ようとするものである。

2.実験の概要 実験には奥行き 40.0cm の容器を用いる。実験に使用したパイプ模型は外径 10.0cm、長さ 40cm で、資料容器奥行き方向の中央部の砂層表面から深さ d の所に設置している。砂層構成材料には、高飽和状態の豊浦標準砂を用いた。砂層の設置にあたっては、資料容器に水を張り、規定量の標準砂を水中自由落下により堆積させ、その後、所定の間隙率になるようにバイプレーターなどによって締め固めた。実験はパイプ上部砂層厚さパイプ比重、変動水圧振幅および砂層の間隙率を表 1 に示すように変化させて行った。

表 1 実験条件

ケース	パイプ上部砂層厚 d	パイプ比重 ρ_p	水圧振幅 a_0	間隙率 n
Case1	5.0cm	0.5	40.0cm	0.40
Case2	2.5cm	0.5	40.0cm	0.40
Case3	7.5cm	0.5	40.0cm	0.40
Case4	5.0cm	0.7	40.0cm	0.40
Case5	5.0cm	1.0	40.0cm	0.40
Case6	5.0cm	1.5	40.0cm	0.40
Case7	2.5cm	0.7	40.0cm	0.40
Case8	2.5cm	1.0	40.0cm	0.40
Case9	2.5cm	1.5	40.0cm	0.40
Case10	7.5cm	0.5	60.0cm	0.40
Case11	7.5cm	1.0	40.0cm	0.40
Case12	7.5cm	1.0	60.0cm	0.40
Case13	5.0cm	1.0	40.0cm	0.45
Case14	5.0cm	1.5	40.0cm	0.45

3.実験結果および考察

(1)上部砂層厚の違いによる影響 図 1 は、パイプの比重 0.5、変動水圧振幅 40.0cm のもとで、パイプ上部砂層厚を 2.5cm(Case2)、5.0cm(Case1)、7.5cm(Case3)と変化させた場合の結果を示している。パイプはそれぞれ 18 分、53 分、2800 分で浮上した。このことより、パイプ上部砂層厚が大きくなるほど、パイプが浮上しにくくなることが分かる。これはパイプ上部砂層厚が大きくなるほど、パイプの浮上抵抗力が大きくなるためである。

(2)比重の違いによる影響 図 2 はパイプ上部砂層厚 5.0cm、変動水圧振幅 40.0cm のもとで、パイプの比重を 0.5(Case1)、0.7(Case4)、1.0(Case5)、および 1.5(Case6)とした場合のパイプの移動量を示したものである。この図より、比重 0.5 と 0.7 の場合にはそれぞれ実験開始後 53 分、180 分で完全浮上していることがわかる。また、比重 1.0 の場合には完全浮上していないが、実験開始後 500 分経過した時点ではやや浮上傾向にあることから、比重 0.5 と 0.7 の場合に比べると長時間要するが、いずれパイプは浮上する危険性がある。比重 1.5 の場合、実験開始直後からパイプは沈下傾向を示しており、浮上する危険性はないと考えられる。

次に、同様な条件下でパイプ上部砂層厚のみを 2.5cm とした場合の実験結果を図 3 に示す。この図より、パイプ上部砂層厚を変えた場合においても、パイプ上部砂層厚が 5.0cm の場合と同様に比重 0.5(Case2)、0.7(Case7)、1.0(Case8)の場合は浮上するが、いずれの場合も砂層厚が 5.0cm の場合よりも早く浮上している。比重 1.5(Case9)の場合には実験開始後やや沈下傾向を示しており、浮上には至らないことがわかる。

以上のことより、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が、パイプの比重がある程度あり、パイプ上の土被り厚さも十分ある場合であっても、上部砂層厚が小さくなるとパイプは短時間で浮上することが明らかにされた。このことは、パイプが浮上しないような波浪条件下であっても、波による洗掘などの影響を受けてパイプ上部砂層厚が小さくなると、パイプは浮上する可能性があることを示している。

(3)変動水圧振幅の違いによる影響 図4は変動間隙水圧振幅を40.0cm, 60.0cmとした場合のパイプの移動量を示したものである。上部砂層厚7.5cmで、パイプの比重は0.5と1.0の場合の実験結果を示している。この図より、いずれの比重条件においても変動水圧振幅が大きくなるほどパイプは浮上しやすくなることがわかる。また、パイプの比重が1.0の場合には、変動水圧振幅が60.0cm(Case12)の場合には完全浮上するが、振幅が40cm(Case11)の場合には全く浮上しないことがわかる。

以上のことより、パイプが浮上しないようにパイプの比重を大きくしても、これまでに経験したことがないような非常に大きな波がパイプに作用するような場合には、外力としての変動水圧振幅が大きくなり、パイプは浮上する可能性があることが示された。したがって、実際の埋設パイプを設計する際には外力条件の算定に十分注意する必要がある。

(4)砂層の間隙率の違いによる影響 ここでは、間隙率0.45のゆるい砂層にパイプを埋設した場合のパイプの動的挙動を検討する。図5は砂層の間隙率を0.40, 0.45とした場合のパイプの移動量を示している。上部砂層厚5.0cmでパイプの比重を1.0および1.5としている。これらの図より、以下のことがわかる。

比重1.0についてみると、間隙率が0.4の場合(Case5)に実験開始直後から浮上傾向を示しているのに対し、間隙率が大きく砂層が緩くなるとCase13の場合には一度沈下したあと再浮上し、その後、Case5に比べ急激に浮上していることがわかる。このパイプの挙動の差は、Case13の場合には砂層の間隙率が大きく、実験開始直後の砂層の沈下に伴ってパイプが沈下したことで、パイプ上部砂層厚の減少とが影響して急激に浮上したと考えられる。また、実験開始直後のパイプの急激な沈下はCase14の場合にもみられる。しかし、この場合にはパイプの比重が1.5とかなり重いためCase13のように再浮上することはない。

以上のことより、パイプ周辺砂層が緩い場合には実験開始直後に変動水圧の影響により砂粒子が再配列することによって砂層が沈下し、それに伴ってパイプも沈下すると同時に、パイプ上部砂層厚も減少するため比重がある程度ないと急激にパイプが浮上することが明らかにされた。したがって、パイプ埋設後の土砂の埋め戻しの際には、ゆるい砂層が形成される可能性があり、パイプの沈下による破壊に対しても十分注意する必要がある。

4.結 論 本研究では、高波浪場における海底埋設パイプラインの浮上現象を、各種条件下におけるパイプの浮上実験を行うことにより検討した。その結果、従来の研究で明らかにされた変動水圧の周波数や砂層の透水性以外にも、今回の実験で明らかになった上部砂層厚、パイプの比重、変動水圧振幅、砂層の間隙率といったような様々な外力条件や周辺地盤の状態を考慮した上で、パイプが浮上するかどうかを検討していく必要があることが明らかにされた。

- 1) 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, 44巻, pp.796-935, 1997.
- 2) 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研究, 海工論文集, 45巻, pp.906-910, 1998.

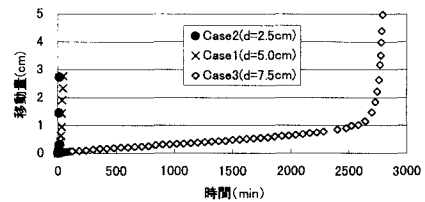


図1 パイプの移動量(上部砂層厚変化)

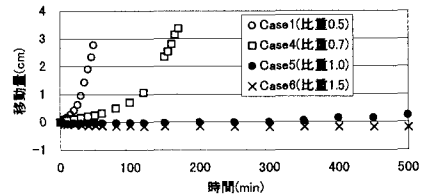


図2 パイプの移動量(比重変化, d=5.0cm)

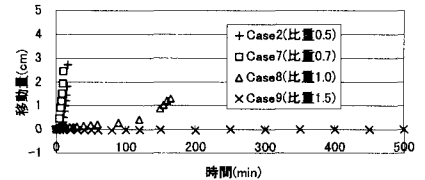


図3 パイプの移動量(比重変化, d=2.5cm)

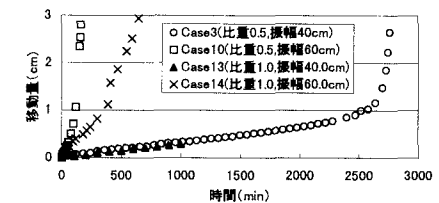


図4 パイプの移動量(振幅変化)

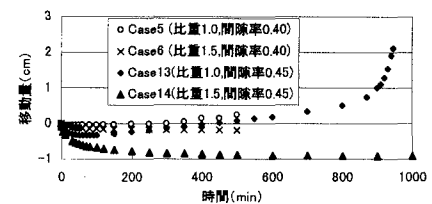


図5 パイプの移動量(間隙率変化)