波による液状化とパイプの浮上に関する遠心模型実験

東洋建設(株)	正会員	宮本	順司
港湾空港技術研究所	正会員	佐々	真志
東洋建設(株)	正会員	鶴ヶ崎	和博
同上	正会員	○角田	紘子

1. はじめに

厳しい波浪による地盤の液状化が原因で海底パイプライン が浮き上がる事例が報告されている¹⁾²⁾.ここで,パイプライ ンが周囲の液状化土よりも軽いと地表面まで浮き上がり,その 結果,パイプが波や流れに直接さらされたり,底引き網が引っ 掛かったりする等の危険性が指摘されている.波による地盤の 液状化とパイプラインの浮上との関わりについては,実験相似 則を満足したかたちで定量的には調べられておらず,未解明な 部分が多い.本研究では,別報³⁾で紹介した,ドラム遠心によ る波/地盤実験法を用いて,砂地盤-パイプの浮上過程との関係 を詳しく調べる.

2. 実験概要

ドラム遠心載荷装置の任意波-地盤実験手法を用いた³⁾.実 験は遠心力場 70G で実施した.実験断面を図-1 に示す.緩い 砂地盤の中にパイプを埋設している.この地盤-パイプ系の構 造は、トレンチ掘削した地盤にパイプラインを敷きその上に砂 を埋め戻した状況を想定している²⁾.地盤材料には、ケイ砂 7 号 (Gs=2.656, D₅₀=0.15mm, e_{max} =1.158, e_{min} =0.695)を使用し、 緩詰め地盤 (Dr35%, 38%)を作成した.パイプライン模型は、



アルミ製パイプ(外径 25mm, 肉厚 3mm)の内部に発砲ウレタンをつめ,全体比重を 1.35 とした.パイプの土 被り厚さはパイプ径と同等とした.これは実物換算で,パイプライン径:1.75m,土被り厚:1.8m となる.間 隙流体には粘性スケーリングの導入のために 70 倍の粘性流体を用いている³⁾.

実験は,規則波(Sin波, 10Hz(実物換算周期7秒),漸増振幅)と実際の海域を想定した不規則波(実物換算有義波周期T_{1/3}=7秒)の2ケースを行い,それぞれの外力に対して液状化とパイプ挙動との関わりを調べた.

3. パイプの浮き上がりの観察結果

規則波浪の実験結果を示す.波浪作用下でパイプが地盤内から浮上していく様子を図-2に示す.波により 地盤が液状化すると、地表面が流動して揺れ出すと同時に、地盤内のパイプが動き始める.パイプは上昇し、 やがて地表に露出する(図(b)~(d)参照).図(e)はパイプが地表に露出した状況を拡大して示しているが、 パイプ上端の動きの軌跡を重ねて示している.パイプは波とそれに伴う地盤搖動に合わせて、円を描きながら 上昇していくことがわかる.徐々に左右の振れ幅が大きくなっている点が特徴である.

4. 地盤液状化とパイプ上昇との関わり

地盤内におけるパイプの鉛直位置の変化を地盤液状化の発達と合わせて図-3に示す. 同図(b)にはパイ

キーワード 波浪,液状化,パイプライン,遠心模型実験

連絡先 〒663-8142 兵庫県西宮市鳴尾浜 1-25-1 東洋建設(株)鳴尾研究所 TEL0798-43-5903



プに対する地表面位置も示している.本図より,①パイプ上端部付近の地盤(深度 22mm)が液状化すると パイプが変位し始めることがわかる.②パイプ下端深度(55mm)へ液状化が進展するとパイプの浮上が加速 し,その後,③厳しい波浪の連続載荷によりパイプは著しく上昇し地表面に露出する.なお,本図では鉛直方 向変位のみを示しているためパイプは上下に振動しているように見えるが,実際は,図-2(e)に示したよう に楕円を描いていることに留意する.

不規則波浪の場合のパイプ挙動を図-4に示す.不規則波載荷時は,規則波浪の時よりも液状化した地盤が 連続的に大きく揺すられないため,パイプの上昇速度は遅くなるものの,最終的には地表面までパイプが達す ることが重要である.

5. まとめ

遠心力場における水路内で,砂地盤ーパイプ系の波浪実験を行い,パイプ浮上過程と液状化の進展とのかか わりを明らかにした.すなわち,パイプ上端付近の地盤が液状化するとパイプが動き出すこと,その後の波浪 載荷により進展した液状化地盤の搖動によりパイプが著しく上昇し地表まで達することが規則波実験で得ら れた. 不規則波浪でも,同様に,地盤液状化が発生し,パイプの上昇がおこり地表面に達することを示した. 参考文献1) Damgaard, J.S., Summer, B.M., Teh, T.C., Palmer, A.C., Foray, P. and Osorio, D., Guidelines for pipeline on-bottom stability on liquefied noncohesive seabeds, J. Water, Port, Coastal and Ocean Eng., ASCE, 132-4, pp. 300-309, 2006. 2) Sumer, B.M., Liquefaction around marine strictures, Advanced Ser. Ocean Eng., Vol. 39, World Scientific, p. 453, 2014. 3) 宮本ら,実海域を想定した遠心力場の波浪実験法の開発と地盤液状化への適用,第72回年次学術講演会講演概要集(投稿中), 2017.