

波による液状化と埋設パイプの沈込みに関するドラム遠心実験

東洋建設（株）
港湾空港技術研究所
東洋建設（株）
同上

正会員
正会員
正会員
正会員

宮本 順司
佐々 真志
鶴ヶ崎 和博
○角田 紘子

1. はじめに

筆者らは、これまで波による地盤の液状化と埋設パイプラインの浮上との関わりについて遠心模型実験により定量的に調べてきた¹⁾。これらの実験では、パイプ密度が地盤の飽和密度よりも十分に小さい場合を対象にしてきた（パイプ密度/地盤の飽和密度：0.73）。一方で、密度の大きい海底ケーブルやパイプラインなどは、液状化により地盤深部へと沈込んでいく可能性がある。液状化にともなうパイプの沈込みは、これまで海外において水路実験（1G）で調べられている²⁾。本研究の目的は、ドラム型遠心載荷装置の水路（図-1）を用いて砂地盤-パイプ系の波浪実験を行い、波による液状化にともなうパイプの沈込み挙動を観察することである。

2. 実験概要

遠心力場 70G の水路内で波浪実験を行った。実験断面を図-2に示す。緩い砂地盤の中に比重の異なるパイプを3本埋設している。地盤の初期飽和密度と使用したパイプ密度を表-1に示す。同表でパイプ比重（以下比重）とは、地盤の飽和密度（ ρ_{sat} ）に対するパイプ密度（ ρ_{pipe} ）の比である。本報では、比重が1以上のパイプを重いパイプ、1未満のものを軽いパイプとよぶ。実験に用いたパイプは6種類（①～⑥）で、比重0.9～1.35の範囲である。パイプ模型は、外径25mmのアルミ丸棒に所定の径の孔を中ぐり加工によりあけ、孔内部に発砲ウレタンをつめて作成した。内孔径を変えることでパイプ密度を変化させた。

地盤材料には、東北珪砂7号（ $G_s=2.635$ ， $D_{50}=0.16\text{mm}$ ， $e_{max}=1.111$ ， $e_{min}=0.645$ ）を使用した。地盤の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。入力波浪は周波数10Hz（原位置周期7秒）の振幅が漸増する正弦波である。Case1と2,3とでは振幅の増加程度が異なる。地表面に作用した波圧を図-3に示す。Case1は大きな波浪負荷を作用させ地盤全体を急激に液状化させたのに対し、Case2,3はゆっくり振幅を増加させた。

3. 実験結果

激しい波浪負荷によって地盤は液状化するが、地盤内の過剰間隙水圧応答については別報³⁾で詳細に述べて
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

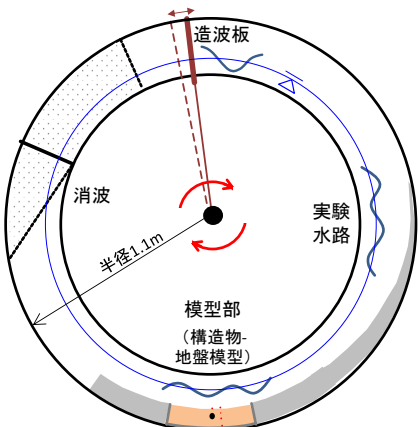


図-1 遠心力場の造波水路

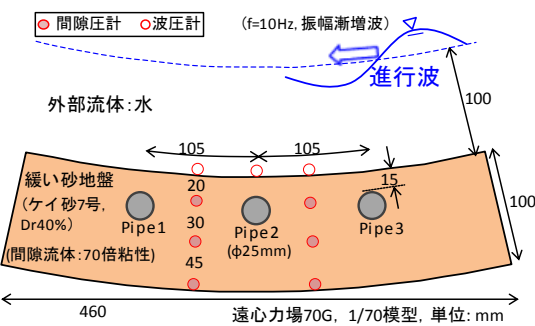


図-2 実験模型断面

表-1 実験ケース

	地盤飽和密度 ρ_{sat} : kg/m ³	地盤相対密度 Dr: %	Pipe No.	Pipe密度* ρ_{pipe} : kg/m ³	Pipe比重 (ρ_{pipe}/ρ_{sat})	入力波圧
Case 1	1855	42.5	①	2504	1.35	重
			②	2228	1.20	重
			③	1964	1.06	重
Case 2	1849	39.9	④	1890	1.02	重
			⑤	1824	0.99	軽
			⑥	1688	0.91	軽
Case 3	1860	45.0	①	2510	1.35	重
			②	2239	1.20	重
			③	1981	1.06	重
別報3)	1854	42.1	④	1904	1.03	重

*土槽壁面とパイプとの摩擦低減のための処置により同一パイプでも僅かに密度が異なる。

いるので本報では割愛する。液状化にともない、重いパイプは沈み、軽いパイプは浮上していく様子を観察した(図-4)。各ケースの波浪負荷中のパイプの動きを追跡することで

得られたパイプの鉛直変位の時刻歴を図-5に示す。本図は液状化発生時刻を $t=0$ としている。パイプは比重によらず液状化発生と同時に動き始めている。軽いパイプは浮上し、重いパイプは沈んでいるが、軽いパイプのうち比重が小さいものは浮上速度が大きく、重いパイプのうち比重が大きいものは沈込み速度が大きく、最終深度も深い傾向にある。この点は、パイプ比重と沈込み深度、沈込み速度との関係で表すとより明らかである(図-6)。ここで沈込み速度とは、沈込み開始からおよそ停止するまでの平均の速度である。図-6(a)より、パイプ比重が1付近では、パイプ挙動が大きく変化することがわかる。

これは、地盤密度にパイプ密度が近い場合、パイプの挙動予測が難しいことを示している。パイプの鉛直速度とパイプ比重との関係については大きな非線形性は見られない。また、図-6(a)あるいは図-5に示したパイプ外周円を見ると、最もパイプが沈んだ場合でもパイプ下端は土槽底面までは達していないことがわかる。この点は、別報で詳しく調べる³⁾。

4. まとめ

波による液状化にともなうパイプの沈込み挙動や浮上を遠心力場で観察した。パイプ比重によらず液状化発生直後にパイプが動き始めること、パイプ比重の違いにより沈込み速度がや沈込み深度が異なること、パイプ密度が地盤飽和密度に近いと僅かなパイプ密度の違いでも挙動が大きく異なることを示した。

参考文献: 1)宮本ら, 波による地盤の液状化とパイプラインの浮上, 土木学会論文集 B2, 73-2, I_1135-1140, 2017. 2) Sumer, B.M.: Liquefaction around marine structures, Advanced Ser. Ocean Eng., 39, World Scientific, 453p., 2014. 3)宮本ら, 波による地盤液状化過程とパイプの沈込み挙動との関わり, 第74回年次学術講演会講演概要集(投稿中)。

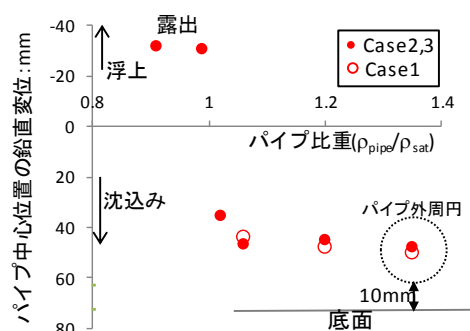


図-6(a) パイプ比重とパイプの沈込み深さとの関係

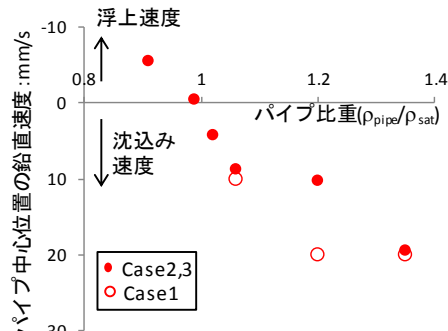


図-6(b) パイプ比重とパイプの沈込み速度との関係

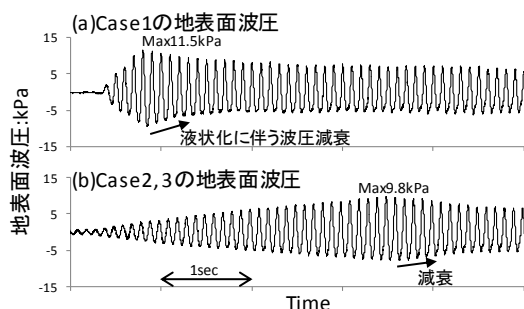


図-3 地表面に作用した波圧変動

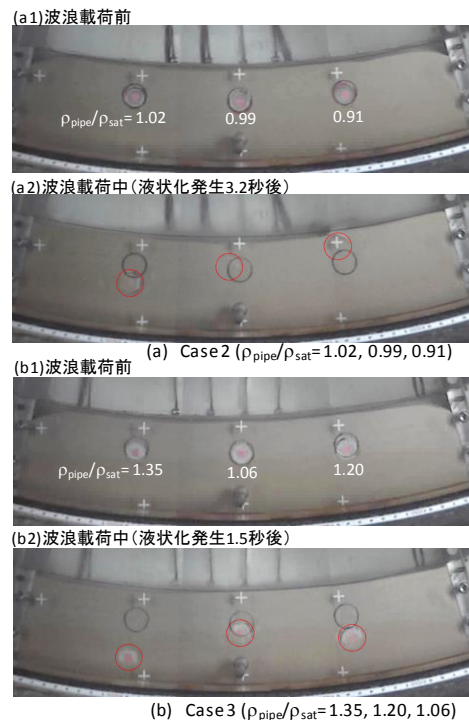


図-4 比重の異なるパイプの液状化時の沈込みや浮上の様子

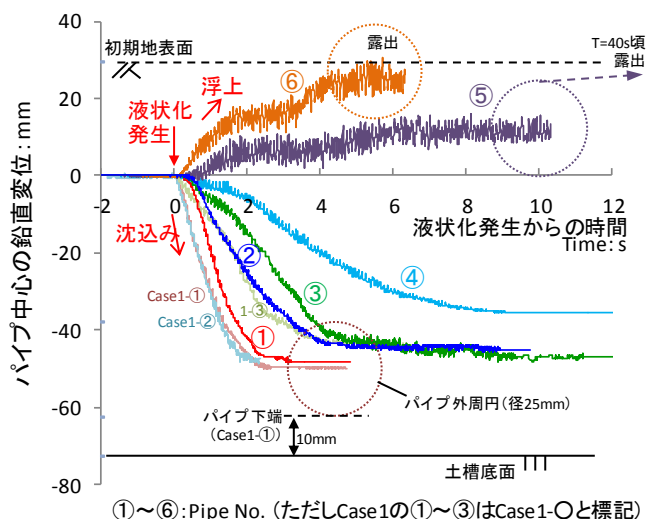


図-5 比重の異なるパイプの液状化に伴う鉛直変位