

限界掃流力に及ぼす変動水圧の影響

岡山大学工学部 正会員 名合 宏之
岡山大学工学部 正会員 ○前野 詩朗
東洋建設（株） 本庄 隆宣

1. まえがき

従来から行われている限界掃流力の水理学的取扱いでは、砂層面に平行な様な流れを対象としており、砂層面に垂直な流体圧の巨視的な変化は考慮していない。したがって、波動の影響を受ける海底面あるいは洪水時の著しい水面変動下の河床面などにおける砂粒子の移動限界を考える場合には、従来の限界掃流力理論をそのままの形で用いることには疑問が残る。著者らは、砂層面上に変動水圧が作用した場合の砂層内の水圧分布、砂粒子の有効応力分布について理論的・実験的な検討を行ってきたが、その結果では、間隙水圧の変化により有効応力が時間的に変化し、ある場合には、それが0になる状態（液状化状態）が生起することを確認している¹⁾。このことは、砂層（あるいは砂粒子）の流れに対する抵抗力の減少を意味しており、限界掃流力の減少につながると考えられる。本研究は、このような観点から変動水圧作用下での限界掃流力の変化特性を実験的に検討しようとするものである。

2. 実験方法

実験には、図1に示される閉水路を用いた。砂層の厚さは約35cm、砂層面上の水深は約15cm、水路幅は40cmである。変動水圧は水路下流部に取り付けられた円筒内の水面上に変動空気圧をかけて発生させている。実験は、周期的変動水圧を作用させた場合とさせない場合で行っている。砂試料としては、表1に示される粒径の異なる3種類の試料を用いた。砂粒子の動き始めの基準としては、岩垣²⁾と同様のものを採用している。すなわち、（A）時々動く、（B）全体にわたって一様に連続的に移動する、（C）前記の両者の中間的な状態（単位時間内にある断面を通過する個数を数えられる程度の動き方）の3つの状態を用いている。

限界摩擦速度 u_{*c} は、流速分布がつぎの対数分布則で表わされるとし、片対数紙上に示された流速分布のこう配より求めた。

$$u_z = 5.75 u_{*c} \log(z/d) + A_r u_{*c}$$

ここに、 z ：砂層面より測点までの距離、 d ：砂の粒径、 u_z ：各測点の流速である。なお、流速測定は、 $z = 2.5, 3.75, 5.0, 6.25, 7.5, 8.25, 10.0, 13.0$ cm の位置で行っている。

3. 実験結果および考察

図2および図3は、試料No. 1を砂層材料として、通水前に砂層面上に変動水圧を作用させた場合の砂層内における間隙水圧の時間変化および有効応力の時間変化を示したものである。この両図より、変動水圧は砂層内に振幅の減衰および位相の遅れを伴いながら伝わり、その結果、有効応力が時間的に変化し液状化状態が発生しているのがわかる。なお、砂層面上に作用させた変動水圧振幅は水頭にして約34

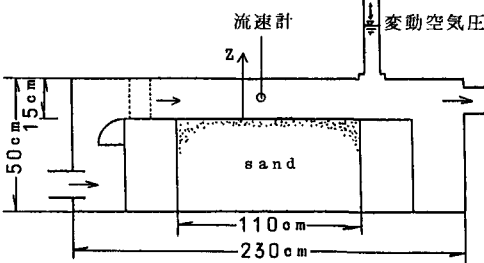


図1 実験装置概要

表1 使用した砂の粒径、比重

試料	d_{50} (mm)	ρ_s
No. 1	0.250	2.649
No. 2	0.630	2.664
No. 3	1.095	2.661

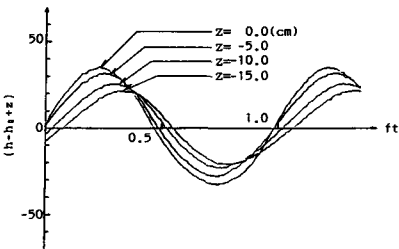


図2 間隙水圧の時間変化（試料No. 1）

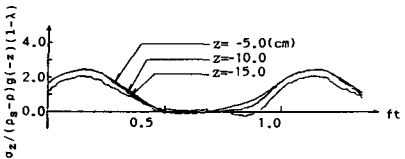


図3 有効応力の時間変化（試料No. 1）

cm, 周波数は0.98Hzであり、一連の実験においてはほぼ一定となるように設定した。

図4は、各試料の砂粒子の動き方が(B)の場合の流速分布を示したものである。それぞれ変動水压を作用させた場合とさせない場合について、 u_z と z/d の関係を片対数紙にプロットしている。なお、図中の直線は各状態における回帰直線を示している。この図より、各測点における流速はほぼ直線上に載っており、本実験で得られた流速分布は、従来より提案されている対数分布則に従うものと判断される。また、流速分布をみると、平均粒径が大きくなるほど変動水压を作用させた影響が小さくなっているのがわかる。さらに、各試料とも、変動水压を作用させた場合は、させない場合に比較して速度こう配が緩やかになっており、限界摩擦速度 u_{*c} が小さくなっている。なお、紙面の都合上省略したが、他の2つの移動基準における流速分布は、図4とはほぼ同じような傾向は示すものの、砂粒子の

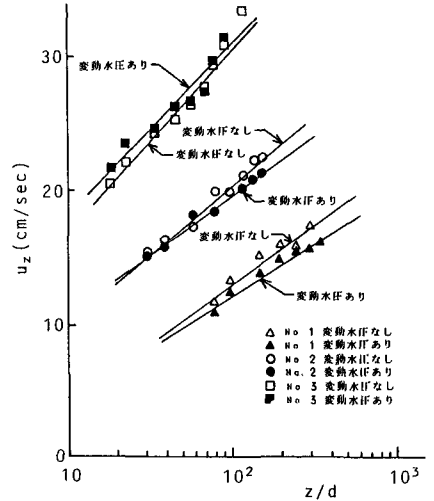


図4 流速分布(移動基準(B))

移動量が多くなるほど流速分布に与える影響は小さくなるようであった。

表2には、各移動状態における速度こう配より限界摩擦速度 u_{*c} を求め、 u_{*c} を無次元化した $u_{*c}d/\nu$ と $u_{*c}^2/(\rho_s/\rho-1)gd$ との関係のプロットしたものである。図中の実線および点線は岩垣²⁾の行った実験結果および理論曲線である。この図より、変動水压を作用させた場合は、させない場合に比較して限界掃流力が小さくなることがわかる。また、粒径 d が小さくなるほど変動水压が限界掃流力に及ぼす影響が大きくなっている。このことは、著者らが従来より得ている研究結果¹⁾、すなわち、粒径(あるいは透水係数)が小さくなるほど液状化が起こり易くなることと関係していると考えられる。以上述べてきたように、変動水压作用下では限界掃流力が小さくなることが明らかにされたが、今後は、変動圧振幅あるいは周波数など外的条件の変化が限界掃流力に及ぼす影響を検討する必要がある。

表2 限界掃流力に関する実験資料

d_{50} (mm)	ρ_s	u_{*c} (cm/sec)	u_{*c}^2 (cm ² /sec ²)	$\nu \times 10^3$ (cm ² /sec)	$u_{*c}d/\nu$	$u_{*c}^2/(\rho_s/\rho-1)gd$	変動水压	移動状態
0.250	2.649	1.474	2.173	1.112	3.314	0.0538	なし	A
		1.130	1.277	1.156	2.440	0.0316	あり	A
		1.537	2.362	1.109	3.465	0.0585	なし	C
		1.363	1.858	1.172	2.907	0.0460	あり	C
		1.783	3.179	1.032	4.319	0.0787	なし	B
		1.621	2.628	0.983	4.123	0.0650	あり	B
0.630	2.664	1.688	2.849	1.172	9.074	0.0277	なし	A
		1.440	2.074	1.204	7.535	0.0202	あり	A
		1.772	3.140	1.126	9.914	0.0306	なし	C
		1.546	2.390	1.084	8.985	0.0233	あり	C
		1.792	3.211	1.084	10.415	0.0313	なし	B
		1.613	2.602	1.057	9.614	0.0253	あり	B
1.095	2.661	2.274	5.171	1.057	23.558	0.0292	なし	A
		2.117	4.482	1.112	20.846	0.0253	あり	A
		2.381	5.669	1.019	25.586	0.0318	なし	C
		2.219	4.924	1.057	22.988	0.0276	あり	C
		2.652	7.033	0.960	30.249	0.0395	なし	B
		2.603	6.776	0.995	28.646	0.0380	あり	B

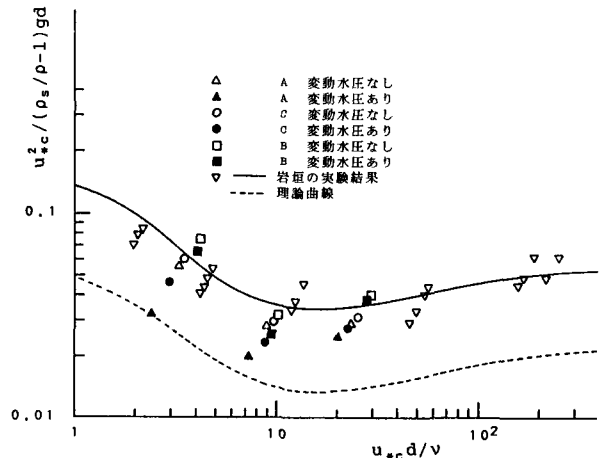


図5 限界掃流力

参考文献 1) 名合宏之: 変動水压による砂層の液状化に関する研究, 水理講演会論文集, 1982

2) 岩垣雄一, 土屋義人: 限界掃流力に関する基礎的研究, 土木学会論文集第41号, 1956