広島大学大学院工学研究科	学生会員	○安部	太紀
広島大学大学院工学研究院	正会員	土田	孝
五洋建設株式会社技術研究所	正会員	熊谷	隆弘
五洋建設株式会社技術研究所	正会員	菊原	紀子

## 1.はじめに

粘土やシルトを多く含む軟弱な底泥が強い波浪に晒さ れると、底泥が波浪作用に追随し、波を打つような形状 となることで底泥の表面に亀裂が発生する。その亀裂が ドレーン効果を発揮することによる含水比の低下、亀裂 が細粒分の減少が起こることが、近年の研究によって推 測された(図-1)。しかし、この現象についての研究は過去 にほとんどされておらず、亀裂が発生する程度のやや穏 やかな波浪条件での実験しかされていない。また、亀裂 が発生したときの物性変化の再現性、含水比の著しい低 下が発生した時の細粒分の減少についても、行われた実 験が少ないため確認されているとは言い難い。そこで本 研究では、既往の研究と比較して底泥に及ぼす影響の大 きい波浪作用実験並びに亀裂が発生しない波浪作用実験 を行い、亀裂による物性変化のメカニズムについての検 討を行った。

### 2.実験概要

# 2.1 実験方法

実験試料として,徳山港における浚渫土(以後,徳山港 粘土と表記)を使用した。その物性値を表・1 に示す。波浪 作用実験には図・2 に示すような実験装置を使用した。設 置した土槽によく攪拌した試料を投入し,自重圧密によ る影響が出ないよう速やかに実験を開始した。最大 72hr の波浪作用実験終了後に,含水比,ベーンせん断強度, 粒度分布の測定を行う。それぞれの測定は,土槽沖側か ら 15,30,45,75cm 地点で行い,それぞれの地点ごとに深 度分布を作成した。土槽上方から見た測定地点を図・3 に 示す。この測定結果と,実験前の物性および波浪作用実 験と並行して行った自重圧密実験の結果と比較すること で,物性変化メカニズムについて検討を行った。

ここで自重圧密実験は,波浪作用を受けない底泥の, 自重による圧密やシキソトロピーによる強度増加の影響 を測定する目的で行った. 直径 30cm のアクリルの円筒





#### 表-1 徳山港粘土の物性値

土粒子密度 ρ s		2.62g/cm <sup>3</sup>
粒度組成	礫分	0.6%
	砂分	3.9%
	シルト分	46.0%
	粘土分	49.5%
コンシステンシー 限界	液性限界WL	110.6%
	塑性限界WP	40.0%
	塑性指数 $I_P$	70.6



図-2 実験装置概要



表-2 波浪作用実験ケース

case	含水比(%)	時間(hr)	波高 $H(m)$	周期T(sec)	水深 <i>h</i> (m)	波長L(m)
1	170	45	0.05	1.40	0.15	1.64
2	165	72	0.04	1.20	0.15	1.38
3	150	24	0.09	2.00	0.25	3.05
4	150	24	0.05	1.40	0.15	1.64

内に,底泥の含水比,深度,水深を波浪作用実験の 条件と統一し,波浪作用実験開始から終了まで静置 しておく。その後含水比とベーンせん断強度を測定 し,波浪作用実験と同様に深度分布を作成した。粒 度に関しては,自重圧密により変化することはない と考えられるため,実施しなかった。

### 2.2 実験ケース

波浪作用実験の実験ケースを表・2 に示す。波浪条 件は波高 Hと波長 Lの比である波形勾配 H/Lを約 0.03 に統一して数ケース作成した。その後,既往の 研究において示された安定解析法 <sup>1)</sup>を用いて,既往 の研究より安全率が危険側となるように実験ケース 1,3 を決定した。実験ケース 2,4 は既往の研究と比較 し安全側,つまり亀裂が生じないケースを作成した。 波浪作用時間は 72hr を最大とし,底泥表面の流出 が顕著で,実験の続行が不可能と判断した時点で終 了した。case4 の実験については,実験器具の使用 期間の関係上 24hr で実験を終了した。

## 3.実験結果

### 3.1 含水比・ベーンせん断強度

亀裂が明確に発生した case3, 亀裂が確認できな かった case4 の含水比およびベーンせん断強度の深 度分布を図-4に示す。ここで凡例内の「地点」は土 槽沖側からの距離を示す。また、図中の「静水時」 は自重圧密の結果を示す。case3 では液性限界 110.6(%)を下回る含水比 90(%)まで含水比が低下し ている部分が存在していることが確認できた。また、 同様に明瞭な亀裂が発生した case1 においても, case3 ほどではないが含水比の低下傾向がみられた。 一方, 亀裂が発達しなかった case2,4 では, 物理特 性の変化はほとんど生じておらず, 自重圧密実験の 結果と大きな差は生じなかった。これにより、含水 比低下の大きな要因のひとつは亀裂であることが確 認できた。また、実験ケース3では土槽沖側から15 ~30cm 地点,実験後地盤高から 5~10cm 付近にお いて、含水比が65%近くまで低下している部分が存 在する確認できた。この含水比低下は圧密圧力約 80(kPa)で圧密した時と同等の含水比低下であり, この結果は亀裂によるドレーン効果以外の要因が存



図-4 含水比とベーンせん断強度の深度分布



在することを示唆する結果であるといえる。

3.2 粒度分布

case3,4 の土槽沖側から 15cm における粒度分布を図-5 に示す。凡例中の「深度」は実験開始前の地盤高からの深 さを示している。明確な亀裂の生じたケースでは、最も顕著なところで実験前から 20(%)近く細粒分が減少してい た。一方で亀裂が発生しなかったケースは実験前の曲線からほとんど変化が無かった。また、亀裂の閉口時に細 粒分が抜け出す様子も目視により確認できた。

case3の深度 16cm の粒度分布が,先述した含水比の明瞭な低下が発生していた付近の粒度分布であるが,この 結果から,含水比が著しく低下する際,細粒分の低下も著しく発生することが確認できる。

4.既往の研究との比較

熊谷ら<sup>20</sup>は,海底面を大きく攪乱する高波浪の 来襲が少なく,底泥粒子の巻き上がり量に比べて, 沈降・堆積量が大きく,圧密によって地盤が形成 される閉鎖性水域のような海域を想定して実験を 行った.底泥試料は宇部港の浚渫粘土を使用し, 実験では,含水比を液性限界の1.8倍に相当する 含水比 190%に調節して使用した.浚渫泥の主な 物性値を表・3に示す.また,実験で用いたケース および実験の概略図を表・4,図・6に示す.ここで, 浚渫泥のケースにおいて,与えられる波浪作用に 対し,底泥の流動が生じる限界せん断強度 csta\*を, 土田・五明<sup>30</sup>の手法に基づき評価し,浚渫土の初 期せん断強度との比較を行い,底泥の流動が顕著 に生じる条件であることを確認している.

熊谷ら<sup>20</sup>が行った実験の結果を図-8,図-9に示 す.土槽沖側から18cm地点では明瞭な亀裂が生 じており,含水比の顕著な低下がみられた.一方 でその周辺位置では亀裂の影響による含水比の低 下量が小さかった.また,含水比の低下が発生し ている部分では細粒分の減少も発生している.こ の研究では波の影響が大きくなるほど含水比が部 分的に低下する深度は深くなっており,本研究に おいてもその傾向は確認できることから,含水比 の低下が発生する深度は,底泥に及ぼす影響が大 きいほど深くなることが分かる.また,含水比低 下,細粒分減少といった物性変化は,再現性をも った現象であることが分かる.

# 5.結論

・底泥表面に亀裂の発生したケース,していないケ ースの比較から,含水比低下,細粒分減少といった

## 表-3 主な物性値 2)

土粒子密度 ρs		2.59×103kg/m3
自然行	含水比 w <sub>0</sub>	122.1%
	砂分	7.5%
粒度組成	シルト分	41.2%
	粘土分	51.3%
	液性限界 wL	111.6%
コンシス テンシー	塑性限界 wp	45.4%
	塑性指数 Ip	66.2
強熱	、減量 Li	10.3%

表-4 実験ケース 2)

ケース名	波高	作用時間	備考
Case1	0.02m	48 時間	-
Case2	0.03m	72 時間	< -
Case3	0.02m →0.03m	72 時間	H=0.02m 36時間 H=0.03m 36時間
Case4	0.03m →0.02m	72 時間	H=0.03m 36時間 H=0.02m 36時間





物性変化の大きな要因は亀裂の発生であることが確認できた。また、物性変化の再現性が確認できた。

・一部では波による圧力および亀裂によるドレーン効果から考えられる以上の含水比低下が確認でき、含水比低 下の他の要因が存在すると考えられる。

6.参考文献

1) 土田孝・五明美智男: 波による水圧変動に対する底泥層の安定について, 海岸工学論文集, 第46巻, 596-600, 1999

2) 熊谷隆宏, 土田孝, 大坪政美, 渡辺要一, 五明美智男, 塩田耕司: 波浪作用下における底泥表面の圧密促進メ カニズム, 地盤工学ジャーナル, Vol.2, No.3, pp.223-235, 2007

3) 土田孝, 五明美智男: 波による水圧変動に対する底泥層の安定について, 海岸工学論文集, 第46巻, pp.596-600, 1999





## 図-8 含水比およびせん断強度の深度分布

図-9 粒度分析の結果