

### III-1 浸透圧による砂質シルト層の締固め効果

九州大学工学部 正員 山内豊聡, 正員 林 重徳  
学生員 山口良弘, 学生員 塩崎憲幸

1. まえがき 埋立であるいは海岸保全のための堤体盛土など水中土工の需要が高まりつつある。多量の材料を要する、かかる土工の経済性を考える時、現場付近における材料を使用することが望ましい。しかし、海岸部にみられる海成粘土や浚渫土砂などは、そのままでは非常に柔らかく、所定の設計強度を得ることは困難である。このような材料を締固めて所定の強度を確保するといった工法の研究はきわめて少ない。ここでは、高含水比の土質材料を締固める工法の一つとして、浸透圧を利用することの有効性および材料との適性等を検討するため、基礎的な実験を行ったので報告する。

2. 実験方法および試料 実験装置の概略を図-1に示す。本実験装置は、一般の定水位透水試験器と同様のものであるが、高い浸透圧を負荷できるように工夫されている。

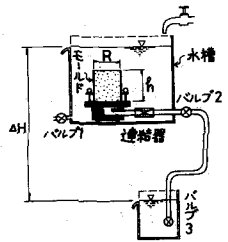


図-1 実験装置

2.1 実験方法 モールド（内径 $R=10\text{cm}$ 、高さ $h=12.6\text{cm}$ ）に試料を静かに注入し、試料とモールドの重量を測定する。モールドを水槽にセットし、水槽に水を入れる。この場合、バルブ2とバルブ3の間の管には水を満たしておく。次に、バルブ2、バルブ3を開いて、浸透圧を負荷させ、実験を開始する。開始して5、15、30分、1、2、4、22時間後に試料の沈下量を測定する。沈下量測定には、デンプスゲージを使用した。沈下量測定時には、バルブ2を閉じ、バルブ1を開いて水槽の水を低下させるという操作を繰返した。また、水頭差 $\Delta H$ は、129.7、92.7、32.4cmの3段階で実験を行った。22時間浸透圧負荷後、モールドを水槽から取出し、モールド表面から2、4、6、8、10cmの各深さにおける試料の含水比を測定した。

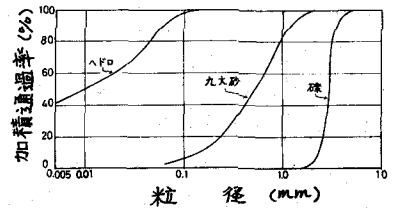


図-2 粒径加積曲線

表-1 試料

2.2 試料 図-2に示す粒度曲線をもつ材料（九大砂、ヘドロ、礫）を表-1の重量比で混合した4種類の試料で実験を行う。なお、表-1に付記した各試料の初期含水比は、混合後装置にセットするまでの間に試料と水が分離しない程度の含水比である。

| 試料 | 含有率(%) |     |   | 初期含水比 |
|----|--------|-----|---|-------|
|    | ヘドロ    | 九大砂 | 礫 |       |
| A  | 0      | 95  | 5 | 26.8% |
| B  | 10     | 85  | 5 | 32.6% |
| C  | 15     | 80  | 5 | 33.1% |
| D  | 20     | 75  | 5 | 32.9% |

3. 実験結果と考察 試料A, B, C, Dの沈下量～時間関係

係をそれぞれ図-3～6に示す。これらの図より、ヘドロが多くなるほど沈下に及ぼす時間の影響は大きいことが認められる。また、ヘドロの含有率および水頭の差違による浸透圧の締固め効果を見るために、最終沈下量とヘドロの含有率の関係を求めたものが図-7である。この図より明らかなように、試料B（ヘドロ含有率10%）でかつ水頭差 $\Delta H$ が129.7cmのときに沈下量は最も大きく、試料A（ヘドロ含有率0%）では、水頭差 $\Delta H$ （浸透圧）による沈下量は小さくなるのがわかる。水頭差 $\Delta H=129.7\text{cm}$ のときの浸透圧負荷前及び負荷後の乾燥密度 $\gamma_d$ とヘドロの含有率の関係は、図-8に示すとおりで、ヘドロ含有率10%とき、

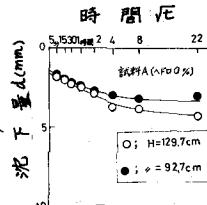


図-3 沈下量-時間曲線

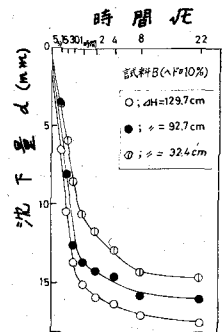


図-4 沈下量-時間曲線

$\gamma_d$ 及び浸透圧負荷前後の $\gamma_d$ 増加は最大を示す。すなわち、10%をピークとしてヘドロ含有率がこの値を超えると、10%より小さい時とは逆に $\gamma_d$ は低下する。

次に、22時間浸透圧負荷後(定常状態とみなす)におけるデータを基にして、各試料の $e \sim \log P$ 関係を解析的に求める。解析手順を以下に示す。試料の各要素に作用する有効応力 $\bar{p}$ を浸透圧と自重による応力と考える。浸透圧を22時間負荷した後の動水水頭 $h$ は、 $\Delta H / (h - d)$  (ただし $d$ は沈下量)で与えられるから、浸透圧 $p$ は、 $p = \gamma_w \Delta H / (h - d)$ となる。すなわち、供試体内の任意要素に作用する物体力は、

$$\sigma' / \gamma = z + \gamma' \quad \dots \quad (1)$$

ただし、 $\bar{p}$ は要素に作用する有効応力、 $\gamma'$ は要素の水中重量である。式(1)を用いて、供試体内の有効応力 $\bar{p}$ の分布を求める。右辺第1項の浸透圧による有効応力 $\bar{p}$ の分布を $\bar{p}_1$ ( $z$ はモールド表面を基準)と仮定する。第2項の自重による有効応力 $\bar{p}$ は、間げき比 $e$ の分布を用いて各要素の $\gamma' = (G_s - 1) \gamma_w / (1 + e)$  (ただし $G_s$ は土粒子比重)を計算し、 $\int \gamma' dz$ を求めることができる。なお、 $e$ の分布は試験終了後の含水比 $w$ の分布より、飽和度 $S_r = 100\%$ として求めている。ゆえに、有効応力 $\bar{p}$ は $\bar{p}_1 + \bar{p}_2$ で与えられ、供試体内の $\bar{p}$ の分布を求めることができる。以上より、 $\bar{p} \sim z$ 関係と $e \sim z$ 関係を組合せると $e \sim \log \bar{p}$ 曲線を得ることができる。解析結果を図-9(試料B)、図-10(試料C)、図-11(試料D)に示す。これらの図は、 $e \sim \log \bar{p}$ がヘドロ含有率10%でほぼ直線、20%で曲線、15%で中間的な関係をとることを示している。

**4. むすび** 以上のことをまとめると、次のとおりである。(1)一般に、浸透圧(水頭差 $\Delta H$ )が大きいほど沈下量は大きく、締固め効果は大である。(2)ヘドロを含まない試料A:他の試料と比較して、自沈による乾燥密度 $\gamma_d (=1.47 \text{ g/cm}^3)$ が最も大きい。浸透圧負荷( $\Delta H = 129.7 \text{ cm}$ )後の $\gamma_d$ の自沈に対する増加率( $=3.5\%$ )は最小である。すなわち、この試料は自沈によってすでに十分な $\gamma_d$ が得られるものであり、浸透圧による締固め効果は小さい。ちなみに、最大乾燥密度 $\gamma_{dmax}$ は $1.69 \text{ g/cm}^3$ である。(3)ヘドロを10%含む試料B:自沈による $\gamma_d (=1.36 \text{ g/cm}^3)$ は最も小さいが、浸透圧負荷( $\Delta H = 129.7 \text{ cm}$ )後の $\gamma_d$ および $\gamma_d$ の自沈に対する増加率はそれぞれ $1.58 \text{ g/cm}^3$ 、 $15.8\%$ であり、浸透圧による最大の締固め効果が得られる。(4)ヘドロを15%および20%含む試料C、D:試料Bより締固め効果は小さい。しかし、沈下量の小さな試料Dにおいても、浸透圧負荷( $\Delta H = 129.7 \text{ cm}$ )後の $\gamma_d$ の自沈に対する増加率は $7.4\%$ と比較的大きく、浸透圧を利用した締固めはこれらの試料においても有効な方法である。以上、浸透圧を利用した締固め方法は、水中土工における有効な手段となり得ると思われるが、今後、浸透圧を利用した水中盛土の締固めに、Terzaghiの圧密理論および三笠の理論を準用して、現場的な問題の解析を試みて行く所存である。

参考文献 1) 今井・矢野: 浸透圧を利用した圧密試験法, 第3回土質工学研究発表会, 1978, pp. 245~248.

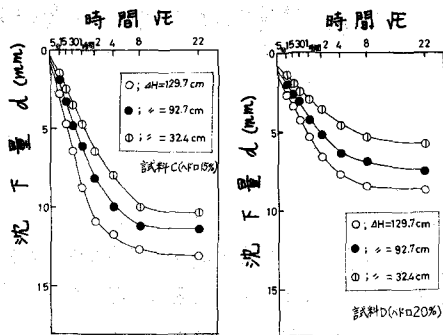


図-5 沈下量-時間曲線 図-6 沈下量-時間曲線

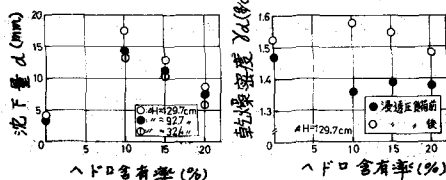


図-7 最終沈下量とヘドロの含有率の関係 図-8 乾燥密度とヘドロの含有率の関係

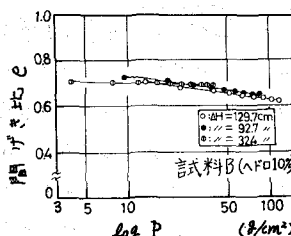


図-9 e-log P 曲線

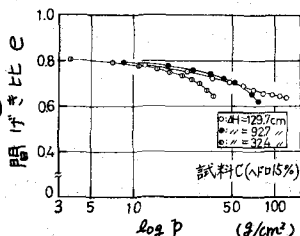


図-10 e-log P 曲線

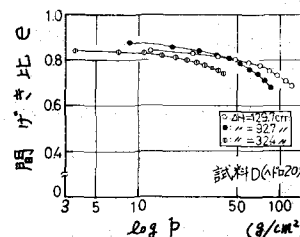


図-11 e-log P 曲線