No.4

海岸砂の物理特性と設計面からの一考察

（島根半島北部編）

小柴克己
河原八郎

1　はじめに

一般の土木工事においては　計画、調査、設計施工といった手順が踏まれるわけであるが、この一連の流れをトータル的にコントロールすることは至難のことであり、それぞれの立場を割り切った処置がなされるのが普通である。

我々、調査設計に携わる者にとっては、後に続く施工に対し、技術的観点よりできるだけの記載をしておくことが、基本的なことであると思われる。時に基礎工事に於いては、材料の入荷等を基本設計までもゆだねてくることが見受けられるし、又問題意識のないまま見すごされていることもある。

土木工事と砂の関係が密接であることは言うまでもないことであるが、一言に砂と言っても、山砂、河砂、海砂とその生成過程が異なるように、工学的性質もかなり異なる。今回の研究内容は、これらの砂の内、海岸砂についてその物理的特性（比重、粒度、密度）を把握し、先に述べた観点より設計上の問題点を一つ取り挙げることとした。

砂試料の採取地点を図－1.1に示す。

島根県本土の海岸線を東は美保関町地蔵崎から西は益田市の飯浦までとみたてた場合、約230 kmとなる。その約40％に当たる島根半島の地蔵崎から日御崎までの約90 kmについて、砂浜海岸となっている湾の内、14ヶ所について試料を採取した。海岸に分布する砂は、漂砂現象の影響より汀線直角方向においても粒度分布が異なることから、試料採取地点は一貫して汀線近傍とした。

2．試験の方法、結果、考察

1）試験方法

a．比重試験

JIS A 1202－1978 の方法に準ずる

b．粒度試験

JIS A 1204－1979 の方法により 74 μm より大きい試料について、フルイ分けにより試験を行った。

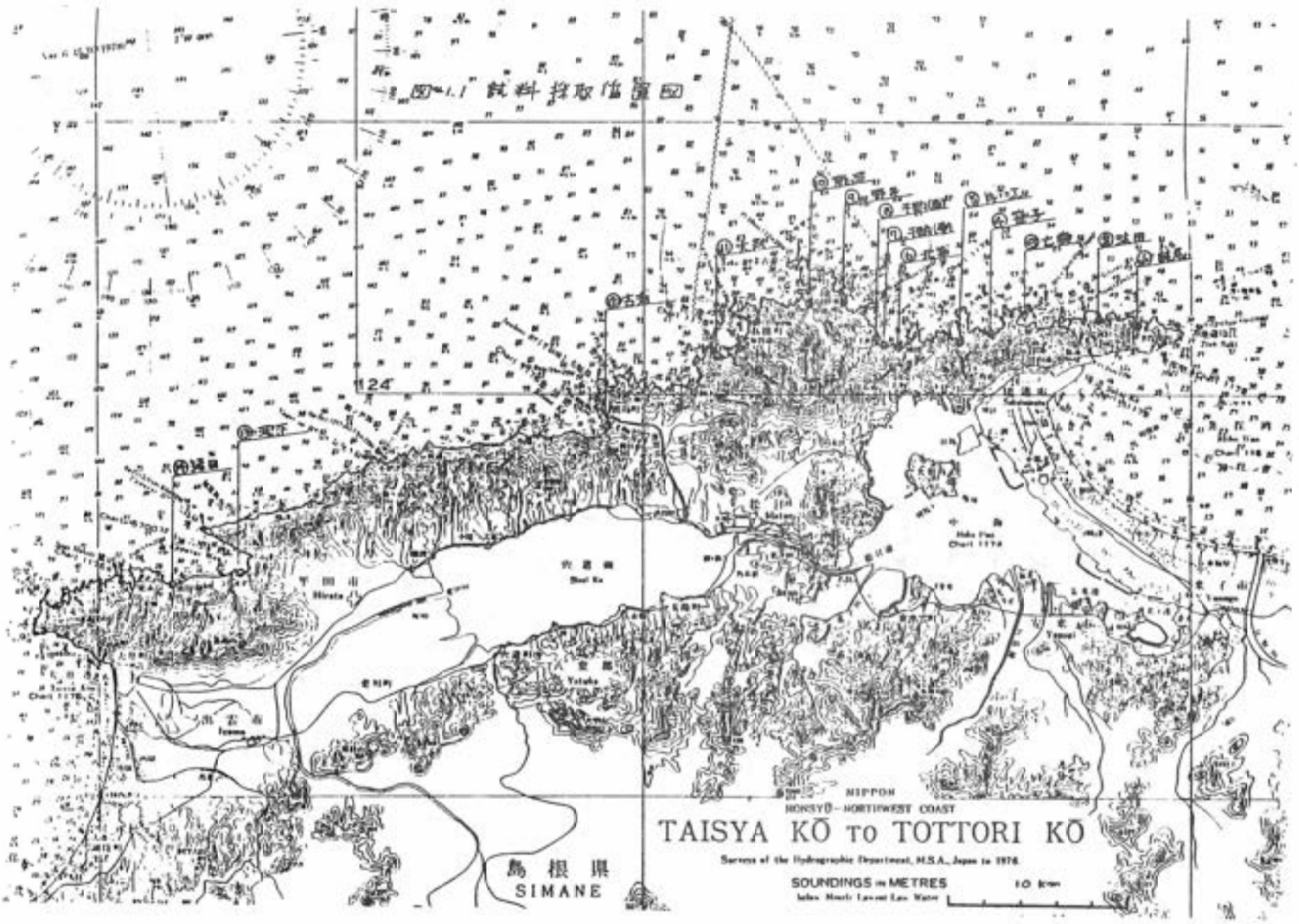


図 1.1 試料採取位置図
124
島根県
SIMANE
NIPPON
HONSYŪ - NORTHWEST COAST
TAISYA KŌ TO TOTTORI KŌ
Survey of the Hydrographic Department, M.S.A., Japan in 1976
SOUNDINGS in METRES
10 km

c、乾燥密度試験

「土質試験法－土質工学会」 S54年改訂版による、"砂の最大乾燥密度・最小乾燥密度試験"の方法に準じた。

d、飽和密度試験

この試験方法については、特に規定されたものがないため、次の機材を用い表-2.1に示す密度状態で各測定を行なった。

- モールド　　φ＝13.8 cm、H＝13.0 cm　の鉄製
- 突　棒　　φ＝1.6 cm、L＝50.0 cm　の鉄製

表－2.1　試験項目

項　目	試験方法
自然落下	モールド内に水を入れておき、水面付近より静かに落下
突固め5回	突き棒の下端をモールド上面より20cmの所に固定し自由落下
突固め10回	同　上
突固め20回	同　上
振動突固め	モールドの一辺を地につけた状態で、全体を傾斜させ手をはなす、この時の振動を利用して20回行う

2）試験結果及び考察

a、比重試験

比重試験結果を表－2.2に示す。これより、比重(Gs)は、2.70～2.81の範囲にあり、海岸の主成分が石英(Gs＝2.65)であることから言えば、高い値を示している。このことは、貝殻(Gs＝2.71)、雲母(Gs＝2.7～3.3)及び、その他の重鉱物が含有されているように考えられる。

b、粒度試験

全試料の粒度曲線を、図－2.1に示す。試料No.1とNo.4は、日本統一分類で礫(G)に分類され、他は砂(S)に分類される。砂の内　No.2とNo.3は他に比較して礫分が多いが、その他No.4～No.13は、典形的な海岸砂であり細砂(420μm～74μm)を88～98％含有している。試料No.4～No.13の特徴をみる為に、図－2.2を作成した。これによれば細砂の内で、105μm～250μmの含有量と、250μm

表－2.2　比重及び密度

NO.	地名	分類	Gs	γd min	γd max	γsat min	γsat max	e max	e min
1	軽尾	G	2.73	1.267	1.526	(1.874) 1.800	(1.989) 1.961	1.16	0.79
2	法田	S	2.70	1.215	1.430	(1.763) 1.766	(1.959) 1.900	1.22	0.89
3	七類	〃	2.73	1.345	1.610	(1.874) 1.852	(1.992) 2.018	1.03	0.70
4	笹子	〃	2.81	1.108	1.345	(1.720) 1.713	(1.824) 1.866	1.54	1.09
5	片江	〃	2.73	1.177	1.411	(1.761) 1.746	(1.865) 1.892	1.32	0.94
6	北浦	〃	2.70	1.157	1.400	(1.764) 1.730	(1.862) 1.881	1.33	0.93
7	千鶴(東)	〃	2.70	1.273	1.539	(1.823) 1.802	(1.934) 1.971	1.12	0.75
8	千鶴(西)	〃	2.72	1.331	1.585	(1.888) 1.843	(1.977) 2.000	1.04	0.72
9	野井	〃	2.77	1.034	1.276	(1.673) 1.660	(1.771) 1.816	1.68	1.17
10	野坂	〃	2.79	1.104	1.370	(1.718) 1.708	(1.820) 1.878	1.53	1.04
11	大芦	〃	2.78	1.191	1.460	(1.775) 1.764	(1.891) 1.937	1.33	0.90
12	石城	〃	2.71	1.295	1.551	(1.815) 1.818	(1.937) 1.977	1.09	0.75
13	河下	〃	2.73	1.251	1.543	(1.824) 1.794	(1.911) 1.977	1.18	0.77
14	猪目	G	2.72	1.578	1.766	(1.989) 2.000	(2.108) 2.117	0.72	0.54

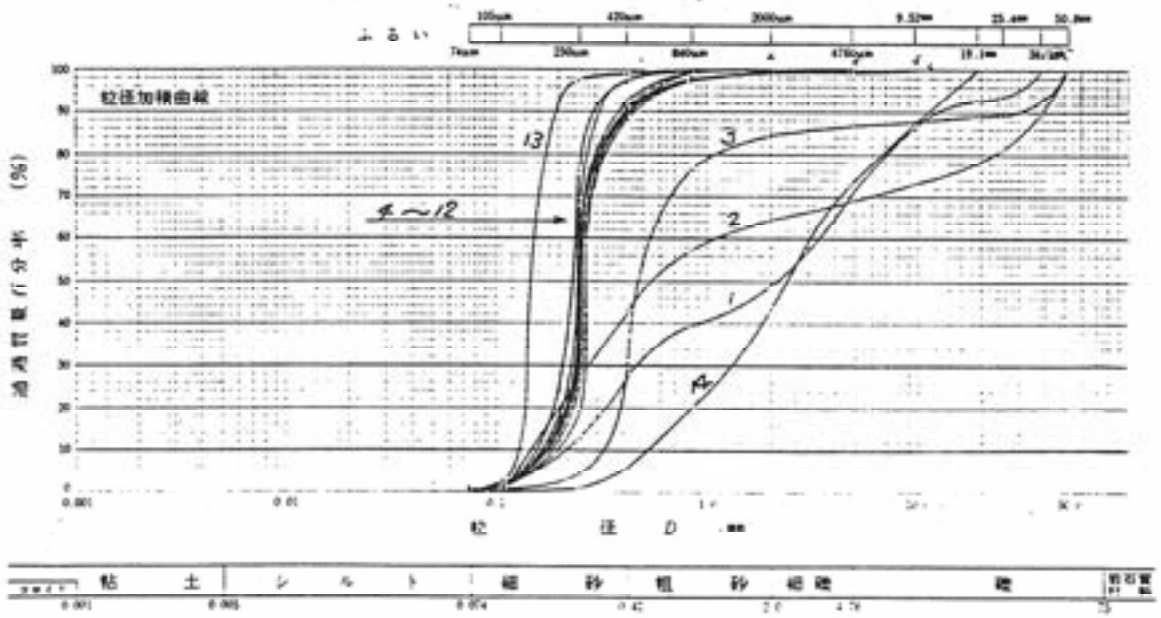
注）　Gs：比重　γd min：最小乾燥密度　γd max：最大乾燥密度

γsat min：最小飽和密度、e maxよりの計算値。（）内は試験値。

γsat max：最大飽和密度、e minよりの計算値。（）内は試験値。

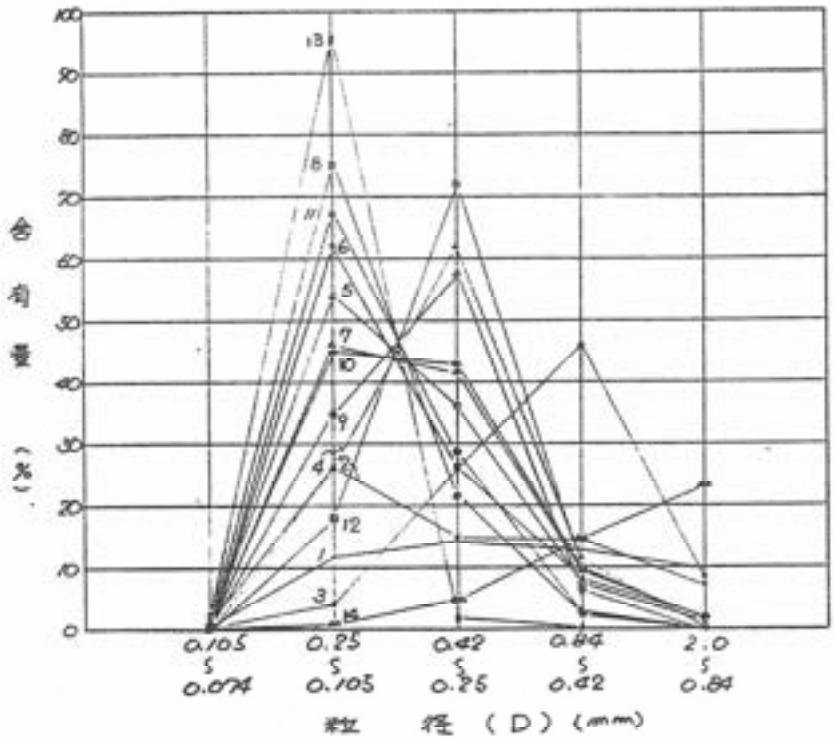
e min：最小間ゲキ比　　e max：最大間ゲキ比

図－2.1　粒径加積曲線



～420 μm の含有量にかなりのバラツキがあることが判明した。但し 250 μm 以下の含有量と、比重及びその他の物理的相関性はあまりないと言えそうである。

図－2.2 砂の粒径別含有量



c、密度試験

乾燥密度（γd）試験結果及び、これから計算で得られる飽和密度（γsat）を表-2.2に示す。又飽和密度試験結果を、図－2.3に示す。

これらの試験結果より、No.4 ～ No.13 の砂の試料について言えることは、

① 両者の試験によって得られた飽和密度を、γd min：自然落下及び、γd max：振動突固めの状態で対比した場合、乾燥密度試験法による方が、γd min で密度がゆるく、γd max では密度が高い。

② これらの砂試料で飽和密度の範囲をみれば、表－2.3となる。

試験法		γ	No.4 ～ No.13 の試料における密度の上下限			
			最大値	最小値	差	平均密度
A	乾燥密度試験	γ min	1.843	1.660	0.183	1.752
		γ max	2.000	1.816	0.184	1.908
B	飽和密度試験	γ min	1.890	1.675	0.251	1.783
		γ max	1.975	1.770	0.205	1.873

表－2.3

これにより、両試験法とも、γ_{min}、γ_{max} の上下限値の差は、ほぼ等しい。

又、両試験値の最大と最小の平均値差は、

γ_{min} で　$\bar{A} - \bar{B} = 1.752 - 1.783 = -0.031$ t/m³

γ_{max} で　$\bar{A} - \bar{B} = 1.908 - 1.873 = 0.035$ t/m³

となり、0.03 t/m³ 程度の誤差を生じる。

③ 図-2.4より、試料 No.5、6、11、がほぼ平均的な相対密度線とみなされる

即ち、平均的な、$e_{max} = 1.33$、$e_{min} = 0.92$ と読みとれる。

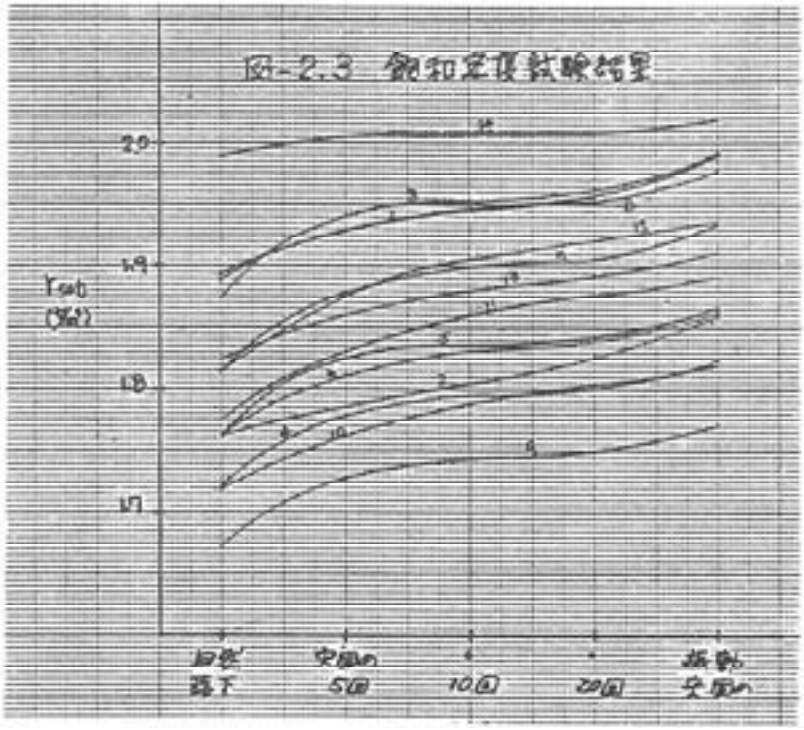


図-2.3 飽和密度試験結果

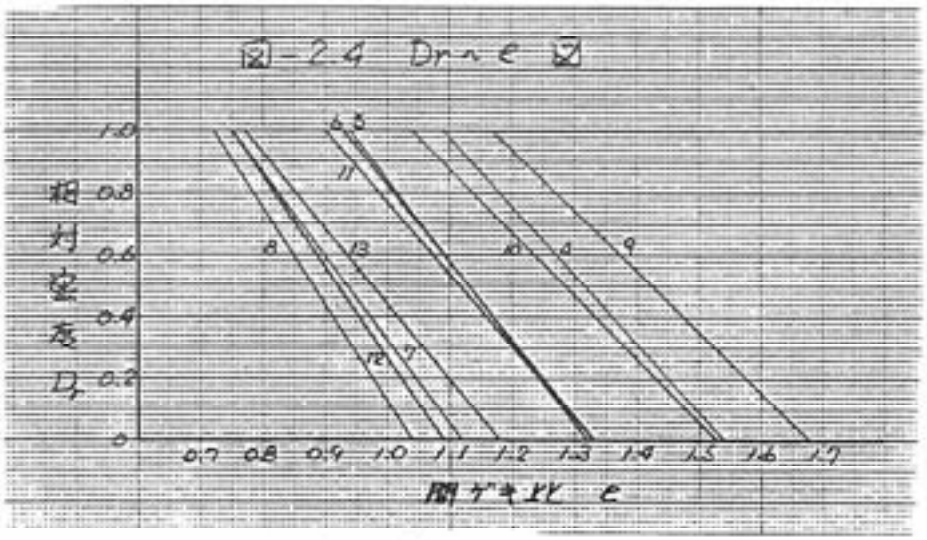


図-2.4 Dr～e 図

3. ケーソン中詰砂としての問題

1) 概要

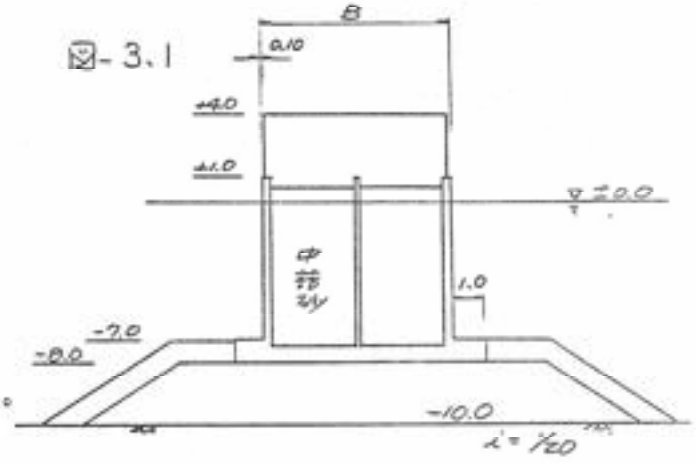
港湾構造物として多用されるケーソンブロックは、その最も大きな特徴として、中詰材を有し、それが現地で供給されることで、この工法が生かされるものである。従って事情が許せば湾内で砂を供給するのが一般的である。

このように海岸砂を使用する場合ケーソン内でどの程度の密度があるのかを予測しておくことが、設計上大いに役立ものと考える。しかし、このような研究はほとんどなされていないのが現状である。従って今回の研究では、飽和密度試験結果を見て、概略の目安を立てようとするものであり、又この値を防波堤の基本設計に用いた場合、どの程度堤体幅に変化があるかを調べるものである。

2) 混成防波堤による計算例

図-2.3より、すべての締固め条件の中で $\gamma_{sat} = 1.7\ t/m^3 \sim 2.0\ t/m^3$ の範囲にある。そこで、$\gamma_{sat} = 1.7\ t/m^3$、$1.8\ t/m^3$、$1.9\ t/m^3$、$2.0\ t/m^3$ の各それぞれにおいて、混成防波堤の安定計算を行った。

図-3.1



○計算条件

波浪条件 $\left(\begin{array}{l} H_{1/3} = 3.5\ m \\ H_{max} = 6.3\ m \\ T_0 = 10\ sec \end{array} \right)$ とし、

波圧は合田式を用いた。

計算結果を、図-3.2、図-3.3に示す。これより、安定の条件を滑動 $F \geqq 1.2$、転倒 $F \geqq 1.2$、端支圧(捨石上面) $Q_a \leqq 40\ t/m^2$ だけと考えれば、滑動による安定条件より決定される。滑動安全率を $F = 1.2$ でみた場合、躯体幅Bの変化は $\Delta B \fallingdotseq 0.5\,\Delta\gamma_{sat}\ (m)$ となる。又安全率として、$\Delta F = 0.6\,\Delta\gamma_{sat}$ の変化がみられる。

ここで、密度試験結果と、ケーソン中詰砂の関係を推察してみることとする。図-3.4は、N値と相対密度との関係を示すものであり、ケーソン中詰砂の場合、実際の施工から考えても、N=5回程度と考えた方が良く、この図より、相対密度(Dr)=20%程度であろう。前項、図-2.4から、平均的な $e \sim Dr$ 線を用いれば、$e = 1.24$ となる。そして、$G_s = 2.70$ とすれば、次式にて、

$$\gamma_{sat} = \frac{e}{1+e}(1 - G_s) + G_s = 1.76\ t/m^3$$ となる。

したがって、筆者は、ケーソン中詰材として海岸砂を使用する場合、乾燥密度 $\gamma_{dat} = 1.8\ t/m^3$ 程度とするのが良いと考える。

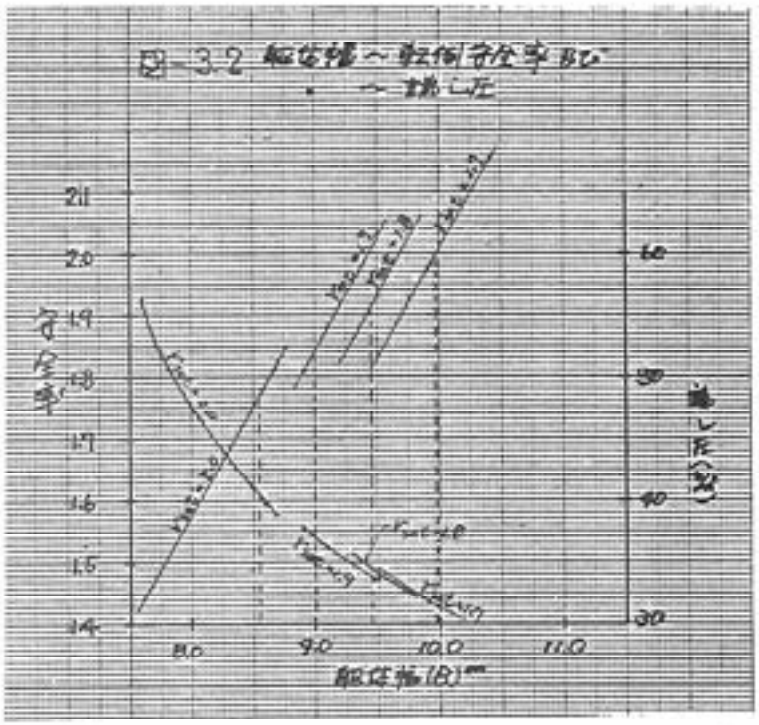
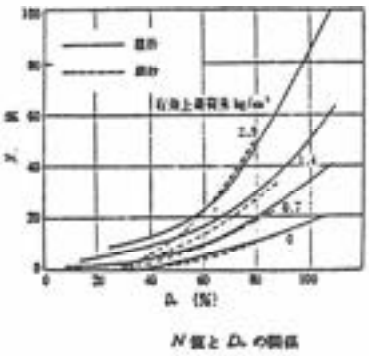
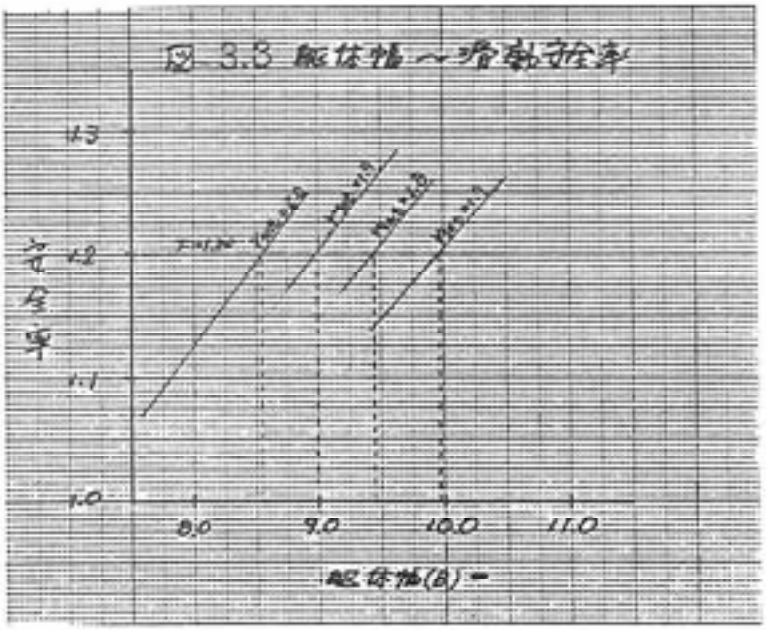


図-3.4





4. あとがき

設計上の問題点として砂の密度を取りあげてみたが、これは日頃の設計に於いて、なにげなく慣用されている数値である。我々が日頃何気なく設計基準等は、往々にして不親切であり、例えば、「砂の飽和密度は、仮定値として、$\gamma_{sat} = 2.0\ tf/m^3$を使って良い」と書かれているとする。しかし、経験の浅い技術者は、そのまま使うことも考えられる。それが、どういう施工法によって締固められるのか、又海砂なのか、山砂なのか、河砂なのかは、余り念頭にはおかないことが多い。しかし、この数値が、扱われる内容によっては、充分な調査を行って用いなければならない場合もあると言えよう。

今回は、物理特性のみに終ったが、同一試料にて、力学的試験を行なうことも計画中であり、海岸砂が、地盤改良の材料としても多く利用されることから、今後この方面での研究も行なってみたいと考えている。又時間が許せば、採取範囲を拡張することも考えている。

参考文献

- 土質調査法　　土質工学会
- 土質試験法（S.54改訂版）　　同　上
- 港湾の施設の技術上の基準　　日本港湾協会