

九州大学工学部 正員 山内 豊聡

〃 〃 後藤 恵元輔

〃 学生員 〇 虎石 龍彦

1. まえがき

傾斜防波堤は比較的水深の浅いとこに設けられるために、一般に堤体に作用する波力の算定がむずかしく、その設計法は経験的なものが大部分である。特に、波が繰返し作用した場合の防波堤の波圧に対する吸収機構や捨て石の挙動などについては、不明点が多い。本文は、波圧による傾斜堤内部の応力を有限要素法により算定して、堤体の静的および動的挙動を調べんとするものである。

2. 堤体形状と波圧分布の決定

解析は、図-1に示すような堤体形状と波圧分布を用いて行なった。

以下これらについて述べる。

(1) 堤体形状 図-1のように内部を①と②の2層に分け、のり面勾配が1割および2割の傾斜堤を対象とした。解析に用いた各層の材料物性値は種々の文献より表-1に示すとおりである。

(2) 波圧分布 傾斜堤に作用する波圧に関しては波圧公式が確立されていないため、解析には富永らによってなされた実験結果を用いた。

まず1割勾配の場合には、堤体の設置水深 h と沖波の波高 H_0 との比 h/H_0 が1.1~0.7程度までは、碎波衝撃圧が作用することから図-1(a)の分布を用い、 h/H_0 が0.5以下の時は、碎波圧が作用することから図-1(b)の分布を用いた。次に2割勾配の場合には、図-1(c)の碎波衝撃圧が見られなくなることから図-1(d)の分布を用い、また最近問題となっている揚圧力についても図-1(d)に示す分布を用いて解析を行なった。

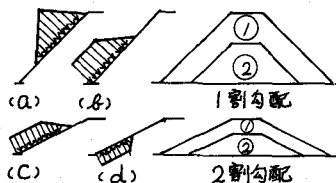
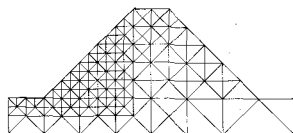


図-1 堤体形状と波圧分布

	①層		②層		砂地盤
	水面下	水面下	水面下	水面下	
単位体積重量 (t/m ³)	1.86	1.46	1.80	1.40	1.0
静的ヤング率 (t/m ²)	4000	3500	3500	3000	2000
動的ヤング率 (t/m ²)	40000	35000	35000	30000	20000
静的ポアソン比	0.35	0.45	0.35	0.45	0.45
動的ポアソン比	0.45	0.69	0.40	0.60	0.69

表-1 材料物性値



A部詳細

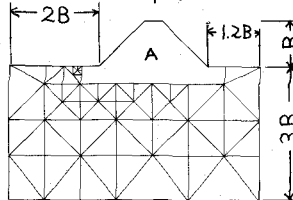


図-2 有限要素図

(1) 静的解析 堤体材料を連続体とみなし、二次元平面応力問題として、FEM解析を行なった。図-2に1割勾配のときの有限要素図を示す。2割勾配の場合も同様にした。この要素モデルについて、傾斜堤の天端高や設置水深などを变化させ、波圧が作用する場合の傾斜堤内部の応力を算定した。

(2) 動的解析 堤体に作用する波圧は作用時間が短かくその時間的変化が早いことから、波圧を三角形パルスと仮定し、図-2の要素モデルについてFEM動的解析を行なった。解析に用いたパルスを図-3に示す。

振動方程式は $[M]$ を質量マトリクス、 $[C]$ を減衰マトリクス、 $[K]$ を剛性マトリクス、 ω を固有振動数、 $\xi(t)$ を入力関数として、次式で表わせる。

$$[M]\{\ddot{u}\} + [C]\{\dot{u}\} + [K]\{u\} = \omega^2 [M]\{\xi(t)\} \quad (1)$$

ここで式(1)の解を次式とおく。

$$\{u\} = [C]\{X(t)\} \quad (2)$$

ここに、 $[C]$ はモード、 $\{X(t)\}$ は規準座標であり、

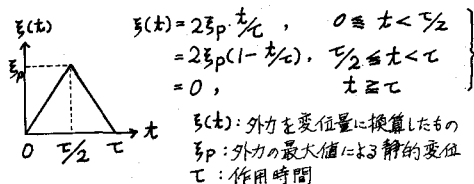


図-3

規準座標の運動方程式は η_s を減衰定数、 ν を次数とすると次式となる。

$$\ddot{X}_s + 2\eta_s \omega_s \dot{X}_s + \omega_s^2 X_s = \omega_s^2 \{\phi_s\}^T [M] / \{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\} \cdot \{\xi(t)\} \quad (3)$$

この解は次式のとおりである。

$$X_s = \{\phi_s\} [M] / \{\phi_s\}^T [M] \{\phi_s\} \cdot I \quad (4)$$

ただし、 I は ω を減衰振動数、 γ を位相角とすると次式である。

$$\begin{aligned} I &= 2\zeta_p(\frac{1}{2} - 2\eta/\omega\tau) - 2/\omega\tau \cdot \zeta_p e^{-\eta\omega t} \sin(\omega t - \gamma) \\ &= 2\zeta_p(1 - \frac{1}{2} + 2\eta/\omega\tau) - 2/\omega\tau \cdot \zeta_p [e^{-\eta\omega t} \sin(\omega t - \gamma) - 2e^{-\eta\omega(t-\tau/2)} \sin[\omega(t-\tau/2) - \gamma] \\ &\quad - \frac{1}{2}\omega\tau \zeta_p \{e^{-\eta\omega t} \sin(\omega t - \gamma) - 2e^{-\eta\omega(t-\tau/2)} \sin[\omega(t-\tau/2) - \gamma] + e^{-\eta\omega(t-\tau)} \sin[\omega(t-\tau) - \gamma]\} \quad t \geq \tau \end{aligned} \quad (5)$$

式(2)にしたがい各次数ごとにモードと規準座標を重ね合わせて応答変位を求め、堤体内部の応力を算定した。

4. 結果と考察

結果を静的解析について示せば次のとおりである。堤体の高さ5m、設置水深2m、波高3mの場合について、堤体内部の主応力分布図と最大セリ断応力のコンター図を図-4~8に示す。図-4,6は静永圧、図-5は最大波圧6cmの破浪衝撃圧、図-7は最大波圧4cmの破浪圧、図-8は最大圧力1.5cmの揚圧力がえられ作用した場合の結果である。

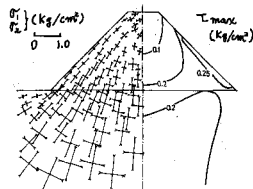


図-4

1割勾配の堤体に破浪衝撃圧が作用した場合には、図-4,5から明らかなように、海側堤体内の主応力の方向が変化し、堤体基部には最大セリ断応力が集中する。破浪圧が作用した場合には、この傾向は小さくなり、堤体の高さを変えても同様であった。また波圧の砂地盤に対する影響は、堤体基部から5m程度の深さまでであることもわかる。2割勾配の堤体に波が作用した場合には、図-6,7より1割勾配の時と比べて堤

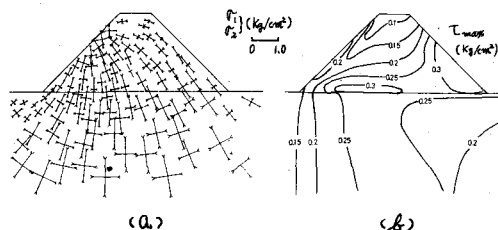


図-5

体内部と砂地盤の応力にあまり変化がないことがわかる。このことは、2割勾配として堤体重量が重くなったからだと考えられる。

また揚圧力が作用した時には、図-8から明らかなように、静水面下ののり面に引張応力が働き、この部分で引張破壊の起こる可能性のあることが示唆されている。なお、動的解析結果は講演時に譲る。

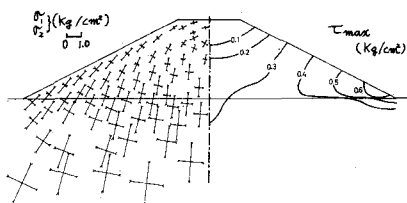


図-6

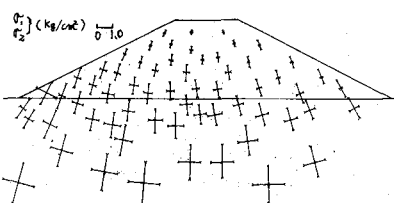
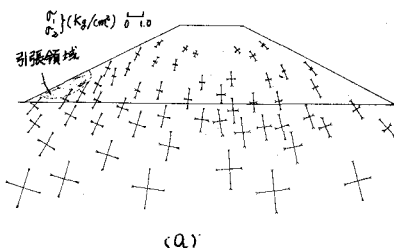
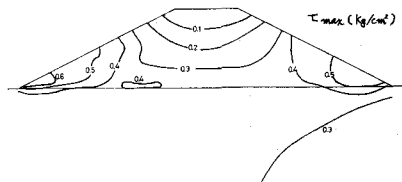


図-7



(a)



(b)

図-8

参考文献) 富永正照・九津見生哲：海岸堤防に関する研究(10)，土木研究所報告，第142号，1971.11，PP.46~103

2) 合田良実：衝撃荷重の測定について，港湾技研資料，No.33，1967.11，PP.1~41