

に低減させる特性をもち、作用時間は $\tau_2 = \tau / \kappa$ に延びる(図-2)。最大たわみ $x_2 = x(\tau_2)$ は $\kappa = 0.8, 0.6$ で各々 $x_2 / b_0 = 0.25, 0.67$ となり弾性材より大幅に低減する。

(D) 吸波材 (1) 衝撃作用時 ($0 \leq t < \tau_0$)

粘性材の長所を活用し、次波到達前にほぼ復元する弱い弾性体を複合した吸波材(厚さD, 高さ l , 実質密度 ρ_0 , 間隙比 e)の運動方程式

$$P(t) = m \ddot{x} + c \dot{x} + k x \quad \text{----- (7)}$$

に搾水部質量 $m = \rho_0 l x / e$ を代入した非線形方程式

$$\rho_0 l v_0 (v_0 - \dot{x}) = \rho_0 l / e \cdot x \ddot{x} + c \dot{x} + k x$$

の解 $x(t)$ を級数展開し

$$x(t) \approx v_1 t - a_2 t^2 + a_3 t^3 \quad \text{----- (8)}$$

と近似する(a_2, a_3 : 正定数)。波力と力積

$$P(t) = \{ \epsilon / (1 + \epsilon) + (2 a_2 t - 3 a_3 t^2) / v_0 \} P_0$$

$$I_0 = P_0 \tau = \int_0^{\tau_0} P(t) dt = \rho_0 l v_0 \{ v_0 \tau - x(\tau_0) \} \quad \text{----- (9)}$$

から作用時間 τ_0 は変位 $x(\tau_0)$ による衝撃波後端の到達時間として $x(\tau_0) = v_0(\tau_0 - \tau)$ を満たし

$$\kappa = P_m / P_0 = \epsilon / (1 + \epsilon) + (2 a_2 \tau_0 - 3 a_3 \tau_0^2) / v_0$$

となる(図-2)。時刻 τ_0 を $e = 0$ となる搾水限界

$$x_c = x(\tau_c) = e D / (1 + e) \quad \text{----- (10)}$$

に達する時刻 τ_c に一致させると

$$\tau_0 = \tau + x_c / v_0 \quad \text{----- (11)}$$

となり、 τ_0 は τ より吸波材の後退距離 x_c を速度 v_0 で走る時間 x_c / v_0 だけ長くなる。

(2) 復元時 ($t \geq \tau_0$)

$\tau < T$ で復元時の \dot{x} を無視できるから $c \dot{x} + k x = 0$, $x(t) = x_c \exp(-k t / c)$ となる。次波到達前に吸波材は復元すべきで、 $\mu = c \omega / k$ ($\omega = 2 \pi / T$, T : 波周期)を用い残留たわみ率 $X = x / x_c = \exp(-2 \pi / \mu)$ から所定のバネ定数 k は定まる。

(3) 水理モデル

スリットN本をもつ厚さD、高さ l 、奥行Bの吸波材は、衝撃波圧 $p(z)$ を受け、沖側面背後に平行なN本の鉛直集水管(径 b 、長さ l)を生じ、上下端から流速 u_0 で噴流を排出しつつ、沖側面と同じ速度 v_1 で後退すると仮定する(図-3)。

流出量 $q = N \pi b^2 u_0 / 2 = B l v_1$ から

$$u_0 = 2 B l v_1 / \pi N b^2 \quad \text{----- (12)}$$

となる。噴流の得る単位時間当り運動量 $\rho q (u_0 - 0) =$

$\rho q u_0$ 、管周辺摩擦による損失水頭 $h_L = f \cdot l / d \cdot$

$u^2 / 2g$ に $u(z) = 2 u_0 z / l$ を代入し

$$h_L = \frac{f}{b} \int_0^{l/2} \frac{u^2}{2g} dz = \frac{f}{6} \frac{l}{b} \frac{u_0^2}{2g} \quad \text{-- (13)}$$

となり、損失圧力

$$P_L = \pi \rho g h_L b^2 / 4 = \pi f \rho l b u_0^2 / 48 \quad \text{-- (14)}$$

運動方程式

$$\rho q u_0 + 2 P_L = c B v_1 \quad \text{----- (15)}$$

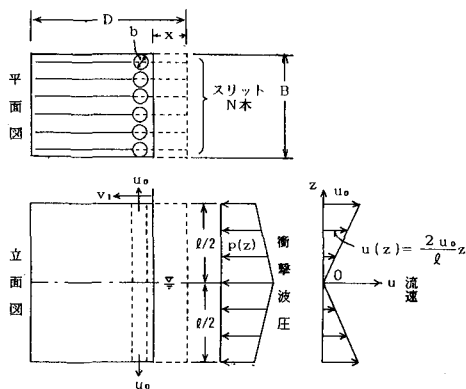


図-3 吸波材モデル

から粘性損失係数は

$$c = 2 \rho B \Omega^2 / N \pi b^2 \cdot (1 + f \Omega / 12 N b) v_1 \quad \text{-----(16)}$$

と評価される。

集水間隙率 $n_0 = N b / B$ を用い

$$(1 + \epsilon) \epsilon = 2 \Omega / n_0 \pi b \cdot (1 + f \Omega / 12 n_0 B) \equiv E \quad \text{-----(17)}$$

とおき、 $\epsilon^2 + \epsilon - E = 0$ を解き

$$\epsilon = (\sqrt{1 + 4E} - 1) / 2 \quad \text{-----(18)}$$

と算定される。

2.2 免波材

(A) 重複波 仮想質量 $M = m + m'$ (m : 堤体質量、 m' : 付加質量) の堤体で運動方程式

$$M \ddot{x} + c \dot{x} + k x = P(t) \quad \text{-----(19)}$$

に規則的な重複波力 $P(t) = P_1 e^{i \omega t}$ 、堤体変位 $x(t) = x_1 e^{i(\omega t - \theta)}$ を代入して解き、底面せん断力 $F(t) = c \dot{x} + k x$ の最大 F_m と P_1 の比である波力増幅率

$$\kappa = F_m / P_1 = \sqrt{(1 + \mu^2) / \{(1 - \lambda^2)^2 + \mu^2\}} > 1 \quad \text{-----(20)}$$

は共振状態 $\lambda = 1$ で最大 $\kappa_c = \sqrt{1 + \mu^2} / \mu$ となる。ここで、 P_1 : 重複波最大波力、 x_1 : 堤体最大変位、 $k_1 = k \sqrt{(1 - \lambda^2)^2 + \mu^2}$ 、 $\lambda = \omega / \sigma$ 、 $\sigma = \sqrt{k / M} = 2 \pi / T_0$ 、 T_0 : 堤体固有振動周期である。

通常 $\lambda \approx 10^{-1}$ 程度であり重複波によっても底面せん断力は増大せず $\kappa = 1$ と見て良い。

(B) 碎波 (1) 矩形波力 単位階段関数

$$E(t) = 1 \quad (t \geq 0), \quad 0 \quad (t < 0) \quad \text{-----(21)}$$

を用い作用時間 τ の矩形波力

$$P(t) = P_0 \{E(t) - E(t - \tau)\} \quad \text{-----(22)}$$

を代入した運動方程式

$$M \ddot{x} + c \dot{x} + k x = P_0 \{E(t) - E(t - \tau)\}$$

に Laplace 変換を施し、合成定理を適用して算定した。

1) $0 \leq t < \tau$

$$x(t) = x_0 \left\{ 1 - e^{-\beta t} \frac{\cos(\gamma t - \phi)}{\cos \phi} \right\}, \quad F(t) = P_0 \left\{ 1 - e^{-\beta t} \frac{\cos(\gamma t + \phi)}{\cos \phi} \right\}$$

2) $t \geq \tau$

$$x(t) = x_0 p e^{-\beta t} \frac{\cos(\pi + \phi - \phi - \gamma t)}{\cos \phi}, \quad F(t) = P_0 p e^{-\beta t} \frac{\cos(\pi - \phi - \phi - \gamma t)}{\cos \phi} \quad \text{-----(23)}$$

$$c / M = 2 \beta, \quad \gamma = \sqrt{\sigma^2 - \beta^2}, \quad \phi = \sin^{-1} \frac{\beta}{\sigma} = \sin^{-1} \frac{\nu}{2}, \quad \nu = \frac{c \sigma}{k}$$

$$p = \sqrt{1 - 2 e^{\beta \tau} \cos \gamma \tau + e^{2 \beta \tau}}, \quad \psi = \frac{\pi}{2} - \cot^{-1} \frac{1 - e^{\beta \tau} \cos \gamma \tau}{e^{\beta \tau} \sin \gamma \tau}$$

最大値は各々 $t_m = (\pi - \phi) / \gamma$ 、 $\tau_m = (\pi - 2 \phi - \psi) / \gamma$ で生じ

$$X_m = x_m / x_0 = p e^{-(\beta / \gamma)(\pi - \phi)}, \quad \kappa = F_m / P_0 = p e^{-(\beta / \gamma)(\pi - 2 \phi - \psi)} \quad \text{-----(24)}$$

となる。

(2) 三角形波力 最大波力 P_0 、作用時間 2τ の対称時間波力を与え同様に解く。

1) $0 \leq t < \tau$

$$x(t) = \frac{x_0}{\gamma \tau} \{ \gamma t - \sin 2 \phi - e^{-\beta t} \sin(\gamma t - 2 \phi) \}$$

$$F(t) = \frac{P_0}{\gamma \tau} (\gamma t - e^{-\beta t} \sin \gamma t)$$

2) $\tau \leq t < 2\tau$

$$x(t) = \frac{x_0}{\gamma \tau} \{ \gamma(2\tau - t) + qe^{-\beta t} \sin(\gamma t - 2\phi - \alpha) + \sin 2\phi \}$$

$$F(t) = \frac{P_0}{\gamma \tau} \{ \gamma(2\tau - t) + qe^{-\beta t} \sin(\gamma t - \alpha) \}$$

3) $t \geq 2\tau$

$$x(t) = \frac{x_0 s}{\gamma \tau} e^{-\beta(t-\tau)} \sin \{ \gamma(t-\tau) + \delta - 2\phi \}$$

$$F(t) = \frac{P_0 s}{\gamma \tau} e^{-\beta(t-\tau)} \sin \{ \gamma(t-\tau) + \delta \}$$

$$q = \sqrt{1 - 4e^{\beta\tau} \cos \gamma \tau + 4e^{2\beta\tau}}$$

$$\alpha = \frac{\pi}{2} - \cot^{-1} \frac{2e^{\beta\tau} \cos \gamma \tau - 1}{2e^{\beta\tau} \sin \gamma \tau}$$

$$s = \sqrt{2(2 - 4\cosh \beta \tau \cos \gamma \tau + \cosh 2\beta \tau + \cos 2\gamma \tau)}$$

$$\delta = \frac{\pi}{2} - \cot^{-1} \frac{1 - \cosh \beta \tau \cos \gamma \tau}{\sinh \beta \tau \sin \gamma \tau}$$

----- (25)

最大値は各々 $t_m = \tau + (\pi/2 - \delta + \phi)/\gamma$, $\tau_m = \tau + (\pi/2 - \delta - \phi)/\gamma$ で生じる ($\Lambda = T_0/\tau$, 表-1、図-4)。

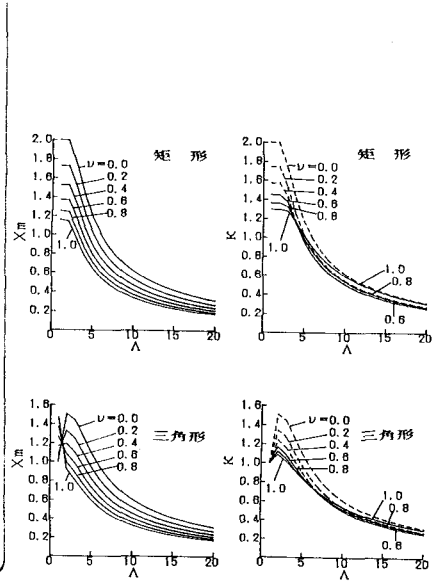


図-4 最大変位と衝撃係数

表-1 最大変位と衝撃係数

(1) 矩形波 X_m

$\Lambda \backslash \nu$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	2.000	1.729	1.527	1.372	1.254	1.163
2	2.000	1.729	1.528	1.369	1.245	1.145
3	1.732	1.495	1.311	1.167	1.050	0.954
4	1.414	1.220	1.007	0.950	0.854	0.774
5	1.176	1.014	0.889	0.790	0.709	0.643
6	1.000	0.863	0.758	0.672	0.603	0.547
7	0.808	0.749	0.656	0.583	0.523	0.474
8	0.765	0.660	0.579	0.514	0.462	0.418
9	0.684	0.590	0.517	0.459	0.412	0.374
10	0.618	0.533	0.467	0.415	0.373	0.338
12	0.518	0.447	0.391	0.347	0.312	0.283
14	0.445	0.384	0.337	0.299	0.268	0.243
16	0.390	0.337	0.295	0.262	0.235	0.213
18	0.347	0.300	0.263	0.233	0.209	0.190
20	0.313	0.270	0.237	0.210	0.189	0.171

(3) 三角形波 X_m

$\Lambda \backslash \nu$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	1.000	1.076	1.168	1.267	1.368	1.470
2	1.508	1.330	1.193	1.085	0.997	0.923
3	1.445	1.251	1.102	0.985	0.890	0.811
4	1.273	1.099	0.964	0.857	0.770	0.699
5	1.100	0.949	0.832	0.739	0.664	0.602
6	0.955	0.824	0.722	0.641	0.576	0.522
7	0.839	0.724	0.634	0.563	0.506	0.459
8	0.746	0.643	0.564	0.501	0.450	0.408
9	0.670	0.578	0.507	0.450	0.404	0.366
10	0.608	0.524	0.460	0.408	0.367	0.332
12	0.512	0.441	0.387	0.344	0.309	0.280
14	0.441	0.381	0.334	0.296	0.266	0.241
16	0.388	0.334	0.293	0.260	0.234	0.212
18	0.346	0.298	0.261	0.232	0.208	0.189
20	0.312	0.269	0.238	0.209	0.188	0.170

(2) 矩形波 κ

$\Lambda \backslash \nu$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	2.000	1.744	1.572	1.451	1.363	1.298
2	2.000	1.744	1.572	1.451	1.363	1.298
3	1.732	1.525	1.423	1.374	1.325	1.281
4	1.414	1.245	1.161	1.151	1.161	1.162
5	1.176	1.035	0.965	0.957	0.995	1.025
6	1.000	0.880	0.821	0.814	0.858	0.904
7	0.808	0.704	0.712	0.706	0.748	0.803
8	0.765	0.673	0.628	0.623	0.661	0.720
9	0.684	0.602	0.562	0.556	0.591	0.651
10	0.618	0.544	0.507	0.503	0.534	0.593
12	0.518	0.456	0.425	0.421	0.447	0.503
14	0.445	0.392	0.365	0.362	0.384	0.435
16	0.390	0.343	0.320	0.317	0.337	0.384
18	0.347	0.306	0.285	0.282	0.300	0.343
20	0.313	0.275	0.257	0.254	0.270	0.309

(4) 三角形波 κ

$\Lambda \backslash \nu$	0.0	0.2	0.4	0.6	0.8	1.0
1	1.000	0.998	0.998	0.998	0.998	0.996
2	1.508	1.344	1.238	1.167	1.119	1.085
3	1.445	1.270	1.161	1.092	1.048	1.019
4	1.273	1.119	1.028	0.975	0.944	0.927
5	1.100	0.968	0.898	0.862	0.845	0.839
6	0.955	0.841	0.784	0.763	0.757	0.760
7	0.839	0.738	0.689	0.678	0.682	0.692
8	0.746	0.656	0.612	0.608	0.617	0.634
9	0.670	0.590	0.550	0.545	0.562	0.583
10	0.608	0.535	0.499	0.495	0.515	0.539
12	0.512	0.450	0.420	0.416	0.439	0.467
14	0.441	0.388	0.362	0.359	0.380	0.411
16	0.388	0.341	0.318	0.315	0.335	0.366
18	0.346	0.304	0.284	0.281	0.298	0.329
20	0.312	0.274	0.256	0.253	0.269	0.299

(C) 地震 仮定の規則的地震動 $y(t) = y_0 e^{i\omega t}$ による免波堤の変位 $x(t) = x_1 e^{i(\omega t - \theta)}$ は

$$M\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y) = 0 \quad \text{----- (26)}$$

を解き、せん断力 $F(t) = c(\dot{x} - \dot{y}) + k(x - y)$ の最大値と在来堤での最大慣性力 $M\omega^2 y_0$ との比とし

$$\kappa = F_m / M\omega^2 y_0 = \sqrt{(1 + \mu^2) / \{(1 - \lambda^2)^2 + \mu^2\}} \quad \text{----- (27)}$$

は重複波と同じ表示になる。共振 ($\lambda = 1$) は起り得るが、実際の地震波は規則波ではなく $\kappa \approx 1$ と見て良い。

3、実験

表-2 着面衝撃

3.1 基礎実験

(A) 吸波材 (着水衝撃)

吸波材の基礎的特性を把握するため再現性、衝突速度調節、一様衝撃圧等の面で勝れ繰返しも容易な着水衝撃実験を行った。加速度計 (20G, 610Hz, (株)共和電業) を取付けた鉄板 (

case	m (kg)	h (cm)	v (m/s)	α_m (m/s ²)	I_0 (kgm/s)	P_m (kPa)	2τ (ms)	I (kgm/s)	κ	ζ	e
1A I	4.5	40	2.80	287.3	12.60	20.89	16	10.34	0.821	0.179	-
II	"	"	"	235.4	"	16.95	16	8.47	0.672	0.328	-
B I	4.7	"	"	193.2	13.16	14.53	16	7.26	0.552	0.448	-
II	"	"	"	195.2	"	14.68	16	7.34	0.558	0.442	-
2A I	4.5	"	"	470.7	12.60	33.89	18	19.06	1.513	-	0.513
II	"	"	"	317.7	"	22.87	20	14.27	1.133	-	0.133
B I	4.7	"	"	485.4	13.16	36.50	18	20.53	1.580	-	0.580
II	"	"	"	361.9	"	27.21	20	17.01	1.293	-	0.293

受圧面 (水面1, 板面2)、吸波材 (乾燥A, 湿潤B)、スリット (無I, 有II)

面積 $A = 25\text{cm} \times 25\text{cm}$ 、重量 4.5kg) を水面上 40cm から落下し、参考として板面と比較した (表-2)。加速度は上向最大加速度と g の和 α_m を最大とし作用時間 2τ の三角形波で、 $I_0 = mv$ 、 $p_m = m\alpha_m / A$ 、 $I = m\alpha_m \tau$ 、 $\kappa = I / I_0$ 、吸収率 $\zeta = 1 - \kappa$ 、反発係数 $e = \kappa - 1$ を表す。吸波材 (湿潤1B) は弾性体に近い乾燥状態 (1A) より衝撃力を良く吸収し、図-3に示すスリット (波向と平行で等間隔な鉛直平面の櫛形切込) も一般に有効である。吸波材を取付けない鉄板の着面衝撃は過大なため測定不能であった。

(B) 免波材 (自由振動) 後述の本実験に使用する2次元水路 (長さ 30m 、幅 0.5m 、深さ 0.8m) 内に免波材を取付けた堤体を設置し、堤体を沖側へ 50kg の力で引張り、瞬間的に力を解放して自由振動の固有周期 (空中 T_a 、水中 T_w) を測定した (表-3)。付加質量 m' と堤体両側での付加水の慣性長 l'

$$m' = 2\rho l' d b = k (T_w^2 - T_a^2) / 4\pi^2 \quad \text{--- (29)}$$

を算出した (d : 堤体水深、 b : 堤体奥行)。 $l' / d = 0.45 \sim 0.55$ で実用上 0.5 と近似すると付加水は d を一辺とする正方形柱の水塊となり、Westergaardの地震時動水圧近似式 $p_m = 7\rho g \alpha \sqrt{d y} / 8$ を深さ y 方向で平均した $l' / d = 0.5833$ に近い (α : 震度)。

表-3 付加質量

case	m (kg)	M (kg)	m' (kg)	T_a (ms)	T_w (ms)	k (kN/m)	l' / d
1	50.0	80.8	10.6	109	120	166.2	0.491
2	100.0	112.0	12.0	154	163	168.8	0.557
3	150.0	159.8	9.8	190	196	164.2	0.445

3.2 本実験

(A) 方法 堤体前壁で丁度鉛直波面となる衝撃砕波を発生させるため試行を繰返して調整し海底勾配 $1/10$ 、マウンド勾配 $1/3$ 、設置水深 15cm とした (図-1)。

前記2次元水路内に想定縮尺 $1/25$ の模型を設置し模型規則波は $T_m = 2\text{s}$ (現地 $T_p = 10\text{s}$) とし前壁で砕波させた。堤体は 1 (在来堤)、2 (免波堤)、3 (吸波堤)、4 (吸免波堤、 $\kappa > 1$)、5 (同、 $\kappa < 1$) を case 1 ~ 5 とし底面四隅にせん断力計を設置した。

(B) 計測機器 せん断力計①~④ (100kg, 150kg)、波圧計⑤~⑨ (0.5kg/cm², 9.1kHz)、吸波材変位⑩ (ウレタン式、 $\pm 40\text{mm}$)、堤体変位計⑪ ($\pm 50\text{mm}$ 、(株)共和電業)、流速計⑫ (300cm/s) を使用し記録を 1ms 毎にデジタル解析した (図-1、⑪以外(株)三計エンジニアリング)。

(C) 結果 (1) 波圧⑤~⑨: 静水面上 2cm ($\delta = 0.130\text{H}$) で強大な衝撃波圧 ($8 \sim 13$) $w_0\text{H}$ に達し、作用時間は静水面以上で $2\tau \approx 0.02T$ の三角形波、静水面以下ではやや先行し $\tau = (0.02 \sim 0.03) T$ の矩形波に近づく (表-4、図-1、5)。case 5 の波圧は調整不十分なため過小である。

(2)底面せん断力①～④：底面せん断力は免波材の無いcase 1、3で波圧とほぼ相似な時間波形を示すが、 $\kappa = 1.264, 1.368$ となるのは堤体の微小変位に伴う慣性力と位相差に起因する(表-4)。免波材を設置したcase 2、4、5で F_m は最大波圧時より遅れ、周期 $T_1 = 2\pi/\gamma$ 、減衰係数 β の減衰自由振動を行なう(表-5)。case 4の $\kappa = 1.656$ は実際にはcase 4と3での F_m の比 $354.30/274.84 = 1.291$ に近いと見られ、全波力の $\tau = 56\text{ms}$ と $\Lambda = 191.3\text{ms}/56\text{ms} = 3.42$ を用いた計算値 $\kappa = 1.224$ と近似する(表-1、4、5)。case 1～4の上面せん断力と異なり、case 5では下面せん断力を測定しており $\kappa = 0.620$ は $T_0 = 387.5\text{ms}$ 、 $\tau = 57\text{ms}$ 、 $\Lambda = 6.80$ を用いた計算値 $\kappa = 0.714$ より若干低く、免波材内部の吸収効果による影響と見られる。

(3)吸波材変位⑩：吸波材は $F(t)$ と同位相の伸縮と共に高周波の碎波流速変動を複合する。最大変位はcase 3 (0.736cm)、4 (0.547cm)、5 (0.143cm)で厚さ(模型4cm、現地1m)と比較し変形は不十分である。吸波材を設置したcase 3、4で P_0 はcase 1、2とほぼ等しく波力を低減しないが、静水面直上での最大波圧をcase 3、4では各々case 1、2の0.810、0.724に低下し波圧分布を一様化する。衝撃波圧の急な鉛直勾配は最大波圧を空中と水中への噴流に変換して吸収し、前壁貫通孔の発生防止に有効である(表-4)。

(4)免波材変位⑪：堤体、つまり免波材の変位 $x(t)$ は $c \dot{x}$ を含む $F(t)$ より位相 2ϕ だけ遅れる。 x_m はcase 2 (1.034cm)、4 (1.001cm)、5 (2.616cm)で各々25.85cm、25.03cm、65.40cmと現地換算される。

(5)碎波流速⑫：case 1～4で碎波流速 $v_b = 180.87 \sim 184.98\text{cm/s}$ 、 $H_b = 30.6 \sim 31.0\text{cm}$ 、 $V_b = v_b/\sqrt{gH_b} = 1.037 \sim 1.068$ となる。case 5では $V_b = 147.67/\sqrt{32.2g} = 0.831$ と過小である。

表-4 波圧係数

波圧計	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	P_0 (kg)	F_m (kg)	κ
case 1	5.44	10.53	8.24	6.17	5.45	220.52	278.83	1.264
2	1.03	13.25	10.13	6.55	5.25	221.84	357.25	1.610
3	8.40	8.38	6.23	5.63	4.52	200.80	274.84	1.368
4	8.89	9.59	6.61	5.40	4.60	214.01	354.30	1.656
5	1.63	4.12	5.22	5.13	2.31	113.71	70.49	0.620

表-5 減衰振動諸定数

case	T_1 (ms)	β (s ⁻¹)	γ (s ⁻¹)	σ (s ⁻¹)	ϕ (°)	T_0 (ms)	k (kN/m)	τ (ms)	ν	λ
4	192.0	2.856	32.725	32.849	4.987	191.3	127.92	40	0.1775	0.0978
5	368.6	1.267	16.168	16.217	4.481	367.5	33.03	47	0.1563	0.1938

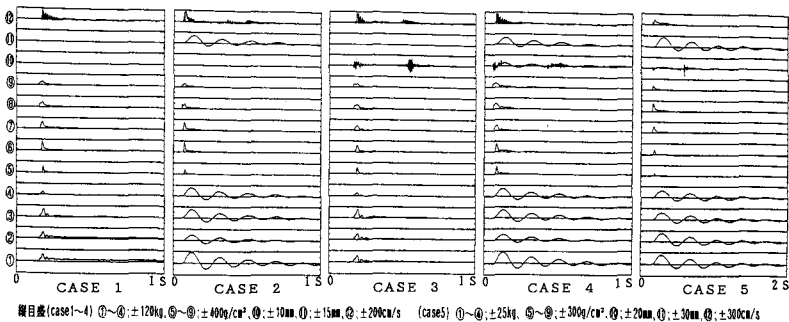


図-5 測定記録

4. あとがき

ケーソン堤の前壁保護と底面せん断力低減を目標に吸免波堤を提案した。吸波材は静水面直上に集中する強大な碎波衝撃圧(8~13) w_0H を吸収し前壁貫通孔の発生防止に有効である。免波材では堤体固有周期 T_0 と碎波作用時間 $\tau = (0.010 \sim 0.015)T_0$ との比 $\Lambda = 6 \sim 15$ 程度に保ち適度な粘性 ν を与えれば、次波到達前に自由振動は減衰し衝撃係数 $\kappa = 0.3 \sim 0.8$ を実現出来る。せん断力計は動的せん断力の測定に有用で従来の静摩擦測定に代り滑動実験の精度を著しく向上させる。

本水理実験はシバタ工業(株)の援助により実施した。ここに深く謝意を表したい。

参考文献

- 1) 高 隆二・木村 弘：吸免波堤 海岸工学論文集第39巻 PP.686-690 土木学会1992