

II-7 消波ブロックの空隙の大きさと波力

北海道開発局土木試験所 正員 竹田英章

まえがき

わが国では、港湾の外かく施設である防波堤のほとんどが、消波ブロック被覆堤である。防波堤の建設水深が大きくなるにしたがい、設計波高が増大する。設計波高が大きくなると、消波工の構成材である消波ブロックの重量を大きくしなければならない。消波ブロックが大きくなると、消波工内に形成される空隙の寸法が大きくなり、波力は消波工で充分には減殺されないのど、直立部には従来の設計法以上の波力が作用するのではないかと、この懸念が持たれるようになった。

消波ブロック被覆堤の直立部に作用する波力機構については、電力中央研究所で為されている¹⁾。この実験は、堤体を鋼ビームに吊下げて、ビームの応力を測定したものである。この成果について、防波堤の挙動の観点からさらに肉付けを行なっておく必要がある。

以上の2点について、此處、滑動実験を行なったので、ここにその結果を報告する次第である。

1. 消波ブロックの空隙の大きさが直立部の滑動に及ぼす影響

図-1に示すように、消波工と直立部の間に金網をいれて、ブロックが直立部に触れないようにして、直立部の滑動限界波高を求めた。そして、波圧を $p = \rho \omega H$ の等分布荷重として $\alpha = \mu W' / \omega H A$ (ここに W' : 堤体の空中重量から静水時の浮力を差引いた堤体有効重量, μ : 堤体と割石基礎との静止摩擦係数, ω : 水の単位体積重量, H : 堤体の滑動限界波高; A : 波圧の作用面積) により滑動時の波圧係数を求めた。なお、揚圧力は α の中に含まれるものとし、 α の算出にあたってはそれを考慮してない。

消波ブロックの重量すなわち消波工内に形成される空隙の大きさをえて、消波工の空隙を通して直立部に作用する波力を求めた結果が図-2である。同図によれば、消波ブロックの重量が大きくなるほど、直立部に作用する波力が大きくなっていく。なお、消波ブロックの重量と空隙の大きさとの間には3/3乗の関係にあると考えられるので、ブロック重量34gと230gとの間には空隙の大きさにして3.6倍、230gと750gとの間には2.2倍、34gと750gとの間には7.9倍の関係にある。

図-1では消波工の断面をブロックの大きさにかかわらず同一の断面としたが、実際の設計では消波工の天端幅を2ヶ並びとした断面が採用されている。図-3の断面について、消波工の空隙を通して直立部に作用する波力を求めた結果が図-3である。同図によれば、消波ブロック重量

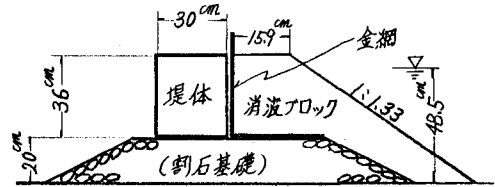


図-1 実験断面 (単一断面)

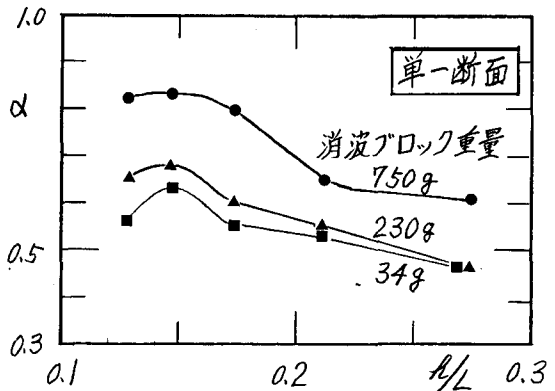


図-2 消波ブロック空隙の大きさと波力-1

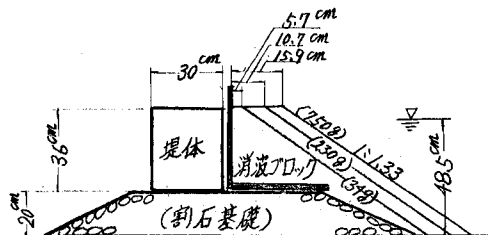


図-3 実験断面 (消波工の天端幅2ヶ並び)

34gと230gとは同じであるのに対し、750gでは大きな波力が直立部に作用している。

図-2および図-4の両図より、消波ブロックのある大きさまでは、消波ブロックの大きさの増大に伴う空隙の大きさの増大を消波工断面の増大で補完するのに対し、消波ブロックがある大きさを超えると空隙の大きさの増大を消波工断面の増大で補完され得ない。結果的に、消波ブロックの重量が大きくなると空隙が大きくなるので、直立部に作用する波力は大きくなる。

2. 直立部に作用する力

直立部には、ブロック丘、1で述べた消波工の空隙を通して直立部に作用する波力 F_0 、および消波工が波力を受けそれにより消波工が直立部を押す力、の3種類の力

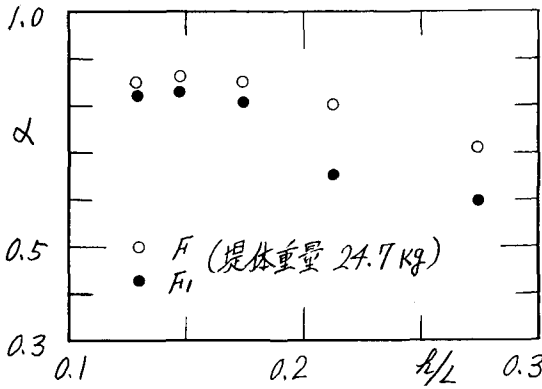


図-5 F と F_1 の滑動時の波圧係数-1
が働く。

750gの消波ブロック2ヶ並び断面について、直立部に作用する全力 F と消波工の空隙を通して直立部に作用する波力 F_0 とを比較した結果が、図-5～図-7で、図中の白丸印が直立部に作用する全力 F である。なお、直立部の安定は1と全く同じ方法で求めた。

図-5および図-6では、 h/L の大きな値で、すなわち周期の小さな波では、両者の差が大きい。この両者の差 $F-F_0$ を計算した結果が図-8である。 h/L の大きな値で、図-7における両者の差は図-5および図-6に比べて小さかったが、図-8ではそのような結果は得られてない。これは図-7における堤体重量が、図-5や図-6のときよりも大きいので、滑動時の波圧係数による相対表示としたことによるものである。

3. 消波ブロックの主動圧係数

電力中央研究所の実験結果¹⁾より求めた消波工の静止圧係数は0.58、主動圧係数は0.11であった²⁾。ブロッ

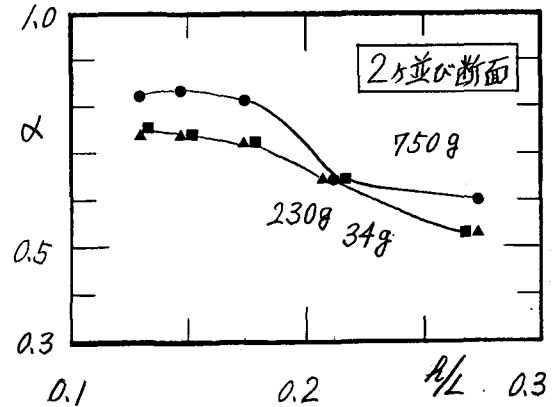


図-4 消波ブロック空隙の大きさと波力-2

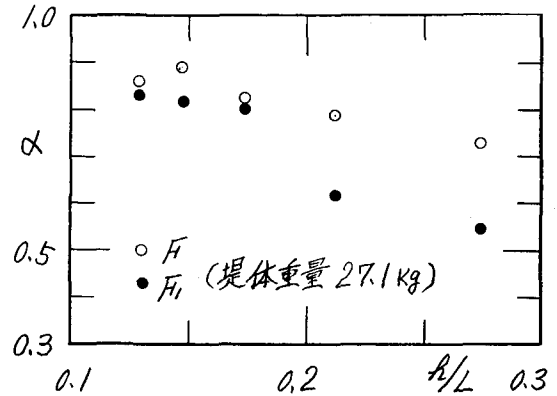


図-6 F と F_0 の滑動時の波圧係数-2

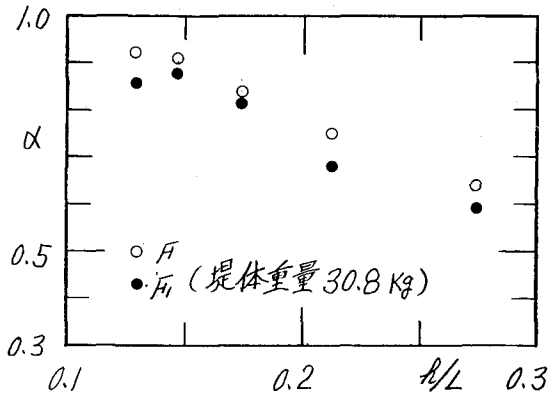


図-7 F と F_0 の滑動時の波圧係数-3

ワの主働圧係数を堤体の滑動より求めた結果が表-1である。同表によれば、主働圧係数は0.144~0.167で、ブロック圧力を図-8に合せ示した。

図-8によれば、 $F-F_1$ の値は消浪ブロックの主働圧力よりも小さく、ことに h/L の小さな値すなわち周期の長い波では、ほとんど主働圧力が作用してないことを示している。これは、土圧論的な考えに基づけば、波浪作用時には消浪ブロックに浮力が働いて、その有効重量が減るためと解される。

表-1 消浪ブロックの主働圧係数(乱積)

位置 (cm)	δ (g/cm ²)	$Ka \cos \theta$	ΣPA (g/cm ²)	Pa (g/cm ²)	P_a (g/cm ²)
+7.5	1.15	X	0	0	
± 0	1.15 (0.65)	"	8.625	8.625X	32.34X
-28.5	0.65	"	27.15	27.15X	509.79X

$$P = \Sigma Pa_i = 542.13X$$

$$P = PL = 542.13X \times 39.2 \text{ cm} = 21251.5X \text{ g}$$

	1 回目			2 回目		
	W'(g)	μW (g)	$Ka \cos \theta$	W'(g)	μW (g)	$Ka \cos \theta$
堤体1	5400	3240	0.152	5900	3540	0.167
堤体2	5600	3360	0.158	5100	3060	0.144

W': 堤体有効重量, μ : 静止摩擦係数

3) 消浪ブロックの主働圧係数は、今回の実験によれば $Ka \cos \theta = 0.14 \sim 0.17$ である。

4) 波浪作用時の直立部に作用する力 F は、消浪ブロックの主働圧力 Pa と消浪工の空隙を通して直立部に作用する力 F_1 とを加算したものよりも小さく、それは h/L の小さい領域で著しい。

あとがき

消浪工の空隙を通して直立部に作用する波力 F_1 は、森平等³⁾の実験では $h/L = 0.073$ で $H/h = 0.27$ のとき $\alpha = 1.1$, $H/h = 0.37$ のとき $\alpha = 0.85$ である。電力中央研究所の実験結果より求めた値²⁾は、 $h/L = 0.17$ で $\alpha \approx 0.2$, $h/L = 0.12$ で $\alpha = 0.4 \sim 0.5$, $h/L = 0.10$ で $\alpha = 0.4 \sim 0.6$, $h/L = 0.08$ で $\alpha = 0.5 \sim 0.8$, $h/L = 0.07$ で $\alpha = 0.5 \sim 0.9$ と、此度の実験と比べて著しく相異している部分がある。この点に關して、早急に検討しなければならぬ。

ブロックの主働圧係数については、今回の実験では電力中央研究所の値よりやや大きな値が得られたとはいえ、現象測定の困難性と測定法の違いを考慮するならば、むしろ良好な一致を示しているものといえよう。なお、設計にあたっては、やや安全をみて $Ka \cos \theta = 0.2$ を採用することをお勧めしたい。

参考文献

- 1) 島田真行・長谷川 寛; 消浪ブロック設置環境への水平波力に関する一考察, 土木学会35周年講2部, 昭55年9月
- 2) 竹田英章; 消浪ブロック構造の安定, 土木学会水理委員会, 1981年度水工学夏期研修協議会集81-B-2, 1981年7月
- 3) 森平・柿崎・菊谷; 異型ブロックの波力減殺効果に関する研究, 港研報告6巻4号, 1967年

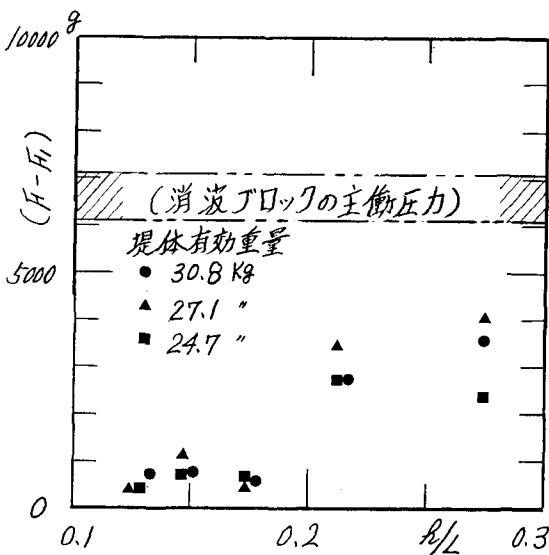


図-8 F と F_1 との差

4. 結論

消浪ブロック設置環境の直立部に作用する力について滑動実験より求めた結果は次のとおりである。

- 1) 消浪工の構成材である消浪ブロックの重量が大きくなって、消浪工内に形成される空隙が大きくなると、直立部に作用する波力は小さくなる。
- 2) 波浪作用時の直立部に作用する力 F は、図-5~図-7の白丸印で示される。

附：実験データ

表-A 消波ブロックの空隙の大きさが直立部の滑動に及ぼす影響(単一断面)……図-2のデータ

W (g)	34					230					750				
T (sec)	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
H/L	0.274	0.212	0.174	0.147	0.129	0.274	0.212	0.174	0.147	0.129	0.274	0.212	0.174	0.147	0.129
Hc (cm)	11.5	9.9	9.5	8.3	9.3	11.4	9.5	8.7	7.7	8.1	8.6	8.1	6.6	6.3	6.4
α	0.46	0.53	0.55	0.63	0.56	0.46	0.55	0.60	0.68	0.65	0.61	0.65	0.80	0.83	0.82

注：ブロック圧作用せず，底圧作用面積 2822.4cm^2 ，静止摩擦係数 0.6，実験水深 48.5cm における堤体有効重量 24.7kg

表-B 消波工天端幅 2ヶ並び断面における消波ブロックの空隙の大きさと波力……図-4のデータ

W (g)	34					230					750				
T (sec)	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
Hc (cm)	10.0	8.1	7.3	7.1	7.0	10.0	8.1	7.3	7.1	7.1	8.7	8.1	6.5	6.3	6.4
α	0.53	0.65	0.72	0.74	0.75	0.53	0.65	0.72	0.74	0.74	0.60	0.65	0.81	0.83	0.82

注：実験条件は表-Aに同じ

表-C 消波工の空隙を通して作用する波力 F_1 (2ヶ並び断面)……図-5～図-7の黒丸印データ

堤体重量	24.7kg					27.1kg					30.8kg				
T (sec)	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
Hc (cm)	8.7	8.1	6.5	6.3	6.4	10.5	9.3	7.1	7.0	6.9	11.1	9.7	8.0	7.4	7.6
α	0.60	0.65	0.81	0.83	0.82	0.55	0.62	0.81	0.82	0.83	0.59	0.68	0.82	0.88	0.86

注：ブロック圧作用せず，消波ブロック重量 750g，堤体重量は実験水深 48.5cm における堤体有効重量である。

表-D 消波ブロック縦覆防波堤における直立部に作用する力 F ……図-5～図-7の白丸印データ

堤体重量	24.7kg					27.1kg					30.8kg				
T (sec)	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9	1.1	1.3	1.5	1.7	1.9
Hc (cm)	7.3	6.6	6.2	6.0	6.2	7.9	7.3	6.9	6.5	6.7	10.3	8.7	7.8	7.2	7.1
α	0.72	0.80	0.85	0.86	0.85	0.73	0.79	0.83	0.89	0.86	0.64	0.75	0.84	0.91	0.92

注：ブロック圧が作用，その他の実験条件は表-Cに同じ

表-E 直立部に作用する力 F と消波工の空隙を通して作用する波力 F_1 との差……図-8のデータ

堤体重量	24.7kg			27.1kg			30.8kg			(平均)
T (sec)	F (g)	F_1 (g)	$F-F_1$	F (g)	F_1 (g)	$F-F_1$	F (g)	F_1 (g)	$F-F_1$	$\overline{F-F_1}$
1.1	14820	12435	2385	16260	12234	4026	18480	14148	4332	3581
1.3	"	12076	2744	"	12763	3497	"	16575	1905	2715
1.5	"	14136	684	"	15802	458	"	18018	462	535
1.7	"	14114	706	"	15099	1161	"	17981	499	789
1.9	"	14357	463	"	15789	471	"	17264	1216	717