

消波模型実験を用いた合理的設計法について

菅 野 一*

要 旨 各種異形ブロックがその消波作用によって波圧減少の効果をあげている。波圧減少効果についてこれまで多くの実験が行なわれている¹⁾。本研究は波圧を減少させる効果を設計に取り入れ、経済的合理性を追求しようとしたものである。消波工断面を大きくしていけば、消波工の費用は増加するが、反面構造物本体の断面は、波圧減少によって節約することができる。その過程において適当な断面形があることが予想される。ある波に対して消波の模型実験を行ない、断面を各様に変化させそれぞれの波圧減少量を求め、これを基礎に合理的設計法を考えてみたものである。

1. 実験装置と方法

使用水路は 55×100×2 000 (cm)、ピストン型波起機を用い、波浪はなるべく大きな碎波が得られるよう予備実験を行ない 表一 の実験波とした。

表一 実験波諸元

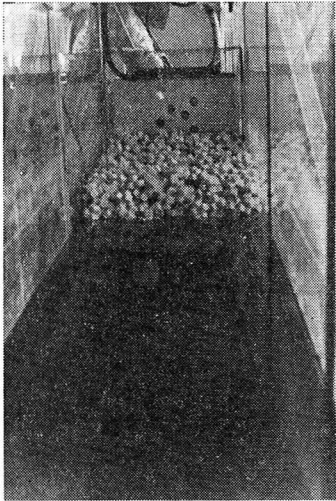
周期 (sec)	水深 (cm)	波高 (cm)	波長 (cm)	波形勾配	種 類
3.3	25.5	17.5	525	0.033	碎 波

(1) 直立堤模型等

図一 に示すような L 型鋼板 (波圧計差し込み穴をくりぬいた) をボルトにより水路底部と緊結し、前面捨石勾配は 1 : 10 とした。

(2) ブロック模型と断面形

ブロックは粘土セメント (1 : 3) により重量約 160 g/個 (技研型) 六脚塊と方塊を作製した。空隙率は六脚塊 53%, 方塊 50% であった。消波工の断面は 図一 に示

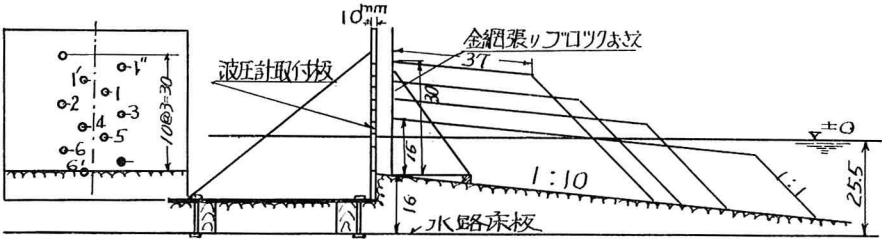


写真一

すようなものとし、その投入方法は現場と同様自然落下によった。

(3) 測 定

波圧計は鋼棒をくりぬいたものに 0.1 mm 直径 30 mm の隣青銅板を張り付け 1 ゲージ法によって測定した。温度補償については、同一温度を保持するように小型ポンプによって水路から揚水し、細滴状にして常時波圧計表面をぬらしているように留意した。計器は DS 6-MTH 型動ひずみ計と FR-301 ビジグラフを用いた。波は十分正常に発達したもののうち高いほうから 3 波を選びその平均値によった。波圧測定位置は 6 点なので測点間の結線を妥当にするため水深を 1 cm 前後するとか上限・下限を随時補測するなどして全体の波圧分布図の形を正した。



図一 波圧計取付と消波工断面 (単位 cm)

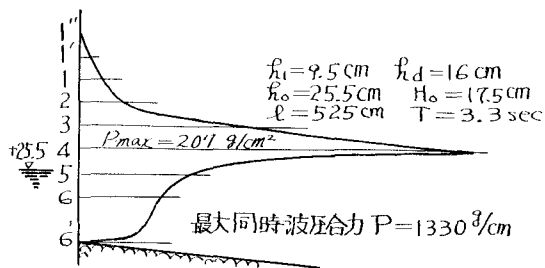
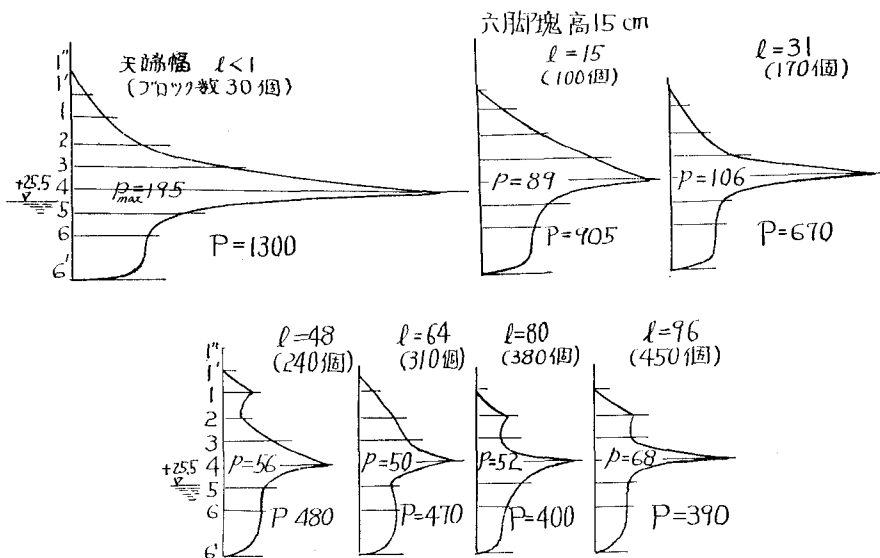
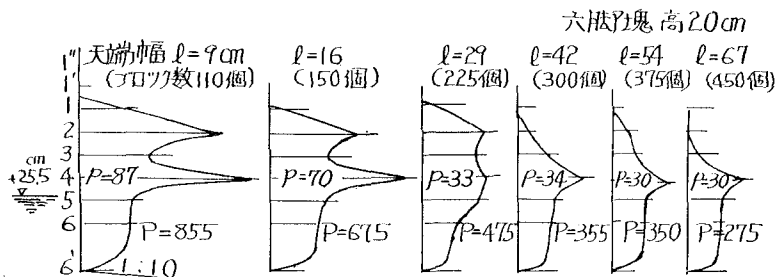
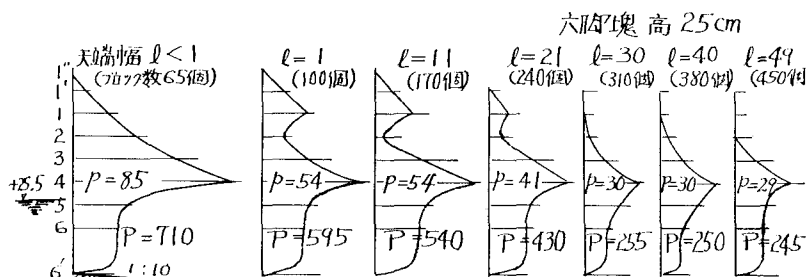
* 正会員 岐阜高等専門学校教授 土木工学科

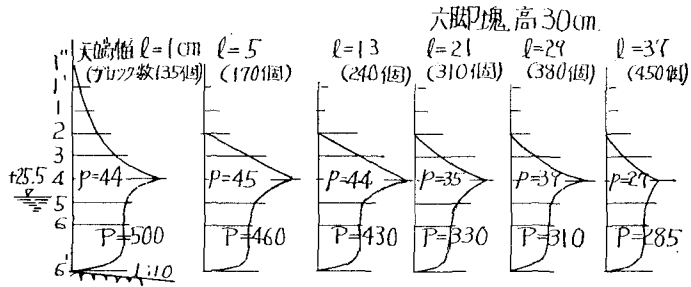
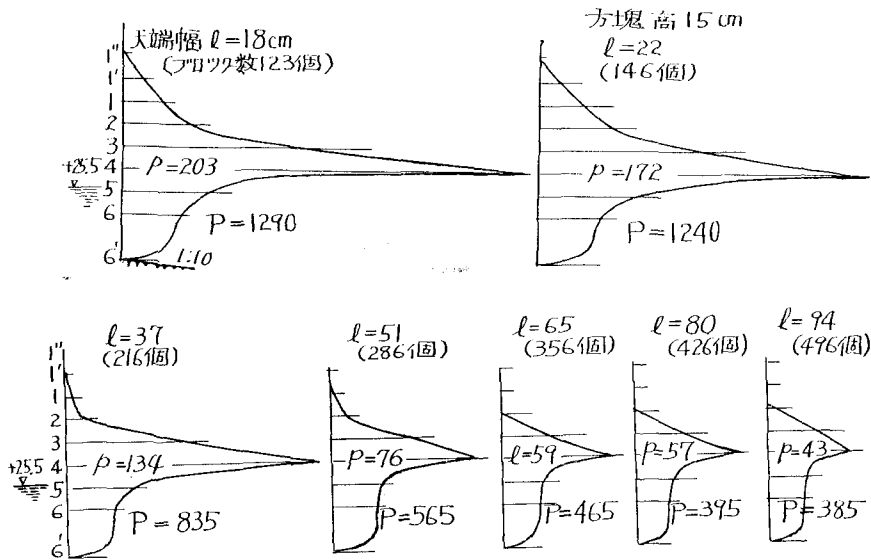
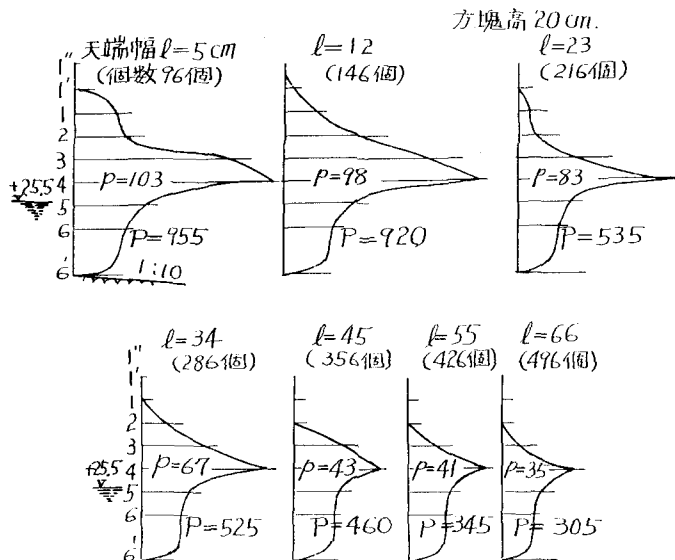
(4) 精度の検定

モルタル製L型壁体を捨石上におき、荷重板を載せながらすべり出した限界を調べてみた。すべり出し時の荷重 177 kg, これに摩擦係数 0.574 (空中実測値) を乗じた 101.6 kg に対して, 最大同時波圧合力は 100.4 kg とほぼ符合していた²⁾。

2. 実験結果

各実験における $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布は, 図-2~10 に示すとおりである。最大同時波圧合力 P は $\int_{-H}^H p_{\max}$ 。

図-2 $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布図(ブロックなし)図-3 $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布図図-4 $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布図図-5 $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布図

図-6 $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布図図-7 $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布図図-8 $p_{\max}$ 同時波圧鉛直分布図

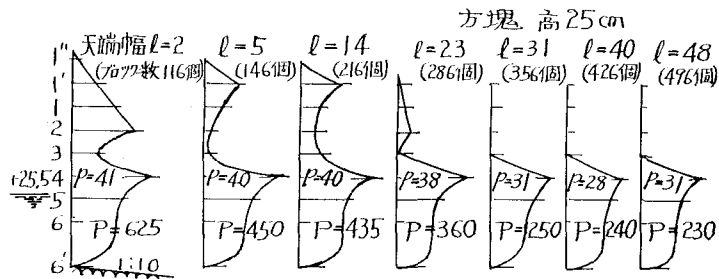


図-9 p_{max} 同時波圧鉛直分布図

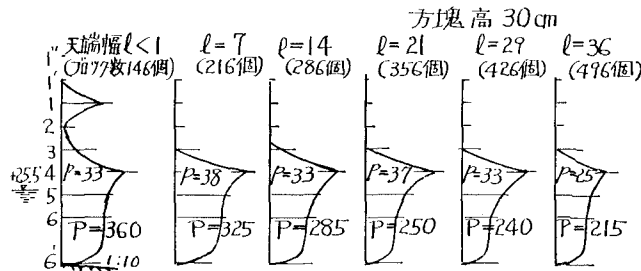


図-10 p_{max} 同時波圧鉛直分布図

dH であるからプランニメーターにより図上求積、波圧減少率は $(P_1 - P_2)/P_1 \times 100$ によって算出した。また各断面の p_{max} , P , ブロック個数, 天端幅員, 空隙を除いた純容積などは表-2, 表-3 に示す。次に各実験ケースごとに塊純容積と最大同時波圧合力の関係を示すと図-11,

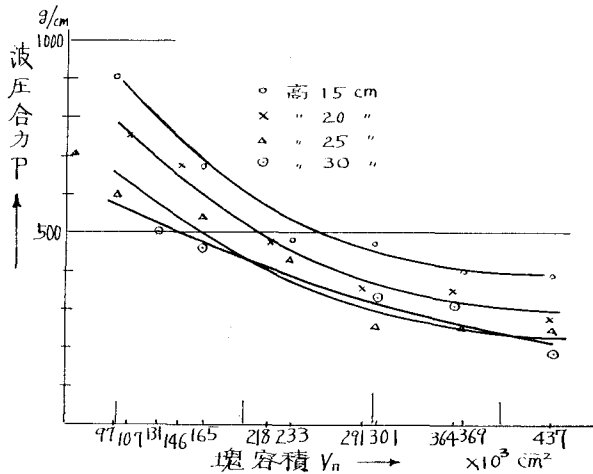
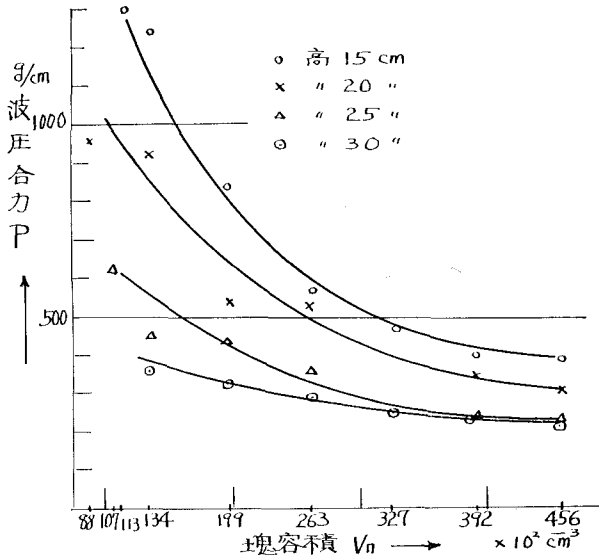
図-12 が求められる。塊容積が増加するに従って波圧合力は減少してゆくが、容積が大きくなってゆくに付れて減少割合は鈍化傾向になる。また方塊は六脚塊に比較して、かみ合せが悪く、実験のつどブロックの散逸が多く補修をした。

表-2 六脚塊消波工波圧実験値

高さ (cm)	個数 (個)	塊容積 (cm ³)	天端幅 (cm)	p_{max} (g/cm ²)	P (g/cm)	波圧減少率 (%)
15	30	2 910	—	195	1 300	2
"	100	9 700	15	89	905	32
"	170	16 490	31	106	670	50
"	240	23 280	48	56	480	64
"	310	30 070	64	50	470	65
"	380	36 860	80	52	400	70
"	450	43 650	96	68	390	71
20	110	10 670	9	87	855	36
"	150	14 550	16	70	675	49
"	225	21 825	29	33	475	64
"	300	29 100	42	34	355	73
"	375	36 375	54	30	350	74
"	450	43 650	67	30	275	79
25	65	6 305	—	85	710	47
"	100	9 700	1	54	595	55
"	170	16 490	11	54	540	59
"	240	23 280	21	41	430	68
"	310	30 070	30	30	255	81
"	380	36 860	40	30	250	81
"	450	43 650	49	29	245	82
30	135	13 095	1	44	500	62
"	170	16 490	5	45	460	65
"	240	23 280	13	44	430	68
"	310	30 070	21	35	330	75
"	380	36 860	29	39	310	77
"	450	43 650	37	27	285	79

表-3 方塊消波工波圧実験値

高さ (cm)	個数 (個)	塊容積 (cm ³)	天端幅 (cm)	p_{max} (g/cm ²)	P (g/cm)	波圧減少率 (%)
15	123	10 824	18	203	1 290	3
"	146	12 848	22	172	1 240	7
"	216	19 008	37	134	835	37
"	286	25 168	51	76	565	58
"	356	31 328	65	59	465	65
"	426	37 488	80	57	395	70
"	496	43 648	94	43	385	71
20	96	8 448	5	103	955	28
"	146	12 848	12	98	920	31
"	216	19 008	23	83	535	60
"	286	25 168	34	67	525	61
"	356	31 328	45	43	460	65
"	426	37 488	55	41	345	74
"	496	43 648	66	35	305	77
25	116	10 208	2	41	625	53
"	146	12 848	5	40	450	66
"	216	19 008	14	40	435	67
"	286	25 168	23	38	360	73
"	356	31 328	31	31	250	81
"	426	37 488	40	28	240	82
"	496	43 648	48	31	230	83
30	146	12 848	—	33	360	73
"	216	19 008	7	38	325	76
"	286	25 168	14	33	285	79
"	356	31 328	21	37	250	81
"	426	37 488	29	33	240	82
"	496	43 648	36	25	215	84

図-11 六脚塊 V_n - p 関係図-12 方塊 V_n - p 関係

3. 最適経済断面設計法

波圧の減少の実験値をただちに設計に用いることは、実験のばらつきから無理があるが安全率をとって実用することはできると考えられる。この安全率は繰り返し実験の平均値と下限図の関係より求められる。消波工による波圧減少をとる場合、断面が散乱などによって変化することは危険なので安全率を考える必要がある。実際に散逸などが起こらないようにブロック1個当りの重量を適切なものにし、かみ合せのよい形状のブロックを用いるべきである。方塊は図-12の高さ30cm分に示されるように消波効率のよいこともあるが、安全形状を保つことから実用を避け六脚塊、テトラポットなどが適していると考えられる。最適設計をするにあたり、簡単なた

め直立壁体とし、さらに全体を均一なものとして単位重量、単位当り工事費を考える。いま記号を次のようにすると、

P : 消波工なしのときの最大同時波圧合力

P_n : 消波工透過後の波圧合力

B : 消波工なしの直立壁幅員

B' : "

(安全率を0とする)

B_n : 消波工があるため減少された直立壁幅員

B'_n : "

(安全率を0とする)

H : 直立壁の全高

V_n : 消波工ブロックの純容積

V'_n : "

(安全率を0とする)

w : 壁体の単位容積当り重量

μ : 壁体と捨石の摩擦係数

f_1 : すべり出しに対する安全率

f_2 : P_n に対する安全率

f_3 : 散乱などによる消波ブロックの容積安全率

c : 壁体の単位容積当りの工費

s : 消波ブロック単位容積当りの工費

G : 全工費

次のような式が成り立つ。

$$P = \mu \cdot w \cdot B' \cdot H$$

$$B = f_1 \cdot B'$$

$$f_2 P_n = \mu \cdot w \cdot B'_n \cdot H$$

$$B_n = f_1 \cdot B'_n$$

$$G = c \cdot B_n \cdot H + s V_n$$

P_n に各実験値を入れて G の値を計算し最少であるような V_n から消波工断面を設計する。ただし上記の計算は、最も危険なすべり破壊のみについて考えている。幅員が縮小してゆくこと

による転倒、耐圧も検算し、危険の場合は安全値まで変更する。次に一つの例として、縮尺 1/40、六脚塊高さ 8 m (20 cm) について実験値を用い、高さ 10 m の直立壁

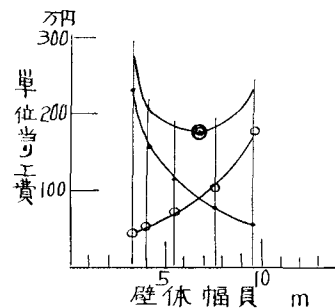


図-13 工費算出例図

体を考える。単価 $c=1.3$ 万円, $s=2$ 万円とした場合の計算を示すと 図-13 が得られる。これによる最適値は, 消波工天端幅 9 m, 直立壁幅員 6.8 m が求まる。これは転倒の計算にも安全である。

4. 結 語

本論は波圧の減少を経済的に取り入れようとしたものであるが, 実験のケースを多くし, 実験精度の向上と適切な安全率の定め方などが今後の課題として考えられ

る。模型実験の手数はかかるが, 最適断面により工費節減に寄与すると思われる。なお研究の一部は, 第28回土木学会年次学術講演会発表と重複している。

参 考 文 献

- 1) 古谷・鴻上・近藤: テトラポット防波堤に関する実験的研究, 第8回海岸工学講演集, p. 91, 1961.
- 2) 菅野 一: ブロック消波工による波圧減少の実験的研究, 第28回土木学会年次学術講演会, 1973.