22 波エネルギー変換量と水粒子運動

内田総技研 内田 優 明

Extracted Wave Energy and Water Particle Motion

Masaaki Uchida

This paper presents the net value of extracted wave energy by pendulum type absorber.

Test results indicate us that the wave energy depends considerably on the depth of wave generated point.

This fact has ever been unclear on behalf of the tiny amplitude theory, and then it is most important for us to establish new role by detailed observation of water particle motion for the purpose of estimating exact value of coastal sea wave energy.

1. まえがき

近年、世界的に新エネルギー開発が重要視され、波エネルギー利用の新技术開発が推進されている。その内容は大きくて浮体構造と固設構造方式に区分される。

上記した方式の各種模形を製作し造波水路実験を行い。新技术開発した受圧レバーによる波エネルギー変換方法（固設構造）は、浮体構造の変換実験値に対し高い実験値を得た。更に周期増加による変換量の伸び率が高いので自然波実験を行い。相似法による変換倍率、造波水路発生波と自然波との相違、受圧レバーの固有周期との関係、周期、波高増による変換量の測定実験を行った。実験による相似率を、（波高、発生波水深の発生波長、受圧レバー長さ）2倍とすれば単位幅当り1波の変換量は1/8倍の伸び率である理論式の8倍に対し問題となった。

今国上述した問題の解明と波エネルギー理論の見直しのため、同一波高による発生水深と発生波長 h_s/λ を基準とした各周期別波エネルギー変換実験、水平粒子運動移動距離〔2〕の測定実験値と理論値を比較、検討した結果を述べる。

Uchida Institute of Technology; 13-12 Morishita Koto-Ku Tokyo

計測器は(波高計, 差動トランス, ロードセル)等である。第1実験は発生水深1/5 CM基準の勾配在水路。第2実験は発生水深60 CMの平行在水路である。

図3は, 受圧レバーによる波エネルギー変換実験の仕様図である。

図4は, 第1, 第2実験の造波装置における造波板の駆動参考図である。

造波板の駆動は, 第1実験に対し第2実験の駆動容積は $\frac{1}{2}$ である。

造波形式 フラップ式		逆圧減圧器		スロー受積	
区分	水深 h_s cm	周期 T sec	波高 H cm	容積 Q cm ³	容積 V m ³
A	1.75	2.0	10	1.73	1.077
B	52.5	2.0	10	14	0.037

図4. 造波装置駆動参考図

Generated Wave by Plate

図5. 造波水深差による波エネルギー実験値。

Energy Growth by Deeper Generation

この実験値から見て実験域の発生波[深海波]の包蔵するエネルギー容積について図6により説明する。周期 $T=2.6$ 秒を基準とした発生波の包蔵容積算出す

図3. 受圧レバーによる波エネルギー変換実験仕様図。

Total View of Conversion Experiment

図5は, 造波水深差による波エネルギー実験値である。下段の横軸は造波水路の発生波仕様。上段の横軸は周期。縦軸は単位幅当り1波のエネルギー変換量 kJ/cm/m波 である。実験値を検討すれば

右側は第1実験の発生水深 $h_s = 1.15 \text{ m}$ 周期 $T = 2.25$ 秒。発生波長 $L_s = 7.5 \text{ m}$ 波高 $H = 10 \text{ cm}$ の実験値 650 kJ/cm/m波 左側の第2実験は発生水深 $h_s = 0.6 \text{ m}$ 周期 $T = 2.55$ 秒。発生波長 $L_s = 5.8 \text{ m}$ 波高 $H = 10 \text{ cm}$ の実験値 310 kJ/cm/m波 である。これは第1実験に対し $\frac{1}{2}$ の実験値であり、図4の造波板の駆動容積と等しい比率である。

第1実験の発生水深 h_s と発生波長 L_s の比 $h_s/L_s = 0.153$ 。

第2実験の発生水深 h_s と発生波長 L_s の比 $h_s/L_s = 0.103$ 。

ると単位幅当り $[b \text{ } h_s \text{ } L_s]$ である。第1, 第2実験および深海波の比率を検討すると、 $\textcircled{C}/\textcircled{A} = 0.065$

$$\textcircled{B}/\textcircled{A} = 0.16$$

$$\textcircled{C}/\textcircled{B} = 0.412$$

倍率は $\textcircled{B}/\textcircled{C} = 2.43$ となる。この2.43倍率は図5における第1実験に対し第2実験のエネルギー変換率は $650/310 = 2.1$ にほぼ近い数字である。

以上のエネルギー包蔵量の比率となり、第1, 第2実験の造波水路発生波に対し自然発生波[深海波]の相違を如実にものがたるものである。したがって造波水路の発生波を深海波基準として同一波高で周期を増加する実験により解明できる。

深海波の水深 h_0 は深海波長 L_0 の $\frac{1}{2}$ の比 $h_0/L_0 = 0.5$ である。造波水路の発生水深 h_s が浅い第1, 第2実験において周期 T の長い波を発生しても発生水深 h_s に準ずる波長 L_s しか得られない。実験において $[h_s]$ を一定とし、同一波高で短い周期の波を発生すると $[h_0/L_0 = 0.5]$ の深海波が発生する。徐々に周期を増すと $[h_s/L_s = 0.49 - 0.06]$ の範囲の浅海波が発生する。更に周期を増すと $[h_s/L_s = 0.05 \text{ 以下}]$ の長波の波が発生する。しかして、この波は実際の深海波——浅海波——長波となり波長 L の縮小による波高 H が増加(浅海係数)した波エネルギーを包蔵していない。

発生波長の算出は[水理公式集の水深—周期—波長および波速の表]を参考にして、式 $L = \frac{g}{2\pi} T^2 \tanh \frac{2\pi h}{L}$ 深海波の略式は $L_0 = T^2 \times 1.56$ 。

単位幅を横切つて輸送される平均エネルギーを $W \text{ t.m/sec m}$ で表わすと、これは微小振幅波理論によつて式 $W = C_g E$ 、ここに C_g は群速度と呼ばれ波群全体の進行速度である。波速に対して式、 $C_g = nC$ 、 $n = \frac{1}{2} \left(1 + \frac{2Kh}{\sinh 2Kh} \right)$ この係数 n は深海波では0.5、長波では1.0、浅海波では中間の値をとる。

波の単位峰幅方向に幅 b 、波の進行方向に波長 L をとり、1波長当りのエネルギー、 $E = \frac{1}{8} \omega_0 H^2 L b$ である。これが群速と C_g で輸送されると $E \cdot C_g$ となるので便宜上 n を入れ式 $[E = \frac{1}{8} \omega_0 H^2 L b n]$ で理論値を計算した。

図7は発生波長 L_s 基準の波エネルギー実験値と理論値の比較検討する図である。下段の横軸は造波水路の発生波仕様。上段の横軸は深海波仕様で理論値の基準である。縦軸は単位幅/波長当りの波エネルギー $Kg \text{ cm/m波}$ である。

図6. 海の波と造波水路発生波エネルギー包蔵容積比較図。

Incorporated Energy Diff. of Sea and Tank Waves.

下段の横軸記載の仕様で重要を欠
 は $h_s/L_s = 0.154$ と一律である。
 これは周期増加に伴う発生波水深
 h_s を増加し発生波長 L_s の比を同一と
 したものである。波高 H 、 H_0 は沖
 波高 10 cm 一定である。

図に示す △ 鎖線 A は各波長の理論
 値である。実験値は ○ で記載し、実
 線 B は実験値の補正である。

次に理論値と実験値について比較
 検討する。発生波長 (L_0) (L_s) = 5 m
 において理論値、実験値は共に等し
 い。発生波長 (L_0) (L_s) = 7.5 m じ
 は理論値に対し実験値は 1.43 倍に
 増加している。

ここで重視すべきことは理論値の
 発生波長 L_0 が有する包蔵容積 $b \cdot h_0 \cdot L_0$

と実験値の L_s が有する $b h_s L_s$ を比較する。 $L_0 = 5$ m では 12.5 m^3 、 $L_0 = 7.5$ m では
 28.1 m^3 に対し $L_s = 5$ m では 3.85 m^3 、 $L_s = 7.5$ m では 8.63 m^3 である。その比
 率は L_0 において 0.45、 L_s においては 0.46 とほぼ同一であるが、周期増に対す
 る理論値 A のエネルギー増加は低角度で上昇し、実験値 B は高角度で上昇してい
 る。而して自然波エネルギー変換実験 [表 1] [図 2] の実験値は理解できる。

4. 発生波水深変化による水平粒子運動。

この実験は、波エネルギー変換実験の一環として行なつた水平粒子運動移動距離
 [2号] の測定実験である。実験値は 8 mm 映像により詳細に検討したものである。

図 8. 発生波水深による水平粒子運動測定実験図
 Water Particle Motion and Generating Depth

位置とし、水中の測定片の測尺は $\Sigma - 1/2.4$ の水面下 2.5 cm に設けた。

図 7. 波エネルギー理論値と実験値の比較図 [発生波基準]
 Practical Absorption surpasses Theoretical one

図 8 は、水平粒子運動実験図であ
 る。第 1 実験における発生波水深 h_s
 $= 11.5 \text{ cm}$ と同水深の平行板を ①
 の測定位置とし、②の測定位置は水深
 勾配 $1/10$ によつて浅水深 $h = 60 \text{ cm}$
 とした。水中の測定片は ①の測尺は
 $\Sigma - 1/2.4$ 、②の測定は $\Sigma - 1/2.4$ として共
 に水面下 2.5 cm にフリ下げた。

下図、第 2 実験は発生波水深 $h_s =$
 60 cm の平行板と同水深を ②の測定

実験状況は造波水深 h_s において発生した波長 L_s の波は矢印に進行し測定位置水深につり下げた測定片を通過することにより前後に移動する。この一方の移動距離〔2ミ〕を測定したものである。

表2は、第1実験における〔2ミ〕の実験値と波の仕様である。

表3は、第2実験における〔2ミ〕の実験値と波の仕様である。

区分	造波周期 T_{sec}	波高 L_s cm	水深 h cm	h_s/L_s	水平距離 2ミ cm	
2-1	2.6	4.4	11	0.136	9	
2-2	"	2.5	5.7	10	0.105	11.5
2-3	"	3.0	7	9	0.086	△

註、2-3の撮影量が少なく映像不明であった。

表3 第2実験の水平粒子運動
実験値と波の仕様

Particle Motion at No.2

表2と表3の等1, 第2実験〔2ミ〕を比較する。

区分1~3の $h_s=1.15$ m 其の2ミは12.5 cm に対し、区分2-2の $h_s=0.6$ m 其の2ミは11.5 cm ほぼ等しいがエネルギー分布水深は $\frac{1}{2}$ である。

区分1'-3の $h=0.6$ m 其の2ミは16.5 cm に対し区分2-2の $h_s=0.6$ m 其の2ミは11.5 でありその倍率は1.43これを2乗すると2.05の前述したエネルギー変換倍率に相当する。

図9の下段横軸は造波水路の発生波水深 $h_s=1.175$ m一定で波長増加に伴い h_s/L_s は順次低下する仕様である。上段横軸は深海発生波の仕様で発生波長 L_0 の増加に伴い発生水深 h_0 は増加し $h_0/L_0=0.5$ 一定である。縦軸は水平粒〔2ミ cm〕を表す。理論値に対し実験値を考察する。理論値の L_0 に対し実験 h_s は短かい。しかるに〔2ミ〕の値は同等である。測定水深 h における L_0 は同一であるが h_s の増減により実験値の〔2ミ〕は変化し、理論値は変化しない。而して波エネルギー実験と水平粒子〔2ミ〕の結果を検討すると実海域の波エネルギーは微小振幅波理論式では説明できない莫大な包蔵量も水深に有する。以上

区分	造波周期 T_{sec}	波高 H cm	波長 L_s cm	水深 h cm	水平距離 2ミ cm	区分	造波周期 T_{sec}	波高 H cm	波長 L_s cm	水深 h cm	水平距離 2ミ cm
1-1	1.15	2.2	6.3	10	0.183	10.6	1'-1	0.6	4.9	0.122	13.5
1-2	"	2.4	7	"	0.164	11.8	1'-2	"	5.4	0.111	14.7
1-3	"	2.6	7.7	"	0.149	12.5	1'-3	"	5.9	0.102	16.5
1-4	"	2.8	8.5	"	0.139	13.3	1'-4	"	6.5	0.092	18.
1-5	"	3.0	9.2	"	0.125	14.4	1'-5	"	7	0.086	20.

図9は、発生波長基準の水平 Spec of horizontal water particle No.1 粒子〔2ミ〕の実験値と理論値の比較図である。

水粒子運動の理論式は微小振幅波理論により下記式のようものである。

$$2\text{ミ (水平)} A = H \frac{\cosh K(h+z)}{\sinh K h} \quad \text{長軸}$$

$$2\text{ミ (鉛直)} B = H \frac{\sinh K(h+z)}{\sinh K h} \quad \text{短軸}$$

図9 発生波長基準の水平粒子〔2ミ〕の実験値と理論値の比較図

Particle Motion〔2ミ〕 by Generated Wave Length