

大型の円柱状構造物に作用する砕波力

中 村 宏*・阿 部 宣 行*

1. ま え が き

近年、原子力発電所の冷却水取放水施設を沖合海中に設置する例が増加しており、しかも冷却水使用水量の増大にともない、構造物が大きくなる傾向がある。本研究は大型の円柱状構造物を浅海の比較的急勾配の海底面上に設置した場合を対象として、構造物に作用する波力、とくに砕波が作用した場合の波力を実験的に検討したものである。

円柱に作用する砕波力の研究としては、Hall の研究¹⁾、合田らの研究^{2),3)}、光易らの研究⁴⁾があるが、これらの研究はいずれも直径が小さい円柱を対象としている。比較的直径の大きい円柱に作用する砕波力の研究としては堀川らの研究⁵⁾があるが、本研究ではさらに直径の大きい場合、すなわち実際の構造物の直径が 50 m~100 m の場合を対象として、構造物に作用する波力を調べた。ここで対象とした大型の構造物の施工を考えた場合、分割して施工されたケーソンを現場に順次配置して一体の構造物とする可能性が大きいので、構造物全体に作用する波力よりも、構造物側面の各部分に作用する波力を明らかにする必要がある。このため、本研究では構造物側面に作用する波圧の鉛直分布を測定して、構造物の周囲に沿った単位幅当りの波力を求めた。データ整理はまだ完了していないが、これまでにとりまとめた実験結果の概要を報告する。

2. 実験設備および実験方法

実験に使用した平面造波水槽は長さ 30 m, 幅 26 m, 深さ 0.8 m で、この中に図-1 に示すような勾配 1/20 の斜面を設け、斜面上に円柱状構造物の模型を設置し、単一周期の規則波を作用させて実験を行なった。このような斜面の配置は、水槽の両側での一様水深部の長さが異なり、あまり好ましくないが、水槽の使用予定の都合から、やむを得ず、この斜面配置で実験を行なった。

構造物模型としては、直径 $D=150$ cm, 中心における高さ 34.75 cm のほぼ円柱状のもの（平面形状は図-2 に示すように正確には正二十二角形であるが、ほぼ円

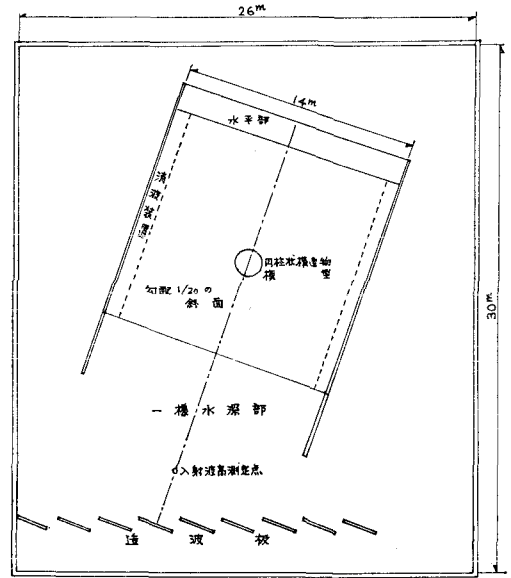


図-1 実験設備略図

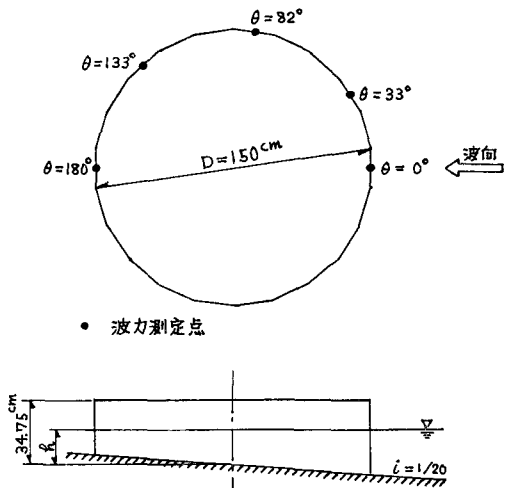


図-2 円柱状構造物模型の形状

柱とみなすことができる), および直径 $D=75$ cm, 中心における高さ 34.75 cm の円柱を用いた。模型中心から両側 7 m のところに波の進行方向に平行に導波板を、

* 正会員 電力中央研究所土木技術研究所

表一 実験条件

	D (cm)	h (cm)	H ₀ ' (cm)	T (sec)	D/H ₀ '	h/H ₀ '	H ₀ '/L ₀	碎波型式
A	150	18.25	3.9~21.2	1.03 2.07	7.1~38.5	0.86~4.68	0.023~0.127 0.006~0.032	崩れ波型 巻波型
B	150	7.25~20.25	10.2	1.81	14.71	0.71~1.99	0.02	巻波型
		15.25~20.25	7.5	1.55	20.02	2.03~2.70		
		8.25~20.25	11.2	1.55	13.35	0.74~1.81	0.03	巻波型
		13.25~20.25	6.3	1.16	23.73	2.10~3.21		
	150	7.25~20.25	10.5	1.16	14.24	0.69~1.93	0.05	崩れ波型
		15.25~20.25	6.4	0.90	23.54	2.38~3.16		
	75	9.12~22.12	10.2	1.03	7.36	0.89~2.17	0.02	巻波型
		9.12~22.12	11.2	1.55	6.67	0.81~1.98	0.03	巻波型

その前面に消波装置を設け、壁面での波の反射を防いだ。
入射波の波高は模型中心から沖側 12.5 m の一様水深部で測定し、ここで得た波高を微小振幅波理論により相当沖波波高 H'_0 に換算し、実験結果の整理に際しては、波高として H'_0 を用いた。

本実験では、まず模型中心における水深を $h=18.25$ cm として、数種類の波高、周期の波を作用させて、構造物に作用する波圧の水平分布、鉛直分布を調べた後、水深を変化し、沖波波形勾配 H'_0/L_0 が一定となるような波高、周期の波を作用させて、構造物側面に作用する単位幅当りの波力の分布を明らかにした。実験条件を一括して示すと表一のようなになる。

本実験では、既に述べたように円柱の側面に作用する波圧の鉛直分布ならびに波圧測定箇所前面のうちあげ高を測定し、波圧分布は折線状であると考えて、これを積分し、単位幅当りの波力を求めた。波圧の測定には豊田工機製の半導体小型圧力変換器（定格圧力：最大 0.5 kg/cm²，水中固有振動数：1~3 kHz）を用いた。波力を求めた箇所は、直径 150 cm の円柱では $\theta=0^\circ, 33^\circ, 82^\circ, 131^\circ$ および 180° であり、また直径 75 cm の円柱では $\theta=0^\circ$ および 180° である。波圧計の水深方向の取付位置は、実験ケースにより異なっているが、前面水深の最も大きい $\theta=0^\circ$ では水深の小さいときで 3 点、水深の大きいときで 6 点の波圧を測定した。また前面水深が最も小さい $\theta=180^\circ$ では水深の小さいときで 2 点、水深の大きいときで 4 点の波圧を測定した。なお波圧が最大になると考えられる静水面位置では、いずれの場合においても必ず波圧を測定した。波高、波圧の記録の解析では、できるだけ反射波の影響の入らない 5 波を選び、その平均値を用いた。

3. 波力の無次元表示

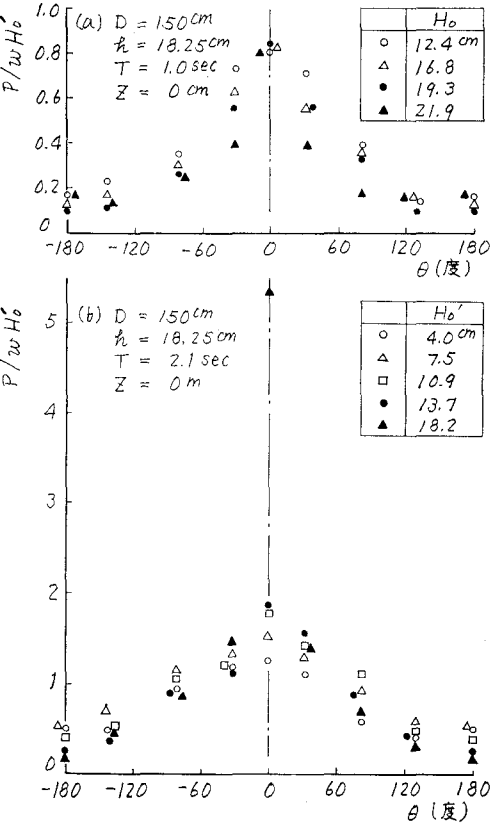
波圧の鉛直分布の測定結果から得られた側面単位幅当りの波力 f を無次元化して、 f/wH_0h とし、光易ら^{4),6)} が鉛直壁および直径の小さい円柱に作用する波力について行なったのと同様の方法で、円柱側面単位幅当りの無

次元波力が沖波波形勾配 H'_0/L_0 、水深・波高比 h/H'_0 および直径・波高比 D/H'_0 の変化に応じて、どのように変化するかを実験的に調べた。

4. 実験結果および考察

(1) 波圧の水平分布

本研究では図一に示すような勾配 1/20 の斜面を設け、この斜面上に模型を設置したため、まず模型に作用する波圧が左右対称となるか否かを調べた。表一の A 群の実験条件で、静水面位置の波圧最大値の水平分布を



図一 波圧最大値の水平分布

調べた一例が図-3である。波圧分布は、 $\theta=0^\circ$ において衝撃波圧を生じている $T=2.07$ sec, $H_0=18.2$ cm の場合を含めて、ほぼ対称となっている。このためB群の

実験では、図-2に示したように片側だけの波圧の鉛直分布を測定した。

(2) 波圧の鉛直分布と静水面付近の衝撃波圧

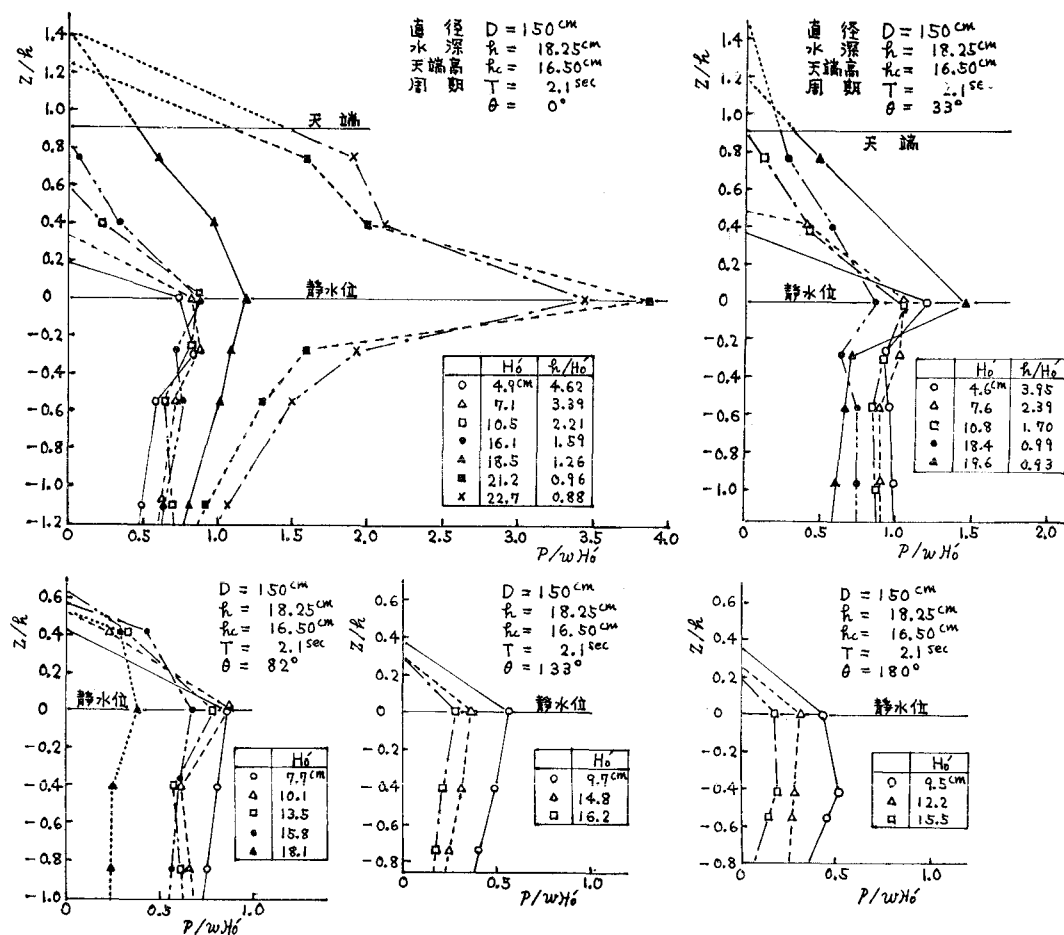


図-4 波圧最大値の鉛直分布

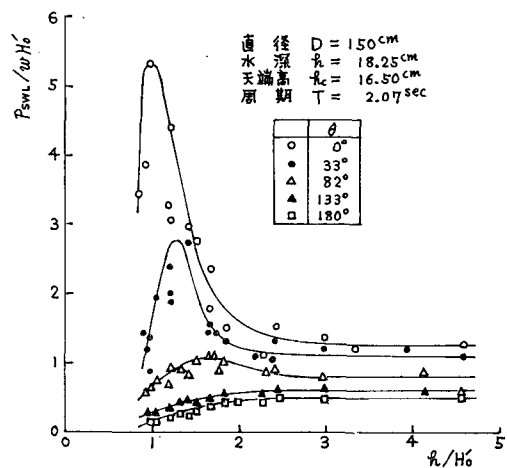


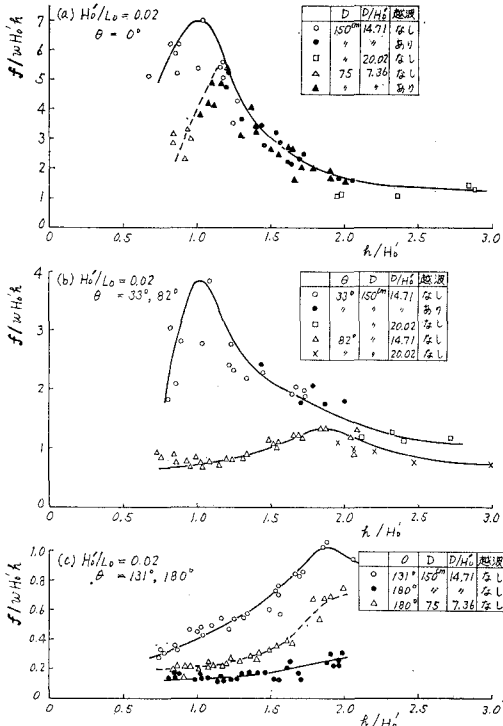
図-5 静水面位置における波圧

表-1のA群の実験での波圧の鉛直分布の測定例は図-4に示す通りである。 $\theta=0^\circ$ および 33° では $h/H_0 = 0.9 \sim 1.0$ のときは衝撃波圧を生じている。同一実験条件で静水面位置に作用する波圧を種々の波圧を種々の波高に対して測定した結果は図-5に示す通りであって、 $\theta=0^\circ$ および 33° では $h/H_0 = 0.8 \sim 1.7$ の範囲で無次元波圧 P_{SWL}/wH_0 (P_{SWL} : 静水面位置の波圧) はかなり大きな値となり、測定記録ではこの範囲での波圧はすべて衝撃波圧となっている。しかし $\theta=82^\circ$ より背面側では無次元波圧の値は $h/H_0 = 0.8 \sim 1.7$ の範囲でもかなり小さく、衝撃波圧は現われていない。

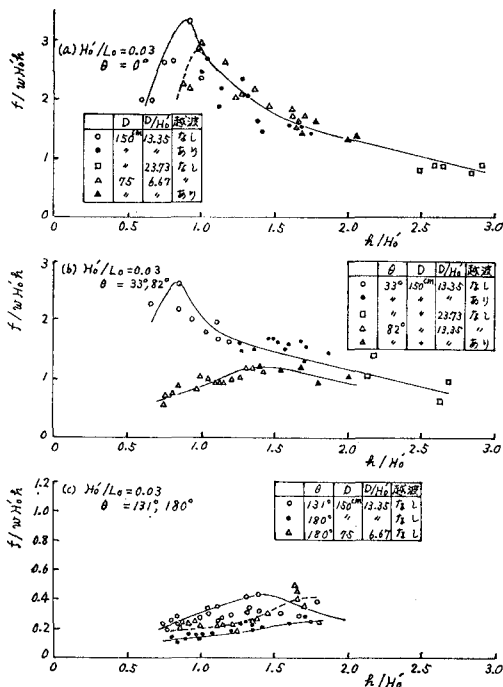
(3) 直径・波高比と無次元波力の関係

表-1のB群の実験で得た結果を沖波波形勾配別に、 h/H_0 と f/wH_0h の関係で示したのが、図-6, 7 および 8 である。 $D=75$ cm の円柱に作用する波力は $\theta=0^\circ$ お

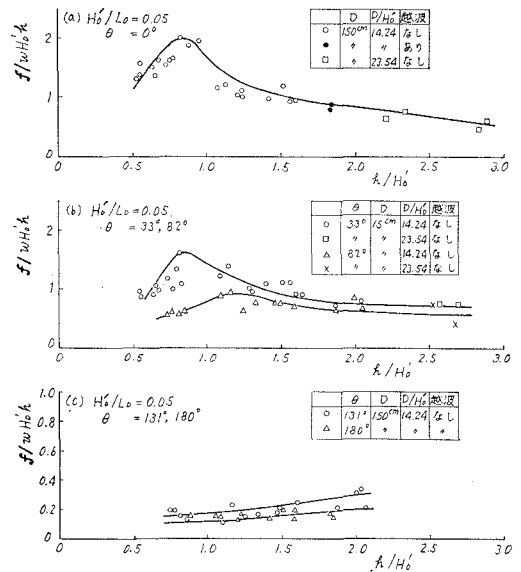
および 180° でしか測定していないため、この2箇所における測定結果について直径・波高比 D/H_0' が無次元波力に對し、どのように影響しているかを検討する。図一



図一6 水深・波高比と無次元波力の関係 (1)



図一7 水深・波高比と無次元波力の関係 (2)



図一8 水深・波高比と無次元波力の関係 (3)

6(a) および 図一7(a) に示されるように、 $\theta=0^\circ$ においては、 h/H_0' の値が大きいくところでは D/H_0' の無次元波力の値への影響は極めて小さく、 $f/wH_0'h$ の値は H_0'/L_0 および h/H_0' によってほぼ値が定まると考えてよい。しかし $H_0'/L_0=0.02$ のときは $h/H_0'<1.2$ の場合、 $H_0'/L_0=0.03$ のときは $h/H_0'<1.0$ の場合に、 D/H_0' が無次元波力の値に影響し、 D/H_0' の値が大きいくと無次元波力は大きくなる。一方、図一6(c) および 図一7(c) に示されるように、 $\theta=180^\circ$ では D/H_0' の値が異なれば、無次元波力の値は異なり、しかも h/H_0' の値が大きくなると、その差は著しくなる。

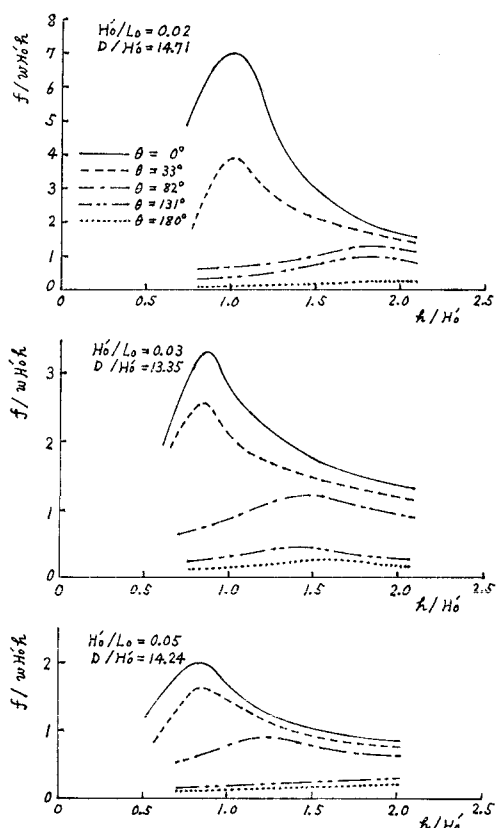
(4) 水深・波高比と無次元波力の関係

図一6, 7 および 8 から明らかなように、 $\theta=0^\circ$ および 33° では水深・波高比 h/H_0' の値が減少するにつれて無次元波力 $f/wH_0'h$ は急激に増大し、 $D/H_0'=14$ の場合、 $h/H_0'=0.8\sim 1.0$ で極大値となるが、 h/H_0' がさらに減少すると、 $f/wH_0'h$ は急激に減少する。なお $D/H_0'=7$ の場合は、 $h/H_0'=1.0\sim 1.2$ で極大値を生ずる。

$\theta=82^\circ$ では h/H_0' の値が減少するにつれて $f/wH_0'h$ が増大する傾向にあることは、 $\theta=0^\circ$ および 33° と同様であるが、波向に対して正面側ほど急激な増大ではない。 $D/H_0'=14$ の場合、 $h/H_0'=1.2\sim 1.9$ で極大値に達し、 h/H_0' がさらに減少すると $f/wH_0'h$ は次第に減少する。

波から遮蔽されている背面側の $\theta=131^\circ$ では、 $h/H_0'=1.4\sim 1.8$ で極大値が現われているが、 $\theta=180^\circ$ では h/H_0' が増すにつれて、 $f/wH_0'h$ は漸増して、実験を行なった h/H_0' の範囲では極大値は認められない。

$D/H_0'=14$ の場合について沖波波形勾配別に $f/wH_0'h$ と h/H_0' の関係を一括して示したのが 図一9 である。正



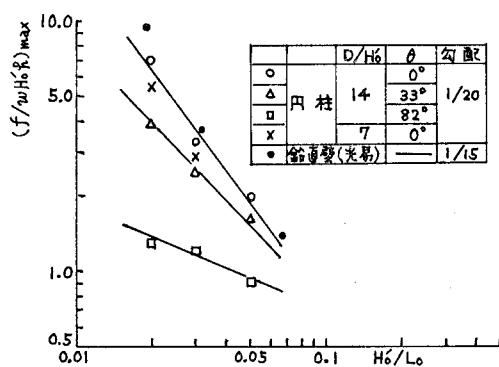
図—9 $D/H_0' \approx 14$ の場合の水深・波高比と無次元波力の関係

面側に作用する波力と比較し、背面側に作用する波力は極めて小さく、とくに $\theta=0^\circ$ に作用する無次元波力が最大となるような h/H_0' の値での $\theta=180^\circ$ に作用する波力は、 $\theta=0^\circ$ での無次元波力の $1/3 \sim 1/10$ である。

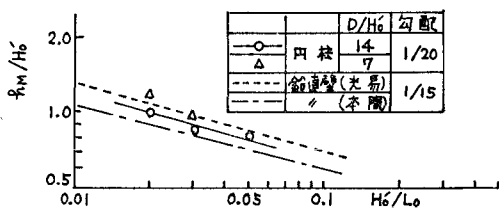
(5) 最大波力発生水深

光易ら^{4),5)}が鉛直壁および直径の小さい直立円柱に作用する波力について行なったのと同様に、図—6, 7 および 8 のデータを用いて、 $(f/wH_0'h)_{\max}$ と H_0'/L_0 の関係を示したのが図—10 である。この図には光易が鉛直壁に作用する砕波力を対象とした海底勾配 $1/15$ の場合の実験結果を併せて示した。 $D/H_0' \approx 14$ の場合は $\theta=0^\circ$ の $(f/wH_0'h)_{\max}$ の値は鉛直壁の場合の値に非常に近いが、 $D/H_0' \approx 7$ の場合は、 $\theta=0^\circ$ の $(f/wH_0'h)_{\max}$ の値は鉛直壁の場合より小さい。

$\theta=0^\circ$ における無次元最大波力の発生水深 h_M と H_0' の比を H_0'/L_0 との関係で示したのが図—11 である。直



図—10 $(f/wH_0'h)_{\max}$ と H_0'/L_0 の関係



図—11 $\theta=0^\circ$ における h_M/H_0' と H_0'/L_0 の関係

径の大きい円柱状構造物についての実験結果は、光易および本間の鉛直壁についての実験結果とほぼ同様であって、この結果から判断すると、 $D/H_0' > 7$ の円柱では、 $\theta=0^\circ$ において無次元波力が最大となる水深は、鉛直壁の場合と同様と考えてよいであろう。

参考文献

- 1) Hall, M. A.: Laboratory study of breaking wave forces on piles, Univ. California, Dept. Eng., Inst. Eng. Res., Wave Res. Lab., Tech. Rep. Series 95, Issue 2, 1957.
- 2) 合田良実・原中祐人・北畑正記: 直柱に働く衝撃砕波力の研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 5, No. 6, 1966.
- 3) 合田良実・池田竜彦・笹田 正・岸良安治: 岩礁上の円柱の設計波力に関する研究, 港湾技術研究所報告, Vol. 11, No. 4, 1972.
- 4) 光易 恒・本多忠夫: 大口径円柱に作用する波圧に関する研究, 九州大学応用力学研究所所報, No. 40, 1973.
- 5) 堀川清司・渡辺 晃・勝井秀博: 円柱に作用する砕波力に関する研究, 第20回海岸工学講演会論文集, 1973.
- 6) 光易 恒: 波圧論, 1965年度水工学に関する夏期研修会講義集, Bコース.