

多柱構造物の各構面に作用する津波波力の一検討

鹿島建設(株) 正会員 ○末長 清也, 岩前 伸幸, 秋山 義信
 鹿島建設(株) フェロー会員 池谷 毅
 鹿島建設(株) 鈴木 紀雄, 館野 公一

1. 目的

東北地方太平洋沖地震による津波によって、陸上に存在する多くの構造物が甚大な被害を受けた。その中で、ピロティ構造を有する建築物は多数残存しており、耐津波構造物として有効であると考えられている。しかしながら、その特性について検討した例は少ない。そこで、本研究では、水理模型実験を実施し、柱に作用する波力を、抗力係数を用いてモデル化し、多柱列の波力評価法の試検討を行う。

2. 実験内容

2.1 実験装置

実験には、長さ60m・幅0.7m・高さ1.5mの鋼製水路(一部ガラス面)を用いた。水路内部には海底模擬斜面、還流装置が設置されている。実験装置の模式図を図1に示す。また、陸上部上流端に台形防潮堤、下流端に可傾堰を設置し、任意の浸水深・流速を設定できる。

2.2 実験模型

模型は、図2に示す3ケースの多柱構造物を用いた。柱の大きさは10mm×10mmで、配置間隔は60mmである。

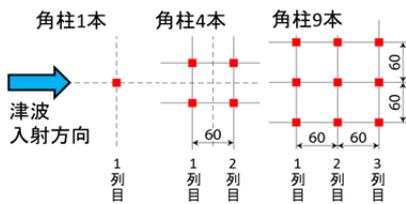


図2 柱模型配置図(単位:mm)



図3 実験状況(角柱9本)

2.3 実験方法

実験は還流装置の流量を一定にし、定常流で行う。多柱列に定常流を作用させ、柱に作用する波力を計測する(図3)。実験の詳細は末長ら¹⁾に示す。

3. 実験結果・考察

3.1 実験結果

仮定として、①柱は流れ直角方向(水路幅方向)に存在する柱の影響を受けない、②上流側の柱は下流側の柱の影響を受けないとして、検討を行う。

実験で計測した波力を式(1)~(3)により、1列目、2列目、3列目の柱1本が受ける波力($F_{x(i)}$)に変換する。ここで、 $F_{x/1}$, $F_{x/4}$, $F_{x/9}$ は角柱1本、4本、9本時の柱1本当たりの波力である。

$$F_{x/1} = F_{x(1)} \tag{1}$$

$$4F_{x/4} = 2F_{x(1)} + 2F_{x(2)} \tag{2}$$

$$9F_{x/9} = 3F_{x(1)} + 3F_{x(2)} + 3F_{x(3)} \tag{3}$$

求めた $F_{x(i)}$ を式(4)により、列ごとの柱の抗力係数($C_{D(i)}$)へ変換したものと、実験で使用した定常流のフルード数(Fr)を表1に示す。ここで、 ρ :水の密度、 v :流速、 h :浸水深、 D :角柱の幅である。

$$C_{D(i)} = F_{x(i)} / (\rho v^2 h D / 2) \tag{4}$$

表1 実験値より求めた $C_{D(1)} \cdot C_{D(2)} \cdot C_{D(3)}$

#	$C_{D(1)}$	$C_{D(2)}$	$C_{D(3)}$	Fr	
1	2.27	1.18	0.45	0.30	低Fr数 ($Fr < \sqrt{2}$)
2	2.38	1.18	0.75	0.38	
3	1.87	1.14	1.06	0.56	
4	2.34	1.29	1.11	0.31	
5	2.17	1.58	1.50	0.51	
6	1.57	0.46	0.43	1.95	高Fr数 ($Fr \geq \sqrt{2}$)
7	1.76	0.00	0.68	1.79	
8	1.16	0.24	0.95	3.07	
9	1.24	0.33	0.62	2.31	

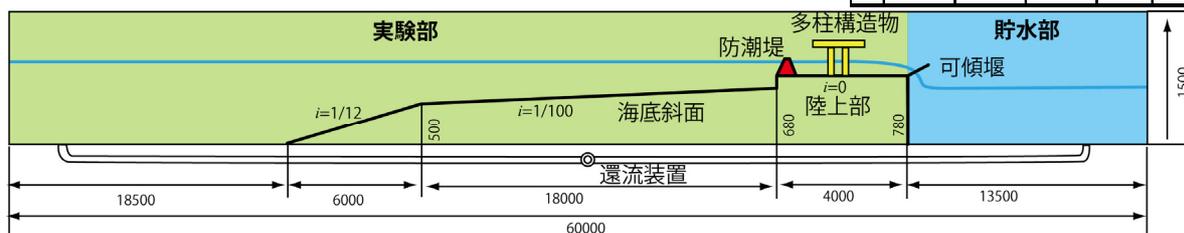


図1 実験セットアップ(単位:mm)

キーワード 波力評価, ピロティ構造, 抗力係数, Fr 数, 水理実験

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-489-8438

表 1 より, 低 Fr 数では後列になるほど C_D が漸減し, 高 Fr 数では 3 列目の $C_{D(3)}$ が, 2 列目の $C_{D(2)}$ より大きくなることを確認した. これは, 高 Fr 数時には, 1 列目の柱の背面に空洞域ができ, 2 列目の柱がその空洞域に入る影響であると推測する. これらの結果より, $C_{D(i)}$ は Fr 数および上流側の柱の影響を受けると考えられる.

3. 2 $C_{D(i)}$ のモデル化

柱の抗力係数(C_D)と Fr 数の関係については池谷ら²⁾により, 低 Fr 数, 高 Fr 数側の極限(C_{Dmax}, C_{Dmin})を用いた, 近似式(式(5))が提案されている.

$$C_D = \begin{cases} C_{Dmax} - (C_{Dmax} - C_{Dmin})(Fr_1^2/4) & : Fr_1 < \sqrt{2} \\ C_{Dmin} + (C_{Dmax} - C_{Dmin})(1/Fr_1^2) & : Fr_1 \geq \sqrt{2} \end{cases} \quad (5)$$

そこで, 末長ら¹⁾で示された角柱 i 本時の柱 1 本の抗力係数($C_{D/i}$)の極限(表 2)を用い, 列ごとの柱の抗力係数の極限($C_{D(i)max}, C_{D(i)min}$)を, 式(6)~(8)より求める(表 3).

$$C_{D/1max,min} = C_{D(1)max,min} \quad (6)$$

$$4C_{D/4max,min} = 2C_{D(1)max,min} + 2C_{D(2)max,min} \quad (7)$$

$$9C_{D/9max,min} = 3C_{D(1)max,min} + 3C_{D(2)max,min} + 3C_{D(3)max,min} \quad (8)$$

次に, $C_{D(i)}$ の相互関係をモデル化する. ここで, 実験結果から, 多柱列の下流の柱は 2 列上流までの柱の影響を受けるとして, 影響係数 α_1 (1 列上流の柱の影響), α_2 (2 列上流の柱の影響) を使用し, 次式でモデル化する (式(9)~(11)).

$$C_{D(1)max,min} = F_{x(1)max,min}/(\rho v^2 h D/2) \quad (9)$$

$$C_{D(2)max,min} = C_{D(1)max,min} - \alpha_1 C_{D(1)max,min} \quad (10)$$

$$C_{D(i)max,min} = C_{D(1)max,min} - \alpha_1 C_{D(i-1)max,min} - \alpha_2 C_{D(i-2)max,min} \quad (11)$$

式(9)~(11)に, 実験より求めた表 3 の $C_{D(i)max,min}$ を代入し, 求めた影響係数を表 4 に示す.

表 2 各模型の柱 1 本あたりの $C_{Dmax} \cdot C_{Dmin}$

模型条件		max	min
角柱1本	$C_{D/1}$	2.10	1.20
角柱4本	$C_{D/4}$	1.75	0.60
角柱9本	$C_{D/9}$	1.50	0.60

表 3 $C_{D(i)max} \cdot C_{D(i)min}$

模型条件		max	min
1列目	$C_{D(1)}$	2.10	1.20
2列目	$C_{D(2)}$	1.40	0.00
3列目	$C_{D(3)}$	1.00	0.60

表 4 影響係数 $\alpha_1 \cdot \alpha_2$

	max	min
α_1	0.33	1.00
α_2	0.30	0.50

式(9)~(11)のモデルに, 実験結果から求めた影響係数および表 1 の $C_{D(1)}$ を代入し, 求めた $C_{D(i)}$ と Fr 数の関係を図 4 に示す. 図に示す実線は, 式(5)に表 3 の $C_{D(i)max,min}$ を代入し, 近似曲線を示したものである. この結果より, モデルで求めた $C_{D(i)}$ は, 実験結果の傾向をよく再現できている.

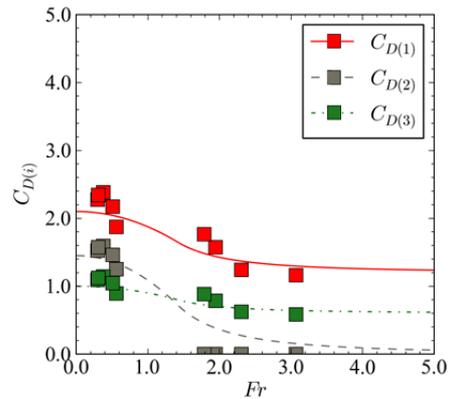


図 4 モデルにより推定した $C_{D(i)}$ と Fr の関係

4. 結論および今後の課題

本研究では, 多柱列について定常流実験を行った. 計測した波力から, 列ごとの柱 1 本当たりに作用する波力を求め, その値を抗力係数に変換し, その傾向を把握した. また, 列ごとの柱の抗力係数について, 実験結果から影響係数を求めて, モデル化を行い, 傾向を再現していることを確認した. しかしながら, 本モデルは柱の配置間隔, 形状などにより影響係数が異なると考えられるため, 一般化のためには, 更なる検討が必要となる.

謝辞

本件究は国土交通省平成 25 年度建築基準整備促進事業「S3. 津波避難ビル等の構造基準の合理化に資する検討」において(独)建築研究所との共同研究として実施したものである. 研究の遂行にあたり, 「津波避難ビルの構造基準の合理化検討委員会」東京大学生産技術研究所・中埜良昭所長をはじめとした各位より貴重な意見を頂いた. ここに記し, 謝意を表す.

参考文献

- 1) 末長ら: 多柱構造物に作用する津波波力に関する実験的研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70 (2014) No. 2 p. I_390-I_395
- 2) 池谷ら: 圧力分布を考慮した柱体に作用する津波波力評価モデル, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol. 70 (2014) No. 2 p. I_396-I_401