

衝撃波力の減勢工に適用されるモデル則について

愛媛大学工学部 正員 中村孝幸

1. まえがき: 既に考¹⁾は, 強度の大きな衝撃波力が波面と構造物との間にはこみ込まれる空気のクッション効果を利用して有意な大きさに減勢できることやこの効果を積極的に活用するものとして構造物の表面に人工的な空気室を付加する減力減勢工の有効性などについて実験的に検討してきた。本研究は, このような減力減勢工の実際場への適用に当り必要となる模型相似則を空気圧縮モデルに基づき解析的に明らかにすると共にその相当法を水平床版に作用する揚圧力を対象にして実験的に検証したものである。

2. 空気圧縮モデルに基づく理論的検討: 空気圧縮モデルは, 図-1に示すように高さDの空気室が初期速度Uをもつ密度 ρ , 厚さKの水塊により1次元的に断熱圧縮されるものとして導かれるもので, 圧縮に伴ない発生する最大空気圧 P_A を与える非線形方程式およびその近似解は既にBagnold²⁾や光島³⁾により明らかにされている。そして以下の模型則の誘導に必要となる P_A の近似解を示すのが式(1)である。

$$P_A = \begin{cases} 1.18 B_g^{1/2} P_0 & 0 < B_g < 0.02 \\ (1.18 B_g^{1/2} + 1.2 B_g) P_0 & 0 < B_g < 1.0 \\ 2.7 B_g P_0 & 1 < B_g \end{cases} \quad (1)$$

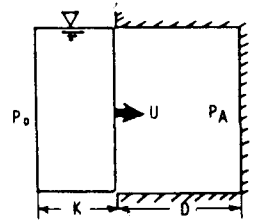


図-1 空気圧縮モデル

ここに P_0 は大気圧を示し, P_0 , P_A の両者はゲージ圧での表示になっている。また, B_g はBagnold数と呼ばれる無次元量で式(2)で定義されるものである。

$$B_g = \rho K U^2 / P_0 D \quad (2)$$

本研究では図-1に類似した矩形の空気室を床版の下面に格子状に配列した形式の減力減勢工を採用している。そしてこの減力減勢工に空気圧縮モデルが適用できるとすると減勢工に作用する減力の模型実験は, 従来より知られているFroude数のみならず, B_g 数の一致をも考慮して行う必要があることがわかる。さて後述する本実験のようにFroude数のみの一致を考慮した場合, 減勢工の単位幅当りに作用する揚圧力 F_A が模型と原型とでどのような関係になるかを予測している。この際, 本実験を含め一般の室内実験の場合にはほぼ満足される模型の B_g 数に関する条件, $(B_g)_M < 0.02$ 並びに実際場における減力減勢工の場合に満足されるであろう原型のそれ, $(B_g)_P < 1$ を仮定した。なお, $(B_g)_M$ と $(B_g)_P$ との比は, 長さの縮尺比 n に一致することに注意されたい。そしてこのような条件下では, P_A の模型および原型の表示に各々式(1)の右辺第1式および第2式が適用できることから, 上記の F_A に関する模型と原型との比は式(3)のようにならわれる。

$$(F_A)_M / (F_A)_P = 1.18 n^{3/2} / (1.18 + 1.2 ((B_g)_P)^{1/2}) \quad (3)$$

また上記と同様の条件下における減力減勢度 ϵ (減勢工を付加した場合としない場合との減力比)に関する模型と原型との比について導いている。この際, ϵ を求めるための基礎比較量となる減勢工を付加しない場合の揚圧力 F に関する模型と原型との比は, 式(4)に示すようにFroude則に基づき与えられるものと仮定した。

$$F_M / F_P = n^2 \quad (4)$$

そして ϵ に関する縮尺比は, 式(3)を式(4)で除して求められ, 式(5)のようになる。

$$\epsilon_M / \epsilon_P = 1.18 n^{-1/2} / (1.18 + 1.2 ((B_g)_P)^{1/2}) \quad (5)$$

したがって, 上記のようにFroude数のみの一致を考慮した場合, 式(5)からわかるように減力減勢の初果は模型よりも原型においてより有効にならわれることなどが予測できる。一方, $\epsilon_M / \epsilon_P = 1$, すなわち減力減勢度を模型と原型とで一致させるために必要となる模型と原型との空気室の高さの比, D_M / D_P を式(5)に基づき求めてみると式(6)のように導ける。

$$D_M/D_P = ((-1.18 + \sqrt{1.39 + 5.66(Bg)_M/n^2}) / (2.4(Bg)_M/n^2))^{1/2} \quad (6)$$

そしてDのみについては、式(6)を満足するように決定し、波条件を含む他の条件についてはFroudeの相似則を適用して決定すれば、模型と原型とで裁勢度を一致させて実験が可能になるものと言えよう。

3. 実験結果との比較: (1) 実験装置および実験方法の概略; 本実験で

採用した波力裁勢工は、矩形的の空気室を格子状に配列した形式のものである。そしてこの裁勢工を付加した場合と付加しない場合の両者について重複波の腹の位置に設置した水平板に作用する揚圧力の測定を行つた。用いた縮尺比 n 並びにFroude則に基づき決定・採用した波条件(T :周期, H :入射波高)および水平板の波面方向の長さ L などを一括して表-1に示す。なお波力計には、文献1)にその詳細を示したものと同一のものを使用した。

(2) 実験結果; i) 裁勢工を付加しない場合の揚圧力について; この場合の揚圧力 F_M に関する縮尺比を示す式(4)の妥当性について検討してみた。この結果を示すのが図-2であり、図中には揚圧力の発生現象が不規則になりやすいことから測定波力数で5.5程度より求めた平均波力および最大波力の両者について表示してある。また比較のため、式(4)による理論曲線も付記した。そしてこの図より、裁勢工を付加しない場合の揚圧力の現象にはFroudeの相似則がほぼ適用され得ることがわかる。ii) 裁勢工を付加した場合の揚圧力について; この場合の揚圧力 F_A に関する縮尺比を示すのが図-3である。図中には、空気圧縮モデルに基づく式(3)およびFroude則に基づく式(4)の理論曲線も比較のため付記してある。なお、本実験で原型に用いた波力裁勢工の Bg 数は、 U が微小振幅重複波理論により与えられ、かつ K が平板の付加質量の $1/2$ の板にわたる平均厚さで近似できるものとして求めた場合、ほぼ0.005程度になっている。そしてこのように $(Bg)_P < 0.02$ となる条件下では、式(3)の右辺側は $n^{1/2}$ により近似でき、図中にもこの値がプロットしてある。この図より、 F_A に関する縮尺比は多少のばらつきがあるもののほぼ空気圧縮モデルによる式(3)の理論曲線に一致していることがわかる。次に波力裁勢度 ζ に関する縮尺効果を上記の F 並びに F_A の両者により求めて示すのが図-4である。図中には比較のため、式(5)の理論曲線並びに F_A についても上記の F と同様にFroude則が適用できるとした場合に得られる $\zeta_M/\zeta_P = 1$ の関係が付記してある。そしてこの図より、測定された波力裁勢度の縮尺比は、式(5)によるそれと比較して定量的な一致は十分でないものの、 n の減少と共に増大するなど定性的にはほぼ一致していることや F_A にFroude則が適用できると仮定して得られる縮尺比に比較して大縮尺になるほど差異が増大することなどがわかる。

4. 結論: 以上の検討より、i) エアークッション効果を利用した波力裁勢

工の模型実験は、Froude数のみならずBagnold数の一致をも考慮して行う必要があることや、ii) Froude則のみを考慮して模型波力を原型波力に換算すると過大な予測値を与えることなどが判明した。

参考文献: 1) 中村他, "緩衝に作用する衝撃波圧力の裁勢法に関する研究", 第30回学術論文集, pp. 342~346, 1983.

2) Bagnold, M.R.A., "Interim report of wave-pressure research", Journal of Institution Civil Engineers, pp. 202-226, 1939.

3) Mitsuyasu, H., "Shock pressure of breaking wave", Proc. of 10th ICCCE, pp. 268-283, 1966.

表-1 揚圧力の測定に用いた実験条件

n	L(cm)	D(cm)	T(sec)	H(cm)
1	50	5.0	2.30	15.0
7/10	35	3.5	1.93	10.5
2/5	20	2.0	1.46	6.0
1/5	10	1.0	1.03	3.0

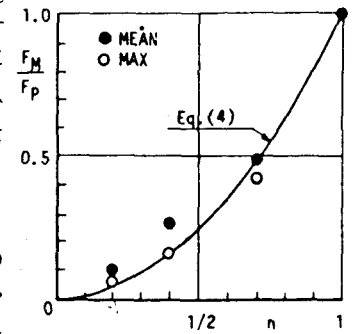


図-2 水平板に作用する揚圧力の縮尺比

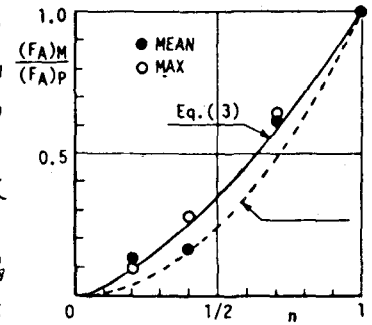


図-3 裁勢工に作用する揚圧力の縮尺比

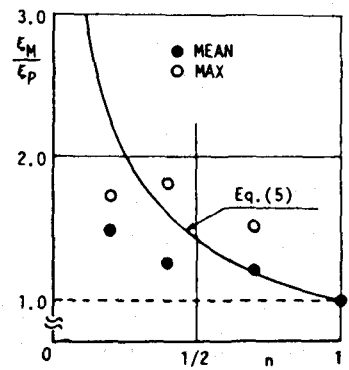


図-4 波力裁勢度に関する縮尺比