

各種の平面形状を有する共振装置型堤体列の 波浪制御効果について

中 村 孝 幸*・長 田 和 久**

1. ま え が き

既に著者ら (1989) は、多列形式の沖合防波堤を対象に、その堤体の平面形状を共振装置型とした場合の波浪制御効果について検討し、透過率などの変動特性が、共振装置の平面形状に特有な波浪共振の発生やそのモードと密接な関係にあることなどを明らかにしてきた。しかしながら、この研究では、共振装置の波向き方向の長さが、堤体長とほぼ同程度であるなど、実際場への適用にあたりさらに解決されるべき問題点を含むものとなっていた。

ここでは、このような共振装置型堤体列の実際場への適用を容易ならしめるため、より経済的な平面寸法をもつ共振装置型堤体を見い出そうとするものである。このため、従来の共振装置で問題となっていた波向き方向の寸法を各種に変化せしめ、その波浪制御効果を共振モードの特性などと併せて理論および実験の両面から明らかにする。この際、前年度の研究では着目していなかった共振装置型堤体列による波向制御効果についても新たに検討を加えた。

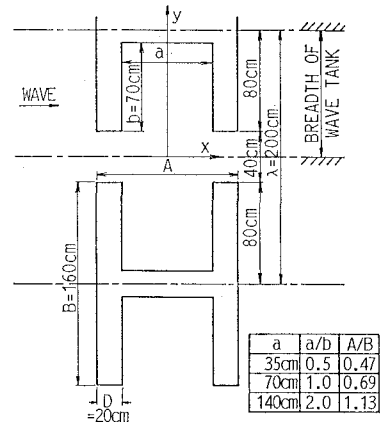
2. 共振装置の平面形状に関する理論的考察

(1) 解析法の概略

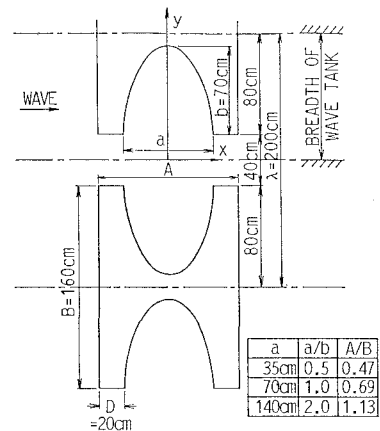
ここで用いた解析法は、著者ら (1988) による鉛直線 Green 関数法に基づく数値解析法である。この解析法は、直立式の堤体構造物に限定されるが、用いる Green 関数の中に堤体の無限配列の効果が考慮されていることや配列堤体の平面形状として任意なものが取り扱えるなど効率性の一般性のあるものとなっている。

(2) 共振装置型堤体

本研究で採用した堤体の平面形状は、図—1, 2 に示すものである。これらは、各々矩形堤体の開口部に矩形の水域を設けた矩形共振装置型堤体 (以下 RR 型堤体と称す) および半円形的水域を設けた半円形共振装置型堤体 (以下 SER 型堤体と称す) の 2 種類である。そして、



図—1 RR 型堤体列の平面形状



図—2 SER 型堤体列の平面形状

問題にしている共振装置の波向き方向の寸法 a は、共振装置の縦横比 a/b で図中の表に示す 3 種類のものに変化せしめた。この際、 b は 70 cm と一定にし、堤体間の最狭部での開口率 α についても 20% と固定した。なお、表中にはこれら堤体の外郭寸法の縦横比 A/B についても付記した。

(3) 堤体の平面寸法による K_T の変動特性

図—3, 4 は、それぞれ RR 型堤体および SER 型堤体の a/b を 3 種類に変化させたときの透過波側における無

* 正 会 員 工 博 愛媛大学助教授 工学部海洋工学科

** 学生会員 愛媛大学大学院 工学研究科

次元波高比 K_T に関する比較を示す。これらの図中の横軸には、堤体の配列方向への横波共振の発生と関係するパラメータ λ/L (λ : 隣接する堤体の中心間距離, L : 波長) がとってある。なお K_T は、透過波高の堤体列方向における空間的な rms 値と入射波高との比で定義されるもので、 $\lambda/L < 1$ の 1 次元的な波変形が生じる場合には従来からよく用いられている透過率に一致する。そして、既に著者ら (1989) が明らかにしているように、 K_T は共振装置の平面形状に特有な波浪共振が発生すると、極大値あるいは極小値を示し、波浪共振の発生条件等を検討するのに利用できる。

a) RR 型堤体列: この場合の K_T は、図-3 に見られるように、共振水域の縦寸法 a が減少すると、特に平面的な波変形が生じる $\lambda/L > 1$ の領域で上下変動の少ない単調なものへと変化する傾向が認められる。これは、 a/b が小さくなると堤体の平面形状に特有な波浪共振点 (K_T が極値を示す点) が、 λ/L の大きな短周期側へ移行すると共に、その共振増幅率も減少することによるものである。

この検証結果の代表例を示すのが、図-5, 6 である。図-5 は、 $a/b=2$ の共振装置のもので、図-1 中で K_T が極大値を示す $\lambda/L=0.77$ での装置内の波高分布、すなわち共振モードを、回折係数 K_D のコンターで表す。また、図-6 は、 $a/b=1$ のもので、やはり K_T が極大値を示す $\lambda/L=1.45$ における共振モードである。これらの図の比較から、両共振装置内の共振モードは、ほぼ同一で、波向き方向にのみ波高変動が顕著な 1 次モードのも

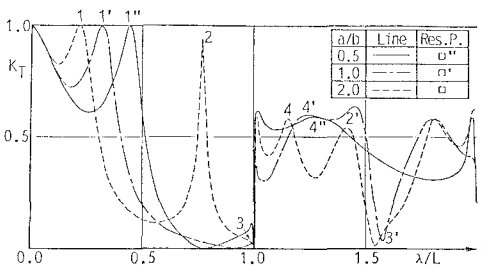


図-3 矩形共振装置の縦寸法 a による K_T の変動特性

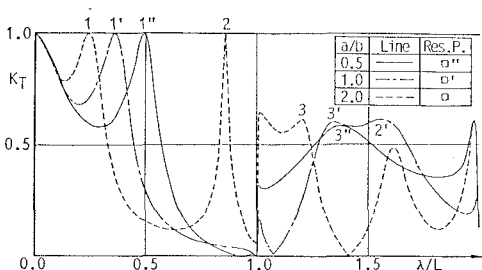


図-4 半円形共振装置の縦寸法 a による K_T の変動特性

のとなっていることが認められる。このことから、同一の共振モードが出現する波条件は、装置の縦寸法 a の減少に伴い、 λ/L の大きな短周期側へ移行することがわかる。そして、図-3 中には、このような対応する共振モードが現れる代表例を、各種の縦寸法の共振装置について同じ番号を付けて示してある。ここで、 $a/b=0.5$ の場合の No. 2, 3 の共振点は、 $\lambda/L > 2$ で生じるため表示していない。また $a/b=2$ の条件の場合に、 K_T が No. 3 の共振点で明確なピークを示さないのは、 $\lambda/L=1$ の横波共振点と重なるため、平面形状に特有な波浪共振と横波共振が互いに干渉することによるものと考えられる。

これら各縦寸法の共振点の対応から、 λ/L の大きな短周期波側へ移行する共振モードは、当然ながら縦寸法 a に関するものだけで、横寸法 b に支配されるモードは、No. 4 の例に見られるようにほぼ同じ λ/L の条件で現れることが認められる。そして、このような特性は、共振装置で制御できる周期帯幅の拡大などに利用できるものと考えられるが、今後の課題としたい。

次に図-5, 6 の装置内の波高の増幅率を比較すると、透過波側の開口部における K_D 値にみられるように、縦寸法 a が小さくなると K_D は約 1/3 にも減少し、このような波高増幅率の減少が上述したような K_T の変動特性に大きく影響しているものと言えよう。

したがって、RR 型堤体列の場合、装置の縦寸法 a を小さくし過ぎると、 K_T の極大値と極小値の差も小さくなり、共振点も短周期波側へ移行するため、共振装置としての機能を果たさなくなるものと推測される。そして、図-3 中に見られるように、 $a/b=2$ の K_T と $a/b=1$ のそれとは、ほぼ類似したものとなっており、 $\lambda/L < 2$ の波条件を制御の対象にする場合、装置の縦寸法 a は $a/b=1$ 程度まで縮小できるものと考えられる。

b) SER 型堤体列: 図-4 に見られるように、この場合の K_T も、 a/b の減少に伴い、 $\lambda/L > 1$ の領域で単調なものへと変化している。これは、RR 型堤体の場合と同様に、やはり波浪共振点の短周期側への移行や波浪共振時における装置内の波高増幅率の減少によるものである。このことは、図-4 中に示す各縦寸法で同一の共振モードが現れる λ/L の条件 (図中の同じ番号) の対応から確認できる。そして、 $a/b=2$ と 1 の K_T を比較すると、 $a/b=2$ の場合の No. 2 の極大値は、 $a/b=1$ の場合で No. 3 の極大値が現れる近傍に移行することから、 $a/b=1$ の装置では $\lambda/L=1$ を含む比較的広い周期帯で波高制御効果がよくなっていることが認められる。したがって、SER 型堤体列の場合についても、装置の縦寸法 a を $a/b=1$ 程度まで縮小してもほぼ同様な制御効果が期待できるものと考えられる。

一方、 $a/b=0.5$ の SER 型堤体列による K_T は、RR

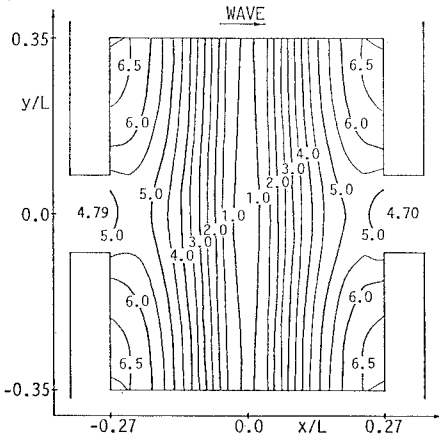


図-5 矩形共振装置内の共振モード
($a/b=2.0$, $\lambda/L=0.77$)

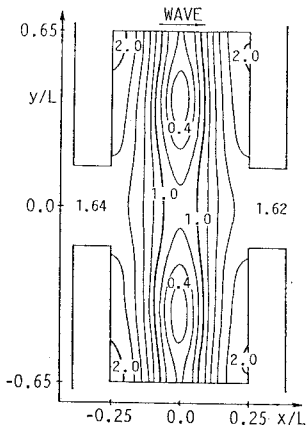


図-6 矩形共振装置内の共振モード
($a/b=1.0$, $\lambda/L=1.45$)

型堤体列のそれとほぼ類似したものとなっており、これは a/b の減少によって共振装置のない矩形堤体列の K_T に近づくことを表すものと言えよう。

3. 実験装置および実験方法

(1) 実験装置

上記 2. の理論的な検討から、有意な波高制御効果が認められた $a/b=1$ および 2 の場合の RR 型堤体列および SER 型堤体列の両者について実験を行った。また、共振装置の有無の有効性についても検討できるように、各共振装置の水域を埋め戻した矩形堤体列についても実験を行った。

水理実験では、上記の堤体の $1/2$ のものを製作し、これを図-1, 2 中に示すように隣接する堤体との中心間距離 λ の $1/2$ の水路幅をもつ長水路内に設置した。これは、鏡像原理によると、上記の長水路内での波変形が規

則配列された堤体まわりのそれと同じになることから採用したものである。

(2) 実験方法および実験条件

既に著者ら (1988) により明らかにされているように、堤体列まわりの波変形は、 $\lambda/L=1$ の横波共振点を境にして、1 次元的なものから 2 次元的 (平面的) なものへと変化する。このため、実験では、減衰定常波の影響がほぼ無視できる堤体から透過波側へ 1.5 波長程度離れた場所で 5 台の波高計を水槽の幅方向に配置して透過波を同時測定し、これらの記録から透過波高の rms 値を求め、最終的に波高比 K_T を算出した。

また、平面的な波変形が生じる $\lambda/L > 1$ の条件下では、方向スペクトルの測定法などを参照して、上記の多点での同時波形記録から、透過波を各波向き別の成分波に分離した。そして、次式で示される各波向き別の成分波のエネルギー E_{Ti} ($i=0, 1$) を求めた。

$$E_{T0} = \rho g H_0^2 / 8, \quad E_{T1} = \rho g (H_{1R}^2 + H_{1L}^2) / 8 \quad \cdots (1)$$

ここに、 ρ : 流体密度、 g : 重力加速度、 H_0 : 入射波と同じ方向に進む透過波成分 (以下、直進行波成分と称する) の波高、 H_{1R}, H_{1L} : 入射波とは異なる方向に進む透過波成分 (以下、斜波成分と称する) の波高で、下添字の R, L は水槽幅方向 (y 方向) の波数成分の絶対値が等しく、符号が異なる成分を各々表す。

そして、ここでは最終的に式 (2) で定義される各波向き別の成分波のエネルギー比 T_i ($i=0, 1$) を算出した。

$$T_0 = E_{T0} / E_T, \quad T_1 = E_{T1} / E_T \quad \cdots (2)$$

ここに、 E_T : 透過波の全エネルギー ($=E_{T0} + E_{T1}$) である。

堤体に作用せしめた入射波の周期 T は、2. の理論結果を考慮して $T=0.8 \sim 2.5$ sec の 18 種類とし、入射波高 H は、6 cm の 1 種類とした。また、堤体の設置水深は 80 cm と一定にした。なお、上記の作用波の周期の範囲は、 λ/L で表すと 0.3~2.0 の範囲に相当し、この場合斜波成分の数が 1 個以下となる条件であることを付記しておく。

4. 各種の共振装置型堤体列の波浪制御効果

(1) 波高制御効果

a) RR 型堤体列: 図-7 は、RR 型堤体列の K_T に関する実験結果と算定結果との比較を表すもので、図中では $a/b=1$ および 2 の場合の結果が併せ示してある。また、図-8 は、共振装置を埋め戻した矩形堤体列の K_T に関する実験結果と算定結果との比較を表し、図-7 と同様に $a/b=1, 2$ の両共振装置を埋め戻した場合について併記してある。

図-7 の実験結果と算定結果を比較すると、 $a/b=2$ の場合に K_T の算定値がピークを示す $\lambda/L=0.75$ 近傍で実

験値が算定値を下回るなどの差異が見られるが、これを除けば、 λ/L の広い領域で両結果は、 a/b の条件にかかわらず、ほぼ一致しているものと言えよう。そして実験結果からも、 $a/b=1, 2$ とした場合の RR 型堤体列の K_T は、ほぼ同程度の大きさで、両堤体列による波高制御効果にはほとんど差異のないことが確認できる。

また、図-7 と 図-8 の比較から、矩形共振装置を設けると特に $0.5 < \lambda/L < 1.0$ の範囲および $\lambda/L=1.5$ の周辺で K_T を有効に低減できることが認められる。そして、RR 型堤体列の K_T は、極大値を示す場合でも、高々矩形堤体列の K_T と同程度の大きさであることなどもわかる。

b) SER 型堤体列： 図-9 は、SER 型堤体列の K_T を図-7 と同様にして示すものである。この図より、 K_T の実験結果と算定結果は、それが極大値を示す条件下で多少の相違が見られるが、共振装置の縦横比 a/b に関係なく、両結果はほぼ一致していることが認められる。そして、 $a/b=1$ と 2 の場合の K_T を比較すると、 $a/b=1$ の K_T は、 λ/L が 1 前後の比較的広い範囲で $a/b=2$ のものより小さくなるが、逆に λ/L が 1.5 付近では $a/b=2$ の方が小さくなるなど、概略的に両者は同程度の制御効果を有することがわかる。なお、上記したような K_T が極大値を示す条件下での実験結果と算定結果との差異は、装置内での波高の共振増幅現象により、解析で考慮できない局所的な碎波や堤体隅角部付近に比較的大規模な渦流れが実験で生じていたことによるものと推定される。

また、図-8 と 図-9 を比較すると、SER 型堤体列

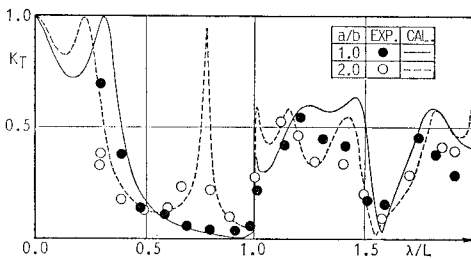


図-7 RR 型堤体列の K_T に関する比較

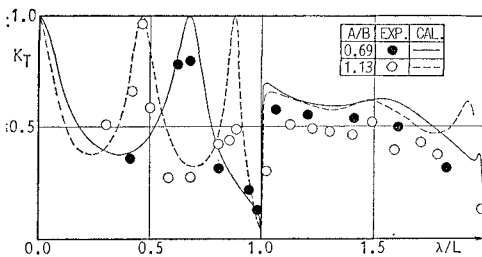


図-8 共振水域を埋め戻した矩形堤体列の K_T に関する比較

の K_T も、RR 型堤体列の場合と同様に、全体的に埋め戻し矩形堤体列の K_T を下回り、特に K_T が極小値を示す波浪共振点付近で装置の効果は著しいものとなっている。

最後に RR 型堤体列と SER 型堤体列の K_T に関する比較を行うと、 $a/b=1, 2$ の場合共に SER 型堤体列の方が λ/L のより広い範囲で有効な波高制御効果が得られることなどから共振装置として優れているものと判定される。

(2) 波向制御効果

図-10, 11 は、それぞれ $a/b=1, 2$ の RR 型堤体列の透過波側における波向き別の無次元エネルギー比 T_0, T_1 の算定結果と実験結果との比較を示すものである。これらの図より、RR 型堤体列の透過波側水域では、 $1 < \lambda/L < 2$ の条件下で、斜波成分 T_1 が直進波成分 T_0 の 2 倍以上も含まれる 2 次元的な波面形状となっていることやこの傾向は λ/L の値が 1 に近いほど顕著になることなどが認められる。また、両図の比較から、無次元エネルギー比 T_i ($i=0, 1$) は、 a/b によって全く変化せず、透過波の各波向き成分波の構成割合は、共振装置の寸法に依存しないことが実験的にも理論的にも確認される。

一方、図-12, 13 は、それぞれ SER 型堤体列およびそれらを埋め戻した矩形堤体列の T_0, T_1 の算定結果と実験結果との比較を示す。各図中には、 K_T の場合と同様に、 $a/b=1$ と 2 に対する結果が併せ示してある。なお、算定結果については、RR 型堤体列の場合と同様に $a/b=1$ と 2 の場合で一致することから統一して表示した。これらの図より、SER 型堤体列およびそれらを埋め戻した矩形堤体列の T_0, T_1 の λ/L による変動は、RR 型堤体列と同一であることが実験的にも理論的にも確認でき、堤体列による透過波の各波向き成分波の構成割合は、共振装置の寸法のみならずその幾何形状にも依存しないことがわかる。そして、図-13 に見られるように、2 種類の縦寸法の埋め戻し矩形堤体列についても、共振装置型堤体列と同様な波向き特性であることから、堤体列による波向き特性を変化させるためには堤体前後面の形状や隣接堤体間の開口率を変えるなどの工夫が必要に

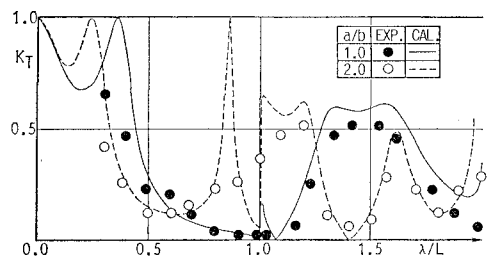


図-9 SER 型堤体列の K_T に関する比較

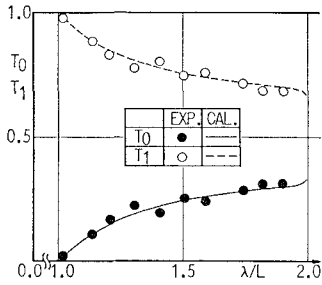


図-10 RR 型堤体列の透過波側での各波向き成分波のエネルギー比 ($a/b=1$)

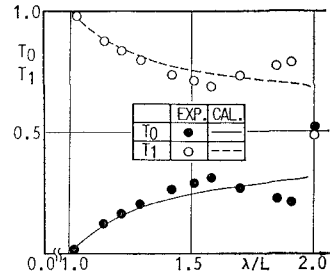


図-11 RR 型堤体列の透過波側での各波向き成分波のエネルギー比 ($a/b=2$)

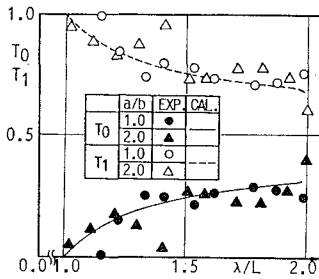


図-12 SER 型堤体列の透過波側での各波向き成分波のエネルギー比

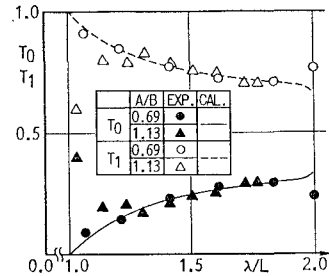


図-13 埋め戻し矩形堤体列の透過波側での各波向き成分波のエネルギー比

なるものと言えよう。

5. 結 語

(1) 開口率を固定して、波の進行方向における共振装置の寸法を変化させると、装置の縦横比が1程度まではほぼ同程度の波浪制御効果が得られる。しかし1以下の縦横比の場合、共振装置内での波高の増幅率が減少するため、共振水域のない矩形堤体列による波浪制御効果に近いものとなる。

(2) 半楕円共振装置型堤体は、矩形共振装置型堤体に比較して、より広い周期の範囲で有意な波浪制御効果

が期待できる。

(3) 共振装置型堤体列による透過波側での波向き特性は、堤体の前後面の形状と開口率にのみ依存し、共振装置の平面形状には関係しない。

参 考 文 献

- 中村孝幸・小野正順 (1988): 規則配列された沖合消波堤まわりの波浪共振の特性とその解析法, 第35回海岸工学講演会論文集, pp. 527~531.
- 中村孝幸・小野正順・長田和久 (1989): 共振装置を設けた堤体列による波浪の制御効果について, 第36回海岸工学講演会論文集, pp. 484~488.