

係留浮体の動揺特性とこれに影響を及ぼす諸要因について

運輸省港湾技術研究所 正会員 上田 茂
同 上 正会員 白石 悟
運輸省第二港湾建設局 小熊康文

1. はじめに

国土を海に囲まれた我が国にとって、海洋空間を、海洋に埋蔵される資源・エネルギーを掘削・回収し、海洋における生物資源を育成かつ利用し、都市空間を形成して市民の生活の場を与え、それらの活動に必要な交通の場とするなどして有効に活用することは、今後 21 世紀に向けての重要な課題である。このような海洋空間の有効利用のために人類が海洋において行う様々な活動を総称して海洋開発という。海洋開発を行う上で種々の海洋構造物を建設する必要があるが、今日、海洋開発の場は従来に比べてより大水深海域に求められるようになってきているし、また、従来に比べて地盤条件が良くないいわゆる軟弱地盤域に建設されることもあることなどから、構造様式として浮体構造物を用いることが、他の構造様式を用いるよりも経済的あるいは工期の短縮が計れるなどの理由により有利であることがあり、この数年間にいくつかの構想が提案され実現に向けて技術開発がなされている。浮防波堤、浮体式係船岸、洋上石油備蓄基地などがこれらの事例としてあげられる。

いうまでもなく、浮体はそれ自身の浮力で自重等を相殺するものであるから、地盤に自重等の鉛直荷重を伝達しないが、浮体の水線面下に作用する波力をうけて動揺をし、また、流れによる力を受けて漂流する。このため、浮体を係留し、海洋構造物の利用に支障をきたさない程度の動揺量以内にあるように係留施設の設計を行わなければならない。そこで、本報告においては、矩形断面浮体について無係留時および係留時の動揺特性を調べ、動揺特性に影響を及ぼす諸要因とその影響ならびに係留施設の設計における留意点について述べる。

2. 計算の条件

2. 1. 浮体の条件

ここで計算を行うのは矩形断面浮体で、幅 B を 20, 40, 60 cm、喫水 d を 5 m、水深 h を 7.5, 10, 20, 40 m とし、浮体幅喫水比 B/d が 4, 8, 16、また、水深喫水比 h/d が 1.5, 2, 4, 8 となるように計算ケースを決めた。実際には三次元浮体について検討を行うのがよいが、係留システムの設計に関与するスウェーイング、ローリングおよびヨウイングのうち断面浮体においては先の二つの動揺成分が含まれることを考えると、断面浮体について基本的な性質を知って設計上の留意点を指摘することで十分目的を果たすことができるものと判断した。

2. 2. 波の条件等

計算は主として規則波について行ったが、不規則波についても数例の計算を行った。規則波の周期は 4 ~ 22 s まで 2 s ごととし、波高は 1 m とした。不規則波の計算はのちに述べる係留系の変位復元力特性が非対称である場合についてのみ行うこととし、とくにタイムステップ Δt およびその繰り返し回数が動揺計算結果に及ぼす影響を調べることを目的とした。また、同じく係留系の変位復元力特性が非線形非対称である場合については、流れや風などによる定常力が浮体の動揺に及ぼす影響を調べた。

2. 3. 係留条件

浮体は図-1 に示す三種類の変位復元力特性をもつ係留システムに係留されるものとする。それらは、図の第一象限 (I) と第三象限 (III) の変位復元力特性がそれぞれ線形でかつ原点に対して対称でありばね定数が k_1 であるもの (以下線形対称係留系という)、第一象限 (I) と第三象限 (III) の変位復元力特性がそれぞれ線形であるが原点に対して非対称でありかつ第一象限 (I) の変位復元力特性のばね定数 k_2 が第三象限 (III) のばね定数 k_1 より大きいもの (以下線形非対称係留系という)、および第一象限 (I) の変位復元力特性が非線形で変形量が $0 \sim \delta_c$ の間はばね定数が k_2 であるが変形量が δ_c を超えるとばね定数が k_3 となり、また、第三象限 (III) においてはばね定数が k_1 であって、それらのばね定数のあいだには、 $k_2 > k_1, k_3$ なる関係があるもの (以下非線形非対称係留系という) である。

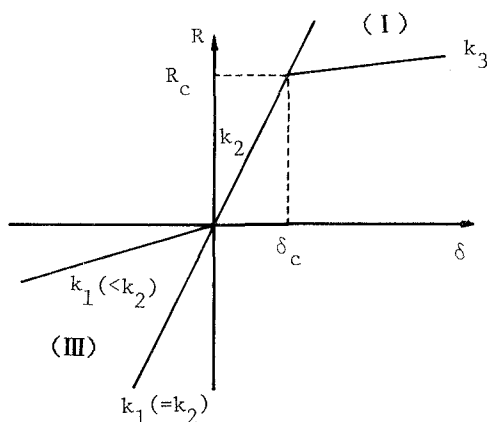


図-1 係留系の変位復元力特性

3. 無係留浮体の動揺特性

3. 1 概要

ここでは、のちに係留浮体の動揺特性を調べるのに先立って、これと比較するために、まず、無係留浮体の動揺特性について調べておく。無係留浮体の動揺特性に影響を及ぼす要因は、浮体幅、喫水、水深および波周期であるから、ここでは、浮体幅喫水比 B/d および水深喫水比 h/d をパラメーターとして波周期に対する無係留浮体の動揺特性を調べた。図-2 a), b), c) はスウェイング、ヒービングおよびローリングについて、2.1 に示した浮体について計算を行った結果を示したものである。縦軸はそれぞれの動揺振幅と入射波の振幅との比、また、横軸は波周期である。図中の実線の細線は $B/d = 8$ と一定にして $h/d = 2, 8$ として、また、実線の太線は $B/d = 8$ 、 $h/d = 4$ として計算したものである。破線は $h/d = 4$ と一定にして $B/d = 4, 12$ として、また、実線または破線に黒丸を付したものは、それぞれ、 $h/d = 1.5$ 一定にして $B/d = 4$ または 8 として計算したものである。動揺特性に及ぼす浮体幅喫水比の影響は、 $h/d = 4$ のときは実線の太線と破線とを比較することによって、また、 $h/d = 1.5$ のときには破線または実線に黒丸を付したものを比較することによって調べることができる。また、動揺特性に及ぼす水深喫水比の影響はこれらの実線を比較することによってわかる。

3. 2. 浮体幅喫水比 B/d の影響

ここでは、同一の水深喫水比 h/d に対して浮体幅喫水比 B/d が浮体の動揺に及ぼす影響を調べる。

スウェイングについては、 B/d が大きいと浮体の動揺量が減少する。ただし、 $h/d = 4$ のときには、短周期波に対しては B/d が動揺特性に及ぼす影響が大きい、長周期波に対しては影響は小さい。しかし、 $h/d = 1.5$ のときには、 B/d の影響はかなり大きい。同一の水深喫水比 h/d に対しては浮体幅喫水比 B/d を大きくすると浮体の動揺量を減少させることができる。なお、この計算例では喫水を一定にして浮体幅を変えているので、長周期波に対しては図- 3 a), b), c) に示すように浮体に作用する波力は減少し付加質量係数は増加するが単位質量当たりの減衰定数が減少するので浮体の動揺量は長周期波に対しては増加する。ヒービングについても、 B/d が大きいと浮体の動揺量が減少するといえる。ただし、 $h/d = 4$ のときにはその影響がはっきりと現れているが、 $h/d = 1.5$ のときには、ヒービングの固有周期に当たる波周期に対してはその条件に当たる浮体の動揺がもっとも大きいので必ずしもこのようにはいえない。ヒービングの動揺振幅と入射波の振幅との比 ζ/a は長周期波に対しては 1.0 に漸近する。なお、ここには図示していないがヒービングの波力は同一の h/d に対しては B/d に比例するが、付加質量および減衰定数はほぼ B/d の二乗に比例する。

ローリングについてもヒービングの場合と同様のことがいえるが、 B/d が小さいと同調点付近における動揺量が非常に大きくなる。

3. 3. 水深喫水比の影響

つぎに、同一の浮体幅喫水比 B/d に対して水深喫水比 h/d が浮体の動揺に及ぼす影響を調べる。

スウェイングについては、 h/d が浮体の動揺に及ぼす影響があり、とくに長周期波に対して顕著である。これは、図- 3 a) に示すように h/d が小さいと同一の波周期に対する波力が大きくなるからである。これは、深海域においては浅海域におけるよりも浮体の動揺量が小さくなることを意味する。

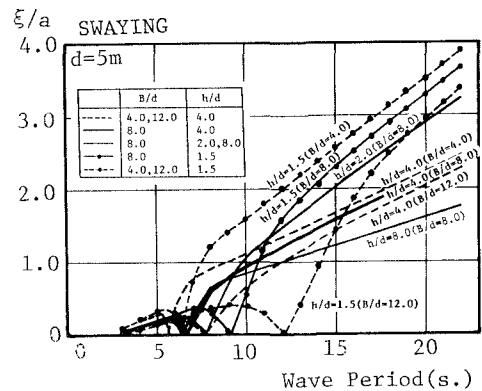


図-2 a) 無係留浮体のスウェイング

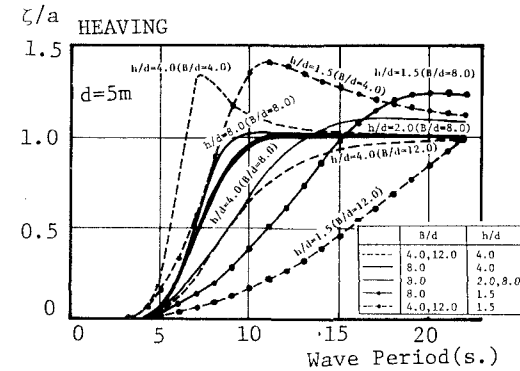


図-2 b) 無係留浮体のヒービング

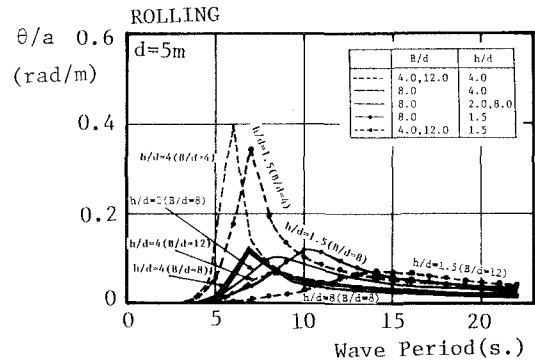


図-2 c) 無係留浮体のローリング

ヒーピングについては、ここで計算した波周期の全域にわたってみれば、同一の B/d に対しては h/d が小さいほど浮体の動揺量が多いといえることができるが、 B/d が同一であっても h/d によってヒーピングの固有周期が異なるので、波周期ごとにみれば h/d による影響を明確に指摘することはできない。なお、ここには図示していないがヒーピングの波力、付加質量および減衰定数は、同一の B/d に対しては h/d が小さいほど大きい。

ローリングについてもヒーピングの場合と同様に、 B/d が同一であっても h/d によってローリングの固有周期が異なるので、波周期ごとにみれば h/d による影響を明確に指摘することはできない。しかし、ここで計算した波周期の全域にわたって最大値を比較すると、同一の B/d に対しては h/d が浮体の動揺に及ぼす影響は小さいといえる。なお、ここには図示していないがローリングの波力、付加慣性モーメントおよび減衰定数は、同一の B/d に対しては h/d が小さいほど大きい。

以上に述べたことを要約すると、無係留浮体の動揺に対して B/d および h/d が及ぼす影響が大きいことがわかる。動揺を小さくするためには、できるだけ B/d を大きくすること、減衰定数を大きくするような構造または係留システムなどの工夫をすることが有効である。

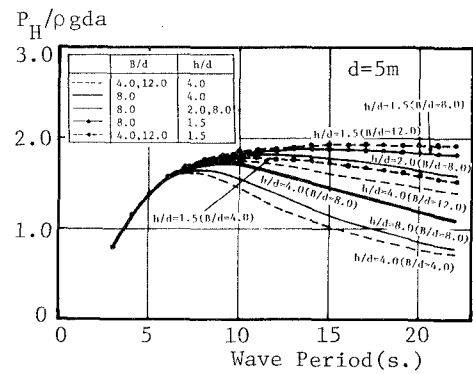


図-3 a) スウェイングの波力

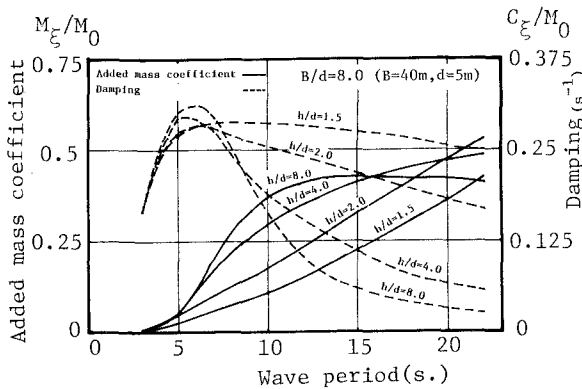


図-3 b) スウェイングの付加質量と減衰定数

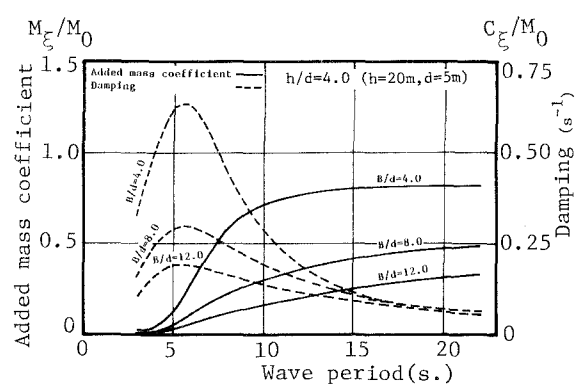


図-3 c) スウェイングの付加質量と減衰定数

4. 係留浮体の動揺特性

4. 1. 線形対称係留系の場合

図-4 は $h/d = 4$ 、 $B/d = 8$ (ただし、 $h = 20$ m、 $B = 40$ m、 $d = 5$ m) の浮体について、線形係留系に係留された浮体のスウェイングの動揺量 ξ と無係留浮体のスウェイングの動揺量 ξ_f の比を縦軸に、また、波の角周波数 ω と係留浮体の固有角周波数 ω_n の比を横軸にとって示したものである。横軸の左方は係留系のばね定数 k が大きい場合すなわち硬い係留系に対応し、反対に右方はばね定数が小さい場合すなわち柔らかい係留系に対応する。ここでは、ばね定数として $k = 1, 5, 10$ tf/m/m としたが、これらは、たとえば長さ 150 m の浮体に定反力型防舷材 (C 2000 H、20 % ひずみに対し反力が約 160 tf) を使用すると、それぞれ、約 2, 10, 20 個 取り付けたものに相当する。図中の横軸 ω/ω_n が 1.0 は波と係留浮体の固有角周波数が一致したときであるから、係留浮体は波の作用によって共振するので、係留浮体の動揺量は無係留浮体の動揺量の 4 ~ 5 倍にもなる。係留浮体の固有角周波数 ω_n は $k = 1, 5, 10$ tf/m/m に対して、それぞれ、0.179, 0.410, 0.605 となる。これを固有周期に換算すると、それぞれ、35.1, 15.3, 10.4 s となる。海洋では長周期波の周期が十数秒にもなることを考えると、浮体の規模と係留系の変位復元力特性によっては $\omega/\omega_n = 1.0$ になることは十分にありうる。図中で $\omega/\omega_n \leq 0.707$ では係留浮体の動揺量は無係留浮体の動揺量より小さくなるが、そのためには係留系のばね定数をかなり大きくしなければならない。同図の右肩に挿入した図は $\omega/\omega_n = 1.0$ または 0.707 になるようなばね定数をこの浮体に対して波周期ごとに求めたものである。たとえば、波周期 10 s に対しては、それぞれ、 $k = 10.8$ または 21.6 tf/m/m、また、波周期 15 s に対しては、それぞれ、 $k = 4.6$ または 9.2 tf/m/m となるから、 $\omega/\omega_n \leq 0.707$ になるような係留系を設計しようとすれば波周期が短いほどばね定数 k が大きい係留系すなわち硬い係留系にしなければならない。これに対し、 $\omega/\omega_n \geq 3.0$ では ξ/ξ_f はほぼ 1.0 になり、係留浮体の動揺量と無係留浮

体の動揺量はほぼ等しくなる。このようなばね定数は波周期 10 s および 15 s に対して、それぞれ、 1.2 tf/m/m および 0.51 tf/m/m であるから、かなり柔らかい係留系になる。以上に述べたことを要約すると、浮体を係留することによって浮体の動揺量は無係留浮体の動揺量よりも通常大きくなると考えてよいといえる。係留浮体の動揺量を無係留浮体の動揺量よりも小さくするためには、そうとう硬い係留系にしなければならないが、浮体の規模が大きくなるとそのような特性を持つ素材を求めることが困難になる。したがって、浮体が定常力の作用を受けて漂流しないことを条件にできるだけ柔らかい係留系にするのがよい。

4. 2. 線形非対称係留系の場合

浮体の係留系の変位復元力特性が非対称である場合には浮体の動揺は線形対称係留系の場合とは著しく異なる。

図-5 は $h/d = 0.4$, $B/d = 8$ (ただし、 $h = 20 \text{ m}$, $B = 40 \text{ m}$, $d = 5 \text{ m}$) の浮体について、無係留浮体、および、 $k_2 = 10 \text{ tf/m/m}$ として、また、 $k_2/k_1 = 1, 2, 10, 100$ として非線形対称係留浮体のスウェイングの動揺量を計算しそれらを比較して示したものである。ただし、この場合係留浮体の固有角周波数は $\omega_n = 2 / (\sqrt{M/k_1} + \sqrt{M/k_2})$ として求められるもので、いはば、みかけの固有角周波数である。同図には、浮体が線形対称係留系に係留されているとして、固有角周波数がこのみかけの固有角周波数に等しくなる

ようなばね定数を定め、その場合の係留浮体の動揺量を

計算した結果も合せて記入している。 $k_2/k_1 = 1, 2$ などのように非対称性が強くないときには ξ/ξ_F は図-4 と同一であるが、 $k_2/k_1 = 10, 100$ などのように係留系の非対称性が強いときには ξ/ξ_F は図-4 とは異なっている。すなわち、共振現象は $\omega/\omega_n = 1.0$ のときだけでなく、たとえば、 $k_2/k_1 = 10$ の場合には $\omega/\omega_n = 1.9$ 、また、 $k_2/k_1 = 100$ の場合には $\omega/\omega_n = 2.8$ のときにも起こっている。これは係留系の非対称性に起因する共振現象と考えられるが、このとき浮体は柔らかいばねの方向へ偏った長周期動揺をする。これはサブハーモニックモーションとして知られているが、船舶の係留などでは係留索のばね定数が防舷材のそれに比べて著しく小さいので、とくに長周期波が侵入する港湾では注意を要する。また、みかけの固有角周波数に対応するばね定数をもつ線形係留系として動揺量を計算した結果は図-4 と同一である。したがって、非対称係留系に係留された浮体の動揺を求める場合に、計算を簡単にしようとしてこれに対応する線形係留系を設定して計算を行うことはできない。

4. 3. 定常力の影響

図-5 は係留浮体の動揺特性に及ぼす定常力の影響を調べた結果を図示したものである。線形対称係留系については定常力は単に浮体を漂流させるだけで、動揺特性には影響を及ぼさない。そこで、ここでは、 $h/d = 4$ 、 $B/d = 8$ 、 $k_2 = 10 \text{ tf/m/m}$ として、 $k_2/k_1 = 10$ のときに、

定常力をそれぞれ $F_c = 0, 3.5, 7.0 \text{ tf/m}$ として、2.3 に示したあとの二つの係留系すなわち線形非対称係留系および非線形非対称係留系について計算を行った。ただし、非線形非対称係留系の場合には $k_3 = 0 \text{ tf/m/m}$ 、 $R_c = 10 \text{ tf/m}$ として計算した。図の縦軸はスウェイングの動揺振幅と入射波の振幅との比 ξ/a 、また、横軸は ω/ω_n 入射波の波長と浮体幅との比の平方根 $\sqrt{\lambda/B}$ である。図-5 と比べると定常力が作用することによって動揺量が減少する傾向がみられ、この計算例では $F_c = 7.0 \text{ tf/m/m}$ のときに著しい。また、非線形非対称係留系の場合にも同様の効果があることがわかる。

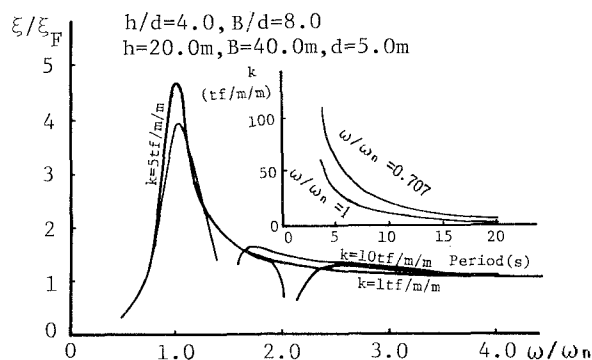


図-4 線形対称係留浮体の動揺特性

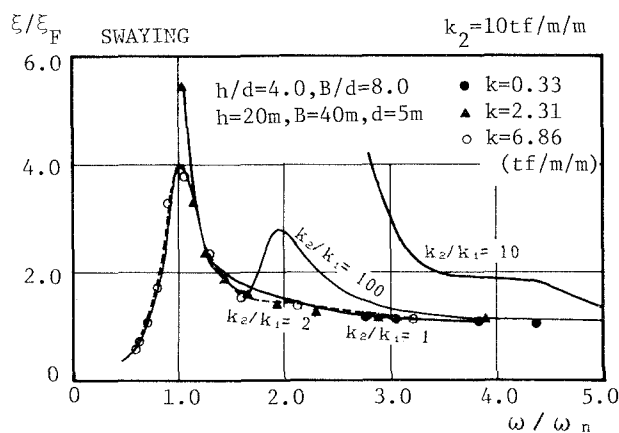


図-5 非線形対称係留浮体の動揺特性

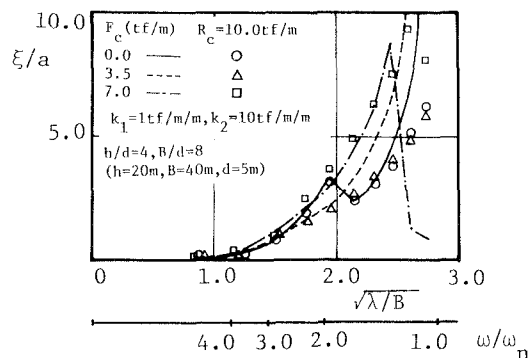


図-6 定常力が動揺特性に及ぼす影響

4. 4. 護岸の影響

浮体の背後に護岸がある場合は浮体は護岸による反射波の作用を受けるのでこの影響を調べてみる。図-7 は $h/d=4$ 、 $B/d=8$ （ただし $B=40$ m）の浮体が、ばね定数 10 tf/m/m の線形対称係留系に係留されているときの、浮体の動揺に及ぼす護岸の影響を調べた結果を図示したものである。縦軸は浮体の動揺振幅、また、横軸は護岸と浮体の中心線との距離（以下護岸距離という）である。ここでは、有義波高 $H_{1/3}=1 \text{ m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=8, 10, 12 \text{ s}$ の不規則波に対して計算を行った。図中には護岸がない場合すなわち透過性係留施設に係留された浮体の動揺量を記入して護岸の有無が浮体の動揺に及ぼす影響を比較している。護岸距離が小さい場合はスウェーイングおよびヒービングのいずれに対しても護岸が浮体の動揺に及ぼす影響が顕著であるが、護岸距離が大きくなり浮体幅の2倍以上にもなると護岸の影響は少なくなる。護岸距離に対して動揺量が増減するのは、浮体の中心線的位置が護岸前面の重複波の腹または節に当たることによる。ただし、スウェーイングは重複波の腹で小さくヒービングは節で小さいのでいずれの動揺にとっても有利になる護岸距離を見出すことは難しい。以上のことから、非透過性係留施設に係留される浮体の場合にはできるだけ護岸距離を大きくとることがよい結果をもたらすといえる。

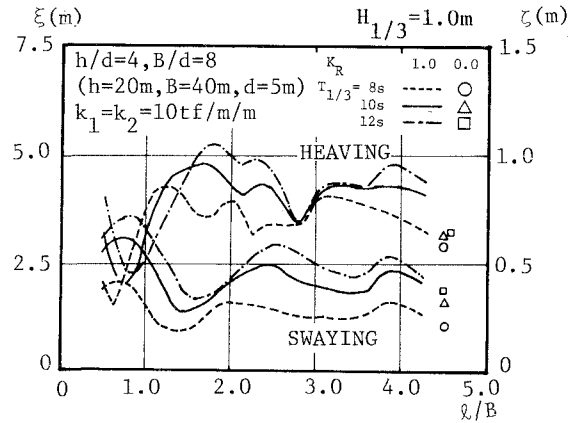


図-7 護岸距離と浮体の動揺量との関係

4. 5 タイムステップ Δt とその繰り返し回数の影響

浮体为非線形係留系に係留されて不規則な荷重作用を受ける場合の動揺計算は時刻歴解析によって求めねばならない。その場合、動揺計算結果は数値積分を行うタイムステップ Δt およびその繰り返し回数によって異なる。ここでは、時刻歴解析を求めるに当たって、安定した解を得るために必要なタイムステップ Δt およびその繰り返し回数について調べる。表-1 および 2 はその結果を示したものである。ここでは、 $h=20 \text{ m}$ に、 $B=40 \text{ m}$ 、 $d=5 \text{ m}$ の浮体が、 $k_1=1 \text{ tf/m/m}$ 、 $k_2=10 \text{ tf/m/m}$ の線形非対称係留系に係留されているとして、有義波高 $H_{1/3}=1 \text{ m}$ 、有義波周期 $T_{1/3}=12 \text{ s}$ の不規則波中の動揺量を、タイムステップ Δt を $0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.2, 1.5 \text{ s}$ として 1200 s に相当する繰り返し回数の計算を行って求めた。一般に、タイムステップ Δt が大きいと数値積分の誤差が大きくなると考えられるが、この例では、タイムステップを有義波周期の15分の1程度以下にとればほぼ安定した解が得られている。つぎに、同じ浮体について、タイムステップ Δt の繰り返し回数が動揺量の計算結果に及ぼす影響はタイムステップ Δt を 0.2 s 、繰り返し回数を $3000, 6000, 12000, 18000$ 回として検討した。この場合には繰り返し回数が 6000 回以上であればほぼ安定した解が得られている。これは数値積分の継続時間が 1200 s に相当するが、有義波周期の波に換算すると 100 波になる。ほぼ安定した解が得られているということは、この繰り返し回数の間に不規則波の最高波が出現したことと、数値積分上の誤差を招く過渡領域の影響が除去されていることを意味する。なお、この動揺計算においては数値積分をウィルソン- θ 法によって行っているが、たとえば、ルンゲ-クッタ-ギル法などのように他の数値積分法を用いる場合にはここで行ったことと同様の検討をして、適当なタイムステップ Δt とその繰り返し回数を求める必要がある。

表-1 タイムステップ Δt と浮体の動揺量の計算値

$\Delta t \text{ (s)}$	$T_{1/3}/\Delta t$	$\xi_{\max} \text{ (m)}$	$\xi_{\min} \text{ (m)}$	$\zeta_{\max} \text{ (m)}$	$\zeta_{\min} \text{ (m)}$	$\theta_{\max} \text{ (rad)}$	$\theta_{\min} \text{ (rad)}$
0.2	60	0.754	-2.40	0.649	-0.631	0.0430	-0.0478
0.4	30	0.746	-2.27	0.649	-0.639	0.0453	-0.0479
0.6	20	0.755	-2.21	0.652	-0.645	0.0473	-0.0488
0.8	15	0.761	-2.19	0.651	-0.649	0.0478	-0.0482
1.2	10	0.813	-1.99	0.632	-0.650	0.0462	-0.0486
1.0	8	0.784	-1.77	0.767	-0.816	0.0501	-0.0543

$N\Delta t=1200\text{s}$, $h=20\text{m}$, $B=40\text{m}$, $d=5\text{m}$, $k_1=1\text{tf/m/m}$, $k_2=10\text{tf/m/m}$, $H_{1/3}=1.0\text{m}$, $T_{1/3}=12\text{s}$.

表-2 タイムステップ Δt の繰り返し数と浮体の動揺量の計算値

N	T (s.)	T/ $T_{1/3}$	$\xi_{\max} \text{ (m)}$	$\xi_{\min} \text{ (m)}$	$\zeta_{\max} \text{ (m)}$	$\zeta_{\min} \text{ (m)}$	$\theta_{\max} \text{ (rad)}$	$\theta_{\min} \text{ (rad)}$
3000	600	50	0.588	-1.96	0.537	-0.532	0.0382	-0.0409
6000	1200	100	0.754	-2.40	0.649	-0.631	0.0430	-0.0478
12000	2400	200	0.754	-2.44	0.754	-0.726	0.0465	-0.0490
18000	3600	300	0.754	-2.44	0.754	-0.726	0.0502	-0.0490

$T=N\Delta t$ ($\Delta t=0.2\text{s}$.) $h=20\text{m}$, $B=40\text{m}$, $d=5\text{m}$, $k_1=1\text{tf/m/m}$, $k_2=10\text{tf/m/m}$, $H_{1/3}=1.0\text{m}$, $T_{1/3}=12\text{s}$.

4. 6. 流体力係数の影響

流体力係数は浮体が動揺することによって発生する波による抵抗力を、浮体運動の加速度および速度に比例する項に分離し、それぞれを加速度または速度で除して係数として表したものである。これらの係数を浮体の運動方程式に組み込んで数値積分を実行するので、流体力係数の値のとり方によっては浮体の動揺計算結果が異なってくる。流体力係数は理論計算によって求めることができるが、理論そのものが完全流体に対するものであるから、たとえば、粘性の影響が無視できない場合には誤差を伴う。したがって、原則として流体力係数は実験によって解の妥当性が確認されている理論計算法に基づいて求めなければならない。これとは別に先に述べたように浮体が非対称係留系に係留されている場合にはサブハーモニックモーションが生じることがあるが、その場合にはたとえ規則波中の動揺であったとしても、規則波の周期に対する流体力係数が適切でないおそれがある。また、不規則波中の動揺の場合には流体力係数として適切なものを選定する際に注意を要する。以上のことから、ここでは、理論計算で求めた流体力係数に若干の修正を加えた数値を用いて計算を行い、それらを相互に比較して流体力係数が浮体の動揺計算結果に及ぼす影響を調べた。ここでは、 $h=20\text{ m}$ に、 $B=40\text{ m}$ 、 $d=5\text{ m}$ の浮体が $k_1=1\text{ tf/m/m}$ 、 $k_2=10\text{ tf/m/m}$ の線形非対称係留系に係留されているとして、規則波中の動揺量を、付加質量または減衰定数をそれぞれ理論計算値の 0.5, 1.0, 1.5 倍、または、0.5, 1.0, 2.0 として計算して比較し、ただし、付加質量の数値を修正して計算する場合は減衰定数は理論計算によって得られた値とし、減衰定数の数値を修正する場合は付加質量の数値は理論計算によって得られた数値とした。図-9 と 10 はそれぞれ付加質量および減衰定数が浮体のスウェイングの動揺に及ぼす影響を示したものである。縦軸は ξ/a 、横軸は入射波の波長と浮体幅との比の平方根 $\sqrt{\lambda/B}$ である。付加質量が浮体の動揺に及ぼす影響は $\sqrt{\lambda/B}$ が 2.0 以下では顕著ではないが、それ以上になるとやや影響が大きくなるようにみえる。これは図-3 に示したようにスウェイングの付加質量係数は波周期が 12 s 以下では 0.3 以下というようになりかなり小さいが、12 s 以上になると 0.5 に近くなるので動揺計算における影響が現れてくるからである。これに対し減衰定数の影響はこの係留系のみかけの固有周期に近い波周期 23 s および浮体がサブハーモニックモーションを起こす波周期 12 s に対しては動揺計算結果に大きな影響を及ぼすが、付加質量係数の場合と同様に短周期波に対してはその影響は小さい。以上のことから、 $\sqrt{\lambda/B}$ が 2.0 以上になるような長周期波に対する場合や浮体の係留系の固有周期に近い波周期に対して浮体の動揺を計算によって求める場合には、理論計算によって求めた流体力係数が適切であるかどうかを十分に検討する必要がある、不安が残る場合には模型実験などを行って確認をするのがよい。

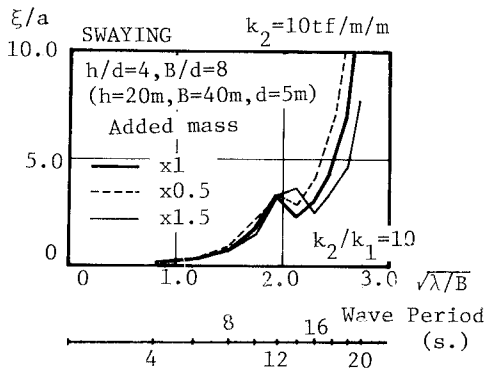


図-8 付加質量と浮体の動揺量との関係

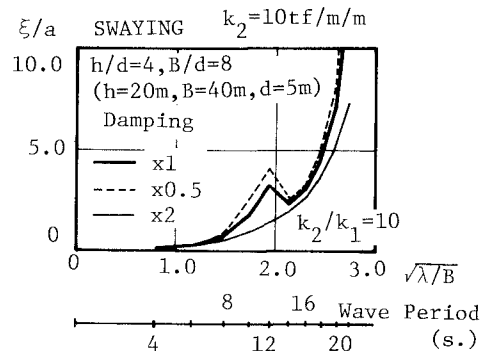


図-9 減衰定数と浮体の動揺量との関係

6. おわりに

本論文では、浮体構造物の係留システムを設計するに当たりその留意点を明らかにするために、矩形断面浮体について無係留時および係留時の浮体の動揺特性を調べ、動揺特性に影響を及ぼす諸要因とその影響について述べた。ここでは、浮体の断面形状として矩形断面のみをとりあげたが、浮体に作用する波力を抑制したり、浮体の動揺に伴う減衰抵抗力を増加させたりするために、また、浮体の復元力特性を改善したりする目的で、様々な浮体形状が考案されている。その意味では本論文は係留浮体の動揺特性とこれに影響を及ぼす要因について十分な記述をしたとはいえない。しかし、浮体構造物の係留に係わる点では、浮体の断面形状が異なる場合でも共通するところが多い。浮体構造物の係留システム設計の一助となれば幸いである。

参考文献

1. 井島武士・田淵幹修・湯村やす：矩形断面をもつ浮体の浅海波による自由運動、九大工学集報、第 45 巻第 1 号、1972、pp. 35 ~ 43
2. 伊藤喜行・千葉繁：浮防波堤の水理に関する近似理論と応用、港湾技術研究所報告、第 11 巻第 2 号、1972、pp. 47 ~ 77
3. 上田茂：係岸船舶の動揺解析手法とその応用に関する研究：港湾技研資料、No. 504、1984、372 p.