

できません。今回用いた資料でも同様の結果になると思われるます。

(2) Fig. A, B に示されているように、一定の場所の一定の季節の観測値でも年ごとの観測値の統計的特性は異なります。気象現象の変動とは、このような現象を意味します。この原因には、数年あるいは数十年で周期

的に気象現象が変化することが考えられますが、詳細は不明です。

- 1) Proceedings of the Fourth International Ship Structures Congress, Tokyo 1970, Report of Committee 1, Environmental Conditions

19 不規則波中における係留浮体の水平面内の 長周期運動の統計的予測法について

【討論】 日根野元裕 君 (1) 通常、実験値より求めた極大値には、負の値も生じると思いますが、Fig. 13 の実測値の極大値分布には負の値が示されていません。負の極大値が示されていない理由をお聞かせ下さい。

(2) Fig. 13 において、 $f_0=0.6$ と 0.7Hz の極値の確率分布を示されていますが、Fig. 11 に示されたように線形応答が長周期運動に比べて非常に小さい場合には、正規分布は適用できないのでしょうか。

(3) 極値の確率分布および最大期待値については、長周期運動の卓越した $f_0=0.6$ と 0.7Hz についての比較結果を示されていますが、その他の f_0 の値の応答に対しても、著者等の示された方法が最も実測値に近かったのでしょうか。

(4) 極値の $1/n$ 最大期待値に対しても、著者等の示された方法で、実測値を精度良く予測出来るのでしょうか。

(5) 2.2 節において、(2.2.8) 式から、常に線形応答が運動の確率分布の非対称性を増す方向に働くことがわかる、とありますが、その理由について御教示下さい。

【回答】 (1) 応答は、狭帯域スペクトルを持ち、極値の個数と平均値をクロスする個数は等しいと仮定しているため、負の極大値は無視して解析しております。

(2) 今後、検討を要する問題であると思いますが、非線形問題の場合、正規分布では、極値分布の裾の長さを表わし得ないと思われます。

(3) その他の f_0 として、 $f_0=0.4, 0.5\text{Hz}$ の場合

について解析した限りではほぼ同じような結果が得られました。

(4) 原理的には、極値分布が与えられれば、極値の $1/n$ 最大期待値は導出されますが、実測値と比較すると数多くの実験データが必要になります。従って、 $1/n$ 最大期待値が予測できるかどうかは数回の実験データを蓄積しなければ結論は得られません。

(5) (2.2.8) 式で λ_i は長周期運動を表わす固有値で C_i は、(2.2.5) 式からもわかりますように線形な応答を表わす実係数です。 λ_i の符号にかかわらず、 C_i^2 は常に正ですので、ある固定された分散値に対して C_i^2 は歪度を増加させる。

【討論】 木下 健 君 Fig. 14 の前後揺れの極大値の最大期待値の実測値について、著者は「ランダムフェイズが一樣であれば時間平均より求められる相関関数の値は標本値の中でも最も平均的な値である」と述べておられますが、Fig. 14 の場合も同様の事が言えて、1つの標本の値が最大期待値に近いと言えるのでしょうか。すなわち大きい波が最初には来ないで後から段々やって来るという根拠があるのでしょうか。

【回答】 今回得られたデータはたとえ長時間のデータであっても、統計的には一標本にすぎず、その標本から求められる最大期待値も一標本にすぎません。Fig. 14 は、最大期待値の推定値と最大期待値の一標本を比較したものです。

20 規則波を受ける鉛直パイプの揚力評価と応答解析

【討論】 佐尾邦久、石寺 博 君 (1) フレキシブルライザー或いは係留ケーブルの如く剛性の極めて小さい線状構造についても同様の手法で解析可能と考えられますが、揚力による内力の増大の程度については鋼管と同程度でしょうか、或いは大きな差があるのでしょうか。

(2) 特定の一波周期に対する分割要素数及び計算時間はどの程度でしょうか。

(3) 設計の初期段階に於いて自励振動を簡易的に(詳細な時系列計算を行わずに)評価する方法についてはいかがお考えでしょうか。

(4) 不規則波への応用についてはどのようにお考えでしょうか。

【回答】 (1) 剛性の極めて小さい線状構造についても、本研究で用いたと同様の手法で解析することは、基本的に可能であり、また、興味ある問題だと考えています。

しかし、鋼管との比較となると、回答するに十分な情報は現在持ち合せていません。

(2) 要素の分割数は7、時間刻みは0.015秒で、1400ステップ計算しました。演算時間は東京大学大型計算機センター M280H で2分30秒程度です。

(3) 本研究で対象としている渦励振では、運動に伴う付加的揚力を考慮していないので、自励振動の範ちゅうには入らないと考えています。簡易評価法についてですが、現状では未知の部分が多いので、現象の理解が先決だと考えています。

(4) 揚力モデルを不規則波へ応用することは、可能であり、ぜひとも試みてみたい研究題目だと考えています。

【討論】 榎木 亨、後野正雄君 (1) 揚力の2倍、3倍周波数成分と波の位相差について(4)、(5)式で表現されているが、この式では $\pm 90^\circ$ 、 180° の位相差しか表せない。一方榎木らの実験では2倍周波数成分に対しては 50° 、3倍周波数成分では -45° という結果をえているが、この位相差の異なりについて如何お考えでしょうか。

(2) 図7及び図8において計算結果と実験値は同程度のピーク値をもち、同様の分布をしていることから結論において同調時の変位が実験と計算で一致していると述べられている。しかし波動場の共鳴現象をとり扱う時構造物の固有振動周期と波の周期の比は重要なパラメーターと考えられ、同調周期のずれが非常に大きな意味をもつものとする。このずれを考慮すれば計算と実験の差は、図7で2倍、図8では5倍の差差となり同調時の計算に剛なパイプの C_L を用い得るとは結論づけることに無理があるのではないのでしょうか。同調周期を一致させた上での両者の比較をするべきと考えますが如何でしょうか。

【回答】 (1) 位相差を揚力モデルの式で考慮することは可能です。波周期の2倍で揚力が作用する場合を例にとると、関数 $f(H)$ を除く部分(交番する矩形波になる)で基本的な揚力変動が作られます。次に、 $f(H)$ によって1つ1つの矩形波をなめらかな波形にフェアリングするのですが、この際に、 $f(H)$ をある値 h ($|h| \leq 1$)で始まり、1に達した後 $-h$ に至る関数とすることにより、位相を加味します。波が規則波で構造の変位が小さな場合には、このように複雑な手順を踏む利点は余りありませんが、ランダム波の場合には流体と構造要素の相対運動が複雑に変化するため、揚力を正弦波の重ね合わせとして表現することは難しくなると考えています。位相については、榎木らの結果を参考にした上で、本研究の結果に基づいて、零として計算を行ない実験とよい相関を得ています。

(2) 構造物の固有周期を算定する場合に、付加質量の評価が結果に大きく影響するので、実験と計算で同調周期に差が生じるのはやむを得ないと考えています。従って、同一波周期における応答どうしを比較するよりは、同調時の応答どうしを比較する方が、この程度と同調周期のずれの場合には良いと考えています。

【討論】 三沢敏夫君 (1) 固有周波数、同調振幅の推定を行う場合、付加質量(VIRTUAL MASS)の取り扱いが問題点の一つとして考えられますが、今回の動的応答解析では、どのような付加質量分布を仮定し、その影響を算入されたのか御教示下さい。

(2) Fig. 7で $3\omega_W$ の場合の Transverse Displacement Amplitude および in-line Displacement Amplitude が同調周期近傍で実験値と計算値とで、あまり一致度が良くない理由の一つに、この付加質量に対する仮定の不具合が影響しているのではないかと思います。如何でしょうか。

【回答】 (1) 付加質量係数、抗力係数についてはSarpkaya(参考文献(2)または(4))の結果図から、局所の KC 数、 Re 数の関数として読み取りました。揚力係数については吉田ら(参考文献(8))の結果図から局所 KC 数の関数として読み取りました。

(2) 波周波数の3倍の周波数で揚力が作用する場合について、計算と実験で一致度が悪いのは、御指摘の通り付加質量の評価が大きな原因の1つと考えています。また、波周期が2.5秒にもなると、造波機能力の限界近くにあるため、計算上仮定している波形と実際の波形にずれが生じている可能性もあります。

【討論】 影本 浩君 (1) 式中の $f(H)$ について、位相を含めた関数 $f(H)$ の具体的な形はどのようなものですか。

(2) Fig. 7, Fig. 8について、試験体Bのみならず、試験体Cについて揚力方向変位の同調周期がモデルと実験で少し異なっているように見える。これらの同調周期のずれは、モデルの剛性、付加質量などの推定誤差によるのでしょうか。あるいは、他の原因が考えられますか。試験体Cについては、応答解析に用いた減衰が実際よりも小さいとされていますが、揚力方向変位の同調時の振幅量を比べるとよく一致しており、減衰はむしろ適当であったと考えられないのでしょうか。応答計算に用いられた減衰の具体的な考え方、値はどのようなものですか。

【回答】 (1) 榎木亨氏、後野正雄氏への回答の(1)を御参照下さい。

(2) 御指摘の通り、同調周期のずれの一因に付加質量の評価の問題があると考えています。考慮した減衰は、モリソン式および接線方向力中の、相対速度の自乗に比

例する抗力項のみです。試験体先端は複雑な形状をしており、この部分に起因する抗力、特に、その周波数依存性については不明な点が多いので、波周期1.4秒で生じた実験と計算の差は、この点を評価しなかったことによると考えました。

【討論】北見 鎭一 君 (1) Fig. 9 において、波に対する揚力方向変位の位相差が、計算と実験で逆になっています。この原因として、本論文の計算では、 n を上向き正にとるとすると、相対速度直交方向を指示する方向ベクトル (Fig. 2 の A) が、揚力方向を相対速度の方向に対し必ず左に指定するためと考えられます。

渦の掃き出しが左右いずれから発生しはじめても、単一パイプの応答の場合は定量的に問題ないと思われますが、ジャケットのように複数パイプから成る構造物の場合には、運動応答・構造応答でそれぞれ安全側の揚力推定を行うために、方向ベクトルの符号をコントロールすべきと思います。

(2) 下端自由の鉛直パイプの波による波直交方向の変位 (内力) を設計的に評価する場合には、準静的な方法があれば便利と考えます。この場合、動的影響を考慮した等価な揚力係数 (C_L') は、剛体パイプで得られている揚力係数 (C_L) の何倍程度をとれば良いかが KC 数、パイプの固有周期との関係で整理されている必要があります。もし、整理されていれば御教示下さい。

【回答】(1) 御指摘の通り、単一パイプの場合に、渦の掃き出しは左右いずれから発生してもよいという自由度がありますが、複数のパイプから構造が成っている場合には、渦の掃き出し方向が特定される等、相互干渉の影響が無視できないので、別途の評価法、解析法を用いた方が良いと考えています。

(2) 準静的に、内力、変位を評価する場合に、動的影響を考慮した C_L' として、揚力係数 C_L の何倍を用いたらよいかとの質問に関しては、吉田ら (参考文献 (8)) の結果で、同調時に4ないし5という値が得られています。

【討論】伊藤 壮一 君 (1) (1) 式で、右辺第2、第3項は、相対運動を考慮した慣性力項と述べられています。そうであれば、第2項についても

$$\rho A (\dot{V}_N - \dot{v}_N)$$

とは考えられないでしょうか。

(2) Fig. 7, Fig. 8 とともに、2倍、3倍の周期の同調点が、計算と実験の結果で異なっていますが、主な原因は何だと考えれば良いでしょうか。

【回答】(1) (1) 式は相対運動を考慮したモリソン式で、第2項がフルード・クリロフ力を表わしており、これで正しいものと考えています。例えば、物体を固定し、 $v_N = \dot{v}_N = 0$ とすれば、

$$f_N = -\frac{1}{2} \rho C_D D |V_N| V_N + \rho A C_M \dot{V}_N$$

流入が静止していれば、

$$f_N = -\frac{1}{2} \rho C_D D |v_N| v_N - \rho A (C_M - 1) \dot{v}_N$$

となります。

(2) 同調周期が実験と計算でずれている原因については、付加質量係数の評価が大きく影響しているものと考えています。

【討論】中村 孝幸 君 (1) 揚力の定式化について；揚力の定式化に当っては、入射波との関連において①揚力の周波数特性、②揚力の大きさの特性、③揚力の出現位相の3つの点を考慮して行う必要があると考えます。論文著者らの提案しておられる(3)式は、波の倍周波数の揚力成分あるいは波の3倍周波数の揚力成分が各々卓越する条件下では、式(4)あるいは式(5)を介して上記の①より③までの特性を踏まえた定式化と言えますが、倍周波数および3倍周波数の揚力成分が混在するような条件下では、両成分の線形重ね合わせが不可能なため適用が困難で、一般性のある定式化とは言い難いと考えられますがいかがでしょうか。そして、Fig. 7, 8に見られるような応答変位に関する実験値と予測値との差異には、上述したような揚力の定式化の不十分さということが大きく影響しているのではないかと推測されそうです。いかがでしょうか。

討論者も揚力の定式化については、過去において検討しており、上述した①より③までの特性に加え、揚力の出現の不規則性までも考慮した定式化を行っています。波の4倍周波数の揚力成分まで含めた各成分揚力の重ね合わせが可能な式となっております。この式の応答予測に関する適用性を是非御検討いただければと思います。

(2) 揚力係数 C_L の増大現象について；著者らは、共振応答下における揚力係数 C_L の増大現象の主たる理由として、動的な効果による見かけの揚力の増加によるものとしておられます。しかしながら、現象論的に検討しますと、揚力の発生は円柱背後に形成される非対称な渦パターンに原因されるものであることが世界的に認められており、後流渦の形成パターンが静止円柱と運動円柱では異なることによって C_L の増大現象が出現したものと考えられます。この検証の一例として討論者は、波動運動下の可撓性円柱まわりに形成される後流渦の同期現象について実験的に確認しており、従来報告されているような C_L の増大現象は、主として形成される渦パターンの相違などによる流弾性効果によるものではないかと考えますがいかがでしょうか。

【回答】(1) 本研究では、同調時の応答に関心を寄せたため、波周波数の2倍、3倍で作用する揚力成分を、それぞれの卓越する領域に分け、別個に取り扱いました

が、両者の混在する場合には、各成分について(4)(5)式を適用し、和をとることにより可能です。生じている誤差はむしろ同調周期のずれによるもので、主に、付加質量の評価に起因するものと考えています。

(2) 著者らの理解では、厳密には、変動流中で運動する円柱に作用する揚力は、運動と流れの相互干渉によって変化し、当然、静止円柱に作用する揚力と異なると考えています。

くると考えています。しかし、静止円柱に作用する揚力からの、運動に伴う増加分が無視し得る場合には、相互干渉を無視してもかまわず、また、そのような場合があり得ると考え、本研究を行った結果、ここで対象とした例については、流弾性効果を考えずとも、生じている現象を十分説明できるとの結論に達した次第です。

22 振動水柱型波浪発電装置の最適タービン径と回転数について

【討論】 鈴木正己 君 (1) 同一タービンでは、位相制御による効率向上をどの程度期待できるか。

(2) 同一効率で考える時、位相制御することにより直径はどのように変化するか。

【回答】 (1) Fig. D1 に示してある○, △, □はそれぞれ、位相制御なしの場合の最適径のタービンに対して、位相制御を加え、高速回転を保つ限界に回転数を調節した時の、 η_1 , η_2 , η_T です。位相制御なしの場合の最適径のタービンでは、タービン径を変える事なく、位相制御により効率向上は期待できません。

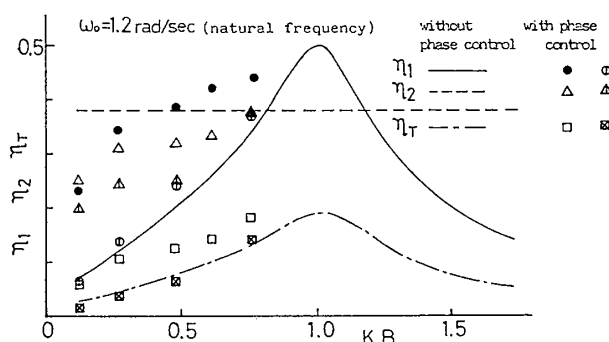


Fig. D1 Efficiency of primary energy conversion, turbine and final energy conversion

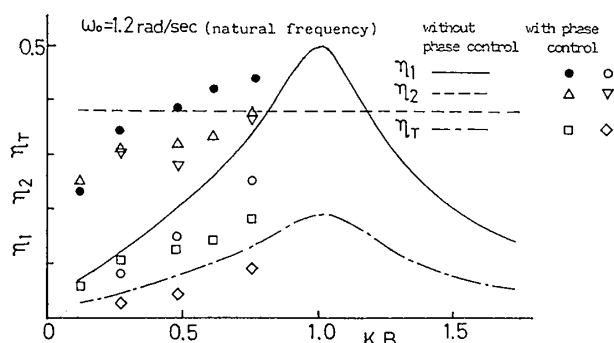


Fig. D2 Efficiency of primary energy conversion, turbine and final energy conversion

(2) Fig. D2 に示してある○, ▽, ◇はそれぞれ、位相制御なしの場合の最適タービン径の0.7倍の半径のタービンに対して(1)と同様に位相制御を行った時の η_1 , η_2 , η_T です。この結果、タービン径を小さくする

と位相制御を加えてもその効率は最適径の時より低下してしまいますので、タービン径を小さくすることはできないと思います。

【討論】 鷲尾幸久 君 (1) 著者らが行われたシミュレーションにおいて、空気流位相制御を行った場合、エネルギー吸収効率を向上させるには、タービン径の増大が必要であることを示されておられますが、空気流位相制御無しの場合のタービン径のまま、位相制御を行った場合のエネルギー吸収効率の一例がありましたら教えてください。

(2) 実機において、著者らがシミュレーションにおいて行われた運転方法(タービン回転を高速域に保つ限界になるようにした上で、 η_1 が最大となる)を実施することは可能と考えられるか教えてください。

【回答】 (1) 鈴木正己氏への回答の(1)を御参照下さい。

(2) 実機の運転の場合、可変なパラメータは回転数のみですから、シミュレーションの最適化の手順は適用できません。もし位相制御のタイミングを可変としますと何らかの最適化が可能となると思います。

【討論】 堀田平 君 最適タービン径に関する計算例として、Table 1 に規則波中における波周波数に対する値を示していますが、不規則波中におきましてはこれらの値をどのように取り扱ったら良いか教えてください。例えば、設置海域における卓越波周期もしくは波エネルギーのピーク周期を規則波の周期に相当するとして良いのでしょうか。

【回答】 その通りですが、実際の設計の際は水柱に生ずる造渦損失を考えて本計算の最適値より少しタービン径を小さく、回転数を大きく取る方が良いと思います。さらに製作コストも考慮する必要がある場合もあると思います。

【討論】 大西公平 君 Fig. 4 で、位相制御を行った場合に、負荷ばね値が負側に移行する部分がで、これが、Fig. 6 で示されるように、結果的に η_T を大きくしている。負荷ばね値が負側に移行する部分について、 η_T に関する最適値はあるか。もし、あれば、それを実現す