

招待論文
INVITED
PAPER

招待論文

港湾水理学の最近の諸問題

RECENT TOPICS OF HARBOR HYDRAULICS

榎木 亨

Toru SAWARAGI

正会員 工博 大阪産業大学工学部土木工学科教授
(〒574 大阪府大東市中垣内 3-1-1)

Key Words : harbor tranquility, ship motion, shoaling of harbor, effect of long-period waves

1. 緒 言

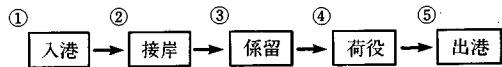
港湾水理学という言葉があるかどうか著者は明確ではない。ここでいう港湾水理学とは港湾建設に当って生じる水理学問題といった程度に理解して頂きたい。当然港湾水理学には波の予知、波の変化、構造物の波に対する安全問題、周辺海域に及ぼす流れの変化、水質変化、漂砂の変化など海岸水理学と重複する問題も多く、またこれらの諸問題についてはわが国においては大学、官庁の研究所において精力的に研究が進められ、わが国の研究レベルの高さは世界各国が認めるところである。

したがってここで特に港湾水理学と銘うってタイトルとした理由は、港湾（漁港も含む）特有の抱える水理学的な問題と御理解賜りたい。では港湾特有の問題として何があるかということであるが、著者の過去に手がけた研究課題から以下に述べる2課題について解説しその残された問題点を指摘していきたい。なおここで述べる問題点は個々に既に発表されたものが多く、それらについては参考文献を明記しておくのでそれを参照して頂ければ幸である。

2. 港湾における船舶の安全性の強化

(1) 港の静穏度

港湾における水理問題でよく使われている言葉に「港内の静穏度」がある。断るまでもなく港湾の最も重要な機能は船舶が容易に入出港でき、安全に貨物の積み下ろしができることである。従来この機能の指標として港内波高が用いられてきたが、著者らがある港に調査に向いた時、港内は鏡の様に静穏であるにも拘らず荷役が不能である状況に遭遇した。聞けば船が動揺して荷役がで



図一 港における船舶の挙動の5つの phase

きないとのことであった。先に述べた様に港湾が利用施設である以上、港内波高のみで港湾の良否を定めるのに静穏度の指標とすることが無理であることをこの時初めて痛感したが、この様に著者に港湾を利用者の立場から問題点を洗い直す目を開かせてくれたのは、昭和48年当時研究生として大阪大学に内地留学してきた神戸商船大学の久保雅義教授であった。それ以来久保教授との協同研究で港内静穏度を船舶の係留問題としてとらえ、船体動揺している場合の荷役限界を明らかにしようと試みた¹⁾。しかしながら船体動揺の限界値が船型別、積載貨物の種類等により異なり、また取扱う業者の主観的評価も入り精確な基準値が確定できていない。今後この船体動揺の限界値の確率が、この船体動揺からみた静穏度の評価の適用に関しては是非解決しなければならない問題といえよう。

さらに港における船の出入港問題を著者ら²⁾は船舶の入港時から出港時までを5つの phase に分けてその対策についての考え方を示し、港湾計画における船体運動問題の位置づけを明確にした。すなわち、港における船舶の挙動は図一に示すような5つの phase に分類することができる。この5つの phase には、それぞれ入港限界、接岸限界、係留限界、荷役限界、出港限界という船体運動の解明が必要であり、この phase のいずれかにおいて、その限界値をこえることがあると港としての船舶に関する機能は失われてしまう。先に述べた係留船の動揺問題は図一の③及び④の phase に関する研究で

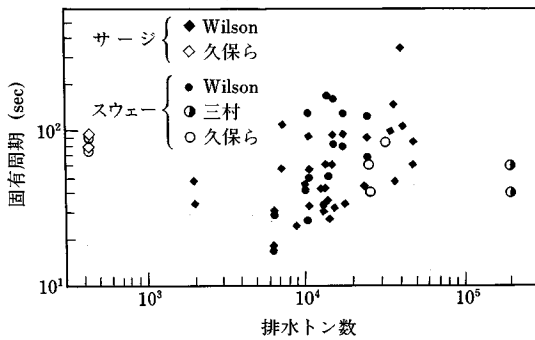


図-3 船の大きさとサージ、スウェーの固有周期の関係

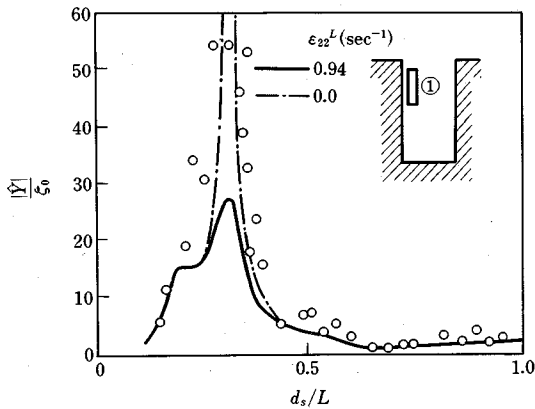


図-4 係留された船のサージ運動

に依存するのでなく、短周期波の不規則性に基づく変動漂流力(スロー・ドリフト・オシレーション)や、フェンダーのパネ定数と係留索のパネ定数の相異に基づく係留力の著しい非対称のために生じる場合(サブ・ハーモニック・モーション)もあるが、ここでは長周期波に基づく長周期の船体動揺をとりあげる。

長周期波の発生原因の一つに湧水、湾内振動が挙げられる。この湧水振動による長周期船体運動の解析については、対象係留(フェンダーのパネ定数と係留索のパネ定数がほぼ同じ場合、あるいは船の両舷から同等に同じ係留索で係留されている場合)の場合について、既に著者ら⁹⁾は解析をして図-4のような結果をえている。ここに ϵ_{22}^L は船の自由振動より得られる減衰係数であり、 d_s は水域の長さ、 L は波長、 \hat{Y} はサージの振幅、 ζ_0 は入射波の振幅を表す。この図は、ある波長の波において極めて大きい振幅増幅率を示しており、このような港湾形状を計画することの危険性を示唆している。またこの図において実験値(○印)は自由振動より得られた減衰係数の曲線(実線)とはピーク付近では一致せず、減衰係数の決定に問題があることを示している。

このような大きな船体動揺をもたらす長周期波の発生

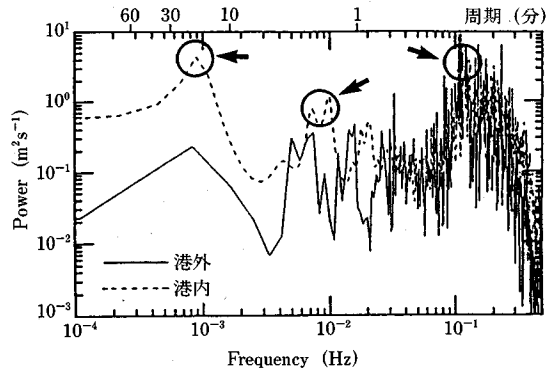


図-5 港外・港口部の流速パワースペクトル(松本らより)⁸⁾

要因については宇野木⁵⁾は次の様な要因を列挙している。

- (a) 波高の変動性(波群構造)に起因する長周期波
- (b) 微気圧変化に起因する長周期波
- (c) エッジ波としての長周期波の伝播

このうち(b)の原因による長周期波は雷雨や前線などが洋上に存在する場合に発生することを中野⁶⁾が指摘している。(c)は大陸棚縁辺に沿って反射を繰返すエッジ波の伝播を指し、沿岸域におけるエッジ波の存在は加藤⁷⁾によっても確認されている。

近年の長周期波に関する研究は(a)の要因に対するものが多く、砕波帯内の浅海領域の長周期波と砕波帯より沖側領域の長周期波にわけて考察されている。

砕波帯内の長周期波についてはサーフ・ビートと呼ばれる砕波帯付近の平均水位の長周期変動について、水口⁸⁾が構造そのものに起因するもの、波群構造と地形との干渉による自由波、波群構造を持つ波の砕波により発生する自由波の3つの成因を指摘し検討を加えている。また菅原、神瀬⁹⁾は漁港内での振動現象を港外で砕波する波の不規則性によって生じたエネルギー差に起因するものとしてとらえ実験的に明らかにした論文を発表している。

砕波帯より沖側領域の長周期波については、波浪の非線形干渉によって生じる数分周期の波動の発生をHarselmann^{10), 11)}らが波浪推算の研究過程で理論的に示しており、また波群構造に伴う強制波として非砕波帯の長周期波の観測事例が関本¹²⁾らによって報告されている。榎木ら¹³⁾は群波による長方形湾の長周期振動について実験的に検討し、これは群波の浅水変形過程で発生した長周期自由波によるものと推定している。さらに松本ら¹⁴⁾は千葉県飯岡漁港の現地観測において港外及び港口部に設置した流速計により図-5に示すようなパワースペクトルを得た。この図より図中丸印で示した様に港口部(点線)では3つの周波数帯においてピークを持つこ

とが示されている。すなわち 10 秒付近の周期帯、1~3 分の周期帯、20 分前後の周期帯である。しかも 1~3 分、20 分前後といった長周期の周波数帯では港外の流速エネルギーより港内の流速エネルギーの方が大きい。10 秒前後のピークは風浪によるものであるが、1~3 分、20 分前後のピークは先述した長周期波によるものと推定できる。

このように沿岸域での長周期波の存在は明らかであるが、この長周期波の発生原因は先に述べたようにいろいろであり、またその発生機構も充分解明されていない。船体動揺ひいては港湾計画の上からも長周期波発生機構の早急な解明が望まれる次第である。

(3) 2 浮体間の動揺問題

今回の阪神大震災において神戸港の岸壁の 95 % 以上が被災を受け、陸上輸送路が不通となった上海輸送も災害直後は殆ど不可能となった。この時浮体式棧橋形式の K-CAT が稼働していたことを知る人は地震防災対策用に大型の浮橋の建設を考えた人も多いと思う。さらにまた船舶の大型化にともなう大水深域、軟弱地盤地帯への港湾荷役施設の整備を考えると今後大型の浮体式係船岸の構想が実現する可能性は大きい。

このような浮体式係船岸の建設は、本体自身が 1. で述べた船舶の動揺問題と同様の問題点と、さらに、この浮体式係船岸に船舶が係留されるという 2 浮体間の動揺問題が解決されるべき問題点として挙げられよう。またこの 2 浮体間動揺問題は現在でも各港で行われている経岸船のはしけ荷役、沖荷役におけるはしけ荷役の効率化にも適用でき、今後の港湾計画に重要な示唆を与えるものと考えられる。さらに各地で計画されているマリーナ計画においても、現在用いられているマリーナの設計基準は、従来の比較的静穏な地域に建設されてきたマリーナの経験から出されたものであり、係留ヨット間の動揺によるマストの絡み合いや、動揺によるボートの接触事故を考慮に入れたものではない。今後外洋に面した海域にマリーナ計画がたてられる場合には、2 浮体間動揺も考慮した泊地計画が必要となる。

しかしながら現在までのところ 2 浮体動揺の解析は殆ど行われておらず、短周期波による定常動揺問題として解いた斉藤¹⁵⁾の研究成果の他、Kim¹⁶⁾、Ohkusu¹⁷⁾、Kim and Fang らの研究があるにすぎない。

ここで 2 浮体の相対動揺特性に関して斉藤の研究成果¹⁵⁾を要約して紹介しておこう。すなわち岸壁のない透過状態（沖荷役を想定）及び岸壁に係留された 2 浮体の動揺（経岸船舶のはしけ取りを想定）の 2 つの場合について 2 次元、3 次元の理論解析ならびに水理実験を行い、つぎの結果を得た。

(a) 岸壁が浮体動揺に及ぼす影響：2 浮体の透過側

に岸壁がない場合は、波の入射側の浮体は単独の船体動揺と殆ど同じであるが、波の透過側の浮体は rolling の固有周期 T_{Rn} よりも短い周期で、単独浮体の動揺より小さい動揺を与える。一方岸壁がある場合は、動揺の周期特性にいくつかの山及び谷があらわれ、岸壁の存在は浮体動揺に大きく影響する。

(b) 2 浮体の相対動揺に及ぼす諸要素の影響：岸壁前面に設置された 2 浮体の相対動揺に関して 2 浮体間の間隔の影響は殆どないが、岸壁と浮体との距離（離岸距離と称する）の影響は大きくあらわれる。しかしいずれの場合も入射波の周期 T と浮体の固有周期 T_{Rn} の比 T/T_{Rn} が 1.0 に近いところで他の場合に比較して著しい動揺を示す。

(c) 2 浮体動揺に及ぼす波の入射角の影響：岸壁がある場合の 2 浮体に波が斜めから入射する場合は、相対動揺は大きく影響をうける。したがってこのことは波の入射角を考慮してバース位置を選定すると、経岸荷役におけるはしけ取り荷役は容易となることを示唆している。

しかしながら斉藤の研究では単体浮体で解析され問題提起された不規則波中の非線型係留された場合の解析や、長周期相対動揺などの研究は今後の研究課題として残されており、実際に浮橋を用いて荷役を行うに当たっては、浮体式係船岸と係留船の係留装置の開発とその効果の確認など解決すべき問題点は多い。

(4) 係留システムの改善

本章 (1) で述べた様に、港の効率的利用をはかる改善策として、船側からみた対策の一つとして係留システムの改善（係留索、フェンダーの改良）があげられる。

(1) でふれた係留索のパネ常数とフェンダーのパネ常数の相違により生じるサブ・ハーモニック・モーションを防ぐ手法として、著者らは¹⁹⁾係留方法を非対称係留を対称係留に変換させることを提案し、係留システムにダッシュポッドを取り付けた具体的効果を発表している。このダッシュポッドの取り付け位置に関しては係留索に取り付けた場合と、フェンダーにダッシュポッドを併設した場合とがある。いずれもダッシュポッドのエネルギー減衰力を利用したもので、ダッシュポッドの初期にも反力を持つ特性及び低反力、大ストロークの特性を利用したものである。図-6 は係留索にダッシュポッドを取り付けた場合のロール運動に対するダッシュポッドの効果を示したもので、図中 a は船幅の $1/2$ 、 $\hat{\Omega}_y$ は y 軸を中心としたロールの回転角の振幅、 ζ_0 は入射波の振幅、 T は入射波の周期、 T_{Rn} は船のロールの固有周期を示す。著者らはロール以外の船体運動のうちスウェー、ヒープについても検討を加えたが、図-6 と同様明確にダッシュポッドの効果が表われている。

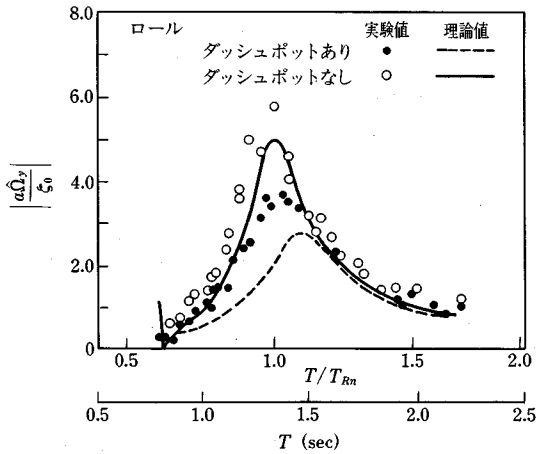


図-6 船体動揺に及ぼすダッシュポット付着の効果（ロールの場合）

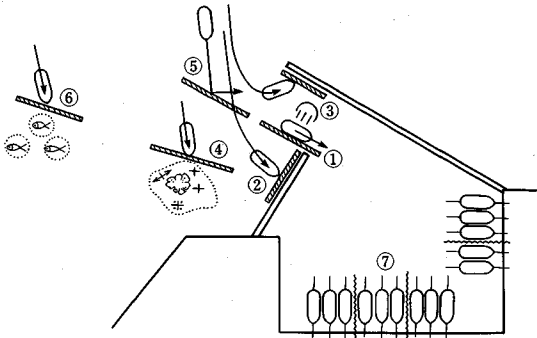


図-7 支援ガイドの設置位置

またフェンダーにダッシュポットを組み込むことによる低減効果については著者ら²⁰⁾は数値シミュレーションにより検討している。しかしながらこれらの研究においては不完全な部分も数多く残されているが、港湾施設整備として、係留システムの改善が現実実施されるようになれば、その研究も発展していくものと期待される。

(5) 港口部の安全性の確保について

a) 入港船舶援助施設

図-1に示した船舶の挙動の5つの phaseのうち、従来①の入港船舶に対す安全施設については何ら考慮されていなかった。しかしながら従来より港口部付近は荒れ易く入港をさまたげられて沖待ちする場合も多い。特に小型船舶である漁船においては、荒天時の帰港基準が未整備のため入港時の港口での事故が多発している。久保ら²¹⁾の調査によると、漁船の海難事故の場所別発生件数は、鳥取県においては漁場から港口への帰港中の事故が25.7%となっている。この値は操業中の海難事故件数である37.8%につぐ2番目の事故発生率である。

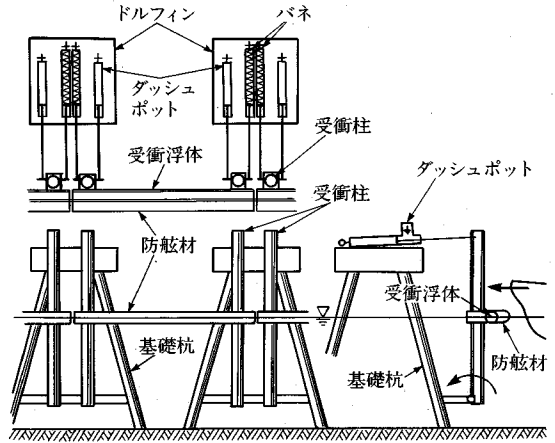


図-8 支援ガイドの概念図（久保らより）²²⁾

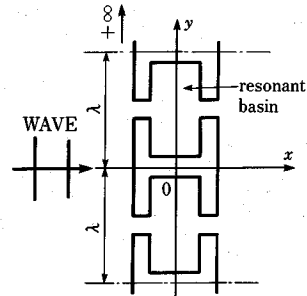
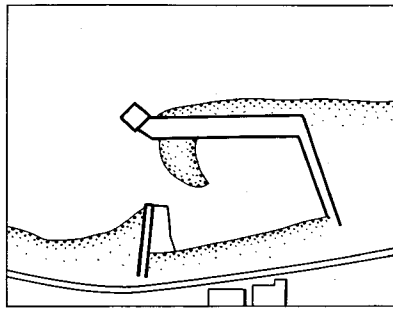


図-9 防波堤開口部の共振装置（中村より）²³⁾

これらの現状を改善するために、久保らは荒天時入港の安全性確保のための施設「船舶入港支援ガイド」の開発に努め一連の研究論文²²⁾を発表している。それによると、久保らは図-7に示すような位置に図-8に示すような支援ガイドを設置して入港時の船舶の衝突防止を提案している。すなわち、図-7の①のように港口部での入港船舶の漂流を防ぐ他に、②③④⑥のように港口付近の防波堤・岩礁・養殖施設との衝突防止、⑤の港口部における変針補助、⑦の港内避泊時の漂流防止を目的としている。この支援ガイドの機能確認はすでに実験の段階は終了、現在実船実験を実施中であり、その成果の発表が待たれるところである。

b) 防波堤港口部の改良

a) は船側からの入港条件に対する改善策であるが、直接的に防波堤の港口部の形状を変化させて港内入射波の低減をはかろうという試みが近年中村ら²³⁾によって行われている。これは図-9に示すように防波堤に大きな切り込み部を作り、これを共振泊地 (resonant basin) として透過波の低減をはかろうとするもので、電気回路におけるフィルター理論を応用した計算法を示している。この発想と同様の手法は久保・青木²⁴⁾らによって既



図一10 港口埋没の例



図一11 港内埋没の例

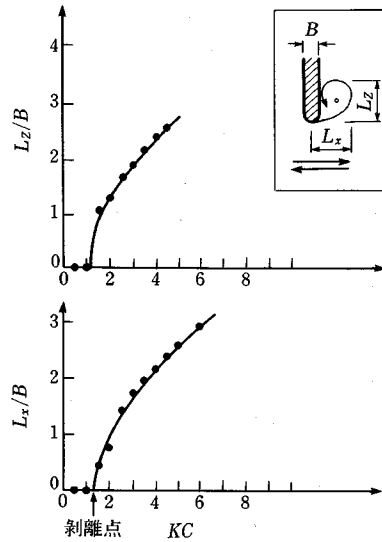
に発表されているが、その当時は共振泊地の規模も小さく十分な結果が得られなかった。中村ら²³⁾はさらに共振泊地に低反射壁を設置した場合についても解析を進めているが、従来何ら工夫されていない港口部形状を工夫すれば侵入波の低減を示すことができる研究として今後の港口部改良計画に重要な指針を支えるものといえよう。

3. 港湾埋没問題

2.においては港湾機能の面からの水理的な諸問題について述べてきた。本節では港湾機能を消失せしめる港湾埋没についての問題点を明らかにしていこう。

(1) 港湾埋没のメカニズム

国内の港湾（特に漁港）においてみられる港湾埋没は図一10にみられるような港口埋没が多い。この漂砂堆積メカニズムは防波堤に沿って移動する風浪によって生じる海浜流に伴う漂砂移動が、防波堤の遮蔽部において輸送能力が低下し遮蔽領域の港口部で堆積するというメカニズムで説明されてきた。しかしながら図一11に示すような大量の港内埋没は上述の風浪のような短周期波による砂の移動では説明できない。それは松岡ら²⁵⁾が



図一12 KC数の変化に伴う渦の大きさの変化 (Tuncらより)²⁶⁾

行った水理模型実験及び数値実験において外力を10秒、波高1mの風浪を用いる場合には、風浪によって生じる海浜流は港内に向かう成分が極めて微弱であることから明らかである。この港内埋没のメカニズムを明らかにするため中山ら²⁶⁾は飯岡漁港において現地調査を実施し港内埋没要因として、(a)防波堤先端部において発生する渦、(b)図一5において示した長周期の流速成分を指摘した。

(a)の防波堤先端部に形成される渦は、中山らの観測によると10~20mの径を有し、100~120秒の周期をもつことが明らかにされたが、これは(b)の長周期(周期1~3分)の流速に連動しており、同時に高濃度の浮遊漂砂領域を構成していることも報告されている。尚現地で観測された渦は10秒前後の風浪によって発生した渦も観測されたが、渦のスケールとしては長周期波による渦の方がかなり大きいと述べられている。

この防波堤先端部の渦の形成についてはTuncら²⁶⁾の研究がある。これによると渦の大きさはクールガン・カーペンター数(KC数 $=U_m T/B$;ここに U_m は防波堤先端部での底部水粒子速度の最大値、 T は周期、 B は防波堤の幅)の増大と共に急激に大きくなり図一12の様な結果をえている。

また先端部での洗掘深さについても流れの効果とKC数の効果を実験的に求めているが、それによると流れが存在すると洗掘は増大し、KC数が増加すると、同じ波、流れ条件でも洗掘は増加する。この洗掘量と先に述べた高濃度を示す浮遊砂との関係は十分に明らかにされていないが、渦が底質を巻き上げ高濃度浮遊砂領域を形成し、

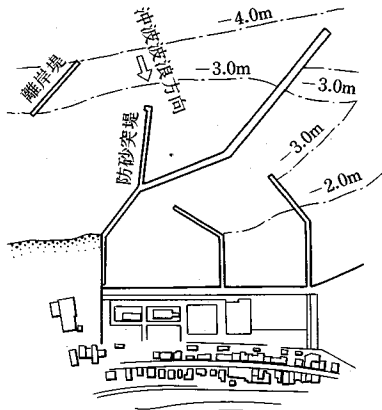


図-13 港内埋没対策の一例

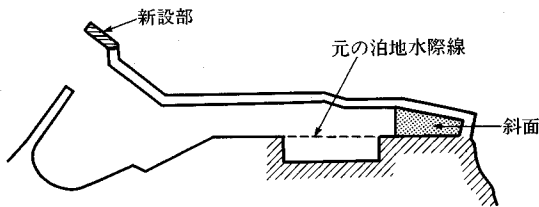


図-14 茨崎港の港内埋没対策防止法(石原・岩垣・野田より)²⁸⁾

その浮遊砂が図-4で示した長周期の流速で港内に輸送沈澱し港内埋没の原因と考えてもおかしくない。しかしこの先端部の渦の形成及び浮遊砂群形成のメカニズムについては殆ど研究が行われておらず今後残された課題といえよう。

(2) 港内埋没に及ぼす長周期波の効果

港内埋没に長周期波が大きく寄与するであろうことは先に述べたが、長周期を示す港の港内振動が港内埋没の原因であることを解明し、具体的にその対策工法までも示した研究が石原・岩垣・野田²⁸⁾によって既に1961年に行われている。また速水²⁹⁾は1950年に泊漁港の埋没原因として湾水振動による海面変動であろうと推定している。しかし以上の人々は長周期波を港内振動、湾内振動によるものとしていること、ならびに浮遊砂の巻き上げ機構の解明がなされていないため、松本ら⁸⁾、及び中山ら²⁶⁾の指摘した1~3分程度の周期をもつ長周期流速成分、あるいは防波堤先端部の渦形成の効果を解析に考慮されていない。

松岡は³⁰⁾松本ら⁸⁾の現地観測で得られた長周期流速成分を考慮した新しい港内堆砂モデルを構築して数値シミュレーションを行うと同時に、従来の短周期波(波高3m, 周期10秒)のみによる変形シミュレーションも行い、両者を実測結果と比較することによって、外力に

長周期波成分を考慮しないと港内埋没量は説明できないことを示した。そして港内の堆砂メカニズムにおいては潮汐と海浜流による流れ以外に港湾セイシュによる長周期の流速場を考慮することにより港口部での地形変動(実測値)の予測精度が向上することを明らかにした。

この様に港内埋没を予測するためには入射波に含まれる長周期波の通年の変動特性を把握する必要があり、港湾形状を計画する場合(防波堤の延長, 新設計画等)港湾セイシュの検討の必要性が漂砂移動の面からも重要と考えられる。

(3) 港湾埋没対策

以上述べてきた港湾埋没対策として従来は浚渫あるいは図-13に示すような港外における離岸堤, 防砂突堤の設置による対策が行われている。しかしながら離岸堤, 突堤は海浜流による漂砂移動に伴う港口部の堆砂防止には効果はあるけれども、(2)で述べた長周期波に伴う港湾埋没には効果があるとは考えられない。このような堆砂防止としては石原・岩垣・野田²⁸⁾が茨崎港で示した図-14のような対策が、(2)で述べた長周期波による港内堆積を防止する方法として今後の対策に大きな示唆を与えるものといえよう。すなわち茨崎港においては港の平面形状を若干変えるとともに、一端に斜面を設け港内セイシュを抑制する方法である。

また(1)で述べた防波堤先端部での渦の抑制方法も、渦に伴う浮遊砂の巻き上げを抑えることから効果のある方法と考えられるが、現在のところ全く研究がなされていない。防波堤の形状に対する工夫あるいは底質の置き換えなどもその対策工法として今後検討していく必要がある。

4. 結 語

以上港湾水理学に関して著者が近年取り扱った話題について紹介するとともに今後の研究課題を示した。しかしながら港湾水理学としては港内水質の浄化対策, 底質浄化対策など環境面から検討すべき話題は多い。これについてはまた稿を改めて論じたい。最後に本文を掲載できるよう配慮して頂いた編集委員会の方々に御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 榎木亨, 久保雅義他: 荷役限界からみた港内静穏度に関する研究, (第1報~第3報他), 海岸工学講演会論文集(第24回~第27回, 第29回~第31回), 1977~1980, 1982~1984.
- 2) 榎木亨, 青木伸一: 港内係留船の波浪動揺の予測とその低減化, 土木学会論文集, No. 438, II-17, pp. 81-90, 1991.
- 3) 榎木亨, 久保雅義: 係留船体運動からみた港内静穏度の

- 算定について，一般体運動の低減法一，港湾，港湾協会，Vol.13, pp.73-77, 1983.
- 4) 樫木亨，久保雅義：湾水振動に伴う長周期船体運動の実証的研究，日本航海学会論文集，65号，pp.49-57, 1981.
 - 5) 宇野木早苗：港湾のセイシュと長周期波について，第6回海岸工学講演会論文集，pp.1-11, 1959.
 - 6) 中野猿人：低気圧に伴う潮汐副振動ならびにウネリに就て，気象集誌，pp.140-154, 1939.
 - 7) Katoh, K. : Analysis of edge waves by means of empirical eigenfunction, *Report of Port and Harbor Research Inst.*, Vol.20, No.3, pp.3-51, 1981.
 - 8) 水口優：浅海域の長周期波について，1994年度水工学に関する夏期研修会講義集，Bコース，土木学会水理委員会，pp. B-3-1~B-3-15, 1994.
 - 9) 菅原輝男，神瀬哲：砕波による港内水位の上昇及び港内水位の振動特性に関する研究，農業土木試験場報告，第14号，pp.145-182, 1976.
 - 10) Hasselman, K. : On the non-linear energy transfer in a gravity wave spectrum, Part 1, *J. Fluid Mech.*, 12, pp.481-500, 1962.
 - 11) Hasselman, K. : On the non-linear energy transfer in a gravity wave spectrum, Part 2, *J. Fluid Mech.*, 15, pp.271-281, Part 3, 15, pp.385-398, 1963.
 - 12) 関本恒浩，清水塚三，鶴飼亮行，坂野雅人，近藤浩右：非砕波領域におけるサーフビートの現地観測，海岸工学論文集，第38回，pp.91-95, 1991.
 - 13) 樫木亨，青木伸一，高田雅行：波群特性の異なる不規則波中での係留浮体の運動および非線型流体力の特性について，第33回海岸工学講演会論文集，pp.561-565, 1986.
 - 14) 松本朗，松岡道男，中山巖，山本潤，灘岡和夫，八木宏：中小港湾埋没機構の解明に向けての長期連続現地観測の試み，海岸工学論文集，第40回，pp.491-495, 1993.
 - 15) 斉藤勝彦：2浮体動揺よりみた港内静穏に関する基礎的研究，大阪大学博士論文，1991.
 - 16) Kim, C. H. : The hydrodynamics interaction between two cylindrical bodies floating in berm seas, *Sea Grant Report NOAA-2-35249*, Stevens Inst. of Technology, 1972.
 - 17) Ohkusu, M. : Ship motions in vicinity of a structure, *Proc. Int. Conf. on Behavior of Offshore Structures*, The Norwegian Inst. of Tech. Vol.1, pp.284-306, 1976.
 - 18) Kim, C. H. and Fang, M.C. : Vertical relative motion between two adjacent platforms in oblique waves, *Jour. of Energy Resorces Tech.*, Vol.107, pp.455-460, 1985.
 - 19) 樫木亨，久保雅義，青木伸一：Dash-potによる短周期船体運動の低減化に関する一考察，日本航海学会論文集，66号，pp.127-135, 1982.
 - 20) 樫木亨，久保雅義，青木伸一：係留システムの改善による船体運動および船舶の接岸エネルギーの低減化，第30回海岸工学講演会論文集，pp.460-464, 1983.
 - 21) 久保雅義，斉藤勝彦，岡田学：漁船の入港問題の現状について，日本航海学会論文集，87号，pp.39-46, 1992.
 - 22) 久保雅義，斉藤勝彦他：漁船の入港援助施設に関する基礎的研究他（海岸工学論文集，第37巻～第41巻）1990～1994.
 - 23) 中村孝幸，望月仁，仲子敏史：フィルター理論に基づく共振装置型堤体列の波浪制御効果について，海岸工学論文集，第41回，pp.621-625, 1994.
 - 24) Kubo, M., S. Aoki and J.J. Avitia Segura : Attenuation of wave induced oscillation in ports by improving the condition at the harbor entrance, *Proc. of Int. Conf. on Coastal Eng.*, ASCE, pp.2934-2951, 1984.
 - 25) 松岡道男，木下勝尊，山本正昭，森口朗彦：長周期水理特性を考慮した港内堆砂モデルの適用性の検討，海岸工学論文集，第38回，pp.416-420, 1991.
 - 26) 中山哲巖，山本潤，松岡道男，池田正徳，竹内聖一，灘岡和夫，八木宏：中小港湾港口部に発生する水平大規模渦についての現地観測，海岸工学論文集，第41巻，pp.321-325, 1994.
 - 27) Tunc, G., Sumer, B.M. and Fredsoe, J. : Scour around the head of vertical-wall breakwater, *Proc. HYDRO-PORT '94*, pp.1097-1116, 1994.
 - 28) 石藤藤次郎，岩垣雄一，野田英明：栂崎港の漂砂調査について，京大防災研究所年報，第4号，pp.221-236, 1961.
 - 29) 速水頌一郎：泊港湾の漂砂に関する研究，鳥取県漂砂対策調査報告書，pp.35-50, 1950.
 - 30) 松岡道男：中小港湾の港内埋没に及ぼす長周期波の影響に関する研究，大阪大学博士論文，1994.

(1995.10.23 受付)