

長周期波の設計への反映に関する 取り組みの現状と課題

VISION AND PROBLEMS FOR REFLECTION OF EFFECTS OF LONG-PERIOD WAVES INTO DESIGN OF COASTAL FACILITIES

関本恒浩

Tsunehiro SEKIMOTO

正会員 博(工) 五洋建設株式会社 技術研究所 (〒329-2746 栃木県那須郡西那須野町四区町1534-1)

The long-period waves have been researched in recent years because of its importance in the various problems of coastal engineering, such as long-period oscillation, long-period motions of moored vessels, sediment transport, wave-overtopping and stability of coastal structures. Importance of long period waves have been well recognized, however, its reflection of effects of the long-period waves into design of coastal facilities is not sufficient.

In this paper, we review previous researches on the long period waves and consider the problems in the reflection of effects of long-period waves into design of coastal facilities.

Key Words : long-period waves, design, coastal facilities, wave-overtopping, sediment transport, long-period oscillation, slow drift motion of moored vessels

1. はじめに

長周期波は、数十秒から数時間を有する周期帯の波動の一般名称であるが、ここでは周期数分程度の長周期波を対象としている。長周期波は1950年前後にはじめて観測され^{1),2)}、海岸工学上の未解決課題と位置づけられたのは意外と古い。しかしながら、その後20年ほどの間は、波群による長周期拘束波の存在が示された程度で、長周期波に関する研究はあまり進展を見なかった。1970年代後半になって現地観測による現象の理解が試みられたものの理論的な解明が十分に進展しなかったため、十分な成果が得られなかった。1980年代に入って、砕波帯内でのサーフピートの発生理論が提案され³⁾、長周期波発生のメカニズムに関する研究の糸口が見いだされたことや、WKB法を用いて長周期波を解析的あるいは数値的に検討する手法が発展されたこと⁴⁾などによって理論的な下地ができた。1990年代になると海岸や港湾に関わる諸現象が長周期波と深く関わってきていることが現地観測などによって明らかにされ、工学的重要性が認識されるようになった。最近では、非常に精度の良い水理実験が行われるようになるとともに、電算機の進歩によりBoussinesq方程式等の数値解析手法が実用化されたことにより、現象面と理論面の整合性がある程度詳細に議論できるに至り、応用的な研究も精力的に取り組まれるようになった。

この周期帯の長周期波の問題は、港内副振動、係留船舶の動揺、海浜変形、護岸や防波堤の安定性など海岸工学上のさまざまな問題と関連することが知られている。しかしながら、長周期波の重要性は認めつつも、設計などへの反映が、現在十分に進んでいないとの印象が強い。本研究では、既往の文献や被災事例に基づき、長周期波の設計への反映状況を概観するとともに、その取り組みのための課題について考察した。

2. 長周期波による被災事例

まず、既往文献に見られる周期1～数分程度の長周期波が関与したと考えられる被災事例を抽出した。長周期波が関係したと報告されている災害事例が非常に少ない。この理由は、①長周期波の発生や伝播などの現象の理解が十分でなかったため、長周期波の重要性の認識が薄かったこと、②長周期波が顕著になるような条件では、波浪も非常に大きく、高潮も同時に起こる可能性が高いため、高波や高潮が直接的な被災原因としてクローズアップされ、長周期波の影響が見過ごされてしまうこと、③これまでの波浪観測では高波浪時に波浪データの欠測が多く、被災時の波浪条件の検討が詳細かつ十分に行えないことなどが考えられる。

表-1は、既往の文献より抽出した被災事例の一覧

表-1 長周期波が影響したと考えられる被災事例

	地点	状況	出典
越波	富士海岸	TP+13mの護岸を越波, 死者10数名	佐藤ら ⁵⁾
	楚州海岸	DL+7.5mの護岸を越波, 10kNの根固打上げ	仲座ら ⁶⁾
	駿河海岸	背後地の浸水	佐藤ら ⁷⁾
	西湘海岸	約1kmにわたり100m ³ を超える砂の打ち上げ	佐藤ら ⁸⁾
	下田港海岸	背後地の浸水 (越流水深0.5~1.0m)	平石ら ⁹⁾
防波堤の安定	前泊港	全区間 (300m) のケーソンが滑動, 消波工飛散	仲座ら ⁶⁾
	仲田港	230m区間の消波ブロック (20kN) 飛散	仲座ら ⁶⁾
	荅北港	200m区間のケーソンが滑動	田中ら ¹⁰⁾
水位上昇	港川漁港	港内係留船舶の流出・破壊	仲座ら ⁶⁾
	八重根漁港	港内冠水による冷蔵施設の浸水	清水ら ¹¹⁾
船体動揺	能代港	92~94年にかけて係留索切断3回	平石ら ¹²⁾
	苫小牧東港	85~94年にかけて係留索切断25回	平石ら ¹³⁾
	志布志港	90~94年にかけて係留索切断20回, 防舷材破損2回	平石ら ^{12), 13)}

を示したものである。以下にこれらの被災事例について長周期波の影響とした判断根拠を簡単に解説する。

(1) 越波被害

越波災害では従来の設計法の範囲内では、越波流量を説明できず、それ以外の現象を考慮しなければならないことが指摘されている。富士海岸の被災時は、沼津港の潮位計で長周期波が観測されたことより、長周期波の影響が指摘されている。また、その他の地点では目撃者の証言により、数分の周期で越波が繰り返していたということや被災時の打上げ高や越波流量の追算結果から、長周期波の影響であることが推論されている。

(2) 防波堤の安定

防波堤の被災についても、越波の場合と同様に、従来の設計法では防波堤が不安定になる要因が見当たらず、設計で考慮されていない外力が作用したと結論されている。このうち荅北港の防波堤の被災に対しては、防波堤前後の長周期波を静水圧的に与えることによって、被災時の滑動安全率が1を下回ることを示し、長周期波の影響があったとする根拠としている。また、仲座ら¹⁴⁾はリーフ地形を再現した水理模型実験を実施し、リーフ上では長周期波が段波状に伝播し、防波堤などの構造物に大きな波力が作用することを確認している。

(3) 港内水位上昇

ここに示した港内の水位上昇による港内の冠水被害は、漁港という比較的小規模な範囲を対象としており、長周期波の水位変動が直接寄与している可能性は高いが、港内副振動とも関係していると考えられる。港川漁港の被災では、漁港内に残された水位の痕跡が、観測波浪に基づく高山らによるリーフ状の水位上昇量評価式では説明できないことから長周期波の影響であると推測している。また、八重根漁港の被害については、水理模型実験および

Boussinesq方程式による数値解析によって、平均水位が岸壁を超える様子を再現し、長周期波の影響を明らかにしている。

(4) 船体動揺

ここに示した被災事例については、長周期船体動揺発生メカニズムはほぼ解明されており、外力である長周期波と係留系の固有周期が一致することによって大きな船体動揺を生ずることが、現地観測や数値解析などによって検証されている。また係留船舶の動揺は、長周期波の港内の特性とも関連しているため、当然港内副振動とも関連しており、被災状況の確認の再、港内副振動の検討が併せて行われているものもある。

なお、長周期波による荷役障害は、潜在的にはもっと多いものと推測されるが、被災事例として報告されているのはほんの一部に過ぎないと考えられる。

3. 長周期波に関する研究の状況と設計への取り組みの現状

(1) 入射長周期波

入射長周期波の波高や振幅を評価しようとする試みは長周期波の発見当初からあり、Munk¹⁾やTucker²⁾によって、長周期波の波高は入射波高の1割程度であることが示された。その後、合田¹⁵⁾によって入射波の外力特性と関連づけた一般性のある経験式が提案され、山口・畑田¹⁶⁾、Katoh¹⁷⁾などによってこの式の妥当性が検討されている。Bowers¹⁸⁾は、解析的扱いの容易な方向分布関数を用いた解析と現地観測結果に基づく検討を行い、非線形拘束波および自由長周期波の有義波高を推定する式を提案している。また、渥美ら¹⁹⁾、山村・青木²⁰⁾、堀沢ら²¹⁾は、長周期波の有義波高は、基本波の有義波高と有義波周期の積にほぼ比例することを示している。これは、Bowers¹⁸⁾が示した自由長周期波の推定式とほぼ同じ

傾向となる。しかしながら、比例定数は観測地点によって異なり、一般性のあるものとはなっていない。一方、スペクトル的には、平石ら²²⁾によって、長周期波の標準スペクトルが提案されている。これは、長周期波のスペクトルを矩形で近似しようとするものである。しかしながら、この方法も長周期波のエネルギーレベルすなわち波高の決定には任意性があり、一般性のあるものとはなっていない。

関本ら²³⁾や佐藤ら²⁴⁾をはじめ、観測される長周期波は、ローカルな波浪と相関があることが示されており、その海域で波浪と関連して発生していることは明らかである。このことを踏まえ、中畑ら^{25), 26)}は、波浪および長周期波の方向分散性を考慮して水深20mにおいて長周期拘束波のエネルギーを長周期波の入力情報として与えることによって、海域の長周期波を定量的に精度良く評価できることを示している。

以上のレビューより、入射波としての長周期波の特性は明らかになりつつあるが、設計に用いられるような一般的な評価法はいまだ確立された方法がないというのが現在の状況である。

(2) 越波および打ち上げ高

平石ら⁹⁾は、下田港海岸における越波災害を、長周期波を考慮して緩傾斜上の打上げ高を評価することによって説明している。また、越波流量に関する検討も行い、長周期波の越波に及ぼす影響が非常に大きいことを例証している。このときの長周期波の評価は、合田による経験式¹⁵⁾が用いられている。

また、佐藤ら^{7), 8)}も西湘海岸および駿河海岸における越波災害を説明するため、長周期波を考慮した打上げ高の計算を行い長周期波が越波に支配的であることを明らかにしている。ここでの長周期波の評価は、現地観測結果およびこれを元に2次元の線形長波理論解による推定値を用いている。

これらの研究では、被災時の状況を定性的に評価しているに過ぎず、打上げ高さや越波流量に対する検証は現状では十分に行われているとは言いがたい。したがって、現状では長周期波の影響を設計に反映させるまでには至っていない。しかしながら、数値波動水路を用いた越波の検討²⁷⁾では、波高と越波流量を関連付けた従来の越波評価法でも、長周期波による平均水位を適切に評価すれば、越波流量を適切に評価できることが示唆されており、越波や打ち上げ高に対して平石らや佐藤らの評価手法の設計への適用の可能性はあるものと考えられる。

越波や打ち上げ高に関する設計図表や設計公式には、不規則波実験に基づくものもあり、不規則波実験の際に付随的に発生する長周期波が含まれる。このため、結果として設計図表や設計公式の中にある程度は暗黙のうちに長周期波が考慮されているものと考えられるので、長周期波を考慮する際には注意が必要である。

(3) 堤体の安定性

長周期波が構造物の安定性などに影響することが、喜岡²⁸⁾、喜岡ら²⁹⁾、仲座・日野⁶⁾、仲座ら³⁰⁾、関本ら³¹⁾、清水ら^{32), 33)}により示唆されているものの、系統だった研究は現在のところほとんど実施されていない。

(4) 港内副振動

長周期波の港内副振動については、まずBowers³⁴⁾が港口の狭い港湾に波群とともに入射した長周期波の挙動を理論的に調べている。また、喜岡ら³⁵⁾、Mei・Agnon³⁶⁾は外洋に面した矩形港湾における長周期波の応答特性を、またWu・Liu³⁷⁾は港口が2本の防波堤で遮蔽された矩形港湾を対象とした理論解析を、multiple-scale法を用いて行っている。

一方で、波動方程式による数値的な評価も行われている。関本ら³⁸⁾によれば、防波堤背後では波浪が回折によって急激に減衰するため、拘束波はほとんどそのまま自由波に置き換わることが理論的に示されており、港口での長周期波が適切に評価できれば、線形長波方程式による解法も比較的精度良く港内の長周期波を評価できる。また、強制項にラディエーションストレスを考慮した線形長波方程式を用いた検討が喜岡ら³⁹⁾により、Boussinesq方程式を用いた港内副振動の検討が、金山ら⁴⁰⁾、喜岡・柏原⁴¹⁾、藤畑ら⁴²⁾、Cruzら⁴³⁾などによって行われている。また、喜岡・柏原⁴⁴⁾、藤畑ら⁴⁵⁾によって入射波の多方向性も考慮できるようになっており、精度の良い解析が可能となっている。入射波条件や境界条件の設定法についてはさらに検討が必要と考えられるものの、実務ですでに設計などに用いられており、実用段階であるといえる。

(5) 船体動揺

船体動揺に関連する既往の研究を以下に概観する。まず、仙台南港については、200,000DWT級船舶の棧橋での係留可否記録結果および波浪観測記録をもとに、波群統計量や長周期波と係留可否状況の関係について検討が行われている⁴³⁾。

苫小牧東港では、港内長周期波の特性と船体動揺に関する現地観測の実施⁴⁴⁾、荷役限界長周期波高の評価と港外の長周期波高を推定するための経験式の提案^{45), 46)}および長周期波対策として、係留索の変更による長周期動揺の抑制や防波堤レイアウトの変更による長周期波に対する稼働率の評価¹⁹⁾といった長周期波に対する検討が継続的に実施されている。

田端らは能代港において波浪の現地観測と線形長波理論に基づく数値計算を実施し、港内副振動と船体動揺の関係を明らかにしている⁴⁷⁾。

九州電力荅北火力発電所専用港湾においても現地観測による長周期波の評価、船体動揺を考慮した荷役限界波高の算定、Boussinesq方程式による港内波浪評価および数値シミュレーションによる船体動揺量の精度良い評価法の提案が行われている^{48), 41), 49)}。

鹿島港についても、同様な現地観測と検討が行わ

れ、他地点と同様に港外から港内への長周期波の伝播特性が調べられるとともに、係留系の固有周期と長周期波の周期が同調することによって船体動揺が大きくなることが示されている⁵⁰⁾。

白石ら⁵¹⁾も、係留船舶の長周期動揺に関する現地観測をもとに、数値シミュレーションによる観測結果の再現を行っている。

このように、船体動揺に関しては長周期波の港内への伝播も含め、数多くの研究が進められており、港口での長周期波が与えられれば船体動揺量を定量的に評価することが可能となっている。このように長周期波に関する問題の中でも最も積極的に設計への取り組みが行われており、すでに実務設計レベルにあると考えられる。

(6) 海浜変形

Bowen・Inmann⁵²⁾は、エッジ波によって三日月型砂州が生じ、沿岸方向の波長がエッジ波の波長の1/2となることを理論的に導いている。Short⁵³⁾は北アラスカにおいて、Katoh¹⁷⁾は石川県羽咋海岸において長周期波によって沿岸の多段砂州が形成していることを示している。また、松岡ら⁵⁴⁾は、漁港内の航路堆砂問題について長周期波の寄与があることを指摘している。長周期波による流速変動自体は非常に小さいため、上述のいずれについても長周期波が漂砂の直接の外力とはならず、基本波の碎波などによって浮遊状態となった砂が、長周期波によって移動・堆積するとされている。

一方、長周期波が漂砂現象に直接影響するとされているものもある。柴山ら⁵⁵⁾や佐藤・光信⁵⁶⁾は局所漂砂量に及ぼす長周期波の影響が大きく、特に汀線付近で大きいことを示している。高波浪時のバームの侵食と長周期波の関係については、加藤ら⁵⁷⁾によって検討されており、バームの侵食には長周期波が直接関係することを示すとともに、バーム侵食限界と侵食域上部に位置する堆積限界について外力条件と関連づけて評価している。

Dibajniaら⁵⁸⁾は、シートフロー漂砂におよぼす長周期波の影響を調べており、シートフロー漂砂の場合、長周期波が存在すると漂砂量が一般的には大きくなるが、拘束波が卓越する場合には減少する傾向があることを示している。ただし、基本波と長周期波の位相状態によっては漂砂量が増える場合があることも同時に示している。

漂砂現象におよぼす長周期波の影響については、

未解明な部分がいまだ多く残されているといえる。

4. 長周期波の設計への取り組みに対する課題

これまでの考察を踏まえ、長周期波の設計への取り組みに対する課題を整理する。まず、ここまでの研究現状と実務への反映状況を把握するため、表-2のような整理を行った。この表の列は左より、各現象毎にその主要因、主要因に対する長周期波の寄与の割合をオーダーで表したものの、各現象を設計において評価する際の主要因に対するオーダーを表したものの、および設計における評価量に対する長周期波の寄与度のオーダー、すなわち相対的な長周期波の寄与度を大まかに示したものである。なお、設計の際の評価オーダーは、現状における評価精度とみなすこともできる。これによると、構造物の安定性および海浜変形は、設計精度に対する相対的な長周期波の寄与度が小さい。それ以外は、両者はほぼ同じオーダーとなる。この結果と被災事例を比べると、構造物の被災についてはリーフ上の特殊なケースを除くと、既往文献では1事例しかなく、越波や船体動揺が複数事例あることを説明できる。また、後者は既往の研究事例が多く、この多くの研究成果に支えられて現状において実務レベルにあり、設計への展開が可能な事項でもある。すなわち、長周期波の現象への寄与に対して、解析精度が十分でなければ設計への反映が難しいことを表している。

したがって、実用レベルにあるものは今後どんどん設計に取り入れていくべきであるし、そうでないものは解析精度を上げる努力をする必要があると考えられる。以下に本検討を踏まえた長周期波の設計への取り組みにおける現状と課題について列挙する。

- ①入射条件としての長周期波をどのように評価するかについては、十分に研究が進められているとは言えない。すなわち、現状では観測に基づき経験的に決められた、海域毎の予測式に頼っているのが現状である。これは、浅海域での長周期波の挙動が十分に解明されていないことによる。
- ②越波や打ち上げ高に関しては実用段階に近いと言える。しかしながら、不規則波実験をもとにした設計図表や設計公式には長周期波の影響が含まれるため、長周期波と基本波の重合の際に、両者の位相条件によって大きく結果が異なる可能性があり、設計の精度が要求される場合には、その評価が今後の課

表-2 長周期波に関係する現象の長周期波の相対的寄与

現象	主要因	長周期波の寄与度	設計における評価オーダー	長周期波の相対的寄与度
入射長周期波	波浪・波群	2次	1～2次	1～2次
越波・打ち上げ	波浪	2次	2次	1次
構造物の安定性	波浪	2次	1次	2次
港内副振動	長周期波	1次	1次	1次
船体長周期動揺	長周期波	1次	1次	1次
海浜変形	波浪・海浜流	2次	1次	2次

題と考える。

③港内副振動の増幅メカニズムについては、拘束長周期波から自由波への転換課程などが明らかにされ、港口での長周期波情報が与えられれば定量的に予測可能なレベルまで到達している。したがって、海域に対応する長周期波の経験的な予測が可能などころでは、十分に設計への反映が可能である。

④係留船舶の長周期動揺については、港内波浪場が評価できれば、定量的に評価できるレベルとなっており、③と同様に海域に対応する長周期波の予測が可能などころでは、設計への反映は十分可能といえる。

⑤海浜変形に及ぼす影響については、漂砂に及ぼす長周期波の影響も含め、現状としては定量的には評価できていない。海浜変形については、現状では設計を議論できる段階ではないと言える。

⑥構造物に及ぼす影響については、研究として十分に進んでいるとは言えないのが現状である。ただ、波浪に比べ波長が1オーダー長いから、長周期波が正確に評価できれば、潮位と似た扱いができると考えてもよい。

5. 終わりに

設計という観点からみた長周期波に関連する項目として、①入射長周期波の評価、②越波、③構造物の安定性、④港内副振動、⑤係留船舶の長周期動揺、⑥海浜変形等について、既往の研究および被災事例をレビューし、設計への取り組みの現状をまとめた。また、この現状を踏まえ、長周期波の設計への反映に関する課題についての考察を行った。ここで、最も気になるのが入射長周期波の評価である。現状では入射長周期波評価法で確立されたものはない。しかしながら、入射長周期波はすべての現象の入力となるものであり、この評価法を確立することが長周期波の設計への展開に向けて急務と言える。

参考文献

- 1) Munk, W.H. : Surf beats, *Trms. A. G. U.*, Vol.30, No.6, pp.849-854, 1949.
- 2) Tucker, M.J. : Surf beats : sea wave of 1 to 5 min. period, *Proc. Roy. Soc. London, Ser.A*, Vol.202, pp.565-573, 1950.
- 3) Symonds, G., D. A. Huntley and A. J. Bowen : Two-dimensional surfbeat : long wave generated by a time-varying break point, *J. Geophys. Res.*, Vol.87, No.C1, pp.492-498, 1982.
- 4) Foda, M. A. and C. C. Mei : Nonlinear excitation of long-trapped waves by a group of short swells, *J. Fluid Mech.*, Vol.111, pp.319-345, 1981.
- 5) 佐藤昭二・森平倫生・入江 功・谷本勝利：駿河湾海岸踏査報告，港湾技術研究所報告，第6巻，第7号，pp.1-70，1967.
- 6) 仲座栄三・日野幹雄：リーフ地形海岸におけるBore状サーフビートによる災害の実態調査，第35回海岸工学

講演会論文集，pp.202-206，1988.

- 7) 佐藤慎司・小杉俊夫・加藤憲一・口石孝幸：西湘海岸における台風9720号による海岸災害とその原因，海岸工学論文集，第45巻，pp.326-330，1998.
- 8) 佐藤慎司・河野龍男・諸田 勇・桜庭雅明・加藤俊夫：駿河海岸における台風来襲時の波浪特性と越波実態，海岸工学論文集，第46巻，pp.766-770，1999.
- 9) 平石哲也・末松忠敬・楠瀬洋・島元民男・鈴木善光・榊原弘・殿最浩司：緩傾斜護岸の波の打ち上げ高および越波に及ぼす長周期波の影響に関する現地調査，海岸工学論文集，第45巻，pp.671-675，1998
- 10) 田中征夫・溝辺 哲・岡部光成：茶北地点9119号台風災害の原因究明と復旧対策，電力土木，No.242，pp.81-89，1992.
- 11) 清水琢三・金山 進・服部 武・武藤亮介・高木伸雄・二見耕左：漁港内の長周期波に関する現地観測，海岸工学論文集，第41巻，pp.61-65，1994.
- 12) 平石哲也・田所篤博・藤咲秀可：港湾で観測された長周期波の特性，港湾技術研究所報告，第36巻，第3号，pp.3-36，1996.
- 13) 平石哲也・白石 悟・永井紀彦・横田 弘・松渕知・藤咲秀可・清水勝義：長周期波による港湾施設の被害特性とその対策工法に関する調査，港湾技研資料，No.873,39p,1997.
- 14) 仲座栄三・津嘉山正光・日野幹雄・大城 勉：波群津波の津波波力に関する研究，第35回海岸工学講演会論文集，pp.597-601，1988.
- 15) 合田良実：浅海域における波浪の碎波変形，港湾技術研究所報告，第14巻，第3号，pp.59-106，1975.
- 16) 山口正隆・畑田佳男：波浪に伴う長周期波の統計的特性について，第30回海岸工学講演会論文集，pp.148-152，1983.
- 17) Katoh, K. : Multiple longshore bars formed by long period standing waves, *Rept. Port and Harbour Res. Inst.*, Vol.23. No.3, pp.3-46, 1984.
- 18) Bowers, E.C. : Low frequency waves in intermediate water depths, *Proc. 23rd ICCE*, pp.832-845, 1992.
- 19) 渥美洋一・若山義樹・國田淳・関口信一郎・川口勉・平石哲也・青木伸一・上田 茂：長周期波の港内侵入過程の現地観測と長周期波高予測式の検討，海岸工学論文集，第44巻，pp.221-225，1997.
- 20) 山村易見・青木伸一：外洋に面した小規模港湾内外における長周期波の挙動，海岸工学論文集，第45巻，pp.311-315，1998.
- 21) 堀沢真人・佐藤典之・大中 晋・青野利夫・Cruz., C. Eric・早川淳：港内外長周期波の現地観測とその予測手法，海岸工学論文集，第45巻，pp.301-305，1998.
- 22) 平石哲也・河野信二・玉城重則・長谷川準三：港湾構造物の設計に用いる長周期波の標準スペクトルについて，海岸工学論文集，第44巻，pp.246-250，1997.
- 23) 関本恒浩・清水琢三・窪 泰浩・今井澄雄・島津昌央：港湾内外のサーフビートの発生伝播に関する現地調査，海岸工学論文集，第37巻，pp.86-90，1990.
- 24) 佐藤慎司：浅海域における長周期流速変動の発達特性，海岸工学論文集，第44巻，pp.256-260，1997.
- 25) 中畑禎・落合敏浩・柏原裕彦・花山格章・森屋陽一・関本恒浩：冬期日本海の現地観測に基づく浅海域への入射長周期波の評価，海岸工学論文集，第48巻，pp.256-260，2001.

- 26) 中畑禎・落合敏浩・柏原裕彦・花山格章・関本恒浩：現地観測に基づく長周期波の沿岸方向特性，海岸工学論文集，第48巻，pp.261-265, 2001.
- 27) (財) 沿岸開発技術研究センター：CADMAS-SURF数値波動水路の研究・開発，pp.214-223, 2001.
- 28) 喜岡 渉・飯田耕三・石田昭：非線形長周期波の湾水振動，第35回海岸工学講演会論文集，pp.242-246, 1998.
- 29) 喜岡 渉・川合正恭・田村真一：非線形変調波に伴う長周期水位変動について，海岸工学論文集，第37巻，pp.91-95, 1990.
- 30) 仲座栄三・日野幹雄・津嘉山正光・大城 勉：リーフ地形海岸における防波堤に作用する波力に関する研究，海岸工学論文集，第36巻，pp.589-593, 1989.
- 31) 関本恒浩・近藤浩右・藤谷昌弘・今井澄雄・黒田輝夫：波群特性とサーフビートを考慮した防波堤頭部の設計波力について，海岸工学論文集，第37巻，pp.626-630, 1990.
- 32) 清水琢三・鶴飼亮行・片山裕之・金山 進・川俣 奨・近藤浩右：島提の滑動安定性に及ぼす長周期波の影響について，海岸工学論文集，第42巻，pp.856-860, 1995.
- 33) 清水琢三・鶴飼亮行・金山 進・川俣 奨・片山裕之：混成堤マウンド近傍流速に及ぼす長周期波の影響，海岸工学論文集，第43巻，pp.881-885, 1996.
- 34) Bowers, E. C. : Harbour resonance due to set-down beneath wave groups, J.F.M., Vol. 79, Part 1, pp.71-92, 1977.
- 35) 喜岡 渉・飯田耕三・石田昭：非線形長周期波の湾水振動，第35回海岸工学講演会論文集，pp.242-246, 1988.
- 36) Mei, C. C. And Y. Agnon : Long-period oscillations in a harbour induced by incident short waves, J. Fluid Mech., Vol.209, pp.595-608, 1989.
- 37) Wu, J.-K. And P. L.-F. Liu : Harbour excitations by incident wave groups, J. Fluid Mech., Vol.217, pp.595-613, 1990.
- 38) 関本恒浩・森屋陽一・水口優：自由長周期波の発生とその定量的評価に関する理論的考察，海岸工学論文集，第47巻，pp.236-240, 2000.
- 39) 喜岡 渉・柏原謙爾・M., Dibajinia・平石哲也：ラディエーションストレスによる港内長周期波の計算モデル，海岸工学論文集，第46巻，pp.296-300, 1999.
- 40) 金山 進・田口 智・清水琢三・長船 徹・植木一浩・中原和彦：ブシネスク方程式による港内長周期水位変動の数値計算，海岸工学論文集，第42巻，pp.291-295, 1995.
- 41) 喜岡 渉・柏原謙爾：2次長周期波の湾水振動に及ぼす来襲波の多方向性の影響，海岸工学論文集，第42巻，pp.296-300, 1995.
- 42) 藤畑定生・秦 禎勝・森屋陽一・中山晋一・関本恒浩：現地観測による港内長周期波浪流速特性とその予測方法に関する検討，海岸工学論文集，第45巻，pp.306-310, 1998.
- 43) 永井紀彦・橋本典明・浅井 正・戸引 勲・伊藤一教・東江隆夫・小林昭男・柴田孝雄：現地データに基づく港内係留船舶の動揺に及ぼす港外長周期波，海岸工学論文集，第41巻，pp.931-935, 1994.
- 44) 松良精三・渥美洋一・菅沼史典・宮本義憲：波群に拘束された長周期波の港内における増幅特性と船体動揺に関する現地観測，海岸工学論文集，第41巻，pp.71-75, 1994.
- 45) 菅沼史典・神谷昌文・渥美洋一・小泉信男：現地観測による長周期波の発生頻度と船体動揺発生予測の検討，海岸工学論文集，第42巻，pp.951-955, 1995.
- 46) 神谷昌文・渥美洋一・國田 淳・関口信一郎・木村克俊・平石哲也・白石 悟・上田 茂：長周期波に対する荷役稼働率の評価法とその改善策，海岸工学論文集，第43巻，pp.891-895, 1996.
- 47) 田端竹千穂・田所篤博・平石哲也・玉城重則：港湾における長周期波の増幅現象に関する現地観測，海岸工学論文集，第42巻，pp.301-305, 1995.
- 48) 朝崎勝之・松尾憲親・藤畑定生・鶴飼亮行・清水琢三：港内副振動に関する現地観測と長周期波を考慮した荷役稼働率の評価，海岸工学論文集，第43巻，pp.886-890, 1996.
- 49) 藤畑定生・秦 禎勝・中山晋一・森屋陽一・関本恒浩・池野正明・笹 健児：船体動揺計算における港内副振動の考慮方法と粘性減衰係数の評価，海岸工学論文集，第46巻，pp.856-860, 1999.
- 50) 平石哲也・藤咲秀可・近藤充隆・佐藤恒夫・山口孝市：鹿島港における長周期波の長期観測，海洋開発論文集，Vol.13, pp.141-146, 1997.
- 51) 白石悟・久保雅義・榊原繁樹・笹健児：長周期船体動揺の数値計算による再現性に関する研究，海岸工学論文集，第46巻，pp.861-865, 1999.
- 52) Bowen, A. J. And D. L. Inman : Edge waves and crescentic bars, J. Geophys. Res., Vol.76, No.36, pp.8662-8671, 1971.
- 53) Short, A. D. : Multiple offshore bars and standing waves, J.G.R., Vol.80, No.27, pp.3838-3840, 1975.
- 54) 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巻，pp.416-420, 1991.
- 55) 柴山知也・斉藤栄一・正田克己・奥野雅量・岡安章夫：長周期波の局所漂砂量に及ぼす効果，海岸工学論文集，第37巻，pp.279-283, 1990.
- 56) 佐藤慎司・光信紀彦：不規則波による海浜断面地形変化の数値計算，海岸工学論文集，第37巻，pp.309-313, 1990.
- 57) 加藤一正・柳嶋慎一・栗山善昭・磯上知良：荒天時のバーム地形の侵食，—長周期波に着目した現地観測—，海岸工学論文集，第36巻，pp.354-358, 1989.
- 58) Mohammad, D.・樋川直樹・渡辺 晃：長周期波を含む非対称不規則波浪下でのシートフロー漂砂，海岸工学論文集，第45巻，pp.471-475, 1998.