

河口およびインレット近傍での長周期の波と流れに関する研究

Long-period Waves and Associated Flows near River Mouth and Narrow Inlet

岡辺拓巳¹・青木伸一²・加藤 茂³

Takumi OKABE, Shin-ichi AOKI, Shigeru KATO

In order to estimate sediment transport near a river mouth and a narrow inlet, it may be important to investigate the behavior of the long-period waves with periods of several minutes generated by wave groups in the sea. In this study, characteristics of the long-period waves and associated flows near Tenryu river mouth and the inlet of Hamana Lake are discussed based on the field data. Long-period waves are developed almost linearly to both significant wave heights and periods outside the inlet, but they are reduced about half in the inlet. The long-period fluctuation in the flow seems to consist of two components; one is associated with the long-period waves and the other is generated by tidal currents.

1. はじめに

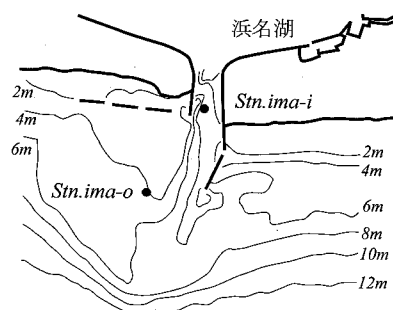
河口近傍は河川流と波浪が強く干渉する領域であり、複雑な波・流れ場となっている。そのため、河口から放出された土砂の隣接海岸への輸送過程には不明な点が多い。また、潮汐の影響が大きなインレット周辺では、入退潮の強い流れによって沿岸漂砂の連続性が遮断されるなど、漂砂に与える影響が大きいことが指摘されている。河口やインレットでは、漂砂移動の外力が潮汐から風波までの広範の周囲帯にわたるだけでなく、それらが複雑に干渉した波や流れも関与すると考えられるため、そこでの漂砂現象の解明には多様な外力特性を把握することが重要となる。

一方、漂砂には周期数分程度の波群性の長周期波が関わっている可能性が以前より指摘されているものの（たとえば、柴山ら, 1990; 佐藤, 2002）、河口やインレットでの長周期波とそれに伴う流れの特性については検討された例が少なく、そこでの漂砂現象への定性的、定量的な影響も明らかでない。

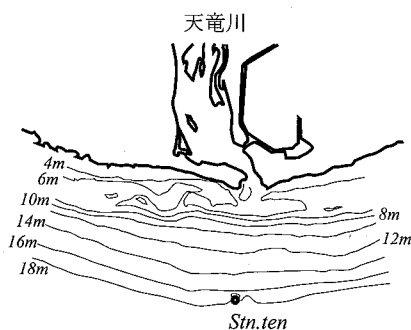
そこで本研究では、河口およびインレット周辺での観測データを解析することにより、潮汐変動が卓越する場における波群性長周期波に対応する周波数帯の波と流れの特性を明らかにした。

2. 現地観測の概要

現地観測は図-1に示す、静岡県の遠州灘に位置する浜名湖インレット（今切口）の内側と外側（Stn. ima-i, Stn. ima-o）、天竜川河口の沖合（Stn. ten）において、2006年9月から11月にかけて行った。波高計について



(a) 浜名湖インレット内外での観測点



(b) 天竜川河口沖合での観測点

図-1 波高計設置位置

は、Stn. ima-o および Stn. ten に超音波式水位計、水圧計、電磁流速計（WaveHunter-04Σ）を、Stn. ima-i には水圧計、電磁流速計（WaveHunter-04）を設置した、いずれも、流速については2方向の底部流速を計測した。サンプリング時間は0.5秒で観測データを連続記録している。ただし、メンテナンスによる欠測がある。観測期間中の平均水深は、Stn. ima-i が5.6 m、Stn. ima-o が4.8 m、Stn. ten が18.2 mであり、各センサーは設置面

1 修(工) 豊橋技術科学大学産学官連携研究員 建設工学系
2 正会員 工博 豊橋技術科学大学教授 建設工学系
3 正会員 博(工) 豊橋技術科学大学准教授 建設工学系

から 0.5 ~ 0.7 m 上方に取り付けられた。Stn.ten の設置位置は常に碎波帯の沖側に位置し、Stn.ima-o は高波浪時などに碎波の影響を受ける位置であった。このため、Stn.ima-o の超音波式水位計によるデータは碎波の影響により正常な値を記録していなかった。よって、本研究で用いる 3 つの観測点の水位データについては、水圧波形より水位の時系列を算出して使用した。

3. 長周期波の特性

本研究で用いる長周期波成分の分類については、時系列から求めたパワースペクトルの形状より、30 ~ 300 秒、300 秒以上の 2 つに分けた。ここでは、青木ら (2002) と同様に、前者を短周期の波や波群と関連性が強い波群性長周期波、後者については風波などとの関連が少なく、気象擾乱が原因と考えられるため気象性長周期波と呼ぶこととする。なお、これらの波の抽出はいずれも潮汐成分を除去した後、フーリエ変換による数値フィルターを用いて対象とする周期帯の波の時系列を再構成した。また、波別解析については、その時系列をゼロダウンクロス法により解析することで求めた。

(1) 長周期波の増幅特性

図-2 は Stn.ima-o と Stn.ten における有義波高 $H_{1/3}$ と有義波周期 $T_{1/3}$ 、長周期水位変動の RMS 値 η_{RMS}^L の経時変化を示したものである。期間中、台風の来襲はなかったものの、通過した低気圧の影響による有義波高と

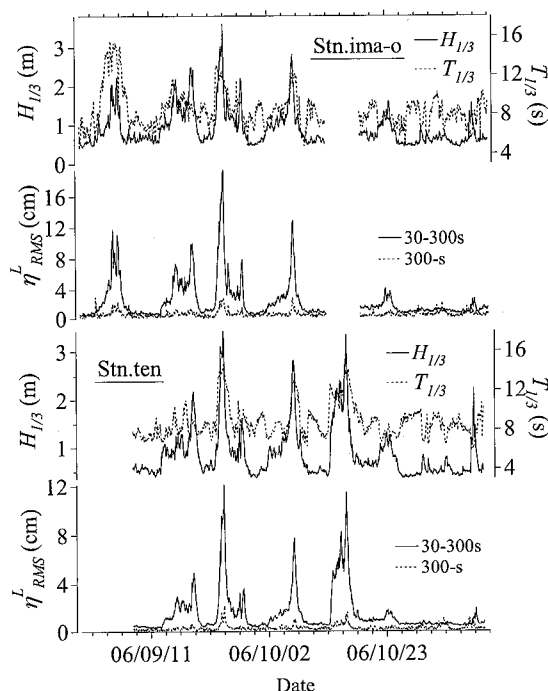


図-2 有義波高と有義波周期および長周期波の経時変化

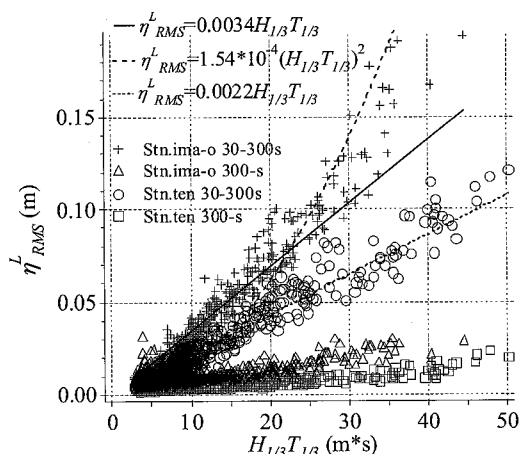


図-3 長周期水位変動の標準偏差と代表波の関係

有義波周期の増大とともに、波群性長周期波の増幅傾向が明確に現れている。気象性長周期波にも同様の傾向が見られるが、その値は波群性長周期波と比べて小さい。

図-3 は Stn.ima-o と Stn.ten での長周期水位変動の RMS 値 η_{RMS}^L を、有義波高と有義波周期の積 $H_{1/3}T_{1/3}$ に対してプロットしたものである。これより、Stn.ten の波群性長周期波は $H_{1/3}T_{1/3}$ に線形的に比例して増加する傾向があるのに対し、Stn.ima-o については、 $H_{1/3}T_{1/3}$ が大きいときには線形的な増幅ではなく、2 次曲線で近似される増幅傾向を示す。このような増幅特性について、青木 (2002) は碎波などに伴う自由波が卓越した海岸で観測される波群性長周期波の増幅特性が $H_{1/3}T_{1/3}$ に線形的に比例すると推測している。また、拘束波が卓越する波浪場では、波群性長周期波が波高と周期の積の 2 乗に比例することも指摘している。

ここで、Stn.ima-o についても線形近似させた場合、比例定数は 0.0034 (1/s) であるのに対して、Stn.ten では 0.0022 (1/s) と Stn.ima-o よりも小さくなっている。自由波は碎波など波群の変形過程で生じるが、その伝播方向は冲向きへと伝播し、条件によってはトラップされることが多い。例えば、山村ら (1998) は波高の増大に伴い碎波帯で生じた自由波が冲向きに卓越して伝播していることを 2 地点間の観測データの相互相関から示している。冲向きに伝播している自由波は水深が深くなるにしたがって、その波高が小さくなると考えられる。線形長波の条件より、水深の異なる 2 点での長周期波の波高比は、互いの水深から求めることができ、Stn.ima-o と Stn.ten では 0.717 倍となる。観測データの波高比は 0.647 となり、オーダーは大きく異なるない。このことから、2 つの観測点での η_{RMS}^L の増幅率の違いについては水深の影響が大きいと考えられる。

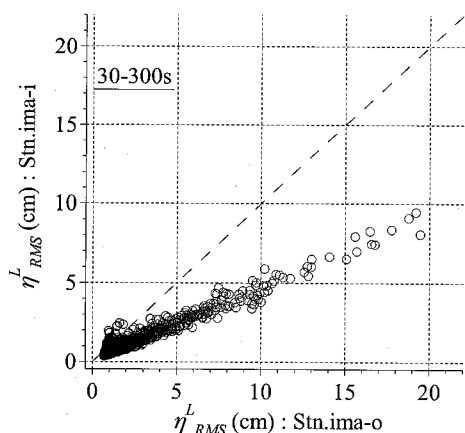
(2) インレット内外での長周期波の増幅特性

図-4は Stn.ima-o と Stn.ima-i の長周期水位変動の RMS 値を比較したものである。図-4(a)は波群性長周期波を、図-4(b)は気象性長周期波を示している。また、図中には増幅率が1の場合を点線で示した。図-4(a)より、インレット内の波群性長周期波の波高は、外側に比べて1/2程度に減少しているものの、両者の相関が高いことがわかる。気象性長周期波を示した図-4(b)では、インレット内外の波高が同程度のものだけでなく、大きく増幅されているものもあるなど、明確な相関が見られない。

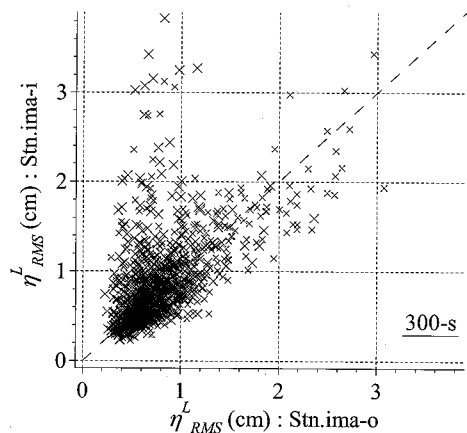
ここで Mei (1989) による次式からインレット内外の波高の増幅率を求め、増幅特性を検討する。

$$B = \frac{-2A}{[1 + ka + (2ika/\pi) \ln(2\gamma ka/\pi e)]} \quad \dots\dots (1)$$

式(1)は外洋に面した無限長水路(水路奥側からの反

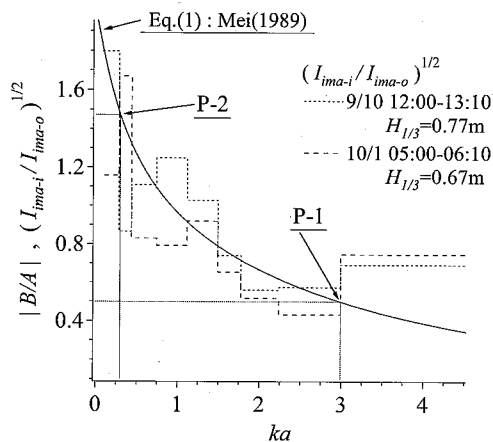


(a) 30~300(s)の成分

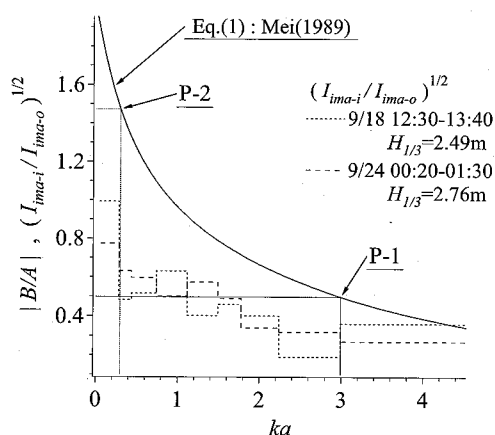


(b) 300~(s)の成分

図-4 インレット内外での長周期水位変動の比較



(a) 静穏時



(b) 高波浪時

図-5 無限長水路における入射波高と水路内の波高比およびインレット内外の水位変動のエネルギー比

射波がない)へ外洋から波を入射させた場合の水路内の波高の一般解である。式中、 A は外洋からの入射波の複素振幅、 B は水路内の波の複素振幅、 k は波数、 $\ln \gamma$ はEulerの定数0.5772156、 $2a$ は水路幅である。ここでは、インレットを湖側から反射波のない水路と仮定し、 $|B/A|$ を算出することでインレット内外の波高の増幅率を求めた。図-5は $|B/A|$ を ka の関数としてプロットしたものである。観測地の条件より、水深 $h=5$ (m)、水路幅 $2a=200$ (m)とし、長波の条件から k を求めると、図中P-1は周期30秒の場合となり、波高の増幅率は0.498、P-2は周期300秒の場合で、増幅率は1.472となった。また、水位変動の時系列からパワースペクトルを求め、数十秒の区間ごとに積分することでその周期帯のエネルギーの総量 I を算出し、その比を図中に示した。

図-5(a)は静穏時、図-5(b)は高波浪時の時系列から求めたものである。これより、静穏時については、観測値と理論値が似た傾向と値を示していることがわかる。一方、高波浪時の観測値については、全体的に低い増幅率を示している。これについてはいくつかの原因が考えられるが、高波浪時には碎波の規模も大きく、冲向きの自由波が増大することでインレット内へ届くエネルギーが減少することもひとつの要因であろう。

4. 長周期の流速成分の増幅特性

図-6は Stn. ima-o での東西方向流速のパワースペクトルについて、荒天時と通常波浪時を比較したものである。これより、数秒～十数秒の波浪成分に関連する周期だけでなく、数十秒～数分といった波群性長周期波の周期帯も大きく増幅されていることがわかる。

図-7は Stn. ten と Stn. ima-o の流速について、70 分間の平均流速と、流速の長周期成分の RMS 値の対応関係を示したものである。また、同時の長周期水位変動の RMS 値について、観測期間中の η^L_{RMS} の最大値のおよそ 2/3 以上の成分、および 1/3 以下の成分に分け、それぞれマーカーを変えて表示した。図-7(a)は Stn. ten の波群性長周期波と同じ周期の流速成分を示しており、この図から潮流のような定常的な流れと相関が高いもの(×印)と、平均流に関係なく波群性長周期波に起因すると考えられる成分(●印)があることがわかる。一方、図-7(b)に示す周期 300 秒～約 1 時間の流速成分については、図-7(a)で見られた平均流と長周期成分の明確な関連性が現れない。図-7(c)で示した Stn. ima-o については、波群性長周期波と同じ周期の流速成分が図-7(a)と同様の傾向を示している。

図-8は Stn. ima-o における水面の潮位変動と南北方

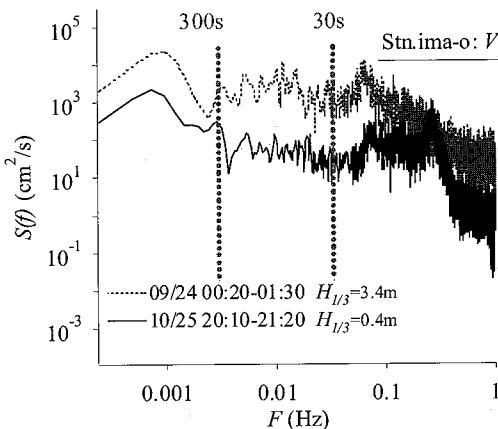
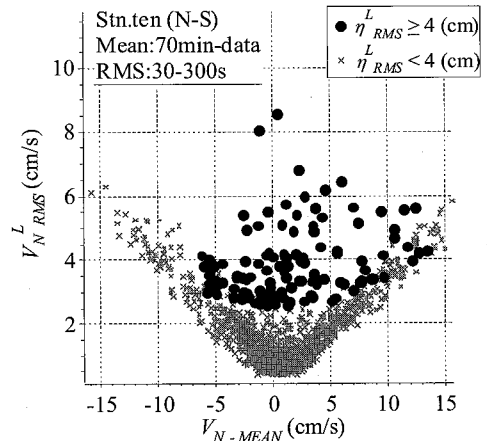
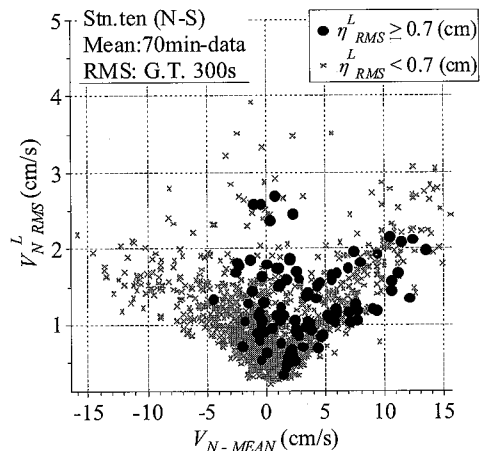


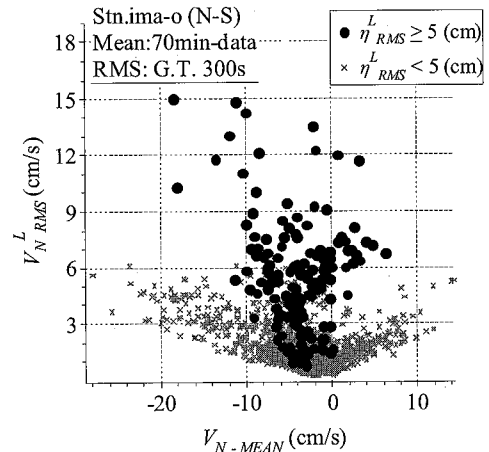
図-6 流速の増幅によるパワースペクトルの比較



(a) 30～300 秒の成分 (Stn. ten)



(b) 300 秒～の成分 (Stn. ten)



(c) 30～300 秒の成分 (Stn. ima-o)

図-7 平均流速と流速の長周期成分の RMS 値の関係

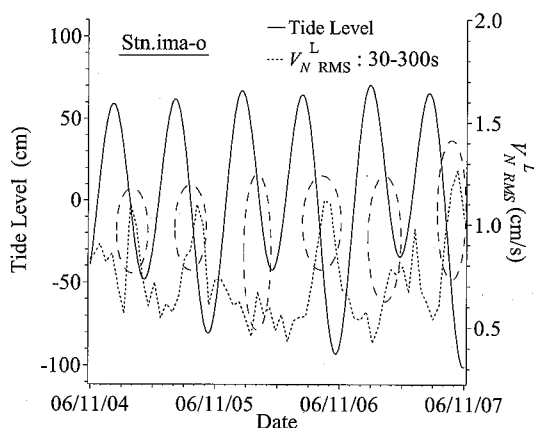


図-8 潮位変動と流速のRMS値の時系列

向流速の長周期成分のRMS値について経時変化を示したものである。通常波浪時でも、図中の囲いで見られる下げ潮時に流速の長周期成分が増幅している。

5. 結 論

本研究では、潮汐の影響が大きい浜名湖インレット・天竜川河口付近での長周期の波と流れについて、現地観測データの解析を行ってその特性を調べた。以下に得られた知見を示す。

- 1) 長周期波高のRMS値は有義波高と有義波周期の積に比例するものと、その2乗に比例するものに分かれた。これは、今回観測した地点での長周期波の特性がやや異なることを示している。ただし、増幅率の違いについては観測点の水深の影響と考えられる。
- 2) インレット内での長周期波高は、外側の長周期波の1/2程度になる。この増幅率について、インレットを外洋に面した反射波のない水路と仮定した理論値と、インレット内外の波のエネルギー比を比較した場合、

静穏時では理論値と観測値が類似していたものの、高波浪時には、観測値が小さかった。

- 3) 高波浪時には、数十秒から数分周期の流速成分も増幅される傾向がみられる。

- 4) 流速の長周期成分(30～300秒)については、同じ周期の波とともに増幅するものと、潮流のような定常的な流れに由来するものがある。時系列からは、引き潮時に長周期の流れが増幅される傾向がみられる。

以上の知見に加えて今後研究を重ねることで、インレットおよび河口域での長周期の波と流れが、そこでの漂砂現象にどの程度影響を与えているのかを解明していきたい。

最後に、本研究は文部科学省科学技術振興調整費重要課題解決型研究「先端技術を用いた動的土砂管理と沿岸防災」(代表者、青木伸一：豊橋技術科学大学)の研究の一環として行ったものである。ここに記して関係諸氏に謝意を表す。

参 考 文 献

- 青木伸一・岡辺拓巳・出口一郎(2002)：波浪条件の異なる2つの海岸での長周期波の増幅と港内副振動の特性比較，海岸工学論文集，第49巻，pp. 231-235。
- 青木伸一(2002)：沿岸長周期波の発生と伝播特性に関する研究，海洋開発論文集，第18巻，pp. 155-160。
- 佐藤愼司(2002)：長周期波と漂砂・海浜変形との相互干渉について，海洋開発論文集，第18巻，pp. 161-166。
- 柴山知也・斉藤栄一・正田克己・奥野雅量・岡安章夫(1990)：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。
- 山村易見・青木伸一(1998)：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。
- Mei, C. C. (1989) : The Applied Dynamics of Ocean Surface Waves, World Scientific Publishing, pp. 199-202.