

日立港内における長周期波の現地観測 —河川遡上波の発生原因として—

Field Observation of Long-period Waves in Hitachi Port as a Cause of Wave Run-up in River Channel

神田康嗣¹・宇多高明²・平石哲也³・伊藤敦史⁴・渡邊 徹⁴・高野泰隆⁵

Yasutsugu KANDA, Takaaki UDA, Tetsuya HIRAISHI, Atsushi ITO, Toru WATANABE and Tairyu TAKANO

In the Segami River flowing into Hitachi Port facing the Pacific Ocean, swell waves with solitons in front often propagate from the river mouth, causing the inundation damages. These damages are closely related to the wave run-up of the long-period waves. Field observation of these long-period waves was carried out to investigate the mechanism of the propagation of long-period waves. Waves with an extraordinary long period of 1,200s, which was generated as seiche on continental shelf, were observed as well as the long period waves with the period of 100s.

1. はじめに

茨城県管理の二級河川瀬上川は、流域面積1.59km²、計画高水流量31m³/s（日立市渚橋の地点）で、指定区間の流路延長は750mである。瀬上川は、日立市の旧久慈浜駅周辺の人家密集地域を流れ日立港（図-1、図-2）へ流入している。旧駅周辺では河道幅が狭く地盤高も低いため、これまでたびたび洪水被害を受けてきた。対策として河道拡幅と掘削が行われたが、その後「うねり」の遡上現象がみられるようになり（写真-1）、上流部で時として河川水



図-1 日立港内の位置

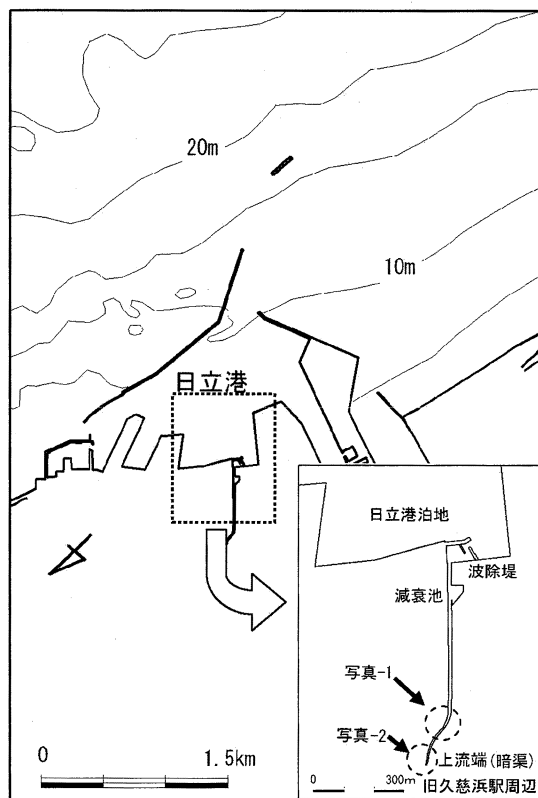


図-2 日立港および港内に流入する瀬上川的位置

- | | |
|--------------|-----------------------|
| 1 正 会 員 | 株式会社水圏科学コンサルタント |
| 2 正 会 員 工博 | 財団法人土木研究センター理事 |
| 3 正 会 員 工博 | 独立行政法人港湾技術研究所 海洋・水工部長 |
| 4 正 会 員 | 茨城県土木部河川課 |
| 5 正 会 員 博(工) | 株式会社水圏科学コンサルタント 代表取締役 |

が市街地に溢れる被害が発生している（写真-2）。この現象は日立港内の長周期波が河口部で増幅し、河道内で段波となって遡上することが原因である可能性が高い。これまで瀬上川では、河道内での対策として、河口部での流入



写真-1 瀬上川に遡上する長周期波(先端部でソリトン分裂が出現しているように見える)



写真-2 暗渠前面での溢水状況
(2002年10月22日撮影)

を抑制する波除堤、河道での共振周期をずらすための減衰池などを建設することにより頻繁に発生していた溢水被害を減ずる手法が試されてきた。しかしながら、周辺住民の安全を確保するには、護岸の高上げなどの追加対策が望まれていることから、所要高さの計画に先立って発生原因を含めた定量的な調査が必要となった。本研究では、それらの調査結果をもとに、遡上要因となる港内の長周期波の実態を把握し、河道内対策のみならず港内における対策も踏まえた総合的な対策検討に資することを目的とした。

2. 現地観測の概要

現地観測は、日立港港内3地点(図-3のW-1~W-3)、瀬上川河口(W-4)及び河道内(W-5, W-6)3地点の計6地点に自記式水圧計を設置し、0.1秒間隔で約3ヶ月間(2007年8月23日~11月22日)の連続観測を行った。長周期波の統計処理は、100~200秒程度の周期を対象とする場合、連続データを3時間毎に区切って解析した。また、長期間の連続データが得られたことから、さらに長周期の振動について解析する目的で、12時間毎に区切ったデータも使用した。

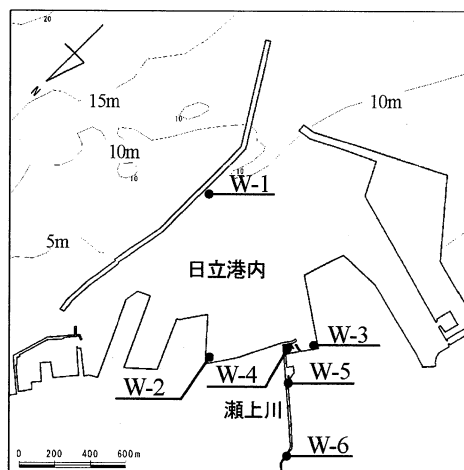


図-3 波高観測地点

観測中には9号から20号までの12個の台風が発生したが、そのうち最も顕著な長周期波を観測したのは、台風9号であり、9月1日頃から南東海上に接近し、ゆっくりと北上した。その後9月6日に関東に接近したため、日立港前面では9月7日未明に通常波浪の最大波高4m、港内のW-3での長周期波高70cmを記録した。以下の検討では、主にこの時の30秒以上の周期成分から計算できる長周期波高のピーク時のデータを中心に解析を進めた。

3. 長周期波の実態

(1) 擾乱時に卓越する100秒台の長周期波

日立港内に観測された長周期波について、同一時期に観測された隣接する常陸那珂港港外の波浪データを日立港前面に変換したデータと比較した(波浪の浅海変形計算に

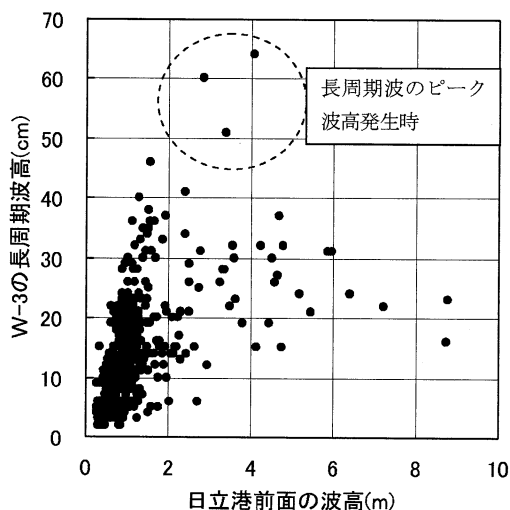


図-4 通常波浪の波高と港内の長周期高との関係

よって波高・周期・波向のランク毎の変換係数を作成する方法によって変換)。その結果、通常周期の波高との相関はあまり高くないものの(図-4)、南寄りの波向の通常波浪が長く襲来した場合に長周期波が発達する傾向にあることが判明した。低気圧や台風が、沿岸部を北上して急激に発達する擾乱時ではなく、南東沖にあってゆっくりと移動し、うねり性の波浪が到達する状況がそれにあたる。港内で発達する長周期波の平均周期は100~150秒程度であり、これが進行波で日立港港口付近(水深10m程度)に来襲したとすると、波長は1500m程度となる。日立港の東防波堤は北東方向に約3000mの延長があり、この程度の長周期波が北寄りから入射した場合、遮蔽効果があるものと考えられる。港内の長周期波のピークが南寄りの波向時に発達しているのは、防波堤の位置による影響が大きい(図-5)。

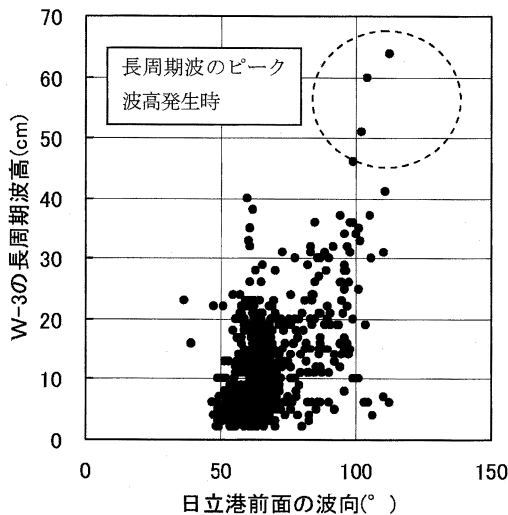


図-5 通常波浪の波向と港内の長周期高との関係

この100秒台の長周期波は、W-2およびW-3の位置する岸壁で囲まれたコの字型の泊地内における共振モードと概ね一致している。例えば $T = 2L/\sqrt{gh}$ で固有振動周期を概算すると、水路長 $L = 600\text{m}$ 、水深 $h = 8\text{m}$ 、重力加速度 $g = 9.8\text{m/s}^2$ として周期 $T = 136\text{秒}$ であり、観測された100秒台と同程度の1次モードの振動周期が得られる。また、W-2およびW-3の実測値の波形を重ねても、 180° の位相差が顕著に認められ、W-2とW-3を腹とした1次モードで振動している様子が確認できる(図-6)。

日立港内には種々の長周期波が存在するが、100秒台の長周期波がW-2およびW-3間で振動・増幅する過程で、河口部(波除堤に囲まれた泊地状の部分:W-4の位置)に進入し、それがさらに上流部へと伝達するのが長周期波の河川に遡上するメカニズムであると考えられる。

(2) 気象要因による長周期波

本観測で発生した長周期波高の最大値は、波高70cm周

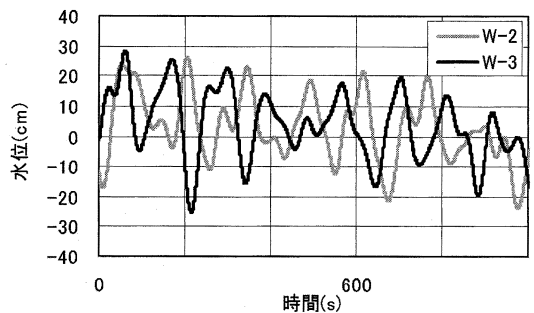


図-6 W-2とW-3の長周期波の水位変動

期130秒であり、このときの日立港前面の通常波浪は波高4m、周期9秒程度であった。一般的に波浪の擾乱に伴う長周期波が通常波の波高の10%程度とすれば(合田(1990)による水深10m付近におけるサーフビートの振幅比の例)、観測された長周期波は、来襲波浪の大きさに比べ、エネルギーレベルの高いものが発生しているといえる。溢水被害の発生時に最も顕著に視認できるのがこの長周期波の遡上であるが、実際にはさらに以下の要因が重なって溢水被害が増大していると推定される。

- ① 大潮の満潮で、潮位がH.W.L.付近であること
- ② 遡上の途中で段波状になるため上流端(暗渠部分で溢れる)での最高水位が大きくなること
- ③ 気象要因の長周期波が重なっていること

ここで、①と②の現象は、既存の調査(宇多ら, 2002; 栗原ら, 2004; Takano, 2004)でも明らかにされていることであるが、③の現象は陸棚波としての存在は指摘されているものの(宇野木, 1959など)、本観測による長期間のデータから改めて確認されたものである。

100~3000秒の長周期波を対象にエネルギースペクトルを求め、時系列に比較したものが図-7である。図の上段は、常陸那珂港の観測波浪を日立港前面に変換した後の通常波浪の波高・周期、波向であり、下段は港内のW-3地点における通常波の波高と100秒台(△印)及び1000秒台(●印)の長周期波のエネルギーの時間的変化を示す。これによると100秒台にピークをもつ長周期波は、通常波浪のうねり成分と概ね同期しており、うねりの発生に起因するものとみることができる。これに対して1000秒台(20分程度)の長周期波は、ほぼコンスタントに発生しており、さらに通常波浪のピーク前にはエネルギーが1オーダー大きくなって、波高にして2~3倍になることもわかった(図-8のスペクトル図参照)。

港内(W-3)で観測された周期1000秒台の長周期波の最大波高は20cm程度であるが、河道内(W-6)では30cm程度と1.5倍に増幅される傾向がみられた(図-9)。これは100~150秒の長周期波の波高と比較すると50%程度の大きさとなる場合があることを示しており、長周期波対策に関す

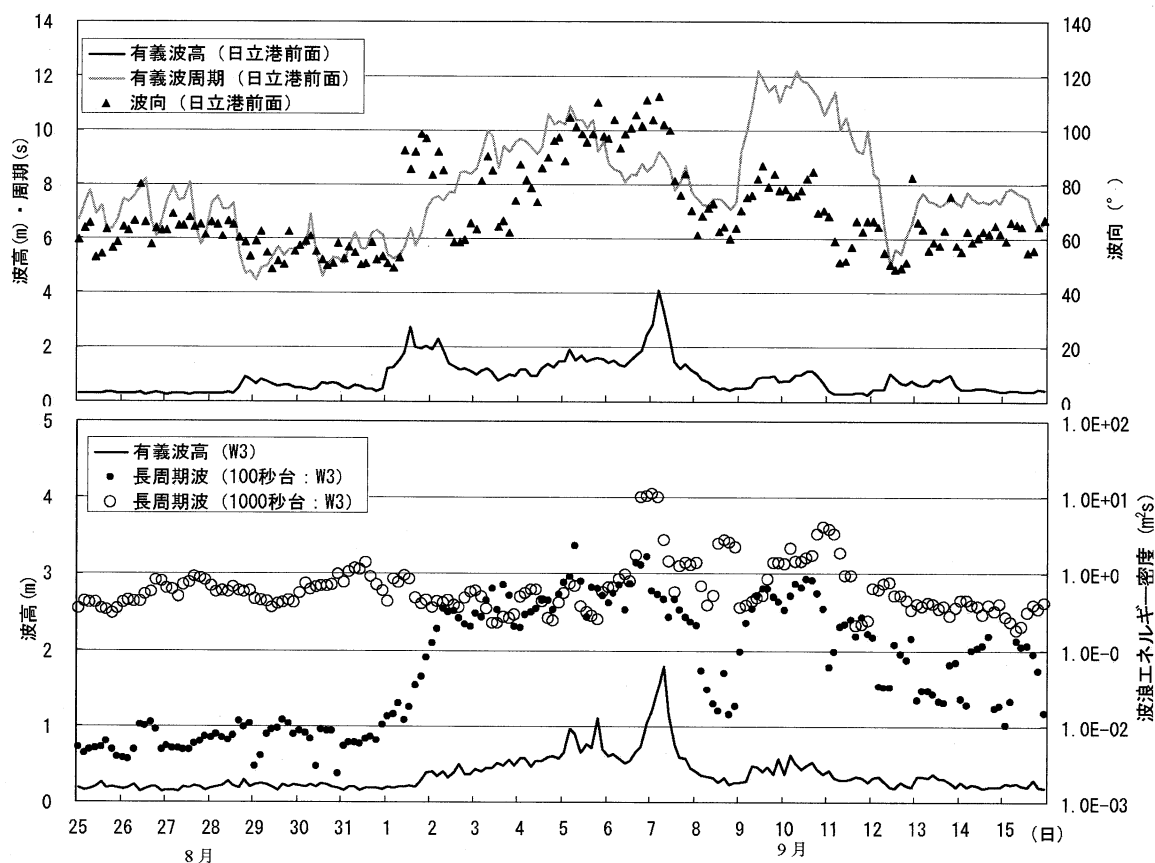


図-7 外洋波と港内(W-3)における長周期波エネルギーの経時変化

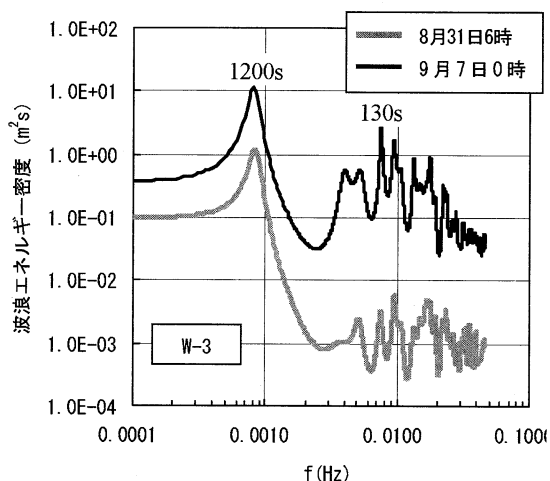


図-8 静穏時と擾乱時の長周期波のスペクトルの比較

長周期波が発生するのは、気圧変動などの気象要因によるものが考えられ、沿岸部で反射した波がさらに岸向きに屈折して沿岸域にトラップされる大陸棚セイシュの現象として理解される。通常、気象要因による長周期波は潮位偏差

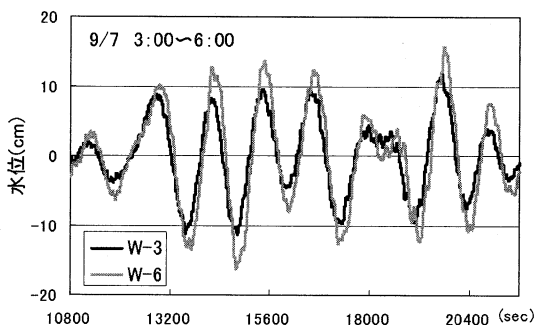


図-9 100秒台の長周期波の港内と河道内の比較

に含まれるものとして扱われるが、上記のように地形的な条件によっては増幅することがあることには注意すべきであろう。

4. 長周期波の計算

大陸棚セイシュの影響を確認するため、線形長波方程式による数値計算（平石ら，1988）によって、沿岸にトラップされる長周期波を再現した。計算条件を表-1に示す。

入射波は規則波を沖側境界から一様に入射させており、汀線および構造物を陸側境界として全反射させている。

計算結果を図-10に示す。図の波高比分布を見ると、銚子半島に集中しているが、北側の沿岸部についても数10km程度の間隔で腹と節をもつように増幅部分があり、沿岸にトラップされている様子が伺える。日立港付近では4~6倍程度の分布域が確認でき、本観測で得られた実測値0.2~0.3mの波高から逆算すると、沖合で数cmの気象要因による長周期の水面変動が発生していると推定される。大陸棚セイシュのような長周期波は、本研究の対象である河川に遡上する長周期波のような変動成分ではなく、本来設計高潮位に含まれるものといえる。しかし、河口内で増幅することも確認されたことから、場合によっては護岸高さの決定等に大きく影響を及ぼすことも考えられる。したがって、今後、変動成分としてどの程度影響するか検討することが望まれる。

表-1 長周期波の計算条件

項目	設定値
入射波周期	1200sec
入射波波高	0.1m
計算領域	157km×176.5km
格子間隔	500m
格子数	314×353
計算時間間隔	1.5sec
計算時間	24900sec*
計算ステップ数	16600
造波数	20波
潮位	1.4m

*計算時間の前900secはランニング時間

5. 結論

①日立港内の長周期波について長期間の連続観測により実態把握を行った。これによれば日立港の港内では種々の長周期振動が確認されたが、W-2およびW-3の岸壁間は100秒台の1次モードの固有振動特性があり、その周期の長周期振動が選択的に発生している。瀬上川の河口部はこの岸壁の一方に面しており、増幅した振動を受け取る形になっている。このモードの波が河川上流のW-4~W-6で観測され、河川の主な溢水の原因になっていることがわかった。

②日立港内では約1200秒の長周期振動も確認された。

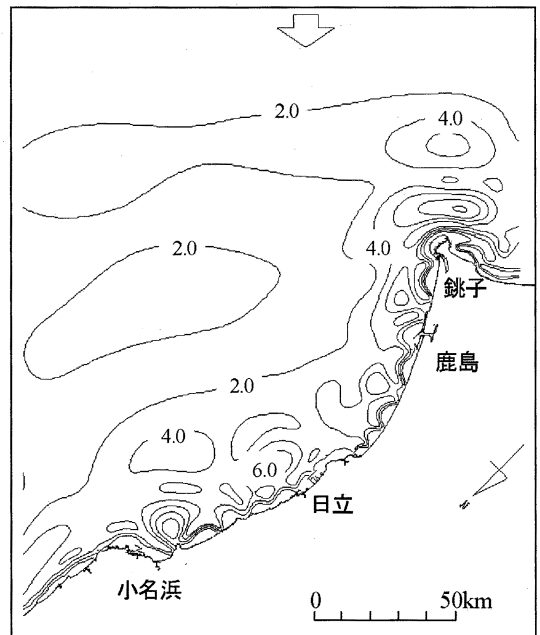


図-10 沿岸域における $T = 1200s$ の長周期波の波高比分布

これは、大陸棚セイシュの影響と考えられ、定常的に存在しているが、気圧変動などの気象要因であるため、台風などの擾乱とともに通常の2~3倍に発達することもわかった。日立港では、通常10~20cmの波高であるが、30cm程度に発達することもあり、場合によっては設計時の潮位としてのみならず、長周期成分として考慮する必要がある。

参考文献

- Takano, T., T. Uda, Y. Ohki, Y. Kanda, M. Serizawa, H. Yamanaka and S. Sukegawa (2002): Inundation caused by swells and long-period waves penetrating from river mouth and its countermeasures - a case study at the Segami River, Ibaraki Prefecture, Japan, Jour. of Hydroscience and Hydraulric Engineering, Vol.20, No.2, pp.169-185.
- 宇野木早苗 (1959): 港湾のセイシュと長周期波について, 第6回海岸工学講演会講演集, pp.1-11.
- 高山知司・平石哲也 (1988): 数値計算と現地観測による港内副振動特性の検討, 港湾技研資料No.636,70p.
- 合田良實 (1990): 港湾構造物の耐波設計, 増補改訂版, 鹿島出版会, 333p.
- 宇多高明・山中 博・助川 進・高野泰隆・大木康弘・神田康嗣・芹沢真澄 (2002): 河口からの遡上波による高潮災害とその対策-茨城県の瀬上川の例-, 水工学論文集, 第46巻, pp.349-354.
- 栗原一美・宇多高明・鯨谷純夫・高野泰隆・大木康弘・神田康嗣 (2004): 小河川の河口を通じた長周期波遡上の現地観測-日立市瀬上川の例-, 水工学論文集, 第48巻, pp.349-354.