

大阪大学工学部 学生会員 ○臼井 彰宏
 大阪大学大学院工学研究科 フェロー 青木 伸一
 ハイドロソフト技術研究所 正会員 川崎 浩司

1. はじめに

東日本大震災以降、粘り強い構造物の重要性が指摘されているが、構造物の耐津波特性に関する研究を行う場合、長周期の水位変動、長時間越流、引き波等を含む任意波形の造波が可能な造波装置が必要になる。また、高潮による構造物への影響を考える上でも、水位上昇を伴う高波の造波が求められる。

これらを踏まえて、平塚・青木(2014)は自走式造波装置（造波板が造波水路内を大きく移動する造波装置）を提案し、長波理論によりその特性を調べた。本研究では、より詳細な検討を行うために数値実験水槽において様々な視点から検討を行った。

2. 研究手法とプログラムの確認

3次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D を用いて数値計算を行った。ただし、造波板位置の移動を考える必要があるため、有光ら(2015)が構築した、体積力型 Immersed Boundary 法を導入した3次元数値波動水槽を用いた。図-1 は実験結果と比較したものであり、実験値と数値計算値はほぼ一致し、計算の妥当性を確認した。

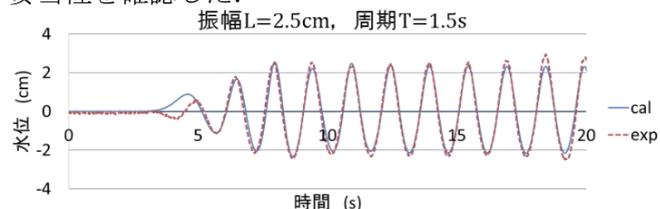


図-1 自走式造波装置による水位変化の計算と実験の比較

3. 検討内容

本研究では、津波に関する造波として、造波板の長周期運動および越流について検討し、高潮に関する造波としては、短周期波との同時造波について検討した。なお、越流現象は、ゲート式と比較した。

造波板の長周期運動は、水路内の長時間に渡る振動問題に加え、造波水路の諸量を変えることによる水位変動の違いに注目した。越流現象は、ゲート式との比較に加え、自走式造波装置の動かし方の違いによる越流水深の違いに着目した。さらに、短周期波と

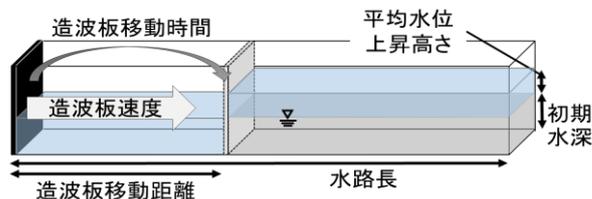


図-2 自走式における用語の定義

の同時造波については、造波板が動きながら短周期波を造波することによるドップラー効果の影響に注目した。なお、以下で使用される用語及び基本的な計算条件は、図-2 及び表-1 に示す通りである。

表-1 主な入力条件

入力データ	条件
時間刻み幅	$\Delta t=0.001s$
造波モデル	なし(体積力型 IB 法)
境界条件	スリップ
計算領域格子座標	X : 30m ($\Delta X=0.05m$)
	Y : 0.01m ($\Delta Y=0.01m$)
	Z : 1.5m ($\Delta Z=0.01m$)
粘性	0
気泡上昇速度	0.2m/s
水滴落下速度	自由落下

4. 検討結果

特記しない限り、水路長 $L = 30m$ 、水深 $h = 0.5m$ 、造波板移動距離 $l = 10m$ であり、自走式造波板の動きは初速度 0 の単振動である。

4.1 造波板の長周期運動

(a)水路内の振動問題

造波板移動周期 ($T = 40s, 80s$) 及び造波回数 (1回, 3回) を組合わせた計 4 通りについて検討した結果、 $x=19m$ での水位変動は図-3 のようになった。

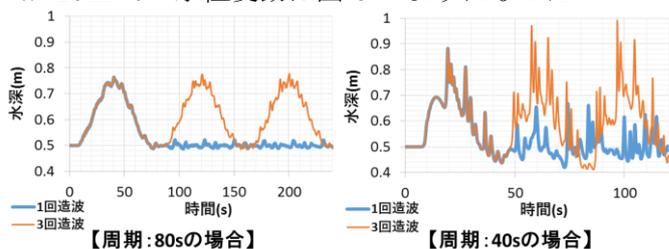


図-3 長周期運動による水路内の振動の比較

造波回数が 1 回の場合、周期が長い ($T = 80s$) 場合は、水路内に顕著な長周期振動は発生せず、短周期波のみが残り、周期が短い ($T = 40s$) 場合では、長周期振動とともに、短周期波の発生が顕著であった。また、

造波回数が増えるとともに、短周期波が相対的に大きくなることがわかった。短周期波が生じる原因としては、造波・伝播過程で発生した波の水路内での多重反射が考えられる。

(b)各諸量を変えることによる水位変動の違い

表-2 のように、平均水位上昇高さが大きい場合(0.5m)と小さい場合(0.167m)について、種々の造波条件を変えて計算した、図-4 は、初期水深を基準(初期水深を 1m 換算とした)とした計測点での水位上昇速度を示している。

表-2 滑らかな水位上昇を検討する数値実験ケース

ケース	水路長 l (m)	造波板移動距離 l_0 (m)	初期水深 h_0 (m)	平均水位上昇高さ Δh (m)
A1	20	10	0.5	0.5
A3	30	15	0.5	
A5	30	10	1.0	
A2	40	10	0.5	0.167
A4	30	7.5	0.5	
A6	30	10	0.33	

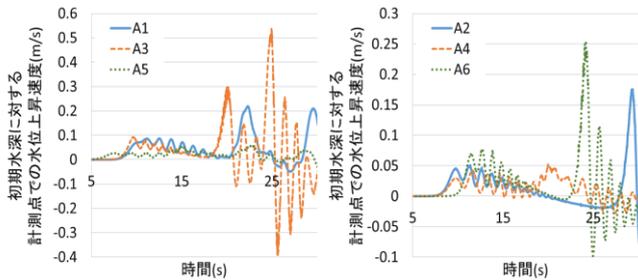


図-4 各ケースの初期水深に対する計測点での水位上昇速度

図-4 において、得られた曲線がほぼ水平であるならば、計測点での水位上昇速度が一定であることを示しており、大きく上下する場合は水位上昇速度の変動が大きいことを意味している。

これより、平均水位上昇高さの高低によって滑らかな水位上昇を実現させるためのパラメータを変える必要はあるものの、ある程度滑らかな水位上昇を与えることが可能であるとわかった。

4.2 越流現象

(a)ゲート式との違い

ゲート式および自走式造波装置について越流条件で計算した結果、自走式では造波板の移動周期が同じ場合には越流時間がほぼ同じであるのに対し、ゲート式では越流時間が異なっていた。これより、自走式の方が越流時間の調整が容易であると考えられた。

(b)造波板の動かし方と越流水深

造波板の動かし方を種々の関数で与えた結果、図-5 のような結果(一例のみ記載)を得た。定性的ではあるが、造波板の変位と越流水深の波形には強い相関

があると言えた。なお、左軸は水深(m)[点線]、右軸は単位時間当たりの越流量(m^3/s)[実線]である。

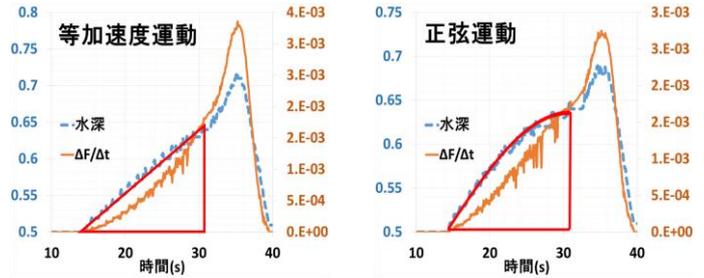


図-5 造波板の動き方とその時の越流水深及び単位時間当たりの越流量

4.3 短周期波との同時造波

長周期波と短周期波を同時に造波した場合、ドップラー効果による影響があると考えられ、このことは数値計算から得た水位変動のスペクトル結果から確かめられた。図-6 は時々刻々の水深に対してドップラー効果を考慮した場合の理論的な周波数変化を示したものであるが、計算で得られたスペクトルのピーク(0.8Hz 付近)よりやや低くなった。

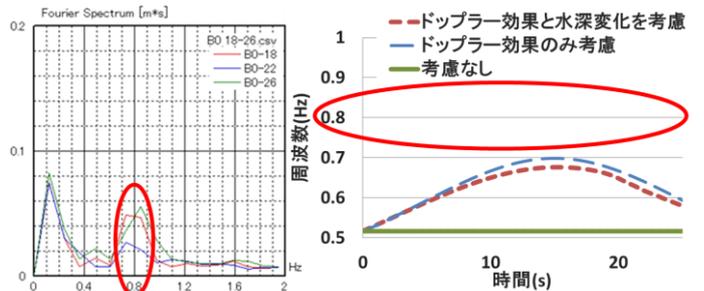


図-6 短周期との同時造波時のスペクトルとドップラー効果により考えられる各時間の周波数

5. 結論

自走式造波装置を用いた場合、短周期波の発生はあるものの、比較的滑らかな水位変動、越流時間の調節、越流部での水位変動の調整が可能であり、ゲート式に比べて、自由度がかなり高いことが分かった。ただし、短周期波との同時造波については、ドップラー効果のさらなる検討の余地がある。

参考文献

平塚・青木(2014): 自走式造波装置の開発に関する基礎的研究, 関西支部年次学術講演会
 有光 剛・川崎浩司・渡辺啓生(2015): 体積力型 Immersed Boundary 法を導入した 3 次元数値波動水槽 CADMAS-SURF/3D によるゲート急開に伴う水塊流出解析, 土木学会論文集 B3(海洋開発), Vol.71, No.2, pp.I_533- I_538.