

急激な底面変動により発生する水面波に関する数値解析

土木大学 学生会員 ○渡部 勇太
土木大学 正 会 員 高橋 智幸

1. はじめに

現在の津波警報システムは、観測された地震波から地震モデル及び海底変動を予測しているが、ある種の地震では津波を過小評価してしまう危険性がある。そこで、津波波源を直接観測し、より正確な津波伝播予測技術が必要となっている。その一つとして断層運動に伴う急激な海底変動は津波と同時に表面波も多く発生させていることに着目し、その表面波は津波波源の識別に有効な指標になると考えられる。そこで著者らは、先に水中震動台を用いて急激な底面変動を起こし、それに伴う水面での表面波を計測し、スペクトル解析を行い、定性的に水面の特性を明らかにした(渡部ら, 2007)¹⁾。今回はさらに、底面変動による水面振動の数値シミュレーションを行い、定量的な面から水理実験結果の再現を試みた。両者の結果をそれぞれ比較し底面変動と表面波の関係性を明らかにした。

2. 実験方法

実験で用いた実験装置及び実験器具は（独）港湾空港技術研究所より借りし。実験装置の構成図を図-1 に示す。実験で使用した水槽は屋内に設置しており、縦 13m、横 13m、高さ 2m である。また、底面変動には、三次元水中振動台を用いた。本来は三次元での稼働が可能だが、今回は底面変動と表面波の関係を明らかにすることが目的であるため、単純に鉛直方向にのみ稼働させた。中心 O から水槽の

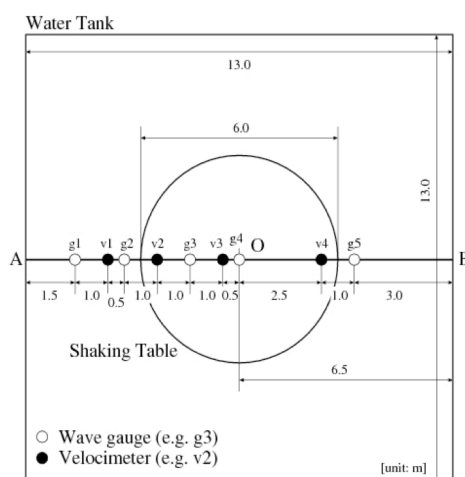


図-1 実験装置構成図

左右側面の中央 A 及び B に二つの測線 OA 及び OB を設け、測線 OA 上に主要な容量式波高計 g1～4 と流速計 v1～3 を設置した、測線 OB には対称性確認の波高計 g5 と v4 を設置した。このとき、各計測器を固定した測線は長さ 10m の鉄鋼を使用し、水底に固定した高さ約 2m の 2 台の脚立の上に載せ、頭上からワイヤー 2 本を用いて測線を固定した。

振動台を様々な時間関数で鉛直方向にのみ稼働させた。主に周期関数と非周期関数の二種類の時間関数とし、1.5Hz、2Hz、3Hz の正弦波を数十秒間と、一次関数、二次関数、sin 関数を非周期で稼働させた。いずれも振動台の稼働可能である最大の加速度を考慮して作成した。また、水槽の高さは2.0mであるため、水深は底面変動による水面の変動を考慮して1.0m、1.3m、1.5mでの比較を行った。さらに、水面の擾乱の有無による表面波の発生の相違を調べるため、静水状態と擾乱状態に分けて行った。静水状態は、各実験の間を30分程度経過させた。擾乱状態は、まず非周期関数で稼働して水面を擾乱状態にし、5分間に主稼働を行った。

3. 数值計算

流体の圧縮性を考慮した時の海底地震による海面変動の応答特性は泉宮ら(1996)²⁾によって理論的に検討されている。その中で使われている 3 次元 Helmholtz 方程式を本研究でも採用し、清川(1995)³⁾によるグリーン関数を用いてこれによって水面変動振幅を計算した。

4. 解析方法

水深 1.5m の場合に、振動台が 2Hz で稼働した場合の実験結果を A10 とする。シミュレーションでは水槽を考慮していないため、実験値と比較するにあたり測定した波高データをフーリエ変換し水槽の固有振動数 (0.27Hz) を除去し、逆フーリエ変換を用いて波形を再構成した。振動台を周期関数で稼働させる場合は稼働終了する直前の 5 秒間の最大振幅の平均をとった。振動台を非周期関数で稼働させる場合は、稼働した直後の第 1 波を除く 5 波分の最大振幅の平均を算出し比較対象とした。各波高計で測定された

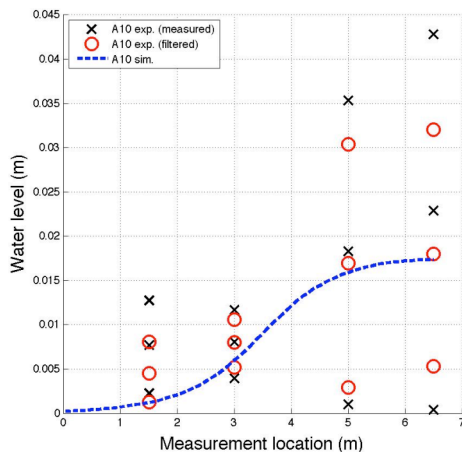


図-2 条件 A10 における
実験値とシミュレーションの比較

振幅の最大値と、シミュレーションによる最大振幅の比較を図-2 に示す。ただし、実験データにばらつきが存在するため範囲で示してある（同測定位置で三つのデータをプロットしてあり、それぞれ最大値、平均値、最小値である）。また、上述のフィルターで水槽の固有振動数分を除去したデータも併記してある。

他の実験条件についても同様に比較した結果を図-3 及び図-4 に示す。ただし、実験の平均値とシミュレーション結果の差を実験のばらつきの大きさで割り、無次元化してある。また図-3 は振動台を非周期関数で稼働させた場合、図-4 は周期関数で振動台を稼働させた場合である。

5. 考察

周期関数と非周期関数を比較した場合、前者の再現性が高く、後者が低い。これはシミュレーションでの底面変動が、非周期関数で稼働したときの変位を 1/4 周期として周期的に稼働した計算になっているため、実験値より大きな値を示したと考えられる。

周期関数での比較では水槽の中心ほど再現性が高くなっている。最も再現性が高いのが A9、A10、A11 であり、水深が 1.5m の場合に、水面が静水状態で、振動台を 1.5Hz または 2Hz で稼働させた実験では計算結果との差はほとんどみられない。ただし、E3、E4 では上記の実験条件とほぼ同様であるが、擾乱状態での実験のためファラデー共鳴が発生し、g4 の再現性が低くなったと考えられる。

g1 の振幅はいずれのモデルも再現性が低い、水槽の壁付近であり、脚立の影響が実験値に含まれているものと考えられる。

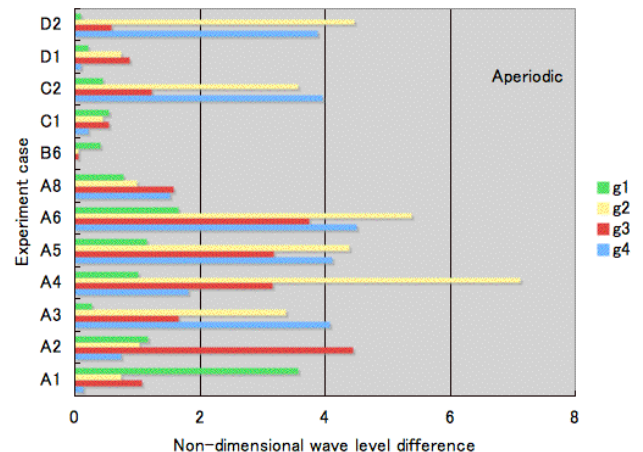


図-3 振動台が非周期関数で稼働した場合の実験及びシミュレーションによる振幅の比較

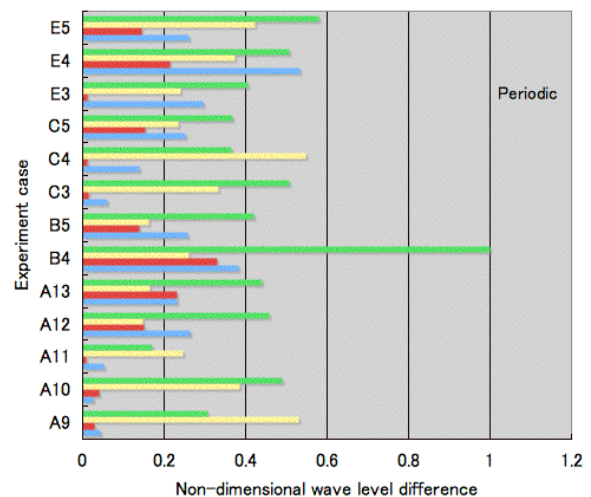


図-4 振動台が周期関数で稼働した場合の実験及びシミュレーションによる振幅の比較

謝辞：本実験過程で（独）港湾空港技術研究所菅野高弘氏、枝秀紀氏には三次元水中振動台をご使用させて頂いた上で様々なご尽力とご鞭撻を頂きました。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 渡部ら：急激な底面変動により発生する高周波成分に関する水理実験, 海洋開発論文集, 第 27 巻,(2007)
- 2) 泉宮尊司・阿部宏之：海水の圧縮性と鉛直共鳴による海面変動の増幅メカニズム, 海岸工学論文集, 第 43 巻, pp.421-425,(1996)
- 3) 清川哲志：海震の 3 次元伝播特性, 海岸工学論文集, 第 42 巻, pp.826-830,(1995)