

II-176 大阪湾における津波変形の数値計算モデルの開発

阿南高専 正○島田富美男, 京都大学工学部 学 森 泰宏 正 酒井哲郎

1. まえがき 大阪湾に影響を与える津波は 100~150 年の間隔で発生しており, 1707 年の宝永津波と 1854 年の安政津波は大阪湾沿岸で相当な被害を与えた。大阪湾に侵入する津波は, 津波の伝播とともに紀伊水道で徐々に減衰するか, 大阪湾では減衰がにぶくなり, 場合によっては増加することが示されており, 紀伊水道で大津波が発生するか, 外洋で発生した大津波の紀伊水道での減衰が少ない場合は, 大阪湾でかなりの影響があるとされている。本研究では, このような大阪湾に侵入する津波特性を明らかにするため, 大阪湾での津波変形計算における摩擦項および移流項(非線型項)の効果について検討し, 大阪湾における津波の変形計算の数値モデルの開発を行ない, 1946 年の南海道地震津波について数値計算を行なう。2. 計算手法 基礎方程式として次式の長波近似の運動方程式および連続方程式を差分方程式に変換し, Leap flog 法を用いて数値計算を行なった。

$$\frac{\partial Q_x}{\partial t} + \frac{Q_x \partial Q_x}{D \partial x} + \frac{Q_y \partial Q_x}{D \partial y} = -g D \frac{\partial \eta}{\partial x} - \gamma_b^2 \frac{Q_x \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{D^2} \quad (1), \quad \frac{\partial Q_x}{\partial x} - \frac{\partial Q_y}{\partial y} = -\frac{\partial (\eta - \xi)}{\partial t} \quad (3)$$

$$\frac{\partial Q_y}{\partial t} + \frac{Q_x \partial Q_y}{D \partial x} + \frac{Q_y \partial Q_y}{D \partial y} = -g D \frac{\partial \eta}{\partial y} - \gamma_b^2 \frac{Q_y \sqrt{Q_x^2 + Q_y^2}}{D^2} \quad (2)$$

ここで, Q_x, Q_y はそれぞれ x, y 方向の線流量, g は重力加速度, γ_b は海底摩擦係数, $D = \epsilon + \eta - \xi$ であり, ϵ は水深, η は静水面からの水位上昇量, ξ は海底変動量を示す。計算領域は, 図-1 に示す破線より北の紀伊水道と大阪湾を含む領域であり, 格子幅 2 km のメッシュで分割した(後の断層モデルによる計算では外海も含めた)。計算時間間隔は差分方程式の安定性を考慮して 25 秒とした。計算領域を紀伊水道と大阪湾に限定したことによ

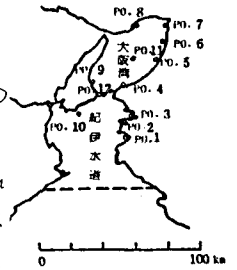


図-1 計算領域

問題となるのは, 図の破線で表わされた計算領域と外海の接続部分および明石海峡と鳴門海峡の取り扱い方であるが, ここでは谷本等²⁾と同様の沖側境界条件および任意反射率境界を用いて数値計算を行なった。なお, 固定境界面では法線方向の線流量を 0 と仮定した。3. 摩擦項と移流項の効果 図-1 に示す P0.1 から P0.12 における η の時間的変化および各メッシュにおける η の最大値 η_{max} を出力した。図-2 は, 紀伊水道で振幅 1 m, 周期 50 分の正弦波を入射させたときの大阪湾東岸沿いの津波高分布を示している。図より, 移流項および摩擦項の両方を無視した場合はかなり η_{max} が大きくなり, 移流項だけでも考慮すると η_{max} がかなり小さくなり, 摩擦項まで考慮すると η_{max} はさらに減少し, 摩擦項の影響が一番大きく無視できないことがわかる。したがって, 以後の計算では移流項および摩擦項の両方とも考慮して計算を行なった。ここでは図示していないが, 摩擦項を考慮すると各点の η の最大値 η_{max} は 2, 3 波ですぐに一定の値になるが, 移流項と摩擦項の両方とも無視すると η_{max} は時間とともにかなり増大し, 移流項のみ考慮した場合でも若干増大するので, ここでは紀伊水道で 10 波の津波が入射するまでの η の最大値を示している。4. 周期の効果 図-3 は, 入射波の周期と津波高の関係を示したもので, 図の (a) は入射波の振幅 1 m とし, 周期を 10 分から 60 分まで 10 分ずつ増加させたときの大阪湾の中央線沿いの津波高の最大値 η_{max} を表わしている。図の (b) は大阪湾東岸沿いの η_{max} を表わしている。図より, 周期 T が 10 分と 20 分のときは友ヶ島水道における η_{max} が湾奥の η_{max} より大きい, T が 30 分以上になると, 逆に湾奥の η_{max} が友ヶ島水道の η_{max} より大きくなって

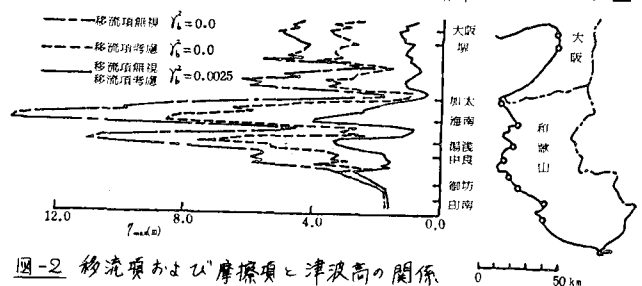
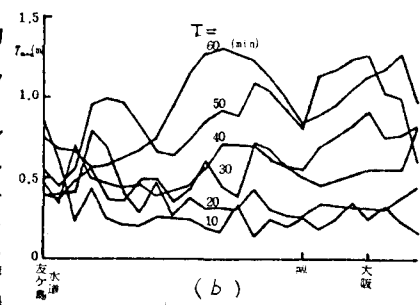
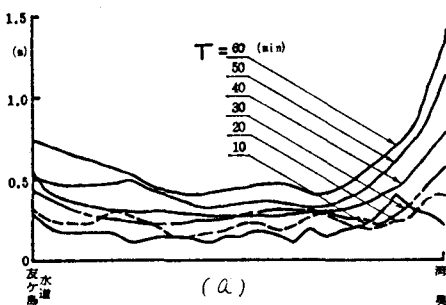


図-2 移流項および摩擦項と津波高の関係

視できないことがわかる。したがって, 以後の計算では移流項および摩擦項の両方とも考慮して計算を行なった。ここでは図示していないが, 摩擦項を考慮すると各点の η の最大値 η_{max} は 2, 3 波ですぐに一定の値になるが, 移流項と摩擦項の両方とも無視すると η_{max} は時間とともにかなり増大し, 移流項のみ考慮した場合でも若干増大するので, ここでは紀伊水道で 10 波の津波が入射するまでの η の最大値を示している。4. 周期の効果 図-3 は, 入射波の周期と津波高の関係を示したもので, 図の (a) は入射波の振幅 1 m とし, 周期を 10 分から 60 分まで 10 分ずつ増加させたときの大阪湾の中央線沿いの津波高の最大値 η_{max} を表わしている。図の (b) は大阪湾東岸沿いの η_{max} を表わしている。図より, 周期 T が 10 分と 20 分のときは友ヶ島水道における η_{max} が湾奥の η_{max} より大きい, T が 30 分以上になると, 逆に湾奥の η_{max} が友ヶ島水道の η_{max} より大きくなって

いる。また、大阪湾中央
線沿いの ζ_{max} と東岸沿いの
の ζ_{max} を比較すると、東
岸沿いの ζ_{max} は中央線上
の ζ_{max} と異なり、形状が
かなり複雑となり、 ζ_{max}
のピークが数多くみられ
る。これは海岸形状など



の違により、周期の変化による応答が異なるためと 図-3 入射波の周期と津波高の関係

思われる。図-4は周期50分、入射波の振幅 $1/m$ の場合の大阪湾内の津波高分布を示したもので、湾奥付近で津波高が大きくなり、大阪湾東岸沿いが西岸沿いよりも津波高が大きくなっている。 5. 入射波振幅の効果

図-5は、大阪湾内の7地点における津波高の最大値 ζ_{max} と入射波の振幅 a の関係を表わしている。図中の一点鎖線は $\zeta_{max} = a$ および $\zeta_{max} = 2a$ の直線を示しており、これらの直線の上側の領域は ζ_{max} がそれぞれ入射波の振幅以上および入射波の振幅の2倍以上になることを示す。図より、入射波振幅 a の2倍以上に増幅される地点は比較的津波高が大きくなる PO. 6, PO. 7, PO. 8 の大阪港、堺、神戸であるが、 a の小さいときに限られており、 a が大きくなっても ζ_{max} は a の2倍以上にはならない。ここでは a の値を $1/m$ までしか示していないが、 a が大きくなれば大阪湾内の ζ_{max} はすべて入射波の振幅以下になる。つまり、津波高 ζ_{max} は入射波の振幅 a の増加とともに線形的に増加するのではなく、 a が大きくなるにしたがって ζ_{max} の増加の割合は小さくなる。 6. 断層モデルを用いた南海道地震津波の再現

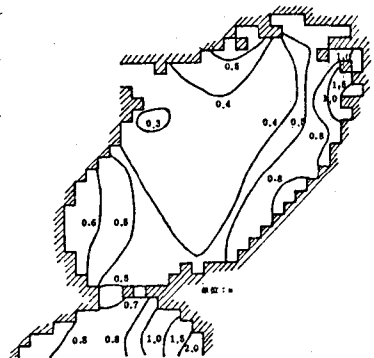


図-4 大阪湾内の津波高分布

図-6は、1946年の南海道地震による海底変動量を与えて、前述の方法と同様にして数値計算を行なった結果の一例である。図中の破線は観測値、実線は計算値を示している。海底変動量は、1975年に安藤の提案した断層モデル³⁾より、Mansinha-Smylieの方法で求めた。計算領域は外海、紀伊水道、大阪湾の3領域に分割し、メッシュ幅をそれぞれ5km, 2.5km, 1.25kmとした。計算時間間隔は差分方程式の安定性を考慮して10秒とした。図より、第1波のピークの到達時間は観測値と計算値がほぼ一致しており、水位変化に関して若干の違いがあるが、この方法で南海道地震津波がかなり再現できると思われる。 7. あとがき

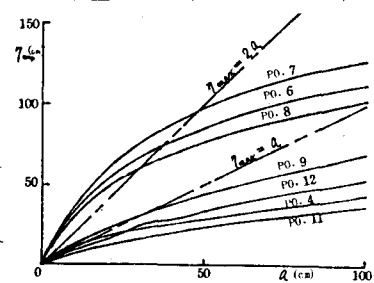


図-5 入射波の振幅と津波高の関係

最後に、本研究は島田が京都大学に内地研究員として在籍していたときの研究成果の一部であり、内地研究の機会を与えて下さった京都大学岩垣雄一教授、徳島大学工業短期大学部村上仁士教授に謝意を表するとともに、本研究は文部省科学研究費自然災害特別研究(1)(代表者酒井哲郎)の一部であることを付記する。 8. 参考文献

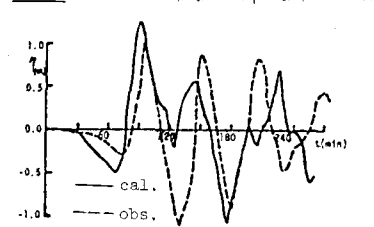


図-6 南海道地震津波の再現 (堺での水位変化)

1) 和達清夫; 津波・高潮・海洋災害、共立出版、p.377, 1920. 2) 谷本勝利・小舟浩治・小松和彦; 数値波動解析法による港内波高分布の計算、港湾技術研究所報告、第10巻、第3号、pp.35-58, 1975. 3) Ando, M.; Source mechanisms and tectonic significance of historical earthquakes along the Nankai trough, Japan, Tectonophysics, pp.119-140, 1975. 4) Mansinha, L. and D.E. Smylie; The displacement fields of inclined faults, Bull. Seismol. Soc. Amer., pp. 1433-1440, 1971.