

(財)電力中央研究所 正員 田中伸和

同 上 “ 加藤正造

同 上 “ 和田 明

1) はじめに

大洋中での海底地震や火山活動などによって生じる津波については、これまで多くの研究者により地震の規模と到達波高、あるいは震源地と到達時間の関係などが調査・研究されている。しかし、地震や火山噴火に至る機構の解明が十分でない現状においては、津波の発生とその規模を適確に予測することは非常に困難とされている。そのため、これまで津波解析に当っては、種々の海底変動を与えて長波に関する方程式を解き、その結果を既往の観測値などと対比することで海底変動の評価が行われてきた。なお、実際の解析は境界条件の複雑さのため、数値解析される場合が多いが、得られる解の性状はまだ十分に解明されていると思えない。

したがって、ここでは津波解析において常に問題とされる隆起時間、隆起範囲、隆起量、および水深を変化させて数値計算を実施し、各パラメータが津波発生解析に及ぼす影響を検討した。

2) 基礎方程式

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M \cdot M}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{M \cdot N}{H} \right) = -g \cdot H \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{f^2}{H^2} \sqrt{M^2 + N^2} \cdot M \quad (1)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M \cdot N}{H} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N \cdot N}{H} \right) = -g \cdot H \cdot \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{f^2}{H^2} \sqrt{M^2 + N^2} \cdot N \quad (2)$$

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (3)$$

ただし、 M 、 N はそれぞれ x 、 y 軸方向の流量フラックス、 η は水位、 H は水深で $H = \eta + h - dH$ で表わされる。なお、 h は海底の深さ、 dH は海底の隆起量である。また、 f は海底摩擦係数である。

①～③式の数値解析は Lax-Wendroff 型の差分法で行なった。とくに、水位と流量フラックスは時間の差分間隔の半分づつずらすようにして求め、またそれぞれの値は空間格子上で千鳥型に配置した。

3) 計算モデル

海底の変動は、図-1に示すように、3次元隆起と2次元隆起を想定した。すなわち、 $220 \times 220 \text{ km}^2$ の一樣水深の海域内において、その中央部 $L \times L \text{ km}^2$ が隆起する場合、および $220 \times 110 \text{ km}^2$ の一樣水深の海域内において、幅 $L \text{ km}$ の海底が隆起する場合を想定し、海底変動で生じる海面変化を求めた。また、隆起は上記の隆起範囲が隆起時間 T 内において一定速度で dH まで生じ、それ以後はそのままの海底地形を示すものと仮定した。さらに、海岸線は直立壁とし、壁面を通しての流出はなく、壁面に平行な流れ、および壁面での水位は壁面法線方向の変化が0になる条件から求めた。

今回実施した計算条件を表1に示す。表中、計算ケース(1)～(17)までが

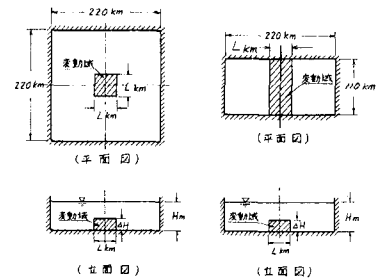


図-1 隆起範囲と境界条件

表-1 計算条件と結果

Case No.	隆起時間 (T, sec)	隆起範囲 (L, km)	隆起量 (dH, m)	水深 (H, m)	隆起中心での最大水位 (m)	壁面での最大水位 (m)	壁面での最大水深 (m)
1	10	20 × 20	10	4000	10.0	2.76	9M.155
2	30	20 × 20	10	4000	10.0	2.30	9M.205
3	50	20 × 20	10	4000	9.3	2.15	9M.301
4	70	20 × 20	10	4000	6.8	1.95	9M.405
5	100	20 × 20	10	4000	4.8	1.63	9M.405
6	50	20 × 20	1	4000	0.9	—	9M.305
7	50	20 × 20	5	4000	4.6	1.08	9M.305
8	50	20 × 20	20	4000	18.5	4.30	9M.305
9	50	4 × 4	10	4000	2.0	0.3	9M.505
10	50	12 × 12	10	4000	5.7	1.62	9M.405
11	50	28 × 28	10	4000	10.0	3.20	9M.05
12	50	20 × 20	10	50	10.0	2.53	80M.05
13	50	20 × 20	10	100	10.0	2.29	87M.05
14	50	20 × 20	10	200	10.0	2.23	41M.05
15	50	20 × 20	10	500	10.0	2.21	26M.05
16	50	20 × 20	10	1000	10.0	2.20	18M.05
17	50	20 × 20	10	2000	10.0	2.18	13M.05
18	30	20 × 10	1	4000	1.0	1.16	9M.405
19	30	20 × 10	5	4000	5.0	5.79	9M.405
20	30	20 × 10	10	4000	10.0	11.57	9M.405
21	60	20 × 10	1	4000	0.9	1.66	10M.05
22	60	20 × 10	5	4000	4.5	5.30	10M.05
23	60	20 × 10	10	4000	9.0	10.60	10M.05
24	90	20 × 10	1	4000	0.6	0.94	10M.05
25	90	20 × 10	5	4000	3.1	4.72	10M.05
26	90	20 × 10	10	4000	6.2	9.43	10M.05
27	60	20 × 10	-10	4000	-9.0	-10.62	10M.05

3次元隆起を、ケース(18)~(26)が2次元隆起を、またケース(27)は2次元沈没を想定したものである。さらに、それらの条件のもとで得られた隆起中心での最大水位、隆起に最も近い壁面での最大水位、および壁面で最大水位となる時刻も表-1に示した。

4) 計算結果と考察

得られた計算結果の例を図-2, 3に示す。ここで、図-2は計算ケース(1)で得た隆起中心での海面変動の時間的変化であり、図-3は同じくケース(1)での海底隆起

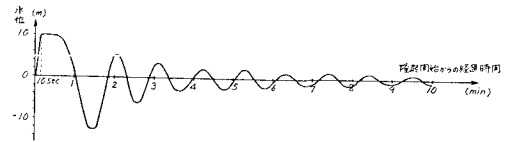


図-2 隆起中心部での水位変化 (Case. 1)

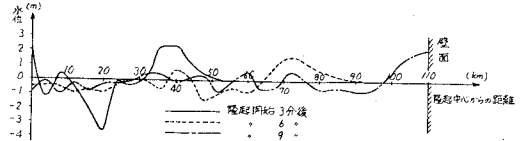


図-3 隆起開始後における波形 (Case. 1)

開始3, 6, 9分後の波形である。なお、今回は海底隆起で生じる隆起直上での海面変動を対象としたので、計算は発生した第1波が直立壁に到達するまでとした。さらに、他の計算ケースも同様の傾向を示すため省略したが、他のケースでは必ずしも発生する第1波の山が海底隆起量と同じ高さとはならず、発生する波形は与えられる計算条件によって異なる。図-2と同様の出力結果より隆起中心および壁面での最大水位を判読し表-1に示した。

表-1より、海底の隆起時間、隆起範囲、隆起量、および水深の水深のうち、1個のパラメータのみを変化させ、残りを一定とした場合に得られた海面変動の性状を述べると、以下のようになることがわかる。

- ① 隆起時間のみを変化させた場合：①隆起時間を速くする程、発生する最大水位は高く、壁で最大水位となる時刻も速くなる。②隆起範囲 $20 \times 20 \text{ km}^2$ 、水深 4 km で隆起時間が30秒以下となれば、隆起中心での最大水位は隆起量と一致する。
- ③ 同じく、50秒以上では第2波以降は第1波に比しきわめて小さくなる。
- ④ 隆起範囲のみを変化させた場合：①隆起範囲を広くする程、最大水位は高く、壁で最大水位となる時刻も速くなる。
- ②隆起時間50秒、水深 4 km で隆起範囲が $28 \times 28 \text{ km}^2$ 以上となれば、隆起中心での最大水位は隆起量と一致する。
- ③ 隆起量のみを変化させた場合：隆起量を増す程、最大水位は増える。しかし、最大水位は高々隆起量と同じである。
- ④ 水深のみを変化させた場合：水深を深くする程、最低水位は高く、壁で最大水位となる時刻は速くなる。
- ⑤ 2次元隆起では3次元隆起と同様の性状を示すが、壁に到達する最大水位は隆起中心での最大水位より高くなる。
- ⑥ 海底の沈没と隆起とでは、水深 4 km の場合水位が正負逆になるだけでその他は同じ性状を示す。

また、各条件より得られた第1波の山と谷の水位の差を最大波高と定め、隆起時間 T 、隆起量 ΔH 、および水深 H より求まる無次元量 $(\Delta H / T \sqrt{gH})$ に対する水深で無次元化した最大波高 (A/H) の関係を抽くと図-4になる。図より、海底隆起で生じる最大波高は隆起量に比例し、隆起時間、水深の増大につれて減少すること、および2次元と3次元隆起の差異は顕著でなく同様の性状を示すことがわかる。

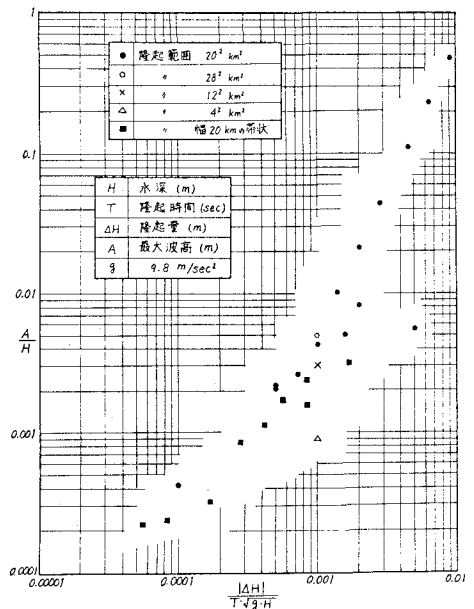


図-4 海底変動と発生する最大波高の関係

5) あとがき

以上述べたことより、海底変動の定量的な把握が必要であり、とくに津波予測計算に当っては海底変動の与え方によって予測される波高が異なり、得られる数値の十分な吟味が要求されることが判明した。