

津波による木材の流出に関する計算

後 藤 智 明*

1. 序

津波の来襲に伴う木材流出の記録としては、宮古湾の例が有名である。チリ地震津波の時に、宮古港鉾ヶ崎地区に集積されていた木材が流れ出し、船舶などに被害を与えた例や、十勝沖地震津波の時に、宮古港神林貯木場から3700本流出し、湾奥から湾奥一帯に拡がった例である。

先に著者等々は、流木の運動を記述する上で最も重要と思われる流木の抵抗係数、付加質量係数および拡散係数を水理模型実験で調べ、これらの係数を用いた数値計算法を提案している。本研究では、この計算法を現地海岸へ適用することにより、実用上の問題点を検討している。

2. 数値計算法

(1) 運動の式

流木の水平方向の運動は、慣性、水流の圧力勾配、付加質量、流水抵抗として拡散により記述できる。計算は拡散を除く4種類の力の釣り合いを決定論的に扱い、拡散は、決定論的に定まる流木の位置からのずれと考え、確率論的に扱う。

時刻 $t=0$ に座標 X_0 に存在していた流木が t 時間後、座標 X に移動したものとす。決定論的な力の釣り合いは、 u_t , u をそれぞれ流木および水粒子速度とすると、

$$\rho_t V \frac{du_t}{dt} = \rho V \frac{du}{dt} + \rho(C_M - 1)V \left(\frac{du}{dt} - \frac{du_t}{dt} \right) - \frac{1}{2} \rho C_D A (u_t - u) |u_t - u| \quad \dots\dots (1)$$

で表わされる。ここで、 ρ_t , ρ はそれぞれ流木および水の密度、 V は流木の体積、 A は流木の接水投影面積である。また、 C_M , C_D はそれぞれ流木の付加質量係数および抵抗係数である。

流木の拡散によるずれは、拡散係数 κ を満たす散らばりとなるように $(0, 1)$ 間の一様乱数 ξ を用いて定める。従って、流木の位置 X は

$$X = X_0 + \int_0^t u_t dt + \sum_{k=0}^{n \Delta t} \sqrt{24 \kappa \Delta t} \left(\xi_k - \frac{1}{2} \right) \quad \dots\dots (2)$$

で計算できる。ここで、 $t = n \Delta t$ である。

計算は式(1), (2)を差分化して行う。式(1), (2)の差分式は、 k を時間ステップ、 j を木材につけた番号とすると、

$$u_{t,j}^{k+1} = \frac{1}{1+\mu} \left[(1-\mu)u_{t,j}^k + 2\Delta t \alpha \left(\frac{du}{dt} \right)_j^k + 2\mu u_j^k \right] \quad \dots\dots (3)$$

$$X_j^{k+1} = X_j^k + \Delta t u_{t,j}^k + \sqrt{24 \kappa \Delta t} \left(\xi_j^k - \frac{1}{2} \right) \quad \dots\dots (4)$$

となる。ここで、

$$\mu = \beta \Delta t C_D \frac{A}{V} |u_t - u|, \quad \alpha = \frac{C_M}{\rho_t / \rho + C_M - 1},$$

$$\beta = \frac{1}{2(\rho_t / \rho + C_M - 1)}$$

である。

(2) 流出開始条件・停止条件

流出開始条件としては、貯木形式の違いにより、次の2種類のものを設定する。

野積みの木材は津波の浸水深が木材の直径以上となれば流出が始まるものとする。

水面貯木については、係留ワイヤーの強度以上に津波の掃流力が大きくなった時点とする。掃流力は式(1)から

$$F = \rho C_M V \frac{du}{dt} + \frac{1}{2} \rho C_D A u^2 \quad \dots\dots (5)$$

で表される。

木材の移動停止条件としては、野積みの木材の流出開始条件とは逆に、移動先の実水深が木材の直径以下となった時点とする。

3. 宮古湾に関する計算

(1) 津波の計算

津波の計算は電子計算機の記憶容量および演算時間の制限のため、発生および外洋での伝播を扱う外海計算と、宮古湾内の流動を詳細に扱う近海計算の2種類に分離して行なう。まず、外海計算を行ない、近海計算のための境界値を出力する。近海計算ではこの境界値を外海

* 正会員 工修 東北大学助手 工学部土木工学科

境界条件とし、宮古湾内の津波の水位および流速分布を出力する。

外海計算の計算領域は北緯 38 度 20 分から 43 度 5 分、東経 140 度 30 分から 145 度 15 分の範囲である。計算格子は 5910 m～657 m の 3 種類のものを用いている。対象とした津波は昭和 43 年十勝沖地震津波であり、金森²⁾の断層パラメーター、羽鳥³⁾の波源域を用いている。

近海計算では、宮古湾の現況地形を対象とし、天文潮位 T.P. 0 m の時に十勝沖地震津波と同じ津波が来襲した場合を考えている。図-2 に宮古湾の現況地形と防波堤防潮堤の配置を示す。防波堤・防潮堤の T.P. 0 m から測った天端高を数字で示している。計算には、50 m 正方格子を用い、マンニングの摩擦則（粗度係数は 0.02）を考慮した浅水理論を用いている。

(2) 木材の流出計算

近海計算による水位および流速分布を用いて、木材の流出は差分式 (3), (4) で計算を行なう。簡単のため、水流の乱れは斉等質であり、拡散係数は

$$\frac{\kappa}{u_* h} = 0.032 \quad \dots\dots\dots (6)$$

で与えられるものとする。ここで、 u_* は水流速を対数分布と考えた場合の摩擦速度であり、 h は全水深を意味する。また、流木の中心軸と流れ方向はたえず一致し、流木はいかなる回転運動もしないものと仮定する。さらに、流木の寸法としては宮古港に貯木されている南洋材を代表流木として選び、直径 1 m、長さ 10 m とする。

以上の仮定から、流木の抵抗係数、付加質量係数には、

$$C_D = [0.91 + 32.5 R_e^{-1/2}]^2 + 0.1 F_r^{0.25} \quad \dots\dots\dots (7)$$

$$C_M = 1.78 \quad \dots\dots\dots (8)$$

を用いる。

また、津波来襲時の宮古港には、出崎・藤原埠頭の野積み木材、神林貯木場の水漬けの木材の合計 6000 本が貯木されていたものとする。

(3) 計算結果

外海計算結果と十勝沖地震津波の宮古港検潮記録とを比較すると、第 1 波および第 2 波は計算結果の方が低い水位となり、逆に第 3 波以降は計算結果の方が高い結果となった。そこで、近海計算との境界点で波を入射波成分と反射波成分に分離し、入射波成分を補正して近海計算へ入力することを考えた。補正には予備計算を数回繰り返すことにより各波峰・波谷ごとに倍率を定める方法を用いた。図-1 に計算結果と検潮記録との比較を示す。実線が計算結果、黒丸印は検潮記録である。検潮記録は天文潮位を差し引いたもので、津波による水位変動を表す。

図-2 に宮古湾内の水深分布と湾内各地の津波水位に

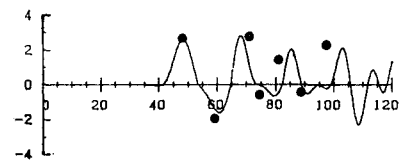


図-1 外海計算結果と検潮記録との比較

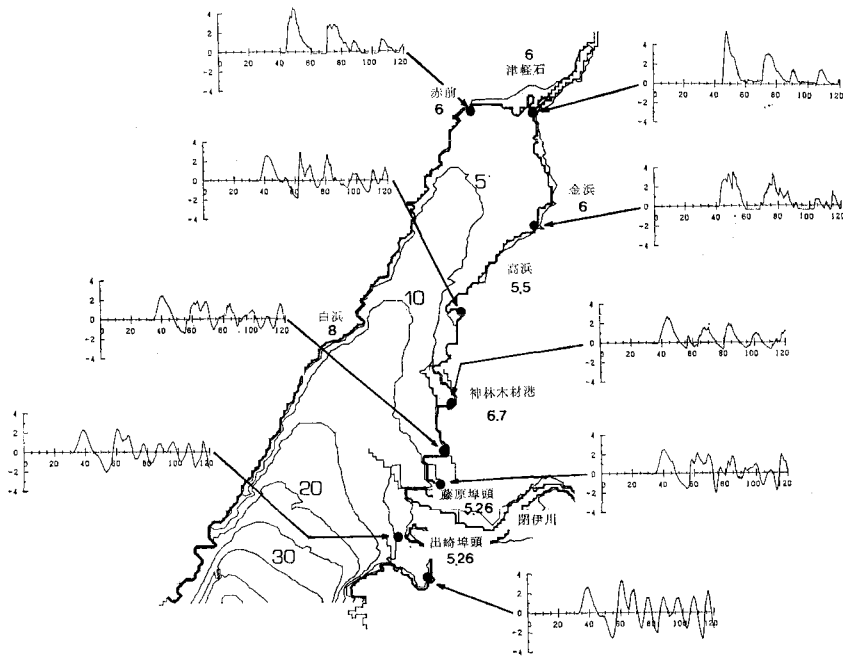


図-2 宮古湾の水深分布と津波水位の経時変化

関する近海計算結果を示す。時刻の原点は津波発生時である。

図-3 から 図-8 に津波発生後 40 分以後の津波の空間水位分布、空間流速分布および木材の流出状況に関する計算結果を示す。津波の水流に関する図は、10 cm ほどの等水位線と流速ベクトルが描かれている。木材の流出に関しては、津波の近海計算と同じ 50 m 正格子で宮古湾を覆い、木材が 1 本以上存在する格子を丸印で表わしている。

津波発生後 40 分で、第 1 波波峰が閉伊川右岸からのびた藤原地区防波堤付近に達している様子が 図-3 に示されている。この時刻では、野積み・水漬けの木材共に流出は始まっていない。

45 分後の流況を示す 図-4 を見ると、第 1 波波峰は高浜地区付近まで達していることがわかる。閉伊川河口付近の水位は河川内の水位より低くなるため、5 分前とは逆に、河川から湾奥に向う流れとなる。また、藤原地

区防波堤背後には渦が見られる。木材の流出は、津波発生後 43 分頃始まる。出崎埠頭に野積みされていた木材は鉾ヶ崎地区へ流される。藤原埠頭の木材は、物揚場を越えて流される水流に乗り、藤原地区防波堤の背後へ流出する。神林木材港の木材はごく少数が港外へ流出するが、多くは港内に止まっている。

図-5 は、津波発生後 50 分の結果である。津波の第一波は湾奥の津軽石地区に達している。湾奥における等水位線が非常に密となっているのは、津波が段波状の波頭となっているためである。

津波発生後 55 分では、津波は湾口から引き始めている。引波となると、図-4 とは逆に、藤原地区防波堤前面で渦が発生する。図-7 の津波発生後 60 分では一段と渦が強くなる。神林木材港の木材は 55 分頃の引波で多数が流出し湾中央部へ拡がる。

図-8 に示す 120 分の結果によると、宮古湾のほぼ半分の広さにわたり、木材が点在する状況となる。藤原地

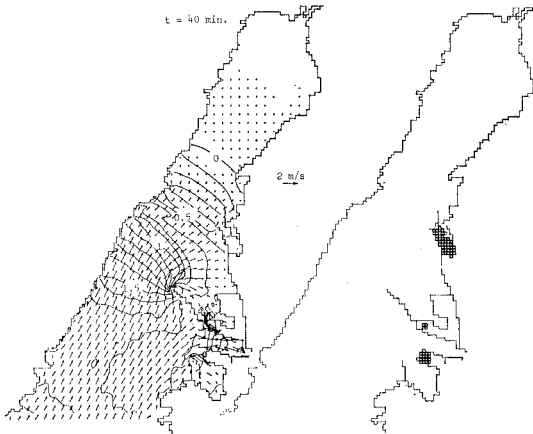


図-3 津波の流況と木材の流出に関する計算結果
(津波発生後 40 分)

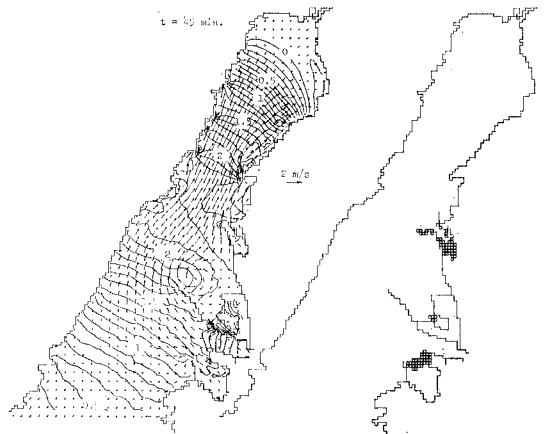


図-4 津波の流況と木材の流出に関する計算結果
(津波発生後 45 分)

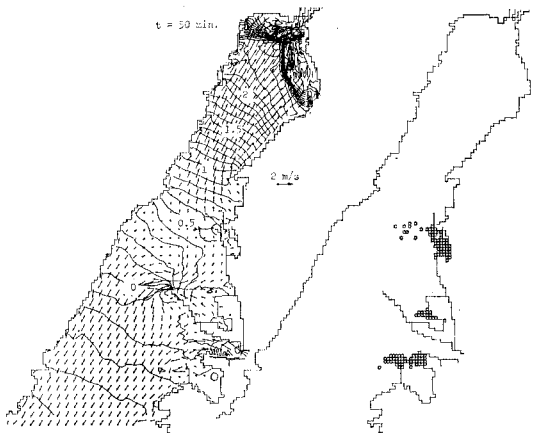


図-5 津波の流況と木材の流出に関する計算結果
(津波発生後 50 分)

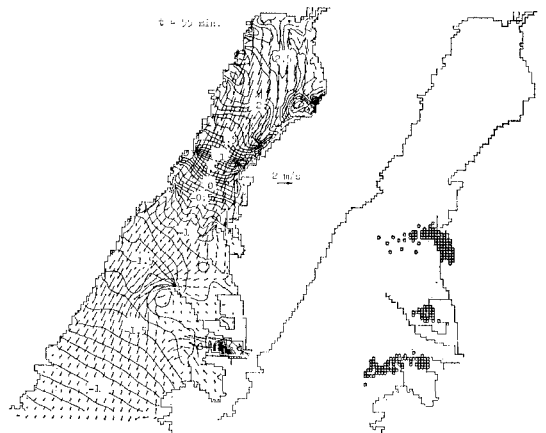


図-6 津波の流況と木材の流出に関する計算結果
(津波発生後 55 分)

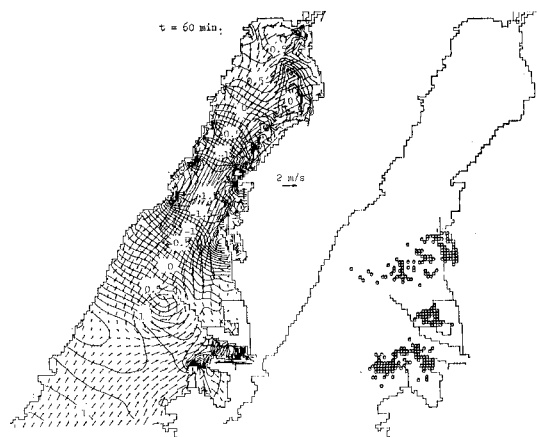


図-7 津波の流況と木材の流出に関する計算結果
(津波発生後 60 分)

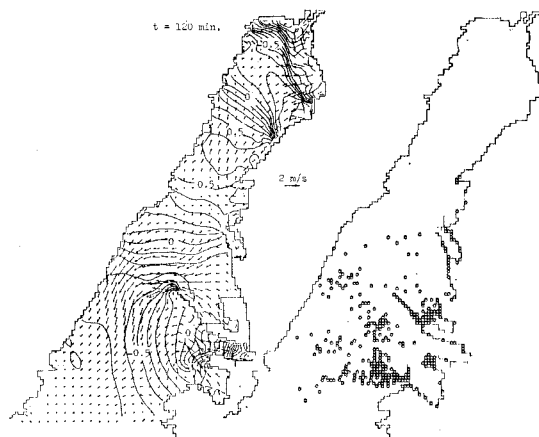


図-8 津波の流況と木材の流出に関する計算結果
(津波発生後 120 分)

区防波堤前面の空白地域は、引波時に閉伊川から防波堤に沿う強い流れがおこるためである。

図-9、図-10 に津波の最大水位分布および最大流速分布を示す。実線は 10 cm ごとの等水位線および 10 cm/s ごとの等流速線を示す。数字は T.P. 0 m から測った m 単位の最大水位および m/s 単位の最大流速であった。

る。最大水位は津軽石地区で T.P. 5.42 m である。

4. 結 言

複雑な形状を有する宮古湾内の津波による木材の流出計算は、本研究で示した方法を用いれば比較的容易にかつ安定に行うことができる。残された問題は計算結果の精度に関することである。

謝 辞: この研究を行うにあたり、東北大学工学部 首藤伸夫教授には多くの助言を賜った。ここに記して厚く謝意を表す。本研究の一部は文部省科研費（代表者 東京大学工学部 堀川清司教授）によって行われた。

参 考 文 献

- 1) 後藤智明・首藤伸夫・佐々木順次: 津波による木材の流動, 第 29 回海岸工学講演会論文集, 1982.
- 2) Kanamori, H.: Focal mechanism of Tokachi-oki Earthquakes of May 16, 1968, Contortion of the lithosphere at a junction of two trenches, Tectonophysics, Vol. 12, 1971.
- 3) 羽鳥徳太郎: 東北日本太平洋側における津波の波源, 地震, Vol. 27, 1974.



図-9 最大水位分布

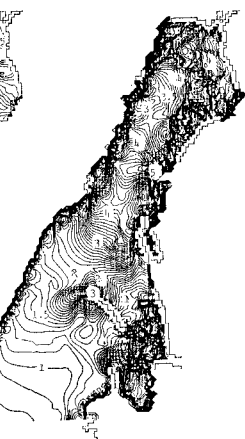


図-10 最大流速分布