

伊豆半島入間における安政東海地震津波の波高と土砂移動

浅井大輔*・今村文彦**・首藤伸夫***・高橋智幸****

1. はじめに

津波による被害については、最大波高や流速などに関連した人的・家屋被害を中心に研究が行われている(首藤, 1987)。しかし最近、津波による思わぬ災害の1つとして土砂移動についても着目されて研究されている(高橋, 1998)。さらに最近の津波調査などでは、津波の来襲後に数十 cm 程度の堆積層が確認されその移動形態の特徴などが明らかにされ始めている。この中で局所的には土砂移動が1 m を超える事例はあるが、規模としてそれほど大きい例はなかった(今村ら, 1996; 1997)。ところが、静岡県南伊豆町入間においては、1854年安政東海地震津波の際に、集落の中心部をほぼ埋め尽くす程の大量土砂が陸へ打ち上げられたことが伝わっている。都司・斉藤(1995)によれば、入間での最高津波高さは16.5 m と推定されている。この値は周囲での結果と比べて飛び抜けて大きい値となっており、従来の数値計算による検討でも(静岡県, 1986)、この値の再現には成功していない。

そこで、本研究では、この事例の規模と信憑性を調べるために、現地調査に加えて、過去の研究における問題を改善して津波波高の数値解析を行った結果を報告する。

2. 土砂堆積量の算定

静岡県南伊豆町入間では、「加美家沿革誌」(萩原, 1958)の記述が地元の伝承と共に、1854年安政東海地震津波により大量の土砂が陸へ打ち上げられたと伝えている。現在集落が位置している場所は、津波襲来以前には地盤が低く、農地として使われていたようであるが、津波により大量の土砂が残され、現在の地盤高となったと言われている。現在の集落は、津波で堆積した海砂層の上に築かれているため、海岸付近で約10 m の段差が見られる

(図-1, 2参照)。

平成8年に行った現地調査では、集落内で掘削を行い、そこでの砂が海砂であることが容易に判別できた。粒径が均一で丸みを帯びており、小さい貝片(数 cm 程度の白色)が多く含まれていたのである。また、昭和29年水道敷設工事の際には、道路下12尺のところから人骨が3体発見されており、4 m 以上の堆積の生じたことが伺われる。さらに「加美家沿革誌」の記述によると、大火災後の大正の宅地造成期に3, 40人分の人骨も発見されている。なお、現地調査でも木材の焼けこげた痕跡があり、火災の事実を裏付けている。

入間での土砂堆積については、「加美家沿革誌」にも具体的な記述が見られる。「加美家沿革誌」は、入間の旧家である外岡家の歴史をつづった資料である。それによると、「島条並びに的場条方面」(現在の集落の中心地と思われる)は、津波前は遙かに低くかつ平坦であったが、津波により「各所に土砂堆積し」、「凹凸起伏極まりなき地勢」となり、「これがために島条方面は全部免租無年貢地」となったと記述されている。

以上のように、入間において土砂の堆積が起こった可能性は極めて高いが、津波襲来以前の地形が不明なため、その土砂量を正確に求めることはできない。しかしながら、地元の人の証言から、土砂量の概算を見積もることができる。外岡氏によると、「津波以前には、現在の集落地の西方に位置する外岡家から、集落地の東方に位置するビニールハウス付近の畑を見渡すことができた。しかし、現在は集落に阻まれており、その畑を望むことはできない。」と証言している。したがって、図-1に示すように、外岡家とビニールハウス付近を結ぶ標高より高い地盤は、運搬堆積された土砂で生じた結果であると考えられる。これを調べるために、外岡家とビニールハウスを結ぶ断面図(図-1)を示すと、外岡家とビニールハウス付近の標高は、測量の結果それぞれ9.6 m と11.2 m と分かり、人間の視線の高さを考慮するとほぼ等しくなる。

さらに、堆積した容積を算出するためには、空間的な広がりが必要であるが、これは砂地盤の範囲から推定できた。砂地盤は海岸付近から始まり、海蔵禅寺に至る前

* 学生会員 東北大学大学院工学研究科
** 正会員 工博 東北大学助教授 大学院工学研究科附属災害制御研究センター
*** 正会員 工博 岩手県立大学教授 総合政策学部
**** 正会員 博(工) 京都大学助手 防災研究所巨大災害研究センター

の標高で突然終わっている。それ以上の標高では、岩石や土の地盤が露出しており、境界は明確であった。以上の土砂堆積の高さと範囲から、土砂量は約 70 万 m³ と算定された。ただし、津波来襲以前の地盤は、今回仮定した高さ（外岡家とビニールハウスを結ぶ標高 11.2 m）より低かったはずであるから、実際に堆積した土砂量はさ

らに多かった可能性が大きい。

3. 安政東海地震断層パラメータの再検討

過去の研究において、相田(1981)は石橋モデル(1976)を基に、安政東海地震津波の再現計算を実施している。房総半島から紀伊半島にかけての広い沿岸各地における津波の状況をかなりよく再現しているが、詳細に見ると伊豆半島付近ではばらつきがあり、最近の調査結果(都司・斉藤, 1996)を加えると、計算値は過小評価になる。そこで、本研究で改めて、現在入手可能なデータを比較しながら石橋モデルの再検討を行う。

石橋(1976)の断層パラメータを表-1に示す。これらのパラメータの中で静岡県(特に伊豆半島)での津波分布にもっとも影響するのが断層の走向方向であるため、この値を変化させて、実測値と比較した。その際、以下の式で定義される Aida (1978) の指標 K (平均値との誤差) と κ (データのばらつきの指標) を使って妥当性を調べた。その結果を図-3に載せる。

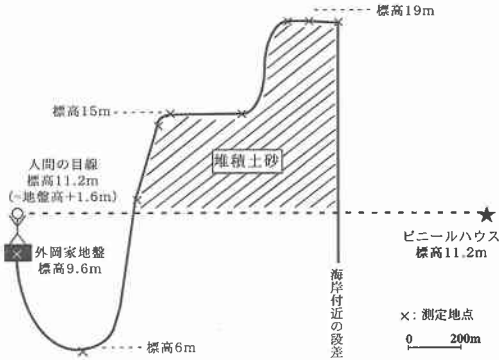


図-1 外岡家とビニールハウスを結ぶ断面図

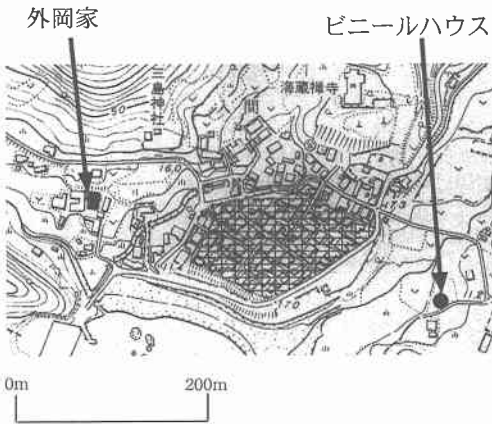


図-2 砂地盤の範囲



写真-1 入間湾外観図

$$\log K = (1/n) \sum_{i=1}^n \log K_i$$

$$\log \kappa = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\log K_i)^2 - (\log K)^2 \right]^{1/2} \dots \dots (1)$$

ここで、 $K_i = x_i/y_i$, x_i : 実測値, y_i : 計算値, n : 比較データ数である。

対象領域は、図-4に示す静岡県ほぼ全域であり、線形長波理論を用いて解析した。この結果を見ると、石橋の断層パラメータである $\theta = 198^\circ$ は、 K , κ とともに大きく、実測データとの一致があまり良くない。もっとも良好な K 値が $\theta = 180^\circ$ の場合であった。この結果は、東側断層が、より伊豆半島側に位置することを示している。過去の計算例(静岡県, 1986)では、伊豆半島において、数値計算による到達時間が実際に推定される値よりも遅いことが、指摘されている。 $\theta = 180^\circ$ のモデルは、この問題についても解決できる。

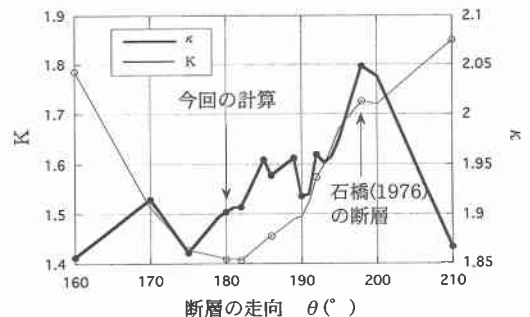


図-3 Aidaの係数 K , κ の変化

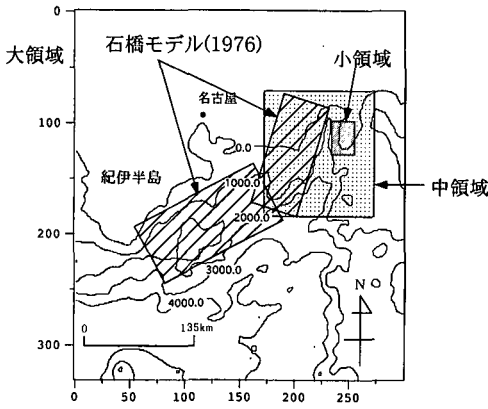


図-4.1 計算領域 (大中小領域)

4.2 入間湾への入射波形

第一段階として、入間湾に押し寄せてくる津波の波高を求めるために大中小の3領域を用いて線形計算を行い、入間での波形の時系列データを算出する。計算領域を図-4.1, 4.2に示す。また、領域の空間格子を表-2に示す。また、その計算結果と実測値の最大波高の比較の図を図-5に、入間での波形の時系列を図-6に示す。

4.3 入間湾内における遡上計算

入間湾は湾口がおおよそ20m程度の小規模湾であるため、小領域でさえも1つのメッシュ内に湾が入ってしまい、局所的な変動を見ることができない。そのため、4.2で得られた入間での時系列データを境界条件として入力して、入間湾での詳細計算(遡上計算も含む)を行った。

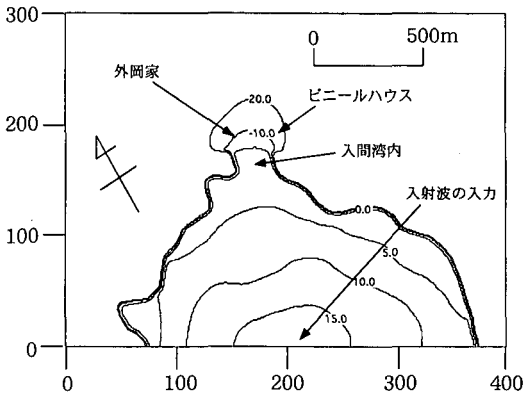


図-4.2 計算領域 (入間での領域, 津波来襲前)

4. 入間周辺での数値解析

4.1 地形データ作成と入手可能なデータ

入間での土砂堆積については「加美家沿革誌」(萩原, 1958)に記述があり、地元の人と共に、津波前の地形を推定した。2.で述べたように、さらに、現地調査を2回にわたり実施し、現地形の測量、資料収集、トレンチ調査を行って土砂移動量を推算した。さらに、入間沖からの大量の土砂移動の可能性を検討するために、潜水調査を実施し海底砂の有無や特徴を調べ、入間沖の海底は遠浅の砂地であることを確認した。

そこでここでは、津波数値解析を実施し、入間付近に来襲する津波の規模の推定を行う。これらにより津波外力が大規模土砂移動を生じさせる可能性があるかどうかをある程度判断できる。数値解析では、既存の数値解析(相田, 1981)で使用されたものよりさらに詳細な水深データを作成して利用した。この際、より詳細な計算を行うために、計算領域を4つ設定して、接続計算を行った。

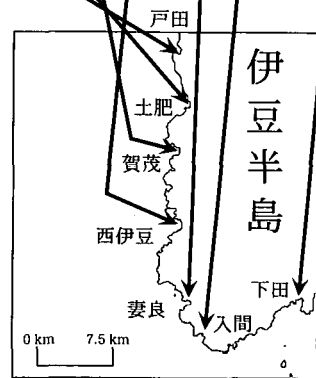
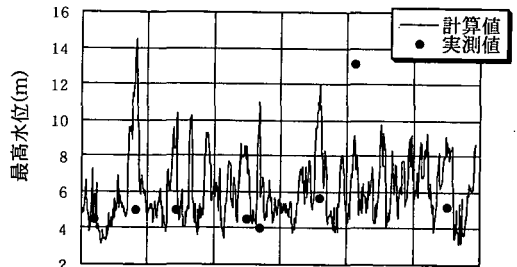


図-5 最高水位分布 (小領域)

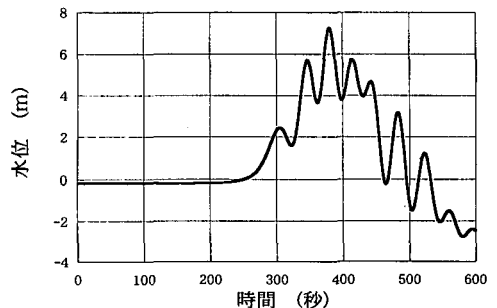


図-6 入間での時系列

ここでは、入間での最大遡上高さとし総土砂移動量（移動床計算ではなく、計算されたせん断力より砂移動の総量を求める）を推定することとする。

計算結果の一例として、遡上する際の流速ベクトルを図-7に示す。1 km 程度の幅を持つ外側領域から進入した津波は、奥の位置する入間湾（湾口幅 20 m）へ集中し、集落の中央部へ遡上していることがわかる。図中では、第一波の押しの際に大きな流速が見られるが、その引きの際にもさらに増して大きな流速値が見られる。陸上の3点での遡上の時系列データを図-8に示す。外岡家で

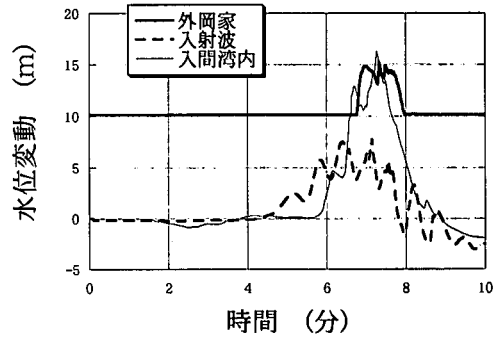


図-8 入間での水位時系列

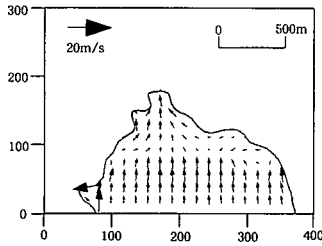


図-7(a) 津波発生 6分後

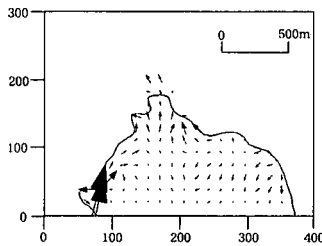


図-7(b) 津波発生 7分後

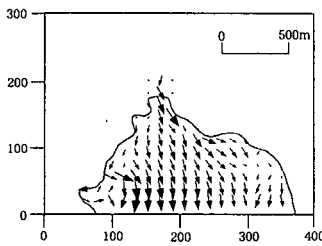


図-7(c) 津波発生 8分後

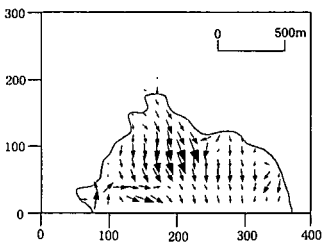


図-7(d) 津波発生 9分後

図-7 入間で計算された流速ベクトル

は、地盤高が約 10 m であり、計算された浸水高さは 5 m 程であり、海面からのからの最高水位としては約 15 m となった。これは、都司・斉藤 (1995) が測定した 16.5 m とほぼ等しい値である。従って、詳細地形を考慮に入れた数値計算を行うことにより、入間での最大津波高さは再現できることがわかった。ただし、同様な詳細計算を他の地域でも行うと、その津波高さは増加する可能性が高く、これはその地域での実測値 (3-7 m) を説明できなくなる。この点については、さらに検討が必要である。

現在、砂の粒度分布などが分からないため、ここでは移動床計算を行わずに、計算されたせん断力によりどの程度の土砂移動があるかを推定した。第一波のみを考慮して、第一波の進入後 2 分間でのせん断力の総和を流速値 (Manning 則を適用) から求め、浅井ら (1997) の流砂量公式より総土砂移動量を推定した。その結果、第一波だけで 200 万 m³ の移動があることが推定された。この値は、堆積量ではないので今回推定された値と直接に比較は出来ないが、70 万 m³ を堆積させる可能性があることを示している。

5. 結 論

史料と外岡家の伝承を基に、津波後に堆積したと思われる地盤高 (4 m から 8 m) を推定し、堆積量は約 200 万 m³ と算出した。現在までに定量的に評価可能な津波による土砂移動量の中で最大規模である。さらに、水深 30 m 以浅での潜水調査を実施し、入間沖の海底は遠浅の砂地であることを確認した。これは、大量の土砂の供給源としてなり得ることを示唆している重要な結果である。

詳細な水深データを用いた数値解析により、提案されている石橋 (1976) モデルのパラメータの中で、東断層の走向を変更する必要があることが分かった。特に伊豆半島周辺の津波記録を説明するにはその走向が 180 度であることが推定された。

安政東海地震津波を線形長波伝播計算で再現し、伊豆

表-1 断層パラメータ (石橋, 1976)

	$N(^{\circ}N)$	$E(^{\circ}E)$	$d(\text{km})$	$\theta(^{\circ})$	$\delta(^{\circ})$	$\lambda(^{\circ})$	$L(\text{km})$	$W(\text{km})$	$U(\text{cm})$
①	33.9	138.13	3	245	24	113	150	100	400
②	33.14	138.73	2	198	34	71	115	70	400

N : 緯度, E : 経度, d : 断層の深さ, θ : 断層の走行方向, δ : 断層の傾き, λ : 食い違い方向, L : 断層長さ, W : 断層の幅, U : 食い違い量

表-2 空間格子サイズと格子点数

	メッシュサイズ	格子点数
大領域	1350 m × 1350 m	300 × 300
中領域	450 m × 450 m	349 × 397
小領域	150 m × 150 m	202 × 334
入間での領域	5 m × 5 m	400 × 300

半島入間に押し寄せた最大波高の算定を行った。静岡県での過去の文献や痕跡調査によって得られた実測波高にある程度近づいたが、得られた入間での計算結果 (6 m弱) は過小評価であった。そこで、入間港の詳細な地形データを用いて、さらに細かい地形的な効果を入れ、非線形の遡上計算を行った。その結果、入間での最大遡上高さは 24 m となった。なお、外岡家付近では 15 m 程度であり、これは痕跡記録 (16.5 mTP) とよい対応を示している。数値計算では、入射した第一波が遡上した後流下する際に湾の東側で反射し、それが回り込みながら再遡上している様子が再現された。

謝辞: 本研究の一部は、文部省科研費基盤 (A) (2) 「津波による大規模土砂移動の解析と評価手法の開発」 (代表: 首藤伸夫) より補助を受けた。また、現地調査で

は、東北大学大学院理学研究科 箕浦幸治教授より多大の協力を得た。ここに記して謝意を表す。

参考文献

- 相田 勇 (1981): 東海道沖におこった歴史津波の数値計算, 地震研究所彙報, Vol. 56, pp. 367-390.
- 浅井大輔 (1997): 津波を想定した大掃流力に適用する流砂量公式, 東北大学卒業論文, pp. 25-32.
- 石橋克彦 (1976): 東海地方に予想される大地震の再検討—駿河湾大地震について—, 地震学会講演予行集, No. 2, pp. 30-34.
- 今村文彦・箕浦幸治・高橋智幸・首藤伸夫 (1996): 1992年フローレス島地震津波による堆積作用に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第43巻, pp. 686-690.
- 今村文彦・高橋智幸・箕浦幸治・首藤伸夫 (1997): エーゲ海における歴史津波堆積物に関する現地調査, 海岸工学論文集, 第44巻, pp. 321-325.
- 静岡県地震対策課 (1986): 安政東海地震津波被害調査報告書, 86 p.
- 首藤伸夫 (1987): 津波災害の変遷, 東北大学工学部津波防災実験所研究報告, 第4号, pp. 1-41.
- 高橋智幸 (1998): 津波による土砂移動に関する研究, 東北大学博士論文, pp. 9-13.
- 萩原直七 (1958): 加美家沿革誌, 132 p.
- 都司嘉宣・斉藤 晃 (1995): 静岡県沿岸の安政東海地震津波, 今だから知りたい東海地震, 静岡新聞, pp. 8-13.
- Aida, I. (1978): Reliability of a tsunami source model derived from fault parameters, J. Phys. Earth, No. 26, pp. 57-73.