

映像解析による2011年東北地方太平洋沖地震津波の流速測定と数値解析

東北大学 学生会員 林 里美
東北大学大学院 正会員 越村 俊一

1. 序論

2011年3月11日14:46:18 (JST), 牡鹿半島の東南東約130kmの地点で東北地方太平洋沖地震 (M_w 9.0) が発生した。この地震により生じた津波は、岩手県・宮城県・福島県を中心とした太平洋沿岸部を襲い、甚大な人的被害・建物被害をもたらした。

今回の事例も含め、巨大地震の発災後は多くの現地調査が行われ、浸水域や浸水深、遡上高といった津波流況が明らかになる。特に、流速は津波挙動を把握する上で重要な要素である。陸上における流速情報は、数値計算の再現性の検証や、家屋に作用する流体力・漂流物の衝突力の定量的評価、高度な防災計画の策定に応用可能であり、有用性が非常に高い。

しかし、流速は直接的な測定が困難である為、従来は浸水深の水位差から近似的に推定する手法が用いられてきた (松富・首藤, 1994)。多数の津波目撃映像が残されるようになった近年では、Fritz *et al.* (2006) がビデオを解析することで実流速を算出している。だが、このような測定例は未だ少なく、解析手法も確立していない。

そこで本研究では、東北地方太平洋沖地震津波の解明を目的として、津波目撃映像に画像処理を適用することにより、津波流況の把握や遡上速度・流速の算定を行う。更に、遡上速度や津波挙動に関して、映像解析から得た実測結果と数値計算による結果を検証することで、数値シミュレーションの再現性を評価する。

2. 概要

(1) 映像解析

a) 対象ビデオと対象地域

東北地方太平洋沖地震津波を撮影したビデオは、オンライン上で数多く公開されている。本研究では、カメラモーションが微少であること、画面上に正確な撮影時刻が記録されていることから、NHKの空撮映像を解析対象とした。このビデオは、発災後約1時間が経過した15:52から、名取川河口周辺を起点にして撮影が開始されてお

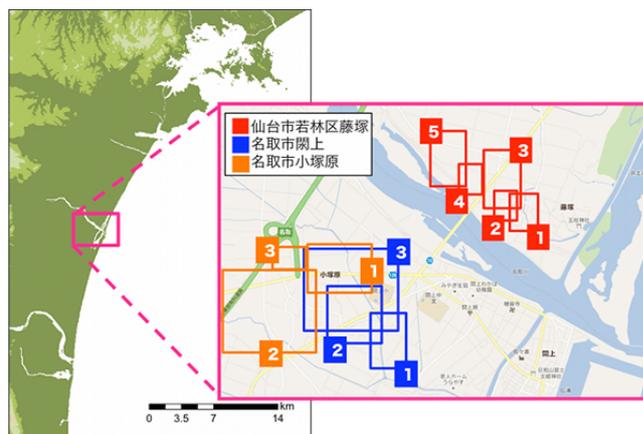


図-1 解析対象地域

り、特に15:55 - 16:09には仙台平野を遡上する津波先端部を克明に記録している。また、撮影範囲が名取川河口 - 仙台東部道路であることから、仙台市若林区藤塚・名取市関上・名取市小塚原の3地域を解析対象とした (図-1)。

b) 手法

津波の遡上速度を測定する為には、ビデオから津波先端部の正確な位置情報を抽出する必要がある。そこで本研究では、津波フロント線を描き込んだキャプチャ画像を幾何補正し、被災前の地図に重ね合わせる作業を行った。幾何補正とは、画像座標を実空間座標へ変換することにより、幾何学的歪みを取り除く方法である。今回の解析では、斜め上空からの撮影により生じた画像内の歪みを除去する為、2次元射影変換を適用した。

遡上速度の算出は、上記の手順を踏んで正しくマッピングされた津波先端部の移動距離を測定することで行う。流速は、津波先端部の通過後2 - 45秒間における漂流物を選択・追跡することで算定した。

(2) 数値解析

本研究では、非線形長波理論式を基礎式とする数値シミュレーションを行った。波源モデルは東北大学モデル (version1.1) を使用し、粗度係数は一律0.025に定めた。なお、10mメッシュ詳細領域では被災後の地形データを用いたほか、各セグメントにおけるライズタイムの設定や断層破壊開始時刻の考慮はしていない。

3. 結果と検証

表-1 津波到達時刻

地点名	実測	計算
仙台新港（海域）	15:41	15:47
名取川河口（陸域）	不明 - 15:54	15:53 - 15:54
仙台空港（陸域）	15:56	15:54 - 15:55

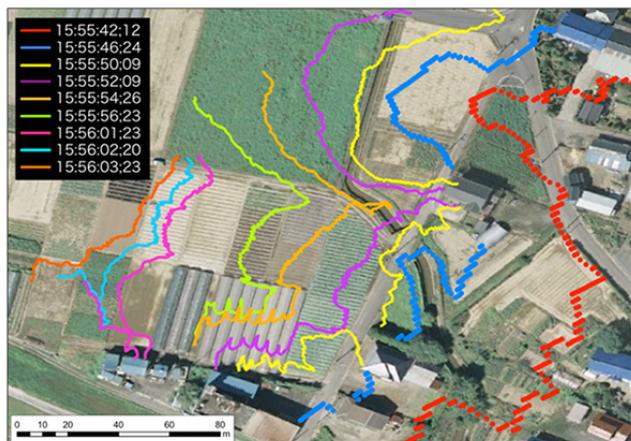


図-2 幾何補正後の津波先端部（藤塚1）

(1) 津波到達時刻

仙台平野の沿岸部3地点における、津波の実測到達時刻と計算到達時刻を表-1に示す。前者はNOWPHAS潮位データ（仙台新港）やNHKの空撮映像（名取川河口）、国土交通省航空局のビデオ（仙台空港）を用いて推定した。

その結果、海域では計算結果に遅れが生じた一方、陸域では計算が実現象を追い越していることが分かった。海域における数値計算の遅れは、実際の波形を考慮せずに構築された波源モデルに原因があると考えられる。また、陸域における差異は、初期条件に加えて遡上計算の条件が大きな影響を及ぼしている為である。

(2) 遡上速度と流速

図-2に幾何補正した津波先端部、表-2に同地点における遡上速度の実測値と計算値、流速の実測値を示す。

平地部分と家屋等が存在する部分で遡上速度を比較すると、後者では障害物の影響を受けて1-3割程度減衰していることが確認された。また、数値計算では実測値に比べ、遡上速度を1-3割程度過大評価していることが分かった。この原因として、実際は沿岸部の松林や住宅地を通過する際にエネルギーが減衰しているにも拘らず、本研究では一定粗度しか与えていないことが挙げられる。実現象に近付ける為には、土地利用に応じた詳細な粗度を設定する必要がある。

また、流速は遡上速度を上回る、もしくは同程度であることが分かった。Fritz *et al.* (2006) が指摘した通り、これは浸水深の急激な増加が原因であると考えられる。空

表-2 遡上速度と流速

[単位：m/s]

領域名	遡上速度			計算	実測
	実測				
	平地	家屋等有	平均		
藤塚 1	6.91	5.59	6.52	8.59	7.99
藤塚 2	6.02	5.77	5.91	7.96	5.88
藤塚 3	4.98	4.02	4.78	7.09	
藤塚 4	1.86		1.86	6.38	
藤塚 5	2.22		2.22	6.32	
閑上 1	2.96	2.18	2.85	6.36	3.02
閑上 2-1	3.35	2.43	3.23	5.29	
閑上 2-2	2.24	1.46	2.17	4.50	
閑上 3	2.23	1.55	2.12	4.54	
小塚原 1	1.16	0.88	1.06	3.67	
小塚原 2-1	1.35	1.15	1.33	3.66	
小塚原 2-2	1.13	1.39	1.21	3.02	
小塚原 3	1.29	1.06	1.24	3.25	2.80

撮映像にも、漂流物が殆ど見当たらない津波先端部を追うように、瓦礫を多く含んだ波が流れ込む様子が捉えられている。

(3) 津波フロント位置

同時刻における津波先端部の位置について、実現象と計算結果の比較を、対象地域の浸水時刻に該当する15:55 - 16:09で行った。その結果、両者間で300 - 1,000mの差異が確認された。これは、津波の陸上到達時刻のずれや、遡上速度の過大評価が原因であると考えられる。

4. 結論

本研究では、津波が遡上する様子を記録した空撮映像に幾何補正を施すことで、津波流況の把握と遡上速度・流速の測定を行った。更に、映像解析から算出した実測値を用いて数値計算の再現性を評価した。その結果、数値シミュレーションと実現象では大きく乖離することが明らかになった。今後は、波源モデルの改善や陸上における遡上計算条件の改良を行い、数値解析の精度を向上させる必要がある。

参 考 文 献

松富英夫, 首藤伸夫 (1994): 津波の浸水深, 流速と家屋被害, 海岸工学論文集, 第41巻, pp.246-250
 Fritz, H.M., J.C. Borrero, C.E. Synolakis, and J. Yoo (2006): 2004 Indian Ocean tsunami flow velocity measurements from survivor videos, *Geophys. Res. Lett.*, vol.33, L24605