

津波の高さ予想に応じた津波浸水域の推定方法

A Method to Estimate Tsunami Inundation Area According to Predicted Tsunami Height

加藤史訓¹・諏訪義雄²・鳩貝 聡³・本間基寛⁴・内田良始⁵

Fuminori KATO, Yoshio SUWA, Satoshi HATOGAI, Motohiro HONMA and Yoshiharu UCHIDA

We proposed a method to estimate tsunami inundation area according to tsunami height predicted by Japan Meteorological Agency. Fault models that corresponded to the predicted tsunami height for the southern part of the Sendai plain were extracted from 3,404 combinations of fault model parameters for both near-field tsunamis and far-field tsunamis. Tsunami inundation area was estimated by numerical simulations with the extracted fault models considering ground subsidence caused by the earthquakes. Area and depth of tsunami inundation can be estimated at the time of tsunami warnings by preparing a database system on the largest inundation areas of each tsunami height range based on our method.

1. はじめに

津波警報の発令時において、河川等の施設管理者の適切な災害対応や住民の避難を支援するためには、津波の高さに応じて避難が必要な範囲を把握することが必要である。一方、気象庁が発表する津波警報では、沿岸部における平常潮位からの偏差を津波の高さとして発表している。津波による浸水深や浸水範囲は、それ以外にも天文潮位、地盤の沈降、水門操作、堤防の被害、津波の周期や到来方向等の様々な条件によって変化する可能性がある。

本間・片田（2009）は、気象庁の津波予報に対応した津波ハザードマップの作成手法を提案し、三重県尾鷲市を対象として津波の高さ予想に応じた浸水予測図を作成している。ただし、東北地方太平洋沖地震の際に広域で発生した地盤の沈降は考慮されておらず、遠地津波は対象外となっている。また、同程度の津波の高さ予想であっても、津波の周期や地盤の沈降等の条件によって浸水状況がどの程度変化しうるのであるのかといった検証まではなされていない。

そこで本研究では、近地津波と遠地津波の両方を対象に、津波の高さ予想に応じた断層モデルの設定及び津波浸水域等の推定方法を検討するとともに、地盤沈降や津波の周期等が浸水域等の推定に及ぼす影響について検討した。

2. 津波の高さ予想に応じた断層モデルの抽出

気象庁が設置した「津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する検討会」は、東北地方太平洋沖地震時の津波警報の問題をふまえ、津波の高さ予想を新たに5段階に区分することを提言している。本研究では、仙台平野南部（宮城県岩沼市～山元町）を対象地域として、津波の高さ予想の新たな区分（「1m」：0.2～1m, 「3m」：1～3m, 「5m」：3～5m, 「10m」：5～10m, 「10m超」：10m～）に対応する断層モデルを抽出した。気象

表-1 津波の断層パラメータ

パラメータ	近地津波	遠地津波
緯度・経度	図-1のとおり	図-2のとおり
震源深さ	0km～60km (20km刻み)	10km
マグニチュード Mw	6.8～8.6 (0.6刻み)	8.5, 9.5
走向	図-1のとおり	海溝軸に平行に設定
すべり角	90度	90度
傾斜角	45度	45度

表-2 津波伝播計算の条件設定

項目	設定
格子間隔	近地津波：1分 遠地津波：外洋5分, 日本近海1分
計算時間間隔	近地津波：3秒 遠地津波：外洋6秒, 日本近海3秒
計算対象時間	近地津波：8時間, 遠地津波36時間
沖側境界	透過境界
陸上境界	反射境界
粗度係数	0.025
地盤変動量	Mansinha & Smylie（1971）の方法

1	正会員	工修	国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部海岸研究室 主任研究官
2	正会員		国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部海岸研究室 室長
3			国土交通省国土技術政策総合研究所 河川研究部海岸研究室 研究官
4	正会員	博(工)	一般財団法人日本気象協会 事業本部防災事業部 主任技師
5		博(理)	一般財団法人日本気象協会 関西支社防災事業課

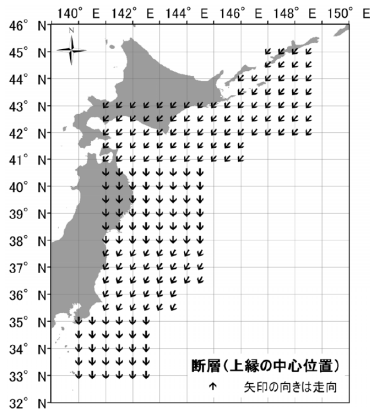


図-1 近地津波の断層配置

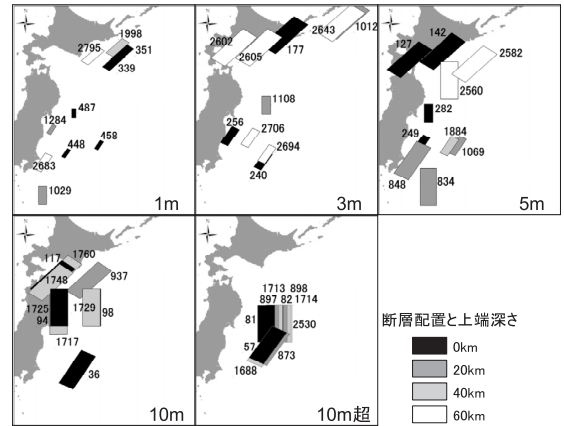


図-4 津波高さ区分に対応する近地津波の断層配置 (図中の数字は断層IDを示す)

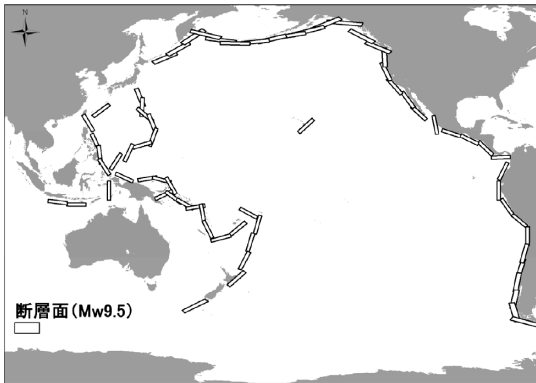


図-2 遠地津波の断層配置

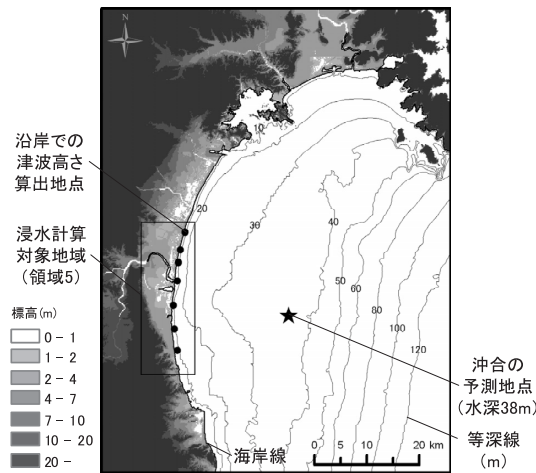


図-3 計算対象地域の地形と沖合の予測地点の位置

庁の量的津波予報では、各沿岸の沖に設定された代表点での津波の高さからグリーンの法則で水深1mでの津波の高さを算定している。本研究では、量的津波予報の断層モデルおよび計算方法を参考にして、表-1に示すパラメータを組み合わせる近地津波3,264モデル、遠地津波

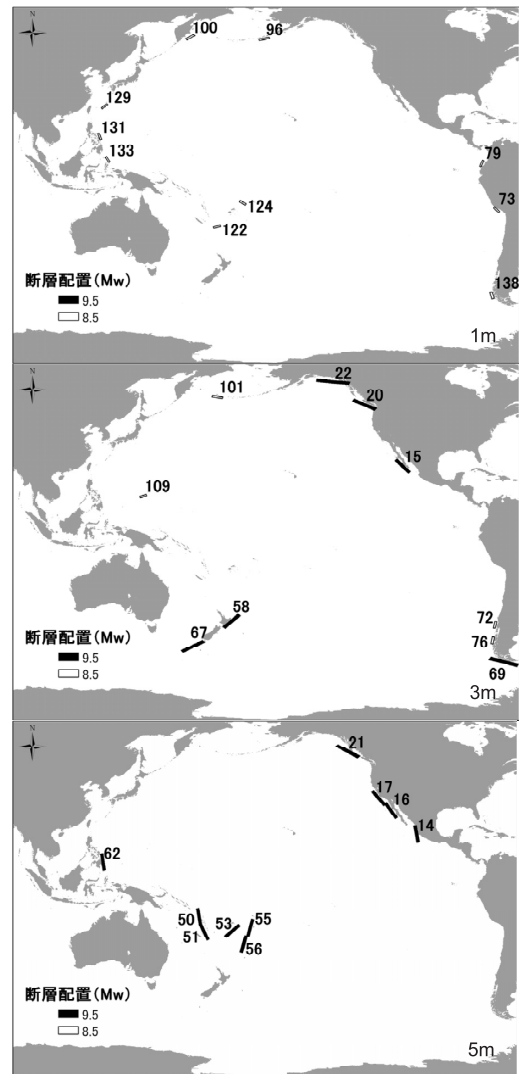


図-5 津波高さ区分に対応する遠地津波の断層配置 (図中の数字は断層IDを示す)

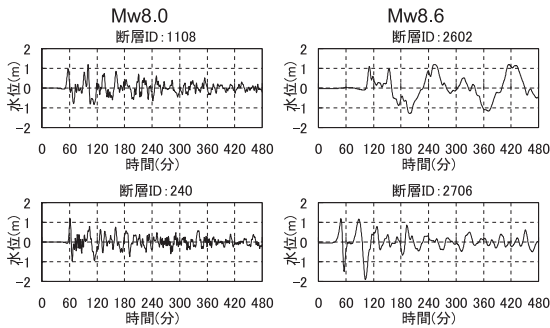


図-6 沖合の予測地点での津波波形の例 (近地津波高さ3m)

140モデルを設定して、非線形長波方程式での津波伝播計算(条件は表-2参照)により対象地域の沖合の予測地点(本研究では図-3に示す水深38m地点に設定)での最大津波高さを計算した上で、グリーンの法則により水深1mでの津波の高さを求め、その結果から1m, 3m, 5m, 10mの各区分の上限値に近い津波の高さとなる断層および津波の高さが10m超となる断層を、近地津波、遠地津波(10m, 10m超はなし)とも10モデルずつ抽出した。なお、断層の長さ、幅、すべり量は、断層の相似則に従ってマグニチュードMwから設定した。

図-4は、近地津波について、津波高さの各区分に対応した断層の位置と上端の深さを図示したものである。津波高さ1mでは、対象地域沖でのMw7.4の地震とともに、対象地域から離れた釧路沖や房総沖などでのMw8.0の地震が抽出された。また、津波高さ3mおよび5mでは、対象地域沖でのMw8.0の地震と対象地域から離れた北海道周辺のMw8.6の地震が抽出された。津波高さ10mおよび10m超ではMw8.6の地震のみが抽出された。また、10m超では対象地域沖の断層のみが抽出されたが、10m以下では断層の位置が地域的な偏りが生じることなく配置されている。

図-5は、遠地津波について、津波高さの各区分に対応した断層の位置と上端の深さを図示したものである。津波高さ1mについては、Mw8.5の地震のみが抽出されたが、その位置は南米沿岸、フィリピン近海、アリューシャン列島周辺などさまざまである。津波高さ3mについては、北米沿岸などでのMw9.5の地震とフィリピン近海などのMw8.5の地震が抽出された。津波高さ5mについては、Mw9.5の地震のみが抽出された。

沖合の予測地点での津波波形データの例を図-6に示す。同程度の津波高さであっても、波源となる断層モデルのMwが大きい地震(Mw8.6)では長周期成分が卓越し、Mwが小さい地震(Mw8.0)では短周期成分が卓越していることがわかる。

表-3 各計算領域の計算条件

領域番号	領域1	領域2	領域3	領域4	領域5
格子間隔(m)	1350	450	150	50	10
陸側境界条件	完全反射				遡上

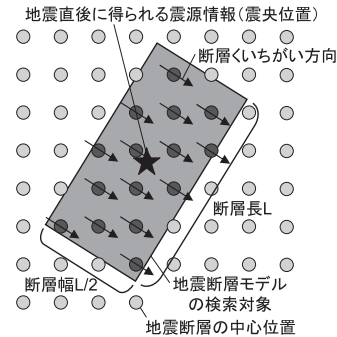


図-7 断層モデル検索の考え方

3. 津波の高さ予想に応じた浸水範囲の推定

2.で抽出された各断層を対象に津波浸水計算を行い、浸水範囲および浸水深の平面分布を求めた。津波浸水計算は表-3のように5段階ネスティング方式とし、最小の計算格子間隔は最小10mとした。また、粗度係数は海域を0.025、陸域については小谷ら(1998)に従って設定し、潮位は朔望平均満潮位(T.P. +0.7 m)とした。さらに、地震動による海岸堤防の被災状況や水門の開閉状況を地震直後に把握できていない状況を想定して、地震直後から海岸堤防はなく、水門は開いている条件とした。

地震直後には震源の位置やマグニチュードが発表されるものの、断層の詳細な位置や傾斜角等が地震情報に含まれないことから、津波浸水計算に先立ち、地震直後に入手しうる情報から可能性のある断層モデルを複数設定し、その中で最大の地盤沈降量を地形データに反映した。具体的には、図-7のようにMwから相似則で想定される断層の大きさをふまえて震央を含む断層モデルを複数設定した上で、さらに走向を海溝軸に対して ± 20 度変化させるとともに、傾斜角を3パターン(30度, 45度, 60度)設定し、各計算格子について最大の地盤沈降量を算定した。算定された最大地盤沈降量を津波浸水計算の標高データに反映させた。

図-8は、近地津波の高さ予想3mに対応した各断層モデルについて浸水深の平面分布を示したものである。浸水計算を行った範囲は、図-3及び表-3に示した領域5である。対象地域の近くで発生した断層ID0256では、地震による地盤沈降量が他の断層モデルより大きいので、浸水範囲が最も広がっている。このような地盤沈降の影

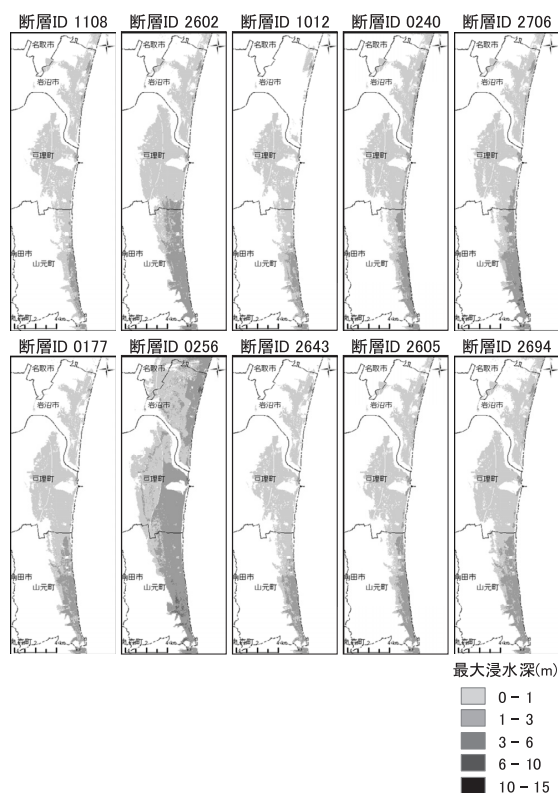


図-8 津波の高さ予想3mに対応した浸水深の平面分布（近地津波）

響は他の高さ区分でも見られることから、津波の高さが同じでも地震の位置によって津波の浸水範囲や浸水深が大きく変わることが示された。

図-9は、近地津波の高さ予想の各区分について、沿岸での津波高さや浸水面積との関係を示している。沿岸での津波の高さは、対象地域の海岸線付近に7の出力地点（図-3参照）を設定し、津波浸水計算で得られた最高水位（T.P.値）の平均値を採用したものである。津波の高さ予想や沿岸での津波の高さが大きいほど浸水面積が広がる傾向にあるが、近地津波では地盤沈下量が大きいケースで浸水面積が津波の高さの割には広がっているものが見られる。特に近地津波高さが10m程度の区分では、与えられた地盤沈下量の平均が概ね1m以下であるのに対し、2事例では地盤沈下量が約2.7mと非常に大きくなった。例として、断層ID1717の事例での地盤変動量分布を図-10に示す。これら2つの断層は、震源が陸域に近いところに位置しており、図-7で示したように地盤変動量を複数パターン算出し、傾斜角を60°に変化させた場合に沖側で地盤沈下量が最大2m以上となるが、震源位置や走向を変化させた際に、この地盤沈下域が計算対象領域にかかったために、非常に大きな地盤沈下量が生

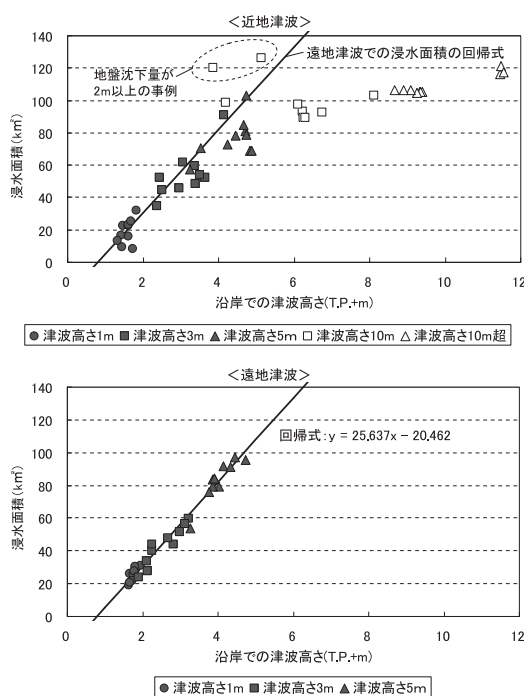


図-9 津波の高さ予想と浸水面積との関係

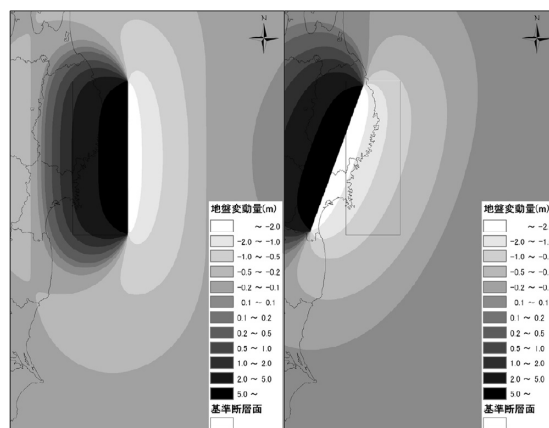


図-10 断層ID1717の地盤変動量分布（左）と震源位置、走向、傾斜角を変化させた場合の地盤変動量分布（右）

じたものと考えられる。ただし、図-10に示すように、対象地域で2m以上の地盤沈下量となる場合は、海域に地盤隆起（すなわち初期海面水位の上昇）が現れないこととなり、地盤沈下量としては最大になるが、大きな津波は発生しない特異な事例と考えられる。

一方、地盤変動の影響がない遠地津波では、近地津波に比べて沿岸での津波高さや浸水面積の相関がよくなっている。地盤沈下量が浸水に大きく影響することがこの結果からも認められる。

沿岸において同程度の津波高さであっても津波の周期

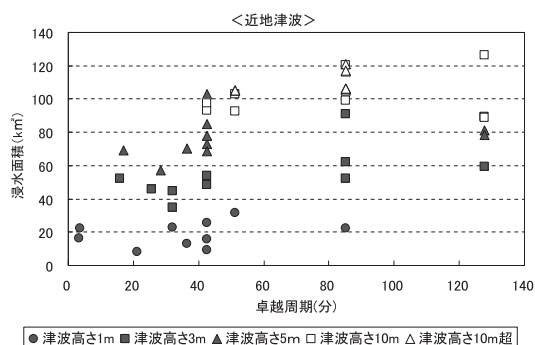


図-11 津波の卓越周期と浸水面積との関係 (近地津波)

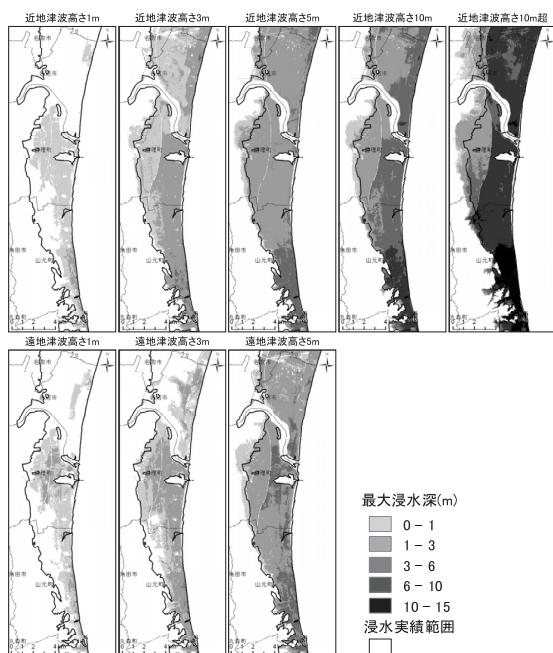


図-12 津波の高さ予想に対応した浸水深の平面分布 (実線：東北地方太平洋沖地震の津波浸水実績範囲)

が長ければ陸域への氾濫流入量が増加し、浸水面積が拡大することも考えられる。そこで、沖合の予測地点における津波波形の卓越周期と浸水面積の関係について検討した。卓越周期は、沖合の予測地点における津波波形データのスペクトルを算出し、振幅が最大となる周期を読

み取することで算定した。沖合の予測地点での卓越周期と浸水面積の関係を図-11に示す。事例によってばらつきがあるが、津波の卓越周期が長いほど浸水面積が拡大する傾向が見られることから、卓越周期による影響も考慮した上で浸水予測を行うことが必要であるといえる。

図-12は、津波の高さ予想の各区分について、各断層による浸水深の最大値を抽出した結果である。近地津波の高さ予想10mにおいて地盤沈降量が著しく大きかった2つの断層は、前述のように浸水域を過大に想定していることから、最大値の抽出対象から除外した。津波の高さ予想が大きいかほど浸水範囲や浸水深が大きくなる傾向が認められる。なお、高さ10m超についても試算を行ったが、津波防災地域づくりに関する法律に基づく津波浸水想定において最大クラスの津波が悪条件下で生じたケースを想定することになっていることから、その結果を採用すべきと考える。

4. おわりに

上記の結果をふまえ、津波の高さ予想の各区分に対応する断層を対象に最大の浸水範囲等を想定し、これを予めデータベース化しておくことで、津波の高さ予想に応じた浸水域および浸水深の想定が可能になると考えられる。

謝辞：津波浸水計算の実施に際しては、宮城県から地形・施設データの貸与を受けた。ここに記して謝意を表します。

参 考 文 献

- 小谷美佐・今村文彦・首藤伸夫 (1998)：GISを利用した津波遡上計算と被害推定法，海岸工学論文集，第45巻，pp.356-360.
- 津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する検討会 (2012)：津波警報の発表基準等と情報文のあり方に関する提言，61p.
- 本間基寛・片田敏孝 (2009)：津波予報と連動した津波ハザードマップに関する研究，土木学会論文集B2 (海岸工学)，第65巻，pp.1321-1325.
- Mansinha, L. and D. E. Smylie (1971)：The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol.61, No.5, pp. 1433-1440.