

津波の予報業務許可の審査に係る 技術的事項について

平成25年7月2日

津波予測技術に関する勉強会

予報業務の範囲

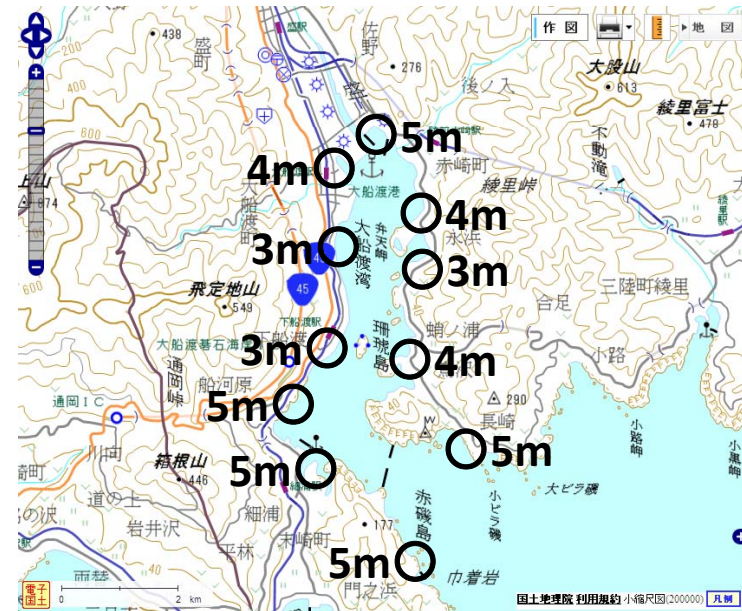
予報する現象

- ・津波の発生要因としては、地震による海底地殻変動が主なものと考えられます。火山噴火や海底地滑りなども発生要因となり得ますが、予報のための資料が入手可能かどうかなどの観点から、地震による津波を対象とします。

予報する項目

- ・津波の到達時刻
- ・津波の高さ 等

※時系列的な予報(最大の波が○時頃、△時頃には津波の高さが半分になる等)については、現時点では十分な予測精度の確保が難しいと考えています。



地点毎の詳細な津波の最大の高さの予測(イメージ)

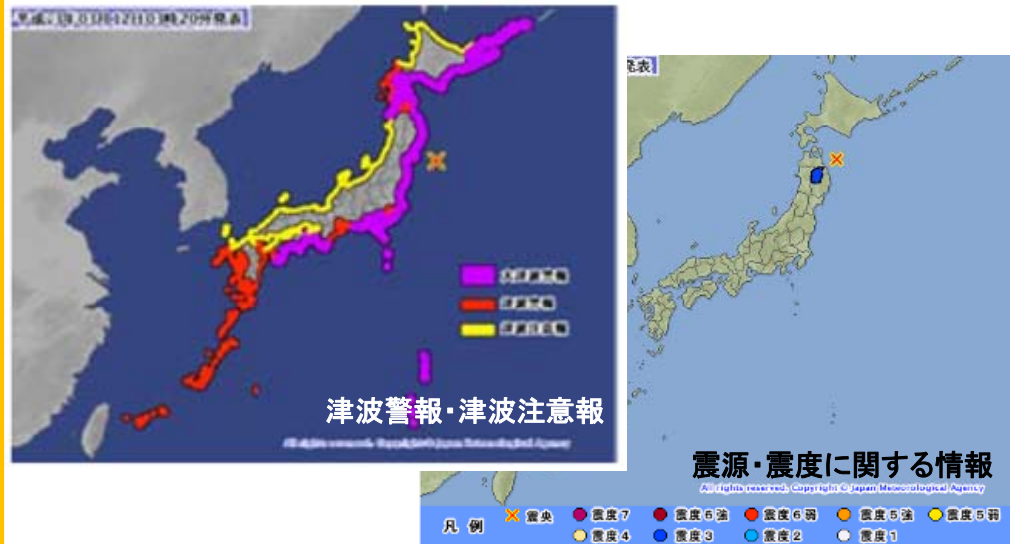
予報のために収集する資料

予報に用いる資料

・津波警報・注意報等との整合性を保つために気象庁が発表する震源、マグニチュードや予想される津波の高さ、津波の観測値などを収集するほか、予測手法に応じて沖合の津波観測値等の資料を入手してください。

気象庁の発表する収集すべき資料

津波警報・津波注意報、震源・震度に関する情報 など



地震情報（震源・震度に関する情報）
平成26年6月20日10時53分 気象庁発表
きょう20日10時49分ごろ地震がありました。
震源地は、青森県東方沖（北緯40.8度、東経142.5度）で、震源の深さは約20km、地震の規模（マグニチュード）は4.7と推定されます。

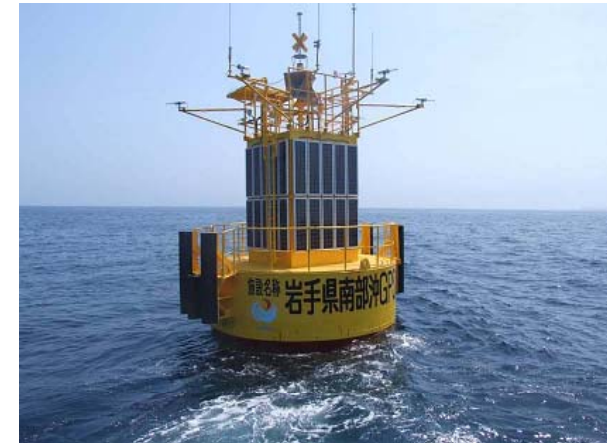
【震度6以上が観測された地域】
震度6 岩手県内陸北部

【震度5以上が観測された市町村】
震度5 盛岡市

この地震による津波の心配はありません。
情報第1号

予測手法に応じて収集するその他の資料

GPS波浪計による沖合での津波観測値 など



現地観測値について

許可事業者が予報の検証を行ったり、津波の実況に応じた適切な津波の予想の修正のために、現地観測値の収集が必要です。

○適正な現地観測値であるための条件

- ・予報しようとする項目に応じた測器
- ・測器の精度が適切
- ・予報対象区域の津波の状況を適切に把握できる

予報対象区域の津波の状況を適切に把握できる条件

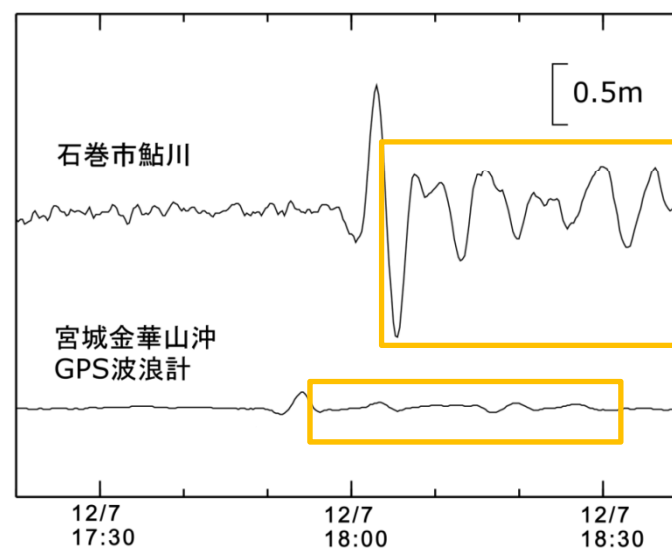
- ・予報対象区域内に観測点があれば、津波の状況把握は可能です。
- ・予報対象区域外の観測点であっても、対象とする区域の津波の状況を適切に把握できる場合は、その地点の観測値をもって現地観測値に代えることができることとします。

○沿岸地形や海底地形を考慮し、津波の様相が予報対象区域と同様と考えられる程度の距離内に位置していることが必要です。[左下図]

○数km以上沿岸から離れた沖合観測点については、沿岸での津波を適切に把握できない場合があるので不適とします。[右下図]



緑の長方形を予報対象区域とする場合の、赤い○が適、×が不適と考えられる現地観測点の位置のイメージ



2012年12月7日の三陸沖の地震(M7.3)時の宮城県における津波波形

現象の予想の方法

- ①震源要素により波源を推定する方法

初期条件の設定方法

①断層パラメータの設定

- ・断層面の形状は矩形で、その大きさ(縦、横の長さ)とすべり量は、マグニチュードに基づくスケールング則(例えば宇津(1984))を使用することを基本とします。
- ・断層の走向は海溝軸に沿う方向とし、付近に海溝軸がない場合には、海岸線に沿った方向としてください。断層の傾斜角、すべり角は、45度の逆断層(すべり角90度)と基本とします。これらは、防災上の観点から最も大きな津波を発生させるパラメータを設定する考え方に基づいています。

②地殻変動の計算手法

- ・断層のずれによる地殻変動は適切な方法で推定してください(例えばMamsinha and Smylie (1971)、Sato and Matsuura (1974)、Okada (1985, 1992))。

初期条件の設定方法(つづき)

③断層面の広がりの不確定性

・沿岸近傍の地震の場合、断層面の広がり不確定性(震源が断層面上のどこに位置するか分からないこと)を考慮することが必要です。沿岸から離れた地震の場合は、震源は断層面の中心に位置することを基本とします。

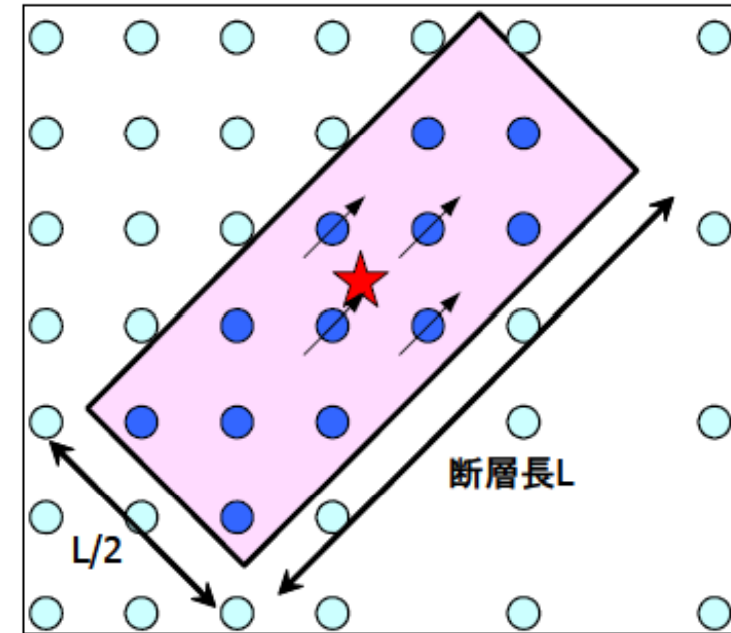


図 最大危険度法で選択されるデータベース内の想定震源の位置の模式図。断層長 L は(1)式で決まる長さ。★印が決定された震源、●印が選ばれる想定断層の中心位置とする。矢印は走向を表す。

上記と異なる設定を行う場合は、その設定方法と根拠を示してください。予報の内容および目的に応じて審査を行います。

現象の予想を行う方程式

- 津波の予測に使用する方程式は、計算の対象となる領域の広さ、計算時間、水深などに応じた適切なものを使用してください。水深50～100mまでは線形長波理論もしくは非線形長波理論、それ以浅の浅海では摩擦項を含んだ非線形長波理論に基づく計算を行い、遠地津波の場合はコリオリ力の考慮も必要です。

$$\frac{\partial V_x}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_x}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_x}{\partial y} = -fV_y - g \frac{\partial h}{\partial x} - C_f \frac{V_x \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{d + h}$$

$$\frac{\partial V_y}{\partial t} + V_x \frac{\partial V_y}{\partial x} + V_y \frac{\partial V_y}{\partial y} = fV_x - g \frac{\partial h}{\partial y} - C_f \frac{V_y \sqrt{V_x^2 + V_y^2}}{d + h}$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \{V_x(h + d)\} + \frac{\partial}{\partial y} \{V_y(h + d)\} = 0$$

例) 気象庁が量的津波予報で使用している方程式

※ここで、座標軸xとyはそれぞれ東向き、南向きを正とする。V_x、V_yはそれぞれ東向き、南向きに水粒子の動く速度（水深方向に平均した流速）で、hとdはそれぞれ水位と水深、fはコリオリパラメータ、C_fは海底摩擦係数である。移流項と摩擦項は水深が100m以下の場合にのみ考慮し、コリオリ力は遠地津波の場合にのみ考慮している。

境界条件

① 陸側境界

- 遡上計算域においては、隣接する計算格子の水位と地盤高の関係を考慮して流量を設定することが必要です。(例えば岩崎・真野(1979)、小谷ら(1998))
- 遡上計算を行わない場合は、海岸を直立壁と考え完全反射とすることを基本とします。
- 上記以外の方法を用いる場合は、その手法とその根拠を明示することが必要です。

② 沖側境界

- 沖側境界へは自由透過するものと仮定し、その計算手法を明示してください。

③ 異なる空間格子領域の接続境界

- 異なる空間格子領域の接続境界においては、境界上の格子間で線形補間された物理量を受け渡すことを基本とします。それ以外の方法を用いる場合は、その手法とその根拠を明示することが必要です。

地形データ

- ・予報対象とする区域における津波を予想するために必要な領域に関する、精度のよい地形データを使用することが必要です。
- ・海底地形データとしては、国内外の機関が作成した次のようなデータの利用が推奨されます。

JODC500mメッシュ、水路協会M7000、M5000、JTOPO30、GEBCO
- ・遡上計算を行う場合に用いる陸上地形データは、国土地理院の数値標高モデル(10mまたは5mメッシュ)などが推奨されます。

潮位基準面

- ・実際の天文潮を考慮した予想を行う場合は、天文潮の推定方法を示してください。

計算時間と間隔

- ・津波の高さを予報する場合は、予想対象区域の津波の最大の高さ等が得られるよう、十分な計算時間を設定することが必要です。計算時間間隔はCFL条件などの安定条件を満たすように適切に設定してください。

空間格子設定

- ・津波の数値計算における空間格子間隔は、本邦から500km程度以内の日本近海に関しては、最低1分以下の空間格子間隔で、それ以遠の場合は最低3分以下とし、また沿岸部では、予報の内容に応じた分解能の空間格子間隔で計算を行うことが必要です。

現象の予想の方法

②沖合津波観測値を用いる方法

予報に用いる観測点および方法

・下記に示すグリーンの法則を用いて、沖合観測点での津波の高さから沿岸の津波高さを推定する手法を基本とします。

○予報に用いる沖合観測点は、海岸地形を考慮し沖合観測点を通過した津波が予報対象地点・区域に入射するとみなせる位置にあることを必要とします。

○波向線間隔(水路幅)の係数 α は適切に設定する必要があります。

$$H_f = \alpha H_o \left(\frac{h_o}{h_f} \right)^{1/4}$$

H_f と H_o は予測地点と沖合観測地点における津波の高さ。

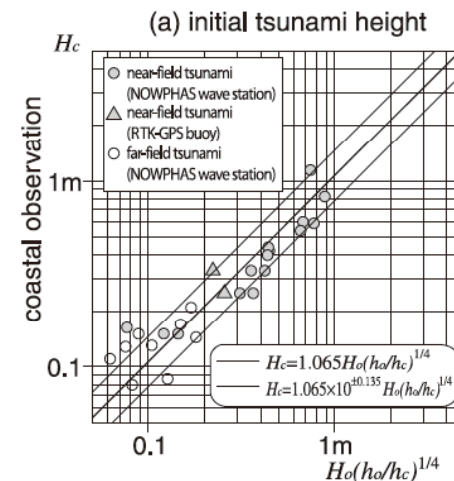
h_f と h_o は予測地点と沖合観測点における水深

これ以外の手法を用いる場合にはその物理的根拠と統計的根拠を示してください。

係数 α の推定の方法

- 十分に観測事例のある場合には、沖合観測値と予測対象地点における観測値との回帰分析から係数 α を求めてください。
- 十分に観測事例の無い場合には、観測事例の分析に加え、詳細な数値計算より得られた予測対象地点の津波高さと、沖合観測点における予測津波高さの値の回帰分析から係数 α を求めてください。数値計算の対象とする地震は予報対象とする地震を十分に網羅していることとします。
- 分析の妥当性を確認し、得られた係数 α の確からしさを推定するため、 $\log \alpha$ の分散値を求めてください。

ナウファス観測施設の津波の第一波の沿岸津波換算値と検潮所での実測値の関係
ここで α は1.065である。
Hayashi (2010)より引用



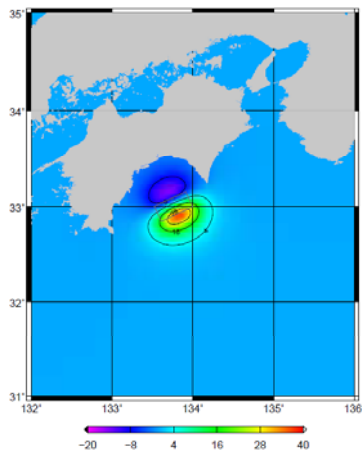
予報の結果の妥当性の確認

予報の実行結果の検証

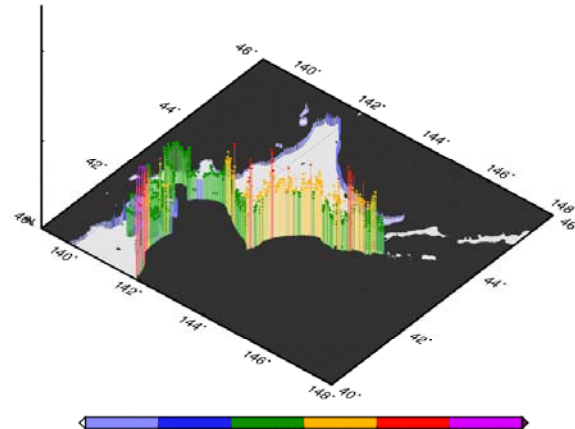
- ・申請された予報資料、予想の方法にもとづき一連の予報が行えることを確認するため、予報の目的と内容に応じて、予報結果の資料(複数事例)を提出してください。その際には、その計算に要した時間に関する資料も示すことも必要です。
- ・予報する項目等に応じた事項について確認し、適切な条件が設定され、予報結果が妥当であるか検証を行います。

津波の高さの確認

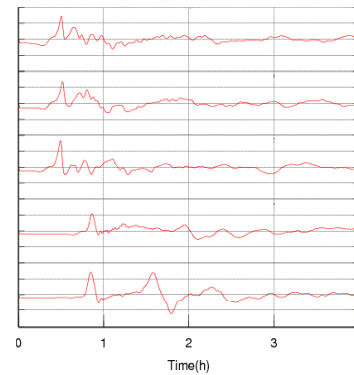
主な確認事項	確認のポイント
初期波源	震源要素に対して適切な断層パラメータが設定され、地殻変動は適切に計算されているか。
津波の高さの分布	周囲と比べて不自然に高い、または低い点などは無いか。計算が発散等していないか。
予測津波波形	予報対象地点・区域とその周辺において適切に津波の伝播計算が行われているか。 現地観測点においては、予想対象地点・区域の状況を適切に把握することができるか。
気象庁の量的津波予報の 沖合予測地点で予測される津波の高さ	気象庁の発表する警報・注意報との整合がとれているか。



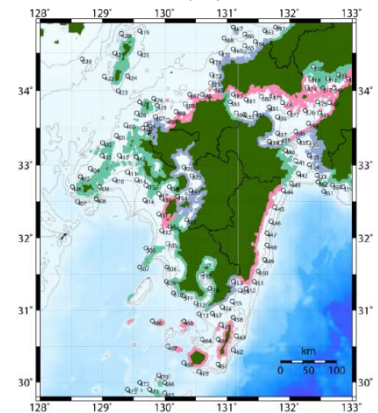
初期波源の例



津波の高さの分布の例



予測津波波形の例

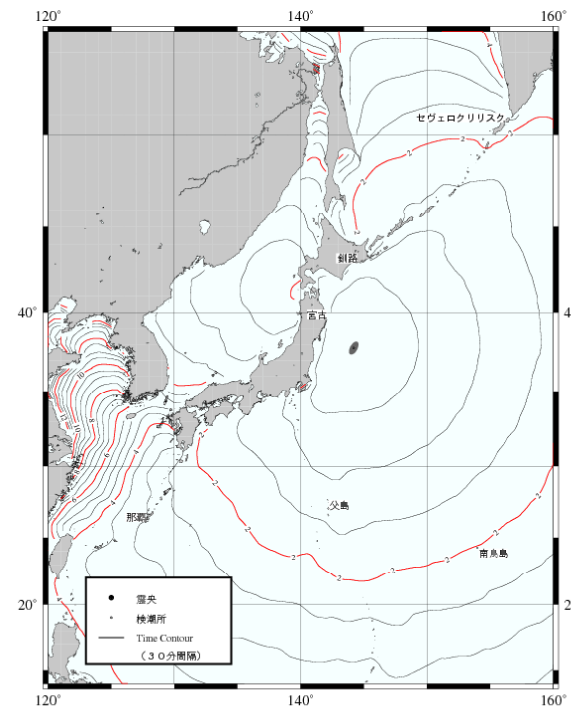


気象庁の量的津波予報の
沖合予測地点

津波の到達時刻の確認

主な確認事項	確認のポイント
初期波源	震源要素に対して適切に波源の大きさ、形状が設定されているか。
波源からの伝播時間	適切に伝播時間の計算が行われているか。

波源からの伝播時間の分布の例



参考文献

- Hayashi, Y., 2010 Empirical relationship of tsunami height between offshore and coastal stations, *Earth Planets Space*, 62, 269-275,
- 岩崎敏夫, 真野明, 1979, オイラー座標による二次元津波遡上の数値計算, 第 26 回海岸工学講演会論文集, 土木学会, 70-74.
- 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, 45, 356-360.
- Mansinha, L. and Smylie, D. E., 1971, The displacement field of inclined faults, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 61, 1433-1440
- 水管理・国土保全局, 国総研河川研究部海岸研究室, 2012, 津波浸水想定の設定の手引き
- Okada, Y., 1985, Surface deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 75, 1435-1154
- Okada, Y., 1992, Internal deformation due to shear and tensile faults in a half-space, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 82, 1018-1040.
- Sato R., Matsuura M., 1974, Strains and tilts on the surface of a semi-infinite medium, *J. Phys. Earth*, 22, 213-221.
- 宇津徳治, 1984, 地震学(第2版), 共立出版, 249.