

発生確率を考慮した日本全国津波高データベースと 浸水域の簡易推定について

戸 引 勲*・押田 和 雄**・額田 恭 史***・柴 木 秀 之****

1. はじめに

津波対策施設は、津波発生予測が困難であり、予想被害規模が甚大であること等から、安全性に配慮した大規模なものが計画される。一方で、昨今の社会情勢から投資効果を明示した上で効率的に事業を実施することが求められており、津波対策施設の建設により期待される便益を評価し、これを施設規模に反映しようとする考えが普及しつつある。津波対策施設の防護便益を算定するためには、任意規模の津波（地震）の発生確率と、その被害規模を推定する必要がある。一般に、津波被害の大部分は、陸域浸水によることから、被害を評価する上で、浸水域及び浸水高を推定することが必要不可欠となる。

このような要請に対処するため、本論文では、日本沿岸における任意規模の海溝型地震の発生確率を明らかにする。また、複数の任意規模の地震による津波数値計算を実施し、浸水域の算定を行うことは困難であることから、日本全国の海岸の地区別最大地震規模における津波波形（津波高、継続時間及び波数）を津波数値計算により求め、市町村単位で整理し、データベース化する。そして、図-1 に従って、地震規模（マグニチュード）を説明変数とする地震断層パラメータ推定式を用いて、データベース化した最大地震規模の津波波形から任意規模の津波波形を求め、津波波形より護岸背後地への越流量を推定する。この推定した越流量からレベル湛水法により浸水域を簡便に推定する方法について提案するものである。

2. 地震津波の発生確率

(1) 地震の極値データ

始めに、日本沿岸で発生する大規模津波の発生確率を推定するために、その要因となる地震の発生確率を求める。日本周辺で発生する地震の特徴が共通する地域は、地体構造的にも共通するという「地震地体構造論」に基づく、萩原ら（1991）の地体区分を適用して、過去の被

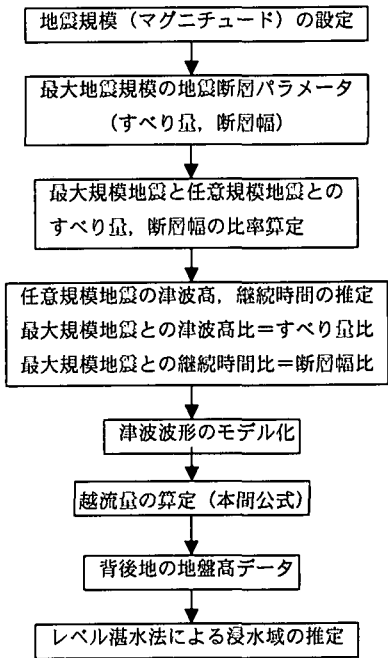


図-1 任意規模地震による浸水域の推定フロー

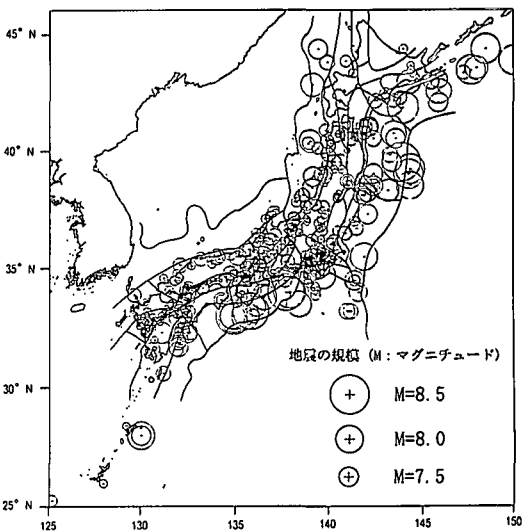


図-2 日本近海の被害地震の震源位置と地震規模の分布図

* 運輸省第二港湾建設局
** 運輸省 港湾局 技術課
*** 工務 株式会社エコー 環境水理部
**** 正会員 工務 株式会社エコー 環境水理部

害地震について、太平洋岸を太平洋北部(北海道～福島)、関東(関東～伊豆)、太平洋南部(東海～九州)の3区分、日本海岸を日本海東縁部の1区分に地域分類する。各地域区分の被害地震の震源と規模は、理科年表(1998)「日本付近のおもな被害地震年代表」及び渡辺(1985)に記載されたデータを基に整理する。日本近海で過去に発生した被害地震の震源とその規模(M :マグニチュード)を整理すると、図-2の○印の分布となる。ここで、○の中心が地震の震源位置であり、○の大きさが地震規模を表す。

図-2に表す被害地震を地域区分別に年代順に表示すると、図-3の発生状況図となる。図-3によれば、太平洋北部(北海道～福島)、関東(関東～伊豆)で1600年以前、太平洋南部(東海～九州)で1360年以前、日本海東縁部で1600年以前の被害地震記録は、それ以降の記録と比べて相対的に個数が少ない。これは、小規模な被害地震記録が欠落しているためと考えられ、記録に残っている全ての期間を統計期間にすると、期間内のデータ密度が不均一になる可能性がある。そこで、以降の解析では、地域区分別に表-1に示す統計期間を設定する。

(2) 地震の極値統計解析

地域区分別の地震の発生確率を明らかにするために、被害地震の規模(マグニチュード)を極大値データとす

表-1 地域区分別の統計期間と地震発生数

地域区分	統計期間	被害地震発生数
太平洋北部 (北海道～福島)	388年	106個
関東 (関東～伊豆)	394年	27個
太平洋南部 (東海～九州)	639年	29個
日本海東縁部	355年	28個

る地震の極値統計解析を行う。

極値統計解析に用いるデータ群は、独立性を満足することが要求される。地震は、境界部で蓄積する地殻のひずみが限界に達した時、エネルギーを放出するために生じる現象である。一般に、1回の地震に伴うエネルギーの放出量は、前回の地震規模の影響を受けるとされており、個々の地震規模が完全に独立するという仮定には問題がある。さらに、図-3のように、地震の発生間隔と規模に関するデータは少なく、不規則であるため、地震の発生が、ある確率分布に従うという仮定についても疑問が残る。しかしながら、現段階では、地震発生間隔を物理的に予測することが困難である。そのため、地震調査委員会(1999)は、大規模地震の発生間隔の推定法として、極値分布関数を利用する統計的手法を提案し、また、農水省・運輸省・建設省(1996)は、日本海東縁部の地震空白域における地震発生確率及び規模の決定において、地震の極値統計解析を適用している。そこで、本研究においても、統計的な手法により、地震の発生確率について検討を行う。

極大値データ(地震の規模)に当てはめる分布関数には、グンベル分布とワイブル分布を採用する。各々、グンベル分布は成ヶ沢(1972)、ワイブル分布はNishenko(1985)が、地震発生間隔の推定に適用した例がある。ここで、ワイブル分布の形状母数 κ は、1.0～7.0まで1.0間隔の7種類とし、プロットング・ポジション公式の係数は、ベトルアスカス・アーガード公式を用いる。そして、8種類の分布関数から最も適合するものを最小2乗法により選定する。

図-4は、地域区分別の被害地震の確率分布を表し、各地域区分ともワイブル分布が適合分布関数となる。これらの図から任意規模の地震の発生確率が推定できる。例えば、太平洋南部(東海～九州)の場合(左下図)の場合、 $M=8.0$ 規模(昭和南海地震に相当)の再現期間は123年程度、 $M=8.4$ 規模(宝永、安政南海地震に相当)は385年と推定される。 $M=8.0$ 前後の南海地震の発生周期は100～150年と言われており、地震の再現期間はほぼ一致する。

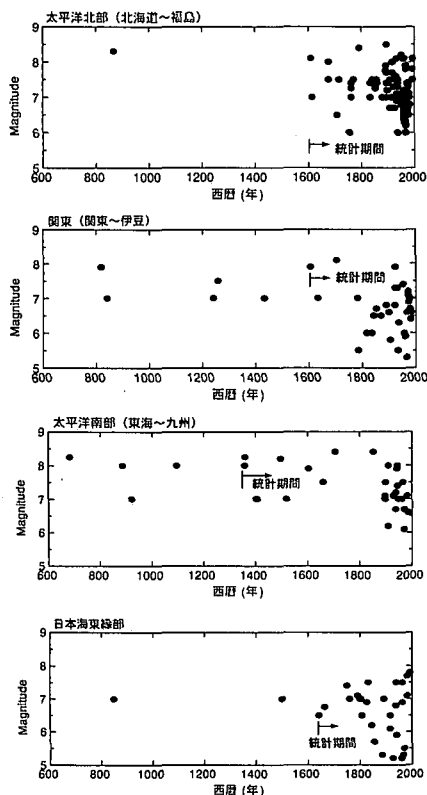
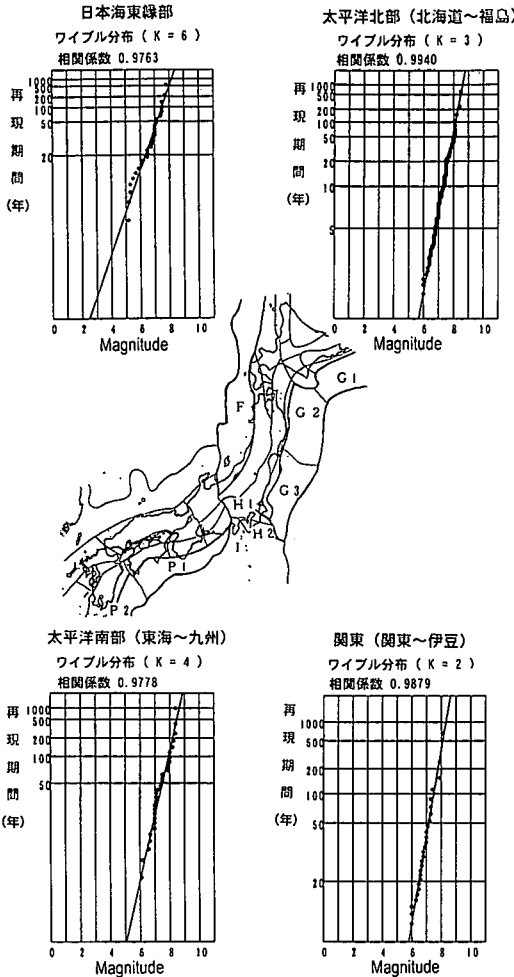


図-3 地域区分別の被害地震の発生状況



図一四 地域区分別の被害地震の確率分布

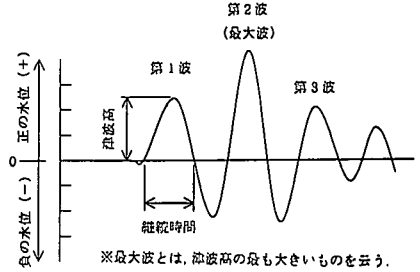
3. 日本全国海岸の津波波形の推定

(1) 任意規模地震の津波波形 (津波高, 継続時間) の推定法

複数の任意規模の地震による津波数値計算を実施し, 海岸に到達する津波波形を算定することは困難であるから, 最大地震規模における津波波形 (津波高, 継続時間及び波数) から, 地震規模 (マグニチュード) を説明変数とする地震断層パラメータ推定式を用いて, 任意規模の津波波形を求める方法を提案する。

まず, 津波数値計算により最大津波高を発生させる地震による海岸における津波波形を求め, 図一五に示すように1波毎の津波波形の津波高 (H_m), 継続時間 (T_m) を求めておく。

次に, 任意規模地震による津波高 (H) は地震断層モデルのすべり量 (U) に比例し, 継続時間 (T) は断層幅 (W) に比例すると仮定し, 次式により求める。



図一五 津波高と継続時間の定義

表一 二 地体区分別の地震断層パラメータ推定式

断層幅の推定式: $\log W = aM + b$

係数	太平洋北部 (G1, G2, G3)	関東 (H2)	太平洋南部 (P1, P2)	日本海東縁部 (F)
A	0.33	0.96	0.45	0.48
B	-0.74	-6.01	-1.74	-2.10

すべり量の推定式: $\log U = aM + b$

係数	太平洋北部 (G1, G2, G3)	関東 (H2)	太平洋南部 (P1, P2)	日本海東縁部 (F)
a	0.33	0.96	0.45	0.48
b	0.05	-4.84	-0.92	-1.07

津波高の推定式: $H = H_m \times (U/U_m)$

継続時間の推定式: $T = T_m \times (W/W_m)$

式中の添字 m は最大津波高を発生させる地震を表す。任意規模地震の断層幅 (W) とすべり量 (U) は, 表一に示す三省報告 (1996) が提案している地体区分別の断層幅 (W) とすべり量 (U) の推定式に任意規模地震のマグニチュード (M) を与えることにより推定可能である。

(2) 日本全国海岸の津波計算

日本全国海岸を対象に最大津波高を発生させる地震による津波波形を求めるため津波数値計算を行う。

対象とする津波は, 津波被害をもたらした既往地震と既往最大とする想定地震である。津波初期水位の決定に必要な既往地震の断層パラメータは, 相田 (1977) 等の提案したモデルを用いる。また, 想定地震の断層パラメータは, 農水省・運輸省・建設省 (1996) による地帯区分別の地震断層モデル相似則に各地体区分における最大マグニチュードを与えることにより求められた地震断層パラメータをもちいる。表一に地帯区分別の想定地震の断層パラメータを示す。

津波計算数値の基本式は, 浅水長波の連続式・運動方程式であり, 空間差分にスタッガード格子, 時間差分にリープ・フロッグ法を用いる。また, 沿岸部の地形は 600 m 格子近似し, 非遡上計算とする。

(3) 日本全国海岸の津波波形とそのデータベース

既往地震及び想定地震を対象とする津波数値計算によ

表-3 想定地震（最大規模）の想定断層パラメータ

地域区分	太平洋北部			関東
地体構造区分	G1	G2	G3	H2
マグニチュード	8.2	8.5	8.0	8.1
断層長さ (km)	180	220	150	150
断層幅 (km)	100	120	80	60
すべり量 (cm)	570	720	490	870
断層深さ (km)	1	1	1	2
傾斜角 (°)	20	20	20	30
すべり方向 (°)	85	85	85	140

地域区分	太平洋南部		日本海東縁部
地体構造区分	P1	P2	F
マグニチュード	8.4	7.5	7.7
断層長さ (km)	300	120	100
断層幅 (km)	100	40	38
すべり量 (cm)	670	270	400
断層深さ (km)	2	2	2
傾斜角 (°)	20	20	35
すべり方向 (°)	105	105	90

り、日本沿岸の市町村単位に最大津波高となる地震の津波高 (H_m)、継続時間 (T_m) をパラメータとする津波波形データベースを作成する。津波の1波は、静水面以上の水位となる場合とし、連続して静水面以上である時間を1波の継続時間とし、第3波までの波高、継続時間をデータベースとして整理する。津波数値計算による日本沿岸の津波波形の例を図-6 に示し、この波形より求めた津波高 (H_m)、継続時間 (T_m) の津波波形データベースを表-4 に示す。

4. 任意規模地震による浸水域の簡易推定法

(1) 時間変化モデルの提案

津波の時間変化を考慮するために、津波高 (H) と継続時間 (T) を用いて、図-7 のように継続時間を5分割して近似値を推定する方法を提案する。図-8 は、数値計算

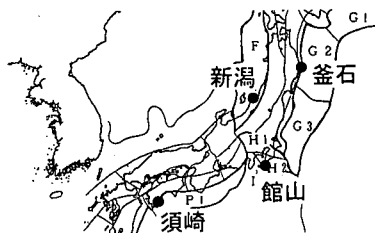
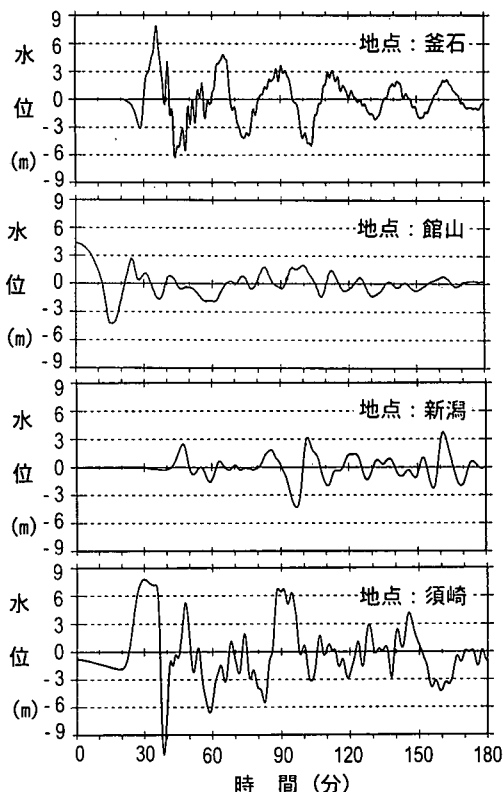


図-6 日本沿岸の津波波形

による津波波形および近似波形である。津波波形の時間変化モデルとしては、図中の実線で示される三角関数による近似や、破線で示される直線近似などが考えられる。いま、各近似波形で囲まれる面積を①津波波形: A_0 、②三角関数による近似波形: A_1 、③直線近似: A_2 として

表-4 津波波形データベース例

都道府県	市町村名	最大津波高諸元			来襲津波の時系列変化					
		地震名	津波高 (m)	継続時間 (sec)	第1波		第2波		第3波	
					津波高	継続時間	津波高	継続時間	津波高	継続時間
岩手県	釜石市	明治三陸地震	7.9	530	7.9	530	4.9	502	3.7	895
千葉県	館山市	想定地震	6.3	471	3.5	756	6.0	534	6.3	471
高知県	須崎市	想定地震	7.8	830	7.8	830	5.3	294	1.1	117
新潟県	新潟市	想定地震	3.7	411	2.5	478	0.7	224	3.7	411

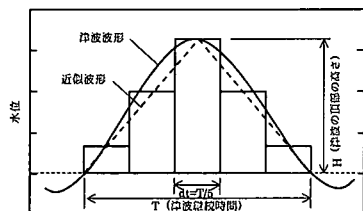


図-7 津波波形の時間変化のモデル化

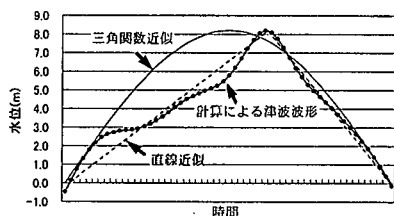


図-8 津波波形と近似波形の比較

表し、津波波形と各近似波形の面積比を求めると、

$$A_1/A_0 = 1.28 \text{ (三角関数近似/津波波形)}$$

$$A_2/A_0 = 1.01 \text{ (直線近似/津波波形)}$$

となり、三角形による直線近似の方が面積の誤差が小さい。したがって、津波波形の時間変化モデルとしては、面積比の小さい直線近似による近似波形としても実用上支障はないものと考えられる。

(2) 越流量の推定

津波による背後地への越流量の推定は、津波波形の時間変化モデルを用いて、津波高が護岸等の天端高を越える時間帯について、本間公式を用いて単位幅当たりの流量を求め、これに護岸延長を掛けることによって津波に総越流量を求めることが可能となる。

(3) 浸水域の簡易推定法

津波による背後地の浸水域の推定は、総越流量がそのまま背後地に湛水すると仮定した「レベル湛水法」によ

り推定することができる。このレベル湛水法は、成瀬ら(1998)が高潮時における背後地の浸水域を簡易的に求める方法として提案したものである。

5. おわりに

本論文の主要な結論を以下にまとめる。

① 日本周辺海域で発生する海溝型地震の地体区分別の地震規模の極値確率分布を求めたことにより、任意規模の再現期間が推定できる。

② 日本沿岸の地体区分別最大規模地震による津波波形データベースを作成した。これにより、日本全国海岸の最大津波高、継続時間及び波数を設定することが可能となった。

③ 「任意規模津波の浸水域簡易推定法」により、津波数値計算の実施が困難な場合でも、容易に津波浸水域の推定を行うことが可能となった。

④ 浸水情報には、津波発生確率に関する情報が付加され、被害額の推定、施設の便益計算に利用可能である。

参考文献

- 相田 勇(1981): 南海道沖の津波の数値実験, 地震研究所彙報, 第56号, pp. 713-730.
- 国立天文台編 (1998): 理科年表, pp. 794-825.
- 地震調査研究推進本部地震調査委員会 (1999): 長期的な地震発生確率の評価手法について.
- 成ヶ沢憲太郎 (1972): 大地震の時間的・空間的分布のシミュレーション, 北海道大学地球物理学研究報告, 第28巻, pp. 31-46.
- 成瀬 進・北原政宏 (1981): 海岸事業の費用対便益分析について, 海岸工学論文集, Vol. 45, pp. 1231-1235.
- 農水省・運輸省・建設省 (1996): 日本海東縁部地震津波防災施設整備計画調査報告書, 314 p.
- 萩原尊禮編(1991): 日本列島の地震(地震工学と地震地体構造), 鹿島出版会, 234 p.
- 渡辺偉夫 (1985): 日本被害津波総覧, 東京大学出版会.
- Nishenko, S. P. (1985): Seismic potential for large and great interplate earthquakes along the Chilean and southern Peruvian margins of the South America, J. Geophys. Res., 90, pp. 3589-3615.