

津波想定波源による石川県沿岸部の 遡上解析に関する考察

荒井 秀和¹・阿曾 克司²・宮島 昌克³・喜多 敏春⁴・野村 尚樹⁵

¹正会員 株式会社日本海コンサルタント 技術本部 (〒921-8042 石川県金沢市泉本町2丁目126番地)

E-mail:h-arai@nihonkai.co.jp

²正会員 株式会社日本海コンサルタント 技術本部 (〒921-8042 石川県金沢市泉本町2丁目126番地)

E-mail:k-aso@nihonkai.co.jp

³正会員 金沢大学教授 自然科学研究科 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:miyajima@se.kanazawa-u.ac.jp

⁴正会員 株式会社日本海コンサルタント 技術本部 (〒921-8042 石川県金沢市泉本町2丁目126番地)

E-mail:t-kita@nihonkai.co.jp

⁵正会員 金沢大学大学院 自然科学研究科 博士後期課程 (〒920-1192 石川県金沢市角間町)

E-mail:n-nomura@nihonkai.co.jp

日本海側は海溝型地震による津波の発生の可能性が低いとされており、太平洋側に比較して津波に関する調査や対策の検討が不足している現実がある。このような中、石川県ではこれまでの知見と東日本大震災後に中央防災会議等で議論された内容を踏まえ、石川県に影響の大きな津波波源を設定し陸域遡上の検討を行った。具体的には、既往の海底地質調査結果から活断層の運動等を考慮し津波波源として設定し、最新の航空レーザー測量データ等を用いた遡上解析を実施し、陸域の浸水状況を把握するとともに近海での津波収斂箇所を把握した。また、今回想定した最大クラスの想定波源は、沿岸に既往最大津波以上を発生させることができた。

Key Words : *tsunami, numerical simulation, combined earthquake*

1. はじめに

東日本大震災以後、津波に関連する検討が中央防災会議を中心として多数行われており、特に太平洋側では、東南海地震と南海地震の連動など切迫度の高まりから、様々な検討が急ピッチで実施されている。一方、日本海側はユーラシアプレート上に位置し、海溝の形成が現時点では確認できないとされているが、新潟県沖から北海道沖の日本海東縁部のひずみ集中帯では、北海道南西沖地震などの津波を発生させた大きな地震の海域活断層が密集しており、日本海側では、これらのような海域活断層に関する調査を中心に行われている。太平洋側のように津波による甚大な被害記録の無い日本海側は、津波対策施設の構築や津波避難計画、津波ハザードマップなどの整備は、依然として太平洋側と比較して遅れているのが現状である。

石川県では、阪神淡路大震災後の平成7年に県下全域の津波浸水想定区域が作成されているが、策定当時は日本海側の津波波源に関する情報が少ないことから石川県全

域において大きな影響を与える可能性の高い波源として、能登半島東方沖の地震空白域に日本海側で最大の規模である1993年北海道南西沖地震相当(M7.8)の想定波源を設定し、海域の伝播解析により得られた沿岸部の津波高に割増係数を乗ずることにより、レベルバック方式で陸域の浸水範囲を想定していた。そのため、なだらかな海岸線の続く加越沿岸では過大な評価に、入組んだ地形の能登半島の沿岸では過小評価されている可能性が高いと考えられた。今回の検討では、最新の地形・構造物データや知見を取り込み、以下の5点に着目して海域から陸域遡上までを一連のモデルで精度よく解析実施し、結果に対して考察を行ったものである。

- (1) 石川県に影響のある波源の設定
- (2) 最新データによる遡上を含めた解析
- (3) 構造物による浸水域の相違
- (4) 既往歴史地震による津波の把握と解析結果の妥当性の確認
- (5) 近接波源の場合の陸域隆起の考慮

2. 解析の目的および解析方法

解析の目的および解析方法について、前述の着目点毎に記載した。

(1) 石川県に影響のある波源の設定

津波波源の設定に当たっては、津波防災地域づくりに関する法律の基本指針に基づき、最大クラスの津波を想定した。

石川県は地形的な特性として、日本海側の本土の中心付近に位置し、能登半島が日本海側に南北に突き出す長い形状をしている。そのため、能登半島は海に囲まれた複雑な長い海岸線を有しており、波源の設定位置によって沿岸に到達する津波の高さ、方向や時間が同じ到達点で大きく相違する。今回の解析では、この地形特性を踏まえ、県下全域の沿岸部に、影響が大きくなるように複数の波源候補から絞り込みによる波源の設定を行った。

(2) 最新データによる遡上を含めた解析

海底地形および陸域地形の最新データを適用し、陸域域では最小メッシュ単位10mでの解析を行った。また、河川に関しては、直轄管理の1級河川(2河川)のほか県管理河川の内、洪水情報周知河川(27河川)の断面のモデル化を行い、河川遡上の解析を実施した。

波源からの海域伝播解析では、海底地形による反射の影響や半島の地形特性による回折などの津波の伝播特性の把握を目指した。

(3) 構造物による浸水域の相違

地震及び津波発生時には、その外力(慣性力)や液状化によって構造物が損傷することが想定される。沿岸部では津波の遡上の際の防護機能を果たす既存の構造物(防波堤、護岸、堤防等)がある場合と損傷した場合では、浸水状況が大きく変わることは推測できる。また、構造物の破壊は、震動による直接的な破壊の他に津波第一波による破壊なども想定されるので、構造物の耐震性の検討や破壊ポイントの設定など津波の遡上解析の時間経過の中で個別に評価し考慮する必要がある。しかしながら、現時点ではそれらの確立した手法が無いことから、本検討では、津波遡上の抵抗となる構造物がある場合とない場合の2ケースについて解析を行った。構造物の無い場合は、背後地盤高を構造物があるメッシュの地盤高として設定した。

- ・ 構造物無し：浸水範囲が最大となる。
- ・ 構造物有り：津波の陸域への浸水阻害や津波の河川遡上が再現される。

また、津波解析において現状ではモデルとして再現できない樋管は、津波来襲時に短時間での閉門が困難なも

のが多く存在することから、堤内地への樋管を通しての浸水の可能性について把握するため、対策の必要性のある樋管の抽出を目指した。

(4) 既往歴史地震による津波の把握と解析結果の妥当性の確認

既往地震による津波被害の文献・ヒアリング調査を実施し、解析においては既往最大津波記録と今回の想定波源による津波解析結果を比較し、その妥当性について考察した。

(5) 近接波源の場合の陸域隆起の考慮

津波遡上解析では、一般的に浸水範囲が最大となるように、断層変位の内、陸域の地盤変位を沈降する場合のみ考慮する。本検討でも原子力発電所の津波評価技術¹⁾や平成23年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き²⁾に準拠し、陸域の地盤変位については沈降する場合を考慮することを基本とした。しかしながら、今回選定した想定波源の内、能登半島北方沖は、陸域に近接する波源であり、断層方向から地盤隆起範囲が能登半島の内陸域にまで及んでいる。前述の地盤変位条件を適応すると、海岸線にて隆起する海域と隆起しない陸域に区分されることになり、極端な地形変化となり現実的ではない。具体的には、今回の場合海域が3m隆起するため、陸域に対し突如として3m高さの水の壁が押し寄せる結果となる。そのため、本検討では、能登半島北方沖については陸域も海域と一連で隆起する場合の検討も行った。地盤隆起量はマンシンハ・スマイリーの手法³⁾にて算定を行った。

3. 解析手法と解析モデルの作成

本解析における解析条件と解析モデルの作成について記載した。

(1) 解析手法

津波解析は、非線形長波の理論式(浅水理論式)を基本方程式とし、鉛直方向の積分流量を用い断層による地盤変動、非回転、長波近似、非粘性を考慮し、海底から海面までの質量輸送を表す運動方程式及び連続式を差分化し時間積分することで津波波源から陸上遡上に至る津波伝播を再現する手法を適用した。陸域遡上の先端条件は相田の式⁴⁾を用いた。河川遡上解析において、津波の河川遡上解析の手引き(案)⁵⁾に基づきソリトン分裂については考慮していない。

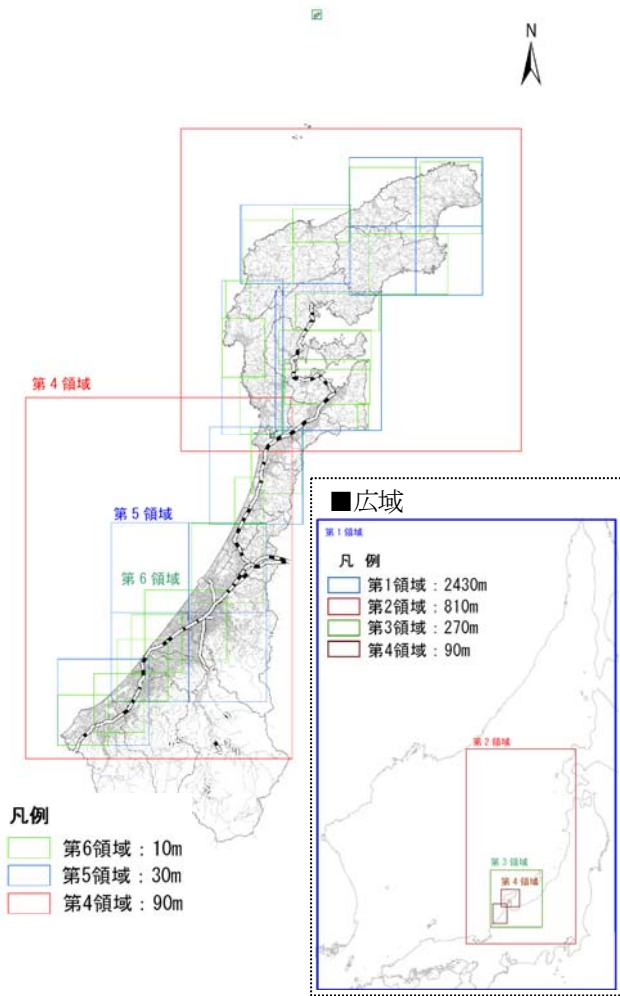


図-1 領域区分図

(2) 解析モデルの作成

解析に用いる地形モデルは、海域については(財)日本水路協会のM7000シリーズ、陸域については国土交通省北陸地方整備局及び国土交通省国土地理院の航空レーザー測量成果(以下、LPデータ)を基に作成した。なお、陸域で航空レーザー測量が行われていない地域については、当該自治体の1/2,500地形図の等高線と単点標高を基に3D地形を作成し利用した。また、水位情報周知河川を対象に、横断面図を基に河道モデルを作成した。

a) メッシュサイズ

地形モデルのメッシュサイズは、水深が浅くなるにつれて波長が短くなることを考慮し、伝播の過程でメッシュサイズを1/3の割合で変化させた。メッシュサイズは、6段階領域で設定し、第1領域で最大となる2,430m四方、陸域の第6領域では最小の10m四方とした。図-1に領域区分図を示す。

b) 境界条件

第1領域から第4領域の海岸における境界条件は完全反射境界とし、第5領域第6領域については、移動境界とし

て陸域への遡上解析を行った。

c) 構造物のモデル化

陸域モデルは主に航空レーザー測量成果を用いて10mメッシュで作成しており、それよりも幅が狭い構造物については地形モデルとして表現されない。しかしながら、実際には津波の遡上に対し抵抗となる構造物についてはその効果を考慮すべきであることから、海岸保全施設(海岸護岸、防波堤)、河川堤防を対象としモデル化を行った。モデル化の方法は、各施設の管理台帳より取得した施設の天端高を施設が該当するメッシュの地盤高として設定することで、構造物を地形モデルに反映した。

d) 波源の設定方法

波源の設定に当たっては、(独)産業技術総合研究所、金沢大学の地震工学、地質学の学識経験者により構成する石川県津波想定地震検討会を設置し、東日本大震災の知見を踏まえた検討を行った。

波源となる活断層については、(独)産業技術総合研究所地質調査総合センターの海洋海陸シームレス地質情報、海洋地質図⁶⁾のほか、徳山らの日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史⁸⁾など、既存の海底調査結果を基に調査を行った。波源候補の設定に当たり、以下の通り波源設定の方針を定めた。

- 海底地質調査結果より海域における活断層による津波波源を設定する。
- 松田(1990)⁹⁾の5kmルールにとらわれず、地形状況や活断層の傾斜方向に応じて運動を考慮する。

図-2には海洋地質図⁶⁾を基に地質学観点より連続する断層を設定した例を示す。能登半島東方沖(No.2-2)の例では、海底の向斜構造及び背斜構造の周辺海底には断層があると考えられることから、連動する波源として設定した。

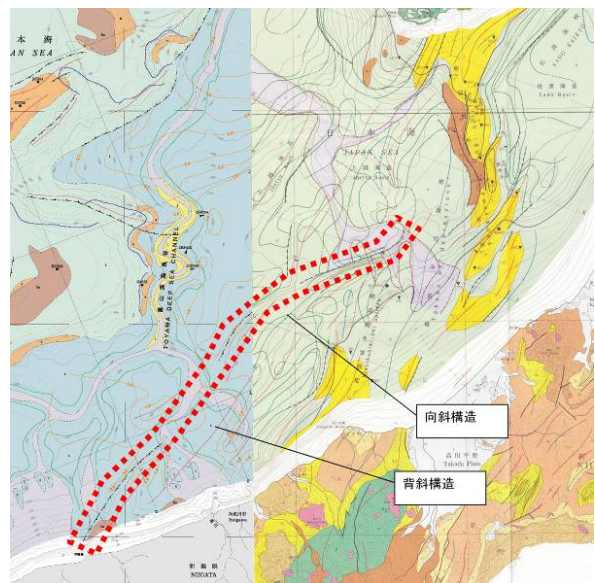


図-2 波源設定の例 能登半島北方沖(No.2-2)
海洋地質図は岡村ほか⁶⁾を使用

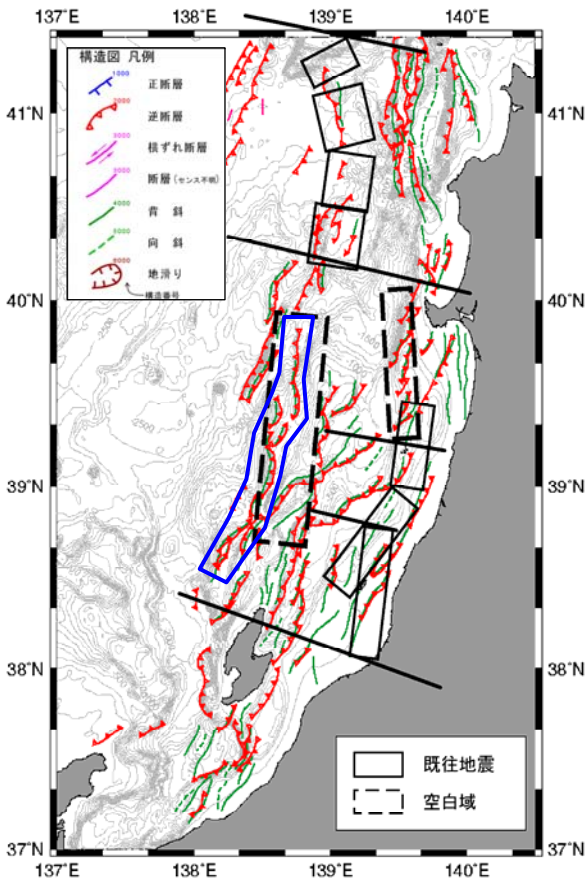


図-3 波源設定の例(日本海東縁部(No.1))
断層図は徳山ほか⁸⁾を使用

図-3の日本海東縁部(No.1)の例では、徳山らの断層図⁸⁾を基に断層の傾斜方向が同一な断層を連動するものとして取り扱った。なお、このひずみ集中帯では、断層が東西南北様々な方向に位置しており、連動する断層を横断する断層がある場合は、交差地点までの連動とした。その結果、断層長が167kmでMwが7.99と日本海側の既往最大である北海道南西沖地震(M7.8)以上の地震規模となる波源を想定できた。

4. 解析結果の考察

(1) 石川県に影響のある波源の設定

a) エリアの設定

石川県の海岸線は加賀地域の加越沿岸と能登半島の沿岸を西と東で能登外浦と能登内浦の大きく3つの沿岸に区分されている。加越沿岸は加賀市から羽咋市にかけて一連の長い砂浜海岸であり、一部海岸護岸が整備された沿岸である。能登外浦は波や風雨によって侵食された急峻な切立った地形の沿岸である。この沿岸の沖合は能登半島の北方に約43kmにわたって水深130mから140mの緩やかな大陸棚を形成している。能登内浦は、能登半島の

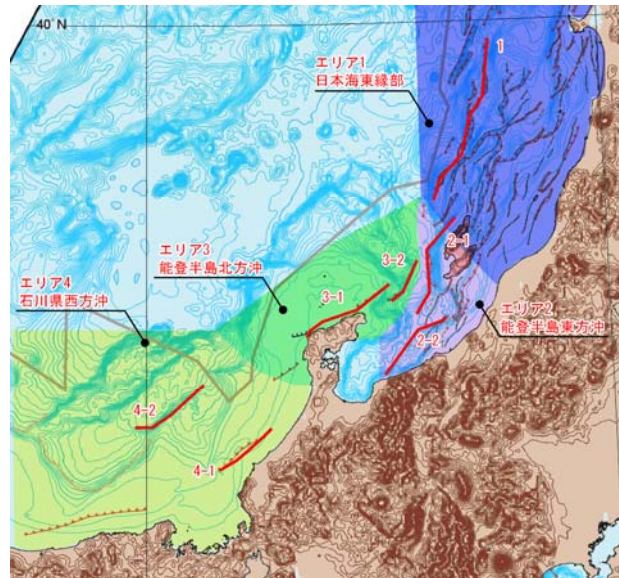


図-4 エリア区分及び波源候補位置
背景図は徳山ほか⁸⁾を使用

表-1 波源候補断層パラメータ

エリア	日本海東縁部	能登半島東方沖		能登半島北方沖		石川県西方沖	
波源No.	1	2-1	2-2	3-1	3-2	4-1	4-2
モーメント マグニチュード	Mw 7.99	7.73	7.58	7.66	7.24	7.44	7.63
断層長(km)	L 167	106	82	95	46	65	90
幅(km)	W 17.32	17.32	17.32	17.32	17.32	17.32	17.32
すべり量(m)	D 12.01	7.71	5.94	6.76	3.27	4.62	6.43

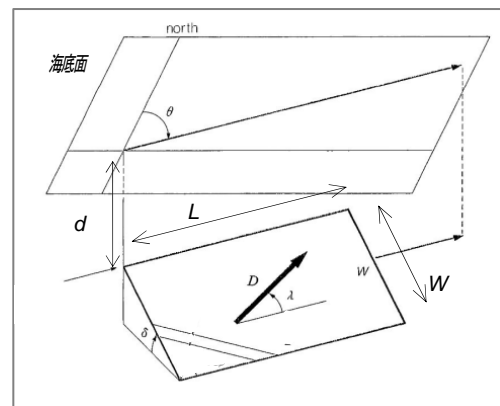


図-5 断層モデル

うち富山湾側に面する地域で沿岸部には多くの湾が形成され漁港が多く点在し、七尾湾の中央には能登島が位置する非常に複雑な沿岸地形である。

このような特徴を踏まえ、今回の解析においては、石川県周辺の海域を大きく4つのエリアに区分し、各エリアから来襲する津波の影響を把握できるよう工夫した。エリア1は、新潟県沖から北海道沖のひずみ集中帯で活断層が密集する日本海東縁部とした。エリア2は、能登内浦沿岸の正面に位置する佐渡島南西部の断層帯を対象とした能登半島東方沖とした。エリア3は、能登外浦沿岸に並走する活断層群を対象とした能登半島北方沖とした。エリア4は、加越沿岸の断層を対象とする石川県西方沖とした。

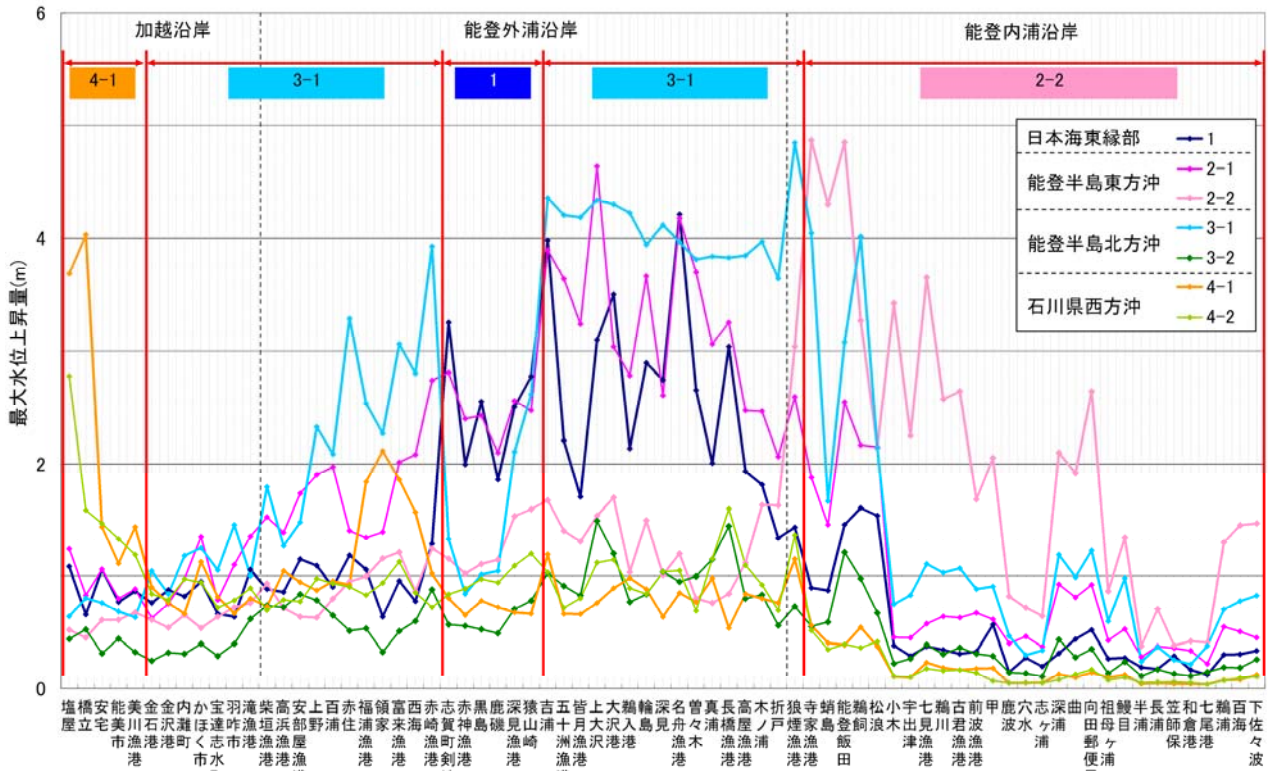


図-6 各波源の最大水位上昇量と卓越波源

b) 波源の設定

設定した4エリアに対して石川県に影響があると考えられる波源を候補として設定した. 図-4にエリア区分及び波源候補位置を示す. 表-1に波源候補の断層パラメータと図-5に断層モデルを示す.

なお, 断層の上縁深さ(d), 傾斜角(δ)及びすべり角(λ)については, 原子力発電所の津波評価技術⁹⁾を基にそれぞれ0.1km, 60° , 90° とした. なお, 2-1, 2-2, 3-2については, 音波探査調査記録では傾斜角は $45^\circ \sim 60^\circ$ 程度と見られたため, 45° 及び 60° のケースの海域解析を行い沿岸部で津波高が高くなる 60° を採用した. すべり角については, 主応力方向が東西方向であることから, 断層の走向が東西方向の3-1, 3-2, 4-1, 4-2については, 主応力方向を考慮可能であったが, 最大規模の津波を想定するため津波高が高くなる 90° を採用した.

波源の設定は, 波源候補について海域の津波解析を実施し, 海岸線で最大水位上昇量が大きく, 陸域への影響が大きくなると考えられる波源を選定した. 選定方法は県内の海岸線に約80箇所のポイントを設定し, 各地点での最大水位上昇量を取得し, それを基に地域毎に卓越する波源を設定した. 図-6に波源毎に地域の最大水位上昇量と卓越する波源を示す. 県西部から金沢市はNo.4-1, 金沢市から志賀町はNo.3-1, 輪島市旧門前地区はNo.1, 能登外浦地区はNo.3-1, 能登内浦地区はNo.2-2が卓越し

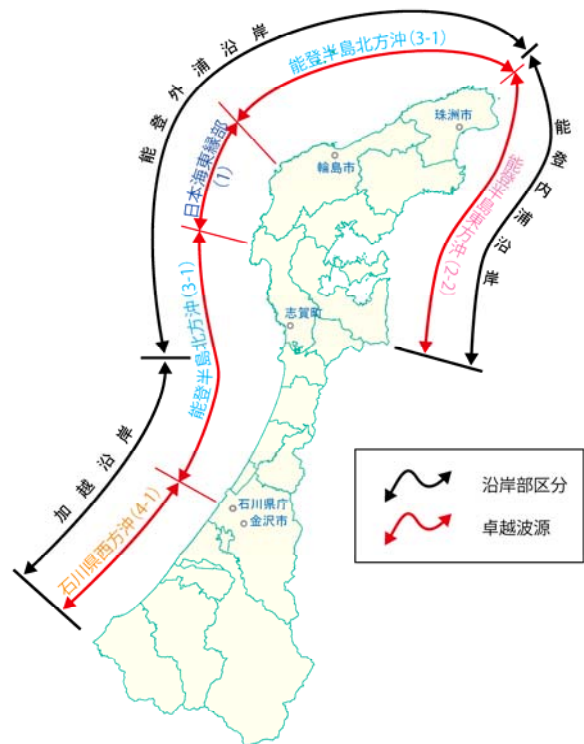


図-7 沿岸部の卓越波源

た. 以上より各エリアにそれぞれ1つの波源を絞込む結果となった. 図-7に沿岸の卓越波源を示す. 図-8に選定した波源位置図を示す.

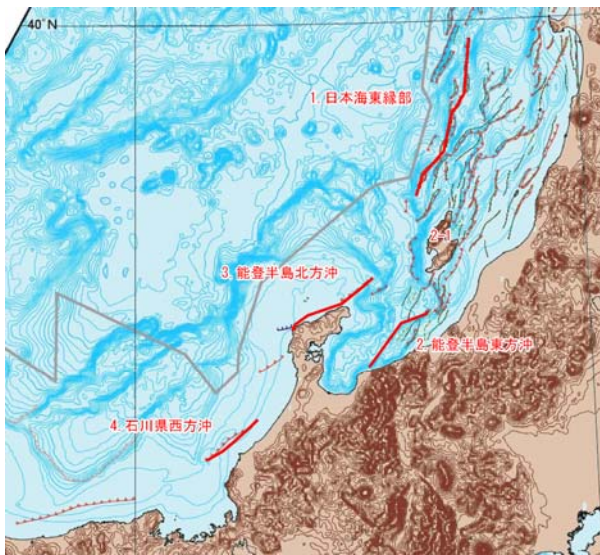
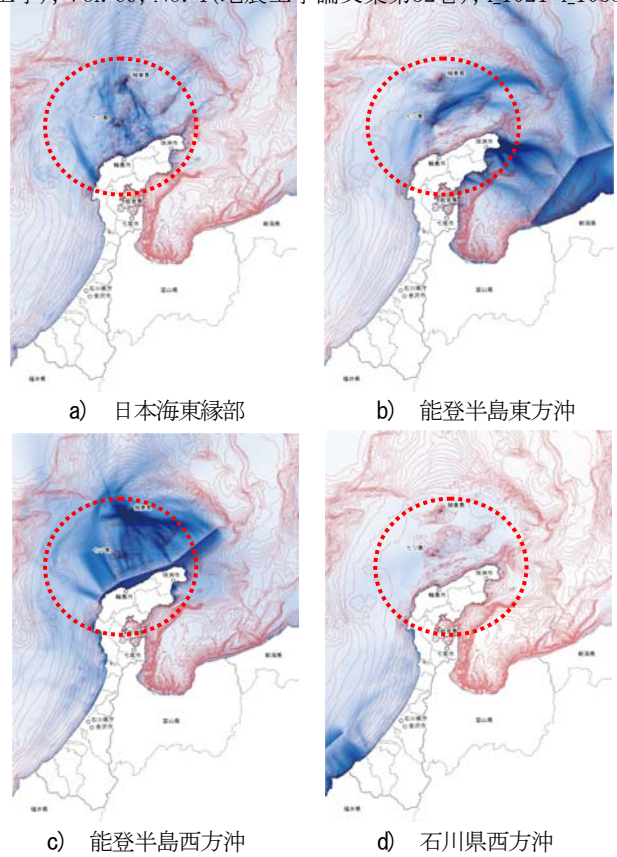


図-8 選定波源位置
断層図は徳山ほか⁸⁾を使用



a) 日本海東縁部
b) 能登半島東方沖
c) 能登半島西方沖
d) 石川県西方沖

c) 地形特性による伝播特性の把握

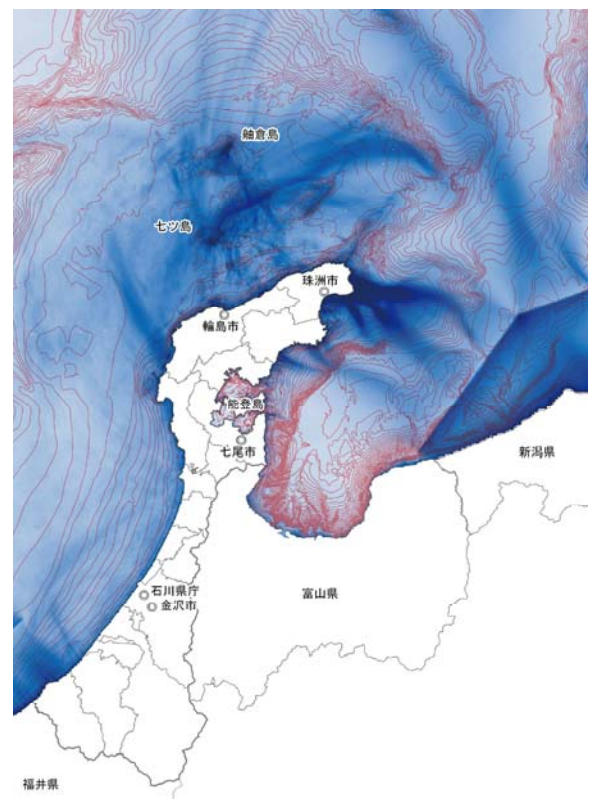
図-9に各波源の海域の津波高分布図と能登半島北方沖を除く3波源の合成津波高図を示す。色が濃いほど津波が高くなる地点である。すべての波源について、輪島市北部の沖合いの七ツ島や舳倉島周辺では津波が津波が収斂するとともに、津波高が高くなることを確認した。これは、能登半島北部の海底地形が周辺海域よりも浅いことから津波が回折し、速度が減速することや、津波路上に七ツ島や舳倉島などの小島が位置するため狭窄部となり、津波高が高くなりやすい地形であると考えられる。

また、前出の図-6の各波源の最大水位上昇量図からも分かるが、能登外浦地域において、石川県西方沖を除いて津波高が高くなるのが分かる。

本検討では、石川県を囲むように4つの波源を想定しているが、海岸線に近い波源の影響がより大きいことが確認できる。例えば、能登内浦沿岸に位置する珠洲市では、その前面の能登半島東方沖からの津波の影響が大きい。特に、珠洲市最東端の小泊地区から珠洲市中心部にかけては、深い富山湾内を通過した津波が、急勾配の海底地形に合わせて収斂していることがわかる。

d) 地域別浸水想定状況の把握

表-2に波源別浸水面積(構造物なし)を、表-3に波源別浸水域内人口(構造物なし)を示す。波源別の浸水面積は、能登半島東方沖が最も大きく全県で35.16km²、次いで能登半島北方沖が30.39km²であった。浸水域内人口は、浸水面積と同様に能登半島東方沖が最も多く全県で44,047人、次いで能登半島北方沖が37,261人であった。なお、浸水域内人口は、平成17年度国勢調査の500mメッシュ人口データを基に、100m土地利用データを用いて建物がある100mメッシュに人口を按分し、浸水範囲に含まれるメッシュ人口を集計した。



e) 3波源合成

図-9 海域津波高分布図

表-4に能登半島東方沖の浸水深別人口(構造物なし)を示す。最も浸水域内人口が多い能登半島東方沖について、浸水深別の人口を見ると、浸水深2m以上のエリアに

表-2 波源別浸水面積(構造物なし)

市町名	浸水面積(km ²)			
	1.日本海東縁部	2.能登半島東方沖	3.能登半島北方沖	4.石川県西方沖
金沢市	0.74	0.79	1.26	1.31
七尾市	3.05	7.97	4.90	1.59
小松市	1.41	1.20	1.47	2.37
輪島市	3.29	1.60	3.21	1.13
珠洲市	3.14	10.72	6.31	0.95
加賀市	1.37	1.12	1.30	2.26
羽咋市	2.12	2.34	3.02	2.69
かほく市	0.44	0.40	0.50	0.48
白山市	0.35	0.27	0.38	0.49
能美市	0.16	0.10	0.15	0.21
津幡町	0.26	0.24	0.32	0.59
内灘町	0.62	0.61	0.86	0.86
志賀町	1.78	1.61	2.83	1.92
宝達志水町	0.45	0.44	0.56	0.55
穴水町	0.50	2.27	1.01	0.31
能登町	1.07	3.46	2.30	0.47
合計	20.74	35.16	30.39	18.17

表-3 波源別浸水域内人口(構造物なし)

市町名	浸水域内人口(人)			
	1.日本海東縁部	2.能登半島東方沖	3.能登半島北方沖	4.石川県西方沖
金沢市	1,664	1,825	2,308	2,411
七尾市	3,327	12,998	7,614	2,149
小松市	132	132	387	604
輪島市	6,541	3,559	6,551	2,301
珠洲市	4,912	10,113	7,615	2,239
加賀市	389	365	418	1,128
羽咋市	306	295	810	589
白山市	162	162	220	278
内灘町	1,064	1,305	1,305	1,451
志賀町	1,604	1,591	2,438	1,840
穴水町	1,455	3,296	1,994	1,143
能登町	4,137	8,406	5,601	2,480
合計	25,693	44,047	37,261	18,613

表-4 能登半島東方沖の浸水深別人口(構造物なし)

市町名	能登半島東方沖				
	合計人口	0~0.5m	0.5~1m	1~2m	2m以上
金沢市	1,825	435	1,332	58	
七尾市	12,998	5,204	5,990	1,486	318
小松市	132		132		
輪島市	3,559	1,425	1,908	192	34
珠洲市	10,113	1,731	1,850	2,167	4,365
加賀市	365	111	254		
羽咋市	295	132	163		
白山市	162		162		
内灘町	1,305	304	1,001		
志賀町	1,591	228	1,162	160	41
穴水町	3,296	1,311	1,257	478	250
能登町	8,406	1,683	3,128	1,405	2,190
合計	44,047	12,564	18,339	5,946	7,198

表-5 浸水開始5分以内人口(構造物なし)

市町名	浸水開始5分以内人口(人)	
	2.能登半島東方沖	3.能登半島北方沖
輪島市	—	4,089
珠洲市	6,619	—
能登町	3,388	—
合計	10,007	4,089

7,198人が居住している。特に珠洲市と能登町では、浸水深が深いエリアが多く、それぞれ浸水想定区域内人口の43%、26%と多く、浸水深さに配慮した津波避難対策が必要である。

表-5に浸水開始時間が5分以内人口(構造物なし)を示す。能登半島東方沖の津波の場合には珠洲市、能登町において約1万人、能登半島北方沖の津波の場合には輪島市において約4千人が5分で津波が到達するエリアに居住しており、津波避難における対策が必要である。

能登半島北方沖の断層は、陸域に近いところで1km程度、輪島市中心部の海岸線まで6km程度と近接しているため、津波浸水も短時間で開始する。図-10に示すように市街地を形成する輪島市中心部においては、浸水範囲のうち5分以内に浸水が開始する地域が約80%と、極めて短時間で避難が必要な地域である。

図-11に石川県全域における最大の浸水想定区域と県内の特徴的な浸水状況をピックアップする。輪島市中心部は、日本海東縁部の津波(構造物なし)にて浸水面積が最大となり、河原田川から遡上した津波が市街地へ広がっている。輪島市舳倉島では、前出の通り島周辺で津波が収斂する地域であり、特に能登半島北方沖の津波(構造物なし)では、島全域が浸水してしまう。能登半島先端に位置する珠洲市小泊地域では、能登半島東方沖の津波(構造物なし)にて、最大浸水深が17.8mと最大

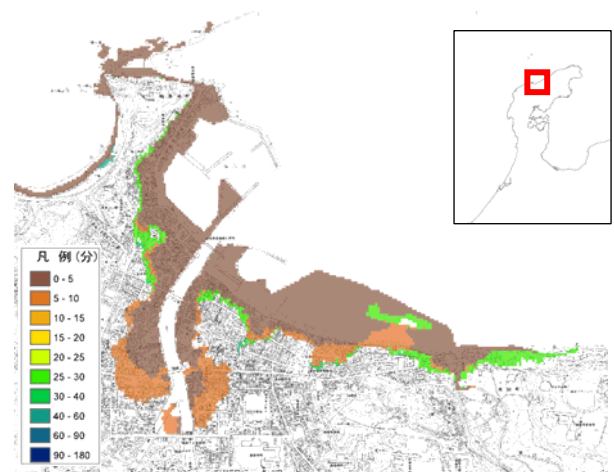


図-10 浸水開始時間図(輪島市中心部)

値となった。また、その津波が遡上し、津波水面の標高が最大で22.4mと非常に高い結果となった。これは、当該地域が能登半島東方沖の正面に位置しており、当該地域に津波が進入しやすく、富山湾の海底と能登半島周辺大陸棚の地形状況より津波が収斂すると考えられる。

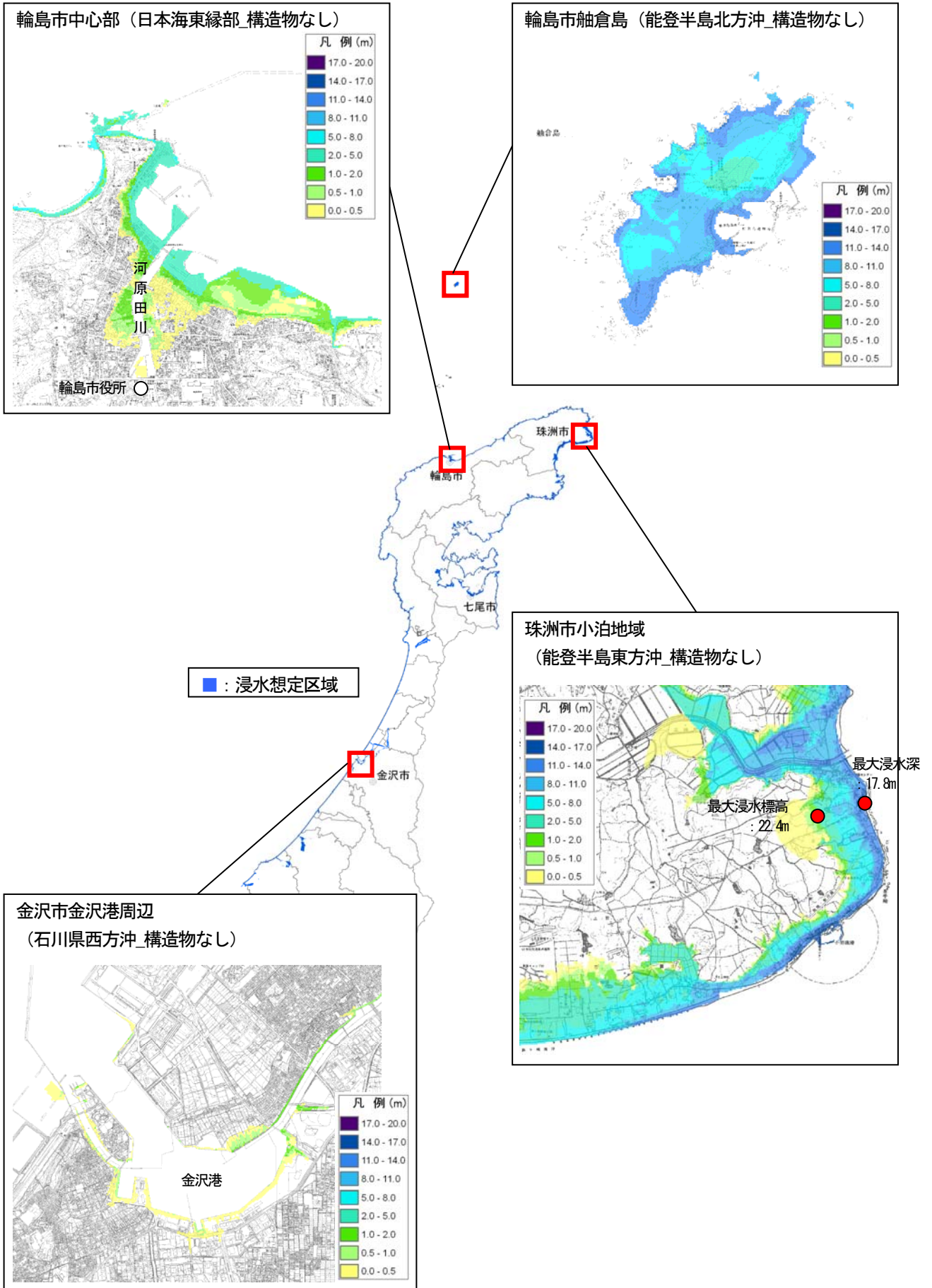


図-11 浸水想定区域図 (石川県全域)

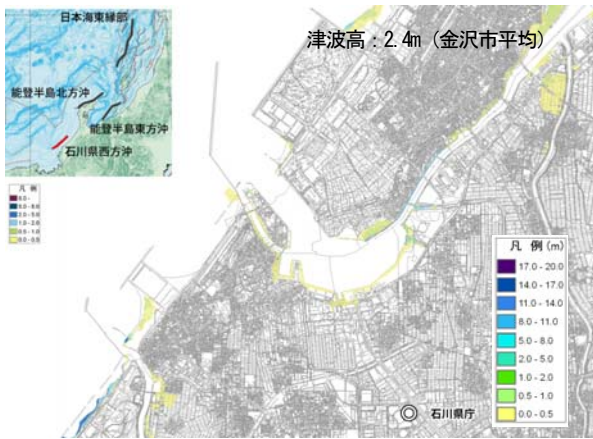
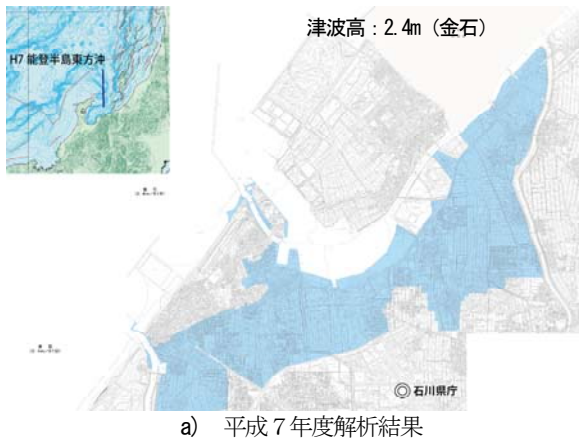


図-12 陸域遡上考慮の有無による浸水域の変化(金沢市金沢港周辺)

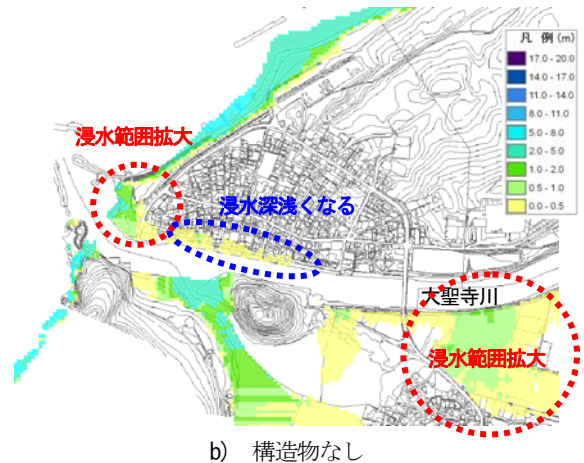


図-13 河川堤防の有無による浸水想定区域の相違(加賀市大聖寺川河口部)

(2) 最新データによる遡上を含めた解析

本検討では、海域から陸域遡上までを一連で解析を行い、浸水想定区域図を作成した。レベルバック方式との差異が多い個所として図-12に平成7年度解析結果と本解析結果を示す。沿岸部における津波高は、平成7年度(地点:金石)と本検討(金沢市沿岸部平均値)はともに2.4mと同じ高さである。平成7年は広範囲が浸水範囲となっているが、本検討では防波堤、護岸や河川堤防により陸域の遡上が阻害され陸域に浸水しない結果が得られた。このことから、特に海底地形がなだらかで砂浜などを有する海岸線が続く場所におけるレベルバック方式は過大な結果を示す可能性があることがわかった。

(3) 構造物による浸水域の相違

a) 浸水範囲の相違

図-13に示すように加賀市大聖寺川河口部において、河川堤防が無い構造物なしのケースでは、左岸側で河川背後で地盤高が低い田畑に浸水範囲が広がっている。右岸川では、河口部で浸水範囲が広がっている。この影響を受け住宅地周辺では、浸水範囲は変わらないものの浸水深が浅くなったことが確認できる。

また、大聖寺川の遡上距離を比較すると、構造物なし

表-6 河川遡上距離(石川県西方沖-金沢市以西)

水系	河川名	構造物あり	構造物なし
手取川	手取川	0.9km	0.8km
梯川	梯川	7.6km	7.6km
	前川	5.5km	5.5km
	八丁川	1.9km	1.9km
	鍋谷川	遡上しない	
大聖寺川	大聖寺川	9.6km	9.4km
新堀川	新堀川	全区間	
	動橋川	3.0km	2.9km
柴山湯		全区間	
犀川	犀川	4.8km	4.9km
	安原川	2.7km	2.7km
	伏見川	0.4km	0.4km
	高橋川	遡上しない	
大野川	大野川	全区間	
	浅野川	2.7km	2.7km
	金腐川	2.1km	2.0km
	森下川	2.6km	2.6km
	津幡川	3.0km	2.9km
	宇ノ気川	2.3km	2.3km

のケースで9.4kmであり、構造物ありのケースで9.6kmと、河川背後地への浸水によって河川遡上流量が減少し、河川遡上距離が若干短くなっている。表-6に石川県西方沖における金沢市以西の河川について構造物の有無による河川遡上距離を整理する。構造物がない場合、つまり河川堤防がない状態では、下流域で内陸部への浸水が起こ

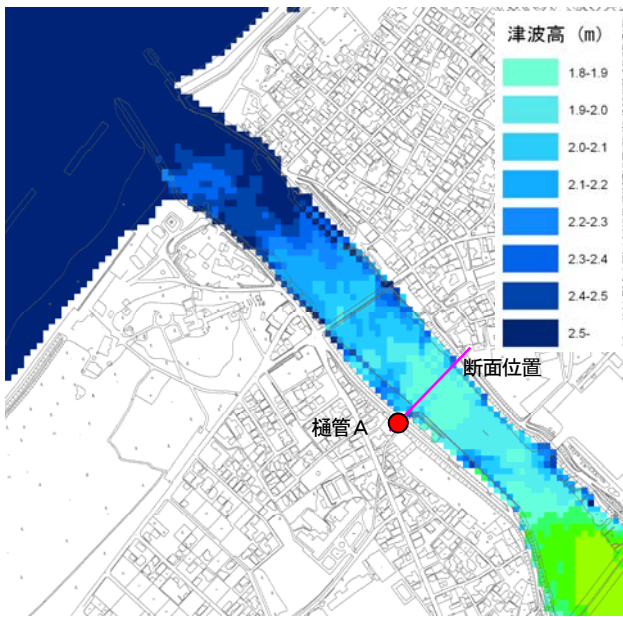


図-14 河道内津波高及び樋管位置図

るため上流部への遡上流量が減少し、河川遡上距離が短くなることを確認した。

ただし、構造物の有無については現実的には内陸部においても損傷の可能性があり、下流域での耐震性強化がなされた場合には、上流域に浸水エリアが生ずる可能性があり、今後の課題と言える。

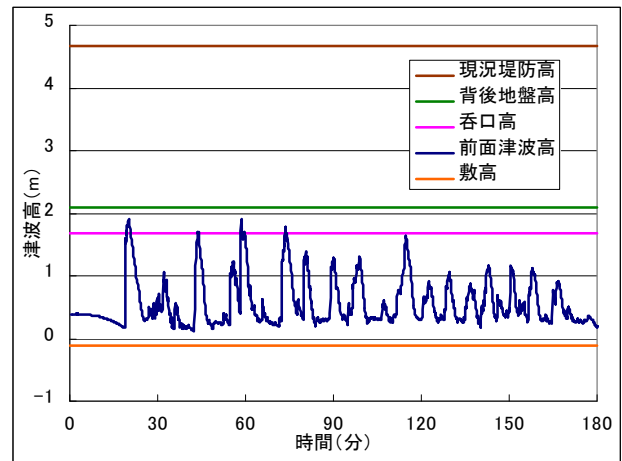
b) 樋管からの浸水について

津波到達時間が短い場合、樋管を閉門することが困難である。そのため、危険性の高い樋管を抽出する目的で、津波高、津波到達時間、施設敷高、背後地盤高を把握し、津波高が樋管敷高を越える施設については、今後、津波対策の必要な施設として津波対策ゲートの設置や遠隔操作が可能な電動ゲートへの更新などの検討が必要と考えることが可能である。津波高が樋管敷高よりも高くなる例として、樋管Aについて整理し、図-14に河道内津波高及び樋管Aの位置を示す。

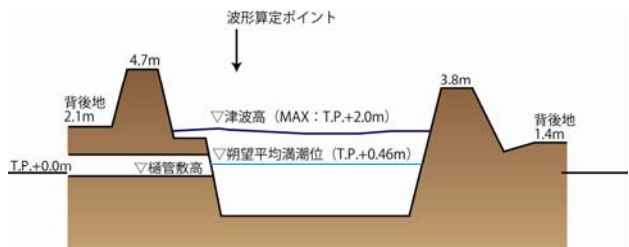
図-15に樋管A前面における時系列津波高グラフ上に樋管A敷高、呑口高、現況堤防高及び背後地盤高を示した。また、樋管Aの前面の河道断面イメージを示す。

図-15に示すように、樋管前面津波高が津波発生後約20分後に第一波にて最大となる。この時点の樋管から背後水路への流入量を算定した。算定手法は、公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル(案)¹⁰より行った。

図-16に示すゲート流出時水位と樋管断面高さの関係と表-7に示す施設通過流量式より最大津波高時に逆流する流量を算定すると7.0m³/sであった。また、第一波にて樋管が満水になる時間は約1.5分であることから、安全側に考慮し最大津波高時の流量が続くと仮定すると満水時の逆流量は630m³となる。逆流量と背後水路断面よりオーバーフロー流量を算定し、地形状況に合わせて浸水



a) 時系列津波高グラフ



b) 断面イメージ

図-15 時系列津波高と各施設高の比較と断面イメージ

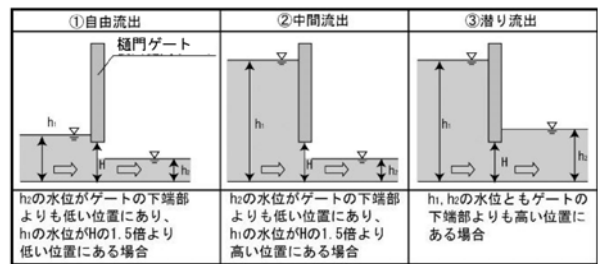


図-16 ゲート流出時水位と樋管断面高さの関係

表-7 施設通過流量算定式

No.	水位の関係	計算式	流量係数C
①	$h_2 < H$	$h_1 < \frac{3}{2}H$	0.79
		ただし、 $\frac{h_1}{h_2} \geq \frac{3}{2}$ の場合は $h_2 = \frac{2}{3}h_1$ とする	
②	$h_1 \geq \frac{3}{2}H$	中間流出: $Q = CBH \sqrt{2gh_1}$	0.51
③	$h_2 \geq H$	潜り流出: $Q = CBH \sqrt{2g(h_1 - h_2)}$	0.75

h_1, h_2 : 施設前後の水位 H : 開口部高さ
 Q : 流量 B : 開口幅 C : 流量係数 g : 重力加速度

範囲を設定することも可能である。津波対策が必要と判断された樋管については、この手法にて、逆流量を算定し、樋管管理者や自治体防災担当者へ情報提供を行うことが有効と考える。

(4) 既往歴史地震による津波の把握と解析結果の妥当性の確認

本検討では、最新版日本被害地震総覧、日本被害津波総覧を基本とし、加賀藩史料や県史、市町村史など約

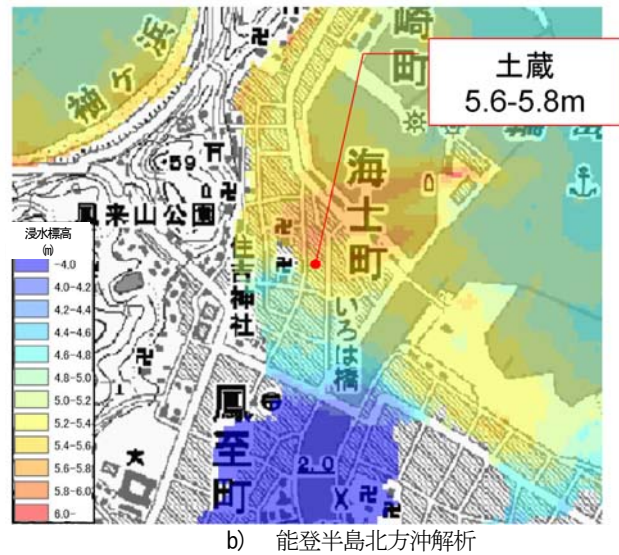


図-17 定点における既往最大津波痕跡高と解析結果の比較 (輪島市鳳至町)

表-8 1833年山形県沖地震(天保4年12月7日)について
続古地震¹⁾での記述

記述
a)長徳寺に面した梶家には、つい最近まで地震当時の土蔵が残っていて、潮水に使った部分が降雨時に吸水するためか、その範囲が黒ずんで見えたということであった。早速同氏の案内を受け、手持ちのハンドレベルと標尺を用いて、該当する箇所の高さを測った結果、海拔5.6メートルを得た。

120の文献を調査した。日本海側の津波で過去に石川県に被害があったと想定される津波について、津波来襲の周期や津波発生波源の領域や活断層毎の発生周期の調査を行ったが、結果は得られなかった。

しかしながら、調査結果より石川県における既往最大津波が1833年山形県沖地震(天保4年12月7日)であることを確認し、解析結果との比較を行った。表-8に示すように続古地震¹⁾に記される1833年山形県沖地震の津波痕跡高は、輪島市鳳至町の土蔵にて5.6mであり、解析による同地点の最大浸水標高は、能登半島北方沖の場合で同程度であった。図-17に輪島市における既往最大津波との比較図を示す。なお、現在の海岸状況は海岸保全施設が整備されており、1833年山形県沖地震当時の海岸状況と大きく異なると考えられることから、比較の条件として構造物が無い場合との比較を行った。

本検討の想定波源による来襲津波は、既往最大津波以上であることを確認した。

(5) 近接波源の場合の陸域隆起の考慮

本検討では、能登半島北方沖について、通常考慮されない陸域の隆起について考慮した場合の検討を行った。図-18に輪島市中心部の浸水想定区域について陸域が隆起する場合としない場合を比較する。陸域が隆起する場合は明らかに浸水範囲が減少することが分かる。

表-9に輪島市及び珠洲市における浸水面積が、陸域隆

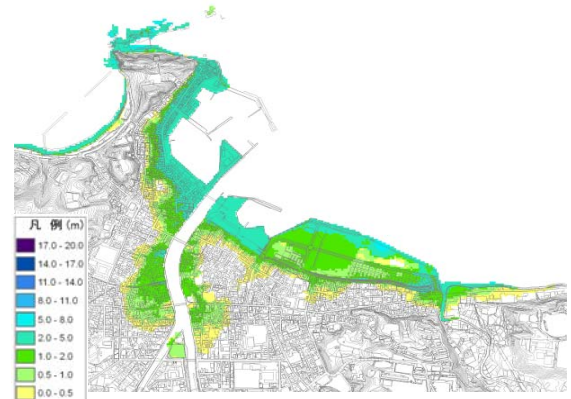


図-18 陸域隆起の有無による浸水想定区域の相違 (輪島市中心部)

起がない場合とある場合を比較した際の減少率を示す。5分以内に浸水する地域の面積は、輪島市で78.5%、珠洲市で70.2%と、陸域が隆起することで浸水面積が大きく減少する結果となった。

図-19に珠洲市における陸域隆起による第一波到達時間の遅れを示す。能登内浦に位置する珠洲市飯田地区では、浸水範囲の変化は少ないが、陸域が隆起することで第一波到達時間が遅いところで20分程度遅くなった。

断層面が一律に滑ると仮定するならば、陸域が隆起す

表-9 輪島市及び珠洲市の浸水面積の変化量

		面積 (km ²)		減少率
		隆起なし	隆起あり	
輪島市	全域	3.53	1.41	60.1%
	5分以内の地域	2.37	0.51	78.5%
珠洲市	全域	6.43	4.03	37.3%
	5分以内の地域	1.61	0.48	70.2%



図-19 陸域隆起による第一波到達時間の遅れ (珠洲市)

る方が現実的である。自治体が津波避難計画を立案する場合や津波ハザードマップの作成に当たっては、安全側に考慮して陸域が隆起しない場合を採用するべきと考えるが、到達時間が明らかに短い場合やより実情にあった計画を行う必要がある場合は、この20分を猶予として検討することも1つと考える。

5. 結論

ここでは、得られた結論を要約して以下に示す。

(1) 石川県に影響のある波源の設定

既存の最新海底地質調査結果等を基にこれまでの波源設定の考え方にとらわれることなく、石川県に影響を及ぼす想定津波波源を設定し、詳細な地形データを用いて津波遡上解析を実施し、県下全域の津波浸水想定区域を作成した。今回行った波源設定の方法は、太平洋側と比較して歴史記録が少なく調査も遅れている日本海側での波源設定において、他地域にも応用できると考える。

能登半島の地形的な特徴を考慮し、複数の想定波源を設定することで、全県的に来襲津波の特性を把握することができた。特に、能登半島周辺の津波収斂箇所をおおむね把握できた。また、能登地域の輪島市や珠洲市、能登町では、短時間で高い津波が到達する点に注意した津波避難計画が必要であることがわかった。

(2) 最新データによる遡上を含めた解析

最新データを用いて海域から陸域遡上までを一連で津波解析を実施した。沿岸部580kmに渡って10mメッシュで陸域の遡上解析を行った事例はまだ少なく、波源の絞り込み方法なども含めて、今後の他地域での津波想定参考となるものと考えられる。

最大浸水深、第一波到達時間、最大津波高、最大流速を各地点で取得した。これらは、今後津波避難計画を行っていく上で、危険エリアを複合的に判断可能な新たな指標の作成に活用が可能である。

(3) 構造物による浸水域の相違

津波遡上の抵抗となる海岸保全施設（海岸護岸、防波堤）、河川堤防等の構造物の有無による津波の浸水範囲の相違を把握するための検討を行い、構造物が無い場合に最大の浸水範囲となることを確認した。また、重要な樋管前面において時系列津波高を算定し、樋管を通しての背後地盤への氾濫の可能性や樋管の津波対策の必要性について整理した。これは浸水範囲のバッファゾーンの設定や津波対策の検討において重要な情報になるものと考えられる。

(4) 想定津波の評価

石川県に影響のあった既往地震に関する文献調査を実施し、調査結果と想定波源の津波解析結果の検証を行った。今回設定した想定波源は、石川県の地形特性を踏まえて設定しており、地域毎に異なる波源が最大の津波となり、珠洲市において能登半島東方沖の津波高が17.8mと非常に大きな結果が得られた。文献調査結果においてここまでの津波は観測されておらず、既往最大を上回る津波を想定できた。また、日本海東縁部の津波(Mw7.99)は、観測記録が残る北海道南西沖地震(M7.8)を上回っている。以上より、従来の考えに囚われず地質学的観点のもと現時点で設定可能な最大限の波源を想定した。

(5) 近接波源の場合の陸域隆起の考慮

近接波源である能登半島北方沖波源の地盤変位について陸域の隆起を考慮した場合の検討を行い、陸域隆起により浸水範囲と到達時間等が大きく変わるため被害算定において有益な情報であることを確認した。

今後の課題としては、津波波源となる活断層の発見などの新たな知見が得られた場合には、浸水想定区域の見直しを行っていくことが必要である。また、波源における挙動についてアスペリティを考慮したより詳細な解析の実施や地震動及び津波外力による時系列での構造物破壊の考慮などが解析における課題である。

ソフト面では、浸水想定区域図の地域住民とのリスク

コミュニケーションツールとしての有効活用や、行政区域を越えて沿岸部の都市計画及び避難計画に活用できる新たな評価指標の検討が課題である。

日本海側では、周期的な津波がわからないため、構造物整備の基準となるレベル1津波の設定や、解析結果を用いた海岸護岸への津波波力に対する耐久性の検討などがハード整備における課題である。

謝辞：本津波解析において想定波源の設定から解析結果のとりまとめまでの一連の検討に関し、金沢大学の北浦名誉教授・客員教授、金沢大学理工研究域自然システム学系の平松准教授、(独)産業技術総合研究所の岡村活断層・地震研究センター長には、様々なご助言を頂きました。福井大学教育地域科学部の山本教授には、石川県西方沖エリアの波源設定にあたってご助言の他資料提供いただきました。図-2については、(独)産業技術総合研究所の岡村活断層・地震研究センター長に使用の許可を頂き、海洋地質図⁶⁾、⁷⁾を引用しました。また、金沢学院大学文学部の東四柳教授(石川県立図書館史料編纂室長)及び県立輪島高の左古校長には、文献調査において資料提供及びご助言を頂きました。発注者である石川県危機対策課には、資料収集及び検討会の進行等においてご尽力いただきました。記してお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 土木学会原子力土木委員会：原子力発電所の津波評価技術，土木学会原子力土木委員会，2004.
- 2) 国土交通省水管理・国土保全局海岸室，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：平成23年東北地方太平洋沖地震による津波の対策のための津波浸水シミュレーションの手引き，2011.
- 3) Mansinha, L. and Smylie, D.E. : The displacement fields of inclined faults, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol.61, No.5, pp.1433-1440, 1971.
- 4) 相田 勇：陸上に溢れる津波の数値実験－高知県須崎及び宇佐の場合－，東京大学地震研究所彙報，Vol.52, pp.441-460, 1977.
- 5) 財団法人国土技術研究センター：津波の河川遡上解析の手引き(案)，財団法人国土技術研究センター，2007.
- 6) 岡村行信，竹内圭史，上嶋正人，佐藤幹夫：佐渡島南方海底地質図，海洋地質図，No.43, 1994.
- 7) 岡村行信：能登半島東方海底地質図，海洋地質図，No.59 (CD), 2002.
- 8) 徳山英一，本座栄一，木村政昭，倉本真一，芦 寿一郎，岡村行信，荒戸裕之，伊藤康人，徐 垣，日野亮太，野原壯，阿部寛信，坂井眞一，向山建二郎：日本周辺海域の中新世最末期以降の地質構造発達史，海洋調査技術，Vol.13, No.1, 別添 CD-ROM, 2001.
- 9) 松田時彦：最大地震規模による日本列島の地震分帯図，東京大学地震研究所彙報，Vol.31, No.2, 1990.
- 10) 国土交通省国土技術総合政策研究所：公共土木施設の地震・津波被害想定マニュアル(案)，国土技術総合政策研究所資料，No.485, 2008.
- 11) 萩原尊禮，藤田和夫，山本武夫，松田時彦，大長昭雄：続古地震，pp.165-181，財団法人東京大学出版会，1989.

(2012.11.16受付, 2013.1.28修正, 2013.2.23受理)

A STUDY ON THE ANALYSIS OF THE INUNDATION OF ISHIKAWA COAST BY TSUNAMI SOURCE MODELS

Hidekazu ARAI, Katsushi ASO, Masakatsu MIYAJIMA, Toshiharu KITA
and Naoki NOMURA

In the sea of Japan side, the possibility of tsunami generation by ocean trench type of earthquakes may be low, therefore investigation and study of tsunami measures against this type had been insufficient than the Pacific Ocean. In the above situation, based on what has been discussed, like the Central Disaster Management Council after the Great East Japan Earthquake and the knowledge of the past, Some tsunami sources acting on Ishikawa Prefecture as big impact were selected. And then the simulations of the tsunami intrusion on the land were performed. Tsunami source were set in consideration of the integration of active faults from marine geological survey of previous results. Tsunami analysis was performed using the latest LP terrain data. It was conformed that the assumed Tsunami source generated the tsunami bigger than historical maximum tsunami on this coastline.