

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@t.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。加えて北陸では、冬季風浪が卓越し、その頻度から津波の検討より冬季風浪の検討に力点が置かれてきた。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LP地形データ等を用いた遡上解析を実施した。また、歴史文献調査をあわせて実施し、解析結果と既往最大津波の比較・検証を行った。

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。

日本海側はユーラシアプレート上に位置し、日本海には海溝の形成が現時点では確認できないとされている。一方で、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。津波による甚大な被害記録の無い日本海側では、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北海道南西沖地震(1993)相当の想定波源を設定し、海域の伝播解析結果から、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。そのため今回の検討では、最新の知見を取り込み、県下沿岸部における津波の影響を精度よく想定するため、以下の点を改善し検討を行った。

(1) 想定波源の設定

- ・調査結果に基づく海底活断層からの想定波源の設定
- ・海域解析実施による影響波源の絞り込み

(2) 詳細な解析データの作成

- ・最新の地形データの活用(海底地形、陸域LPデータ)
- ・10mメッシュによる陸域及び河川、構造物のモデル化

(3) 解析結果の検証

- ・既往津波による再現性の検証
 - ・歴史津波(歴史津波の文献調査)の検証
- 図-1に今回の作業フローを示す。

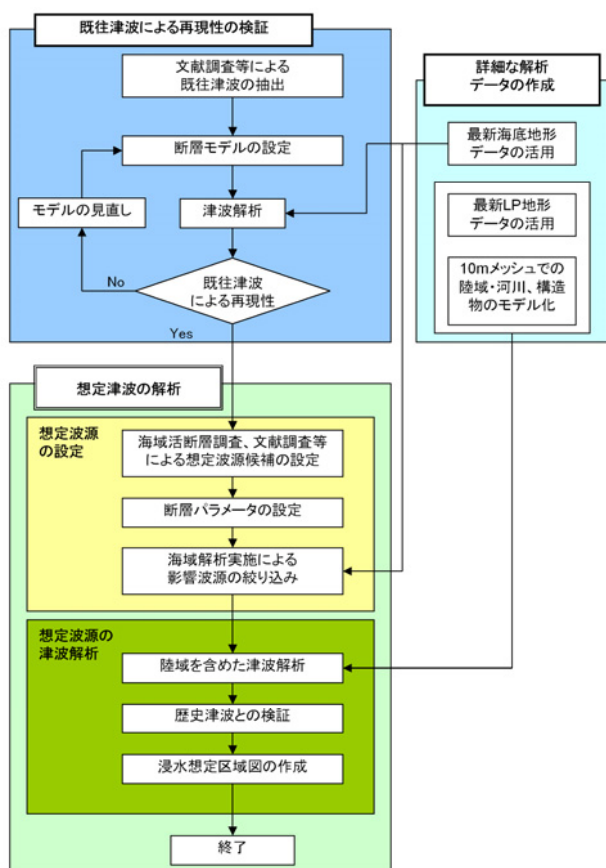


図-1 作業フロー

2. 既往地震に関する調査

既往地震に関する文献調査は、津波に関する文献の他、自治体史などから過去に石川県に被害をもたらした津波を調査した。表-1に主な調査文献リストを示す。

(1) 文献調査

調査は、“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

表-1 主な調査文献

主な調査文献	石川県に関連する津波記事の有無
最新版日本被害地震総覧[416]-2001	有
日本被害津波総覧	有
日本被害津波総覧【第2版】	有
加賀藩史料	有
理科年表 第84冊(平成23年)	有
地震の事典	有
歴史津波-その挙動を探る-	有
続古地震	有
月刊海洋科学 1984年9月号(通巻171号)Vol.16.No.9日本海中部地震津波	有
潮上高を用いた津波マグニチュード M_t の決定-歴史津波への応用-	無
津波マグニチュードによる日本付近の地震津波の定量化	無
東京大学地震研究所量報Vol.57(1982)	有
日本中世気象災害史年表稿	有
新収日本地震史料	有
石川縣史	有
市町村史	有

120の文献を調査し、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調査を行った。

また、文献調査にあたっては、古文書の専門家である東四柳教授（金沢学院大学文学部教授/石川県立図書館史料編纂室長）や左古隆先生（石川県立輪島高校校長）へのヒアリングを実施した。

調査結果としては、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などの把握は困難であった。

ここでは、石川県における既往最大津波である天保4年山形県沖地震(1833.12.7)について整理する。表-2に当該地震の津波に関する文献の記述内容を抜粋する。

表-2 天保4年山形県沖地震(1833.12.7)について

記 述	文 献
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。	続古地震 ¹⁾
b) 本町通五拾五軒、借家有、波壱尺計上ル、家表口皆損シ不申	輪島市鳳至町の住吉神社蔵に残される津波被害に関する絵図
c) 右前月二十六日地震後、海汐二百間程引去、無程以之外高波に而、川筋通田地等渚より七町計打揚、川筋無之ヶ所三町計打揚、近き人家等暫時引去。右は三度計も打揚、最初より三度目一番高く、波之高さ五・六間にも相成、打かぶせ候由、改方手合聞合之内にも有之。	加賀藩史料

a) 続古地震¹⁾における記載

続古地震の筆者による調査では、当時潮水に浸かった土蔵の痕跡を計測した結果、海拔5.6mであったとの記載があり、信憑性が高いものと考えられる。

b) 住吉神社蔵の絵図における記載

輪島市鳳至町の住吉神社蔵に残される津波被害に関する絵図により、河井町の本町通りの海拔が現在約5.5mであり、地盤高が当時と変わらず、約0.3mの浸水深を考慮すると、浸水高は海拔5.8mと考えられる。

c) 加賀藩史料における記載

天保4年の津波の際、輪島市に“8m”の津波が到達したとして用いられることがある。これは、加賀藩史料の記述から最大で約7～11mの津波が推測されるためと考えられる。

(2) 再現性の確認

文献調査の結果得られた、既往津波のうち津波記録が多く残る北海道南西沖地震（1993）及び日本海中部地震（1983）の津波について、海域のみの解析を行い、再現性の確認を行った。図-2に書く地点における津波高の予

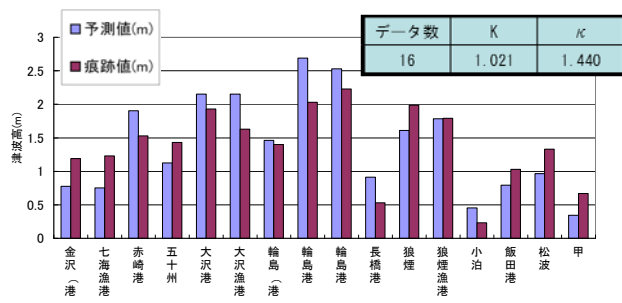
測値と痕跡値のグラフを示す．ともに幾何平均K値と幾何標準偏差 κ 値を満足する値であり，再現性が確認された．なお，Kと κ は，原子力発電所の津波評価技術³⁾より次の条件を目安とした．

$$0.95 < K < 1.05$$

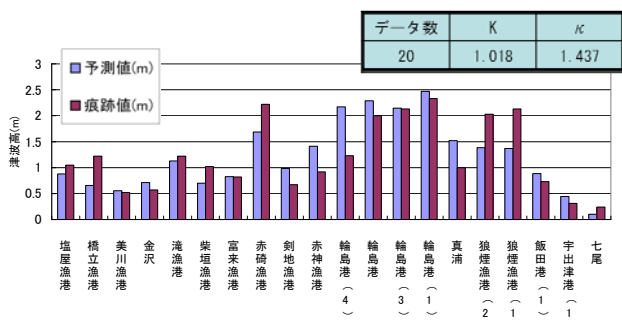
(1a)

$$\kappa < 1.45$$

(1b)



a) 北海道南西沖地震 (1993)



b) 日本海中部地震 (1983)

図-2 再現性確認 (波高比較)

山らの日本周辺海域中新世最末期以降の構造発達史²⁾など，既存の海底調査結果を基に調査を行った．図-4に産業技術総合研究所によって行なわれた石川県周辺の海底音波探査側線図を示す．

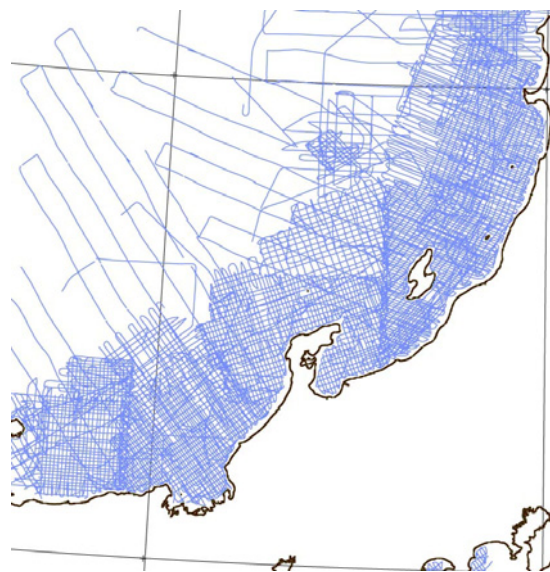


図-4 産業技術総合研究所による石川県周辺の海底音波探査側線図 (2011年現在)

また，波源候補の設定に当たり，以下の通り波源設定方針を定めた．

- ・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)³⁾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．

(3) 波源の設定

a) 石川県の沿岸地形特性

石川県は能登半島が日本海に突き出た地形を有しており，そ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．沿岸区分は図-6にあわせて示す．

b) エリアの設定

各沿岸で地形特性を有しており，それぞれで特徴的な解析結果が想定された．特に，能登半島を回折する波による収斂が局所的に起きることが地形的に想定され，波源の位置，長さ，角度などの設定による収斂箇所や程度

3. 波源設定

本検討では，既往最大相当の津波を設定すべく，石川県周辺海域のエリア毎に想定津波の波源候補を設定し，海域の津波解析を実施し，石川県に大きな影響を及ぼす波源を選定した．図-3に波源設定フローを示す．

(1) 波源設定根拠資料

波源となる活断層については，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，及び石川県周辺の音波探査結果のほか，徳

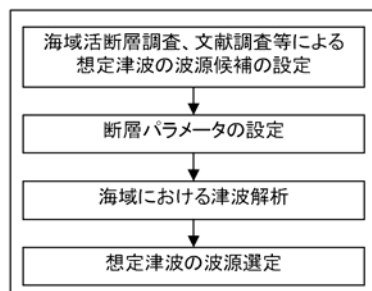


図-3 波源設定フロー

による相違の把握のため、石川県周辺の海域を大きく4つのエリアに区分し、各エリアからの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まで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。

c) 波源の設定

各エリアにおいて石川県に影響があると考えられる波源を候補として前述の調査結果より設定した。表-3に波源候補の断層パラメータを示す。図-4にエリア区分及び波源候補位置を示す。

なお、断層の上縁深さ、傾斜角及びすべり角については、それぞれ0.1km、 60° 、 90° とした。

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、石川県に影響が大きくなると考えられる波源を選定した。県内の海岸線に約70箇所のポイントを設定し、各地点での最大水位上昇量を算定した。図-5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.2-1が卓越した。以上より各

表-3 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

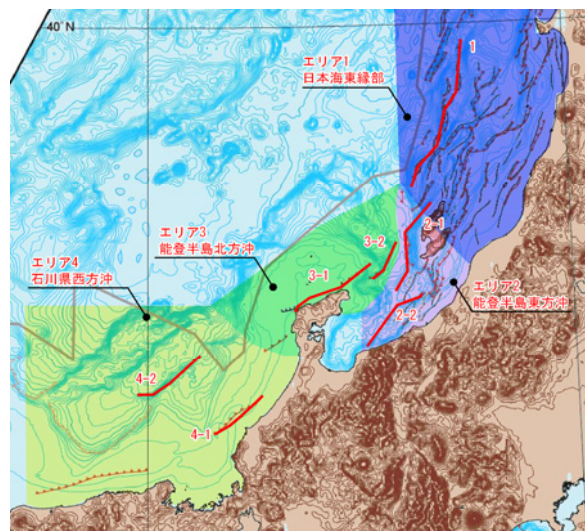


図-4 エリア区分及び波源候補位置

エリアにそれぞれ1つの波源を絞込む結果となった。図-6に沿岸の卓越波源を示す。図-7に選定した波源位置図を示す。

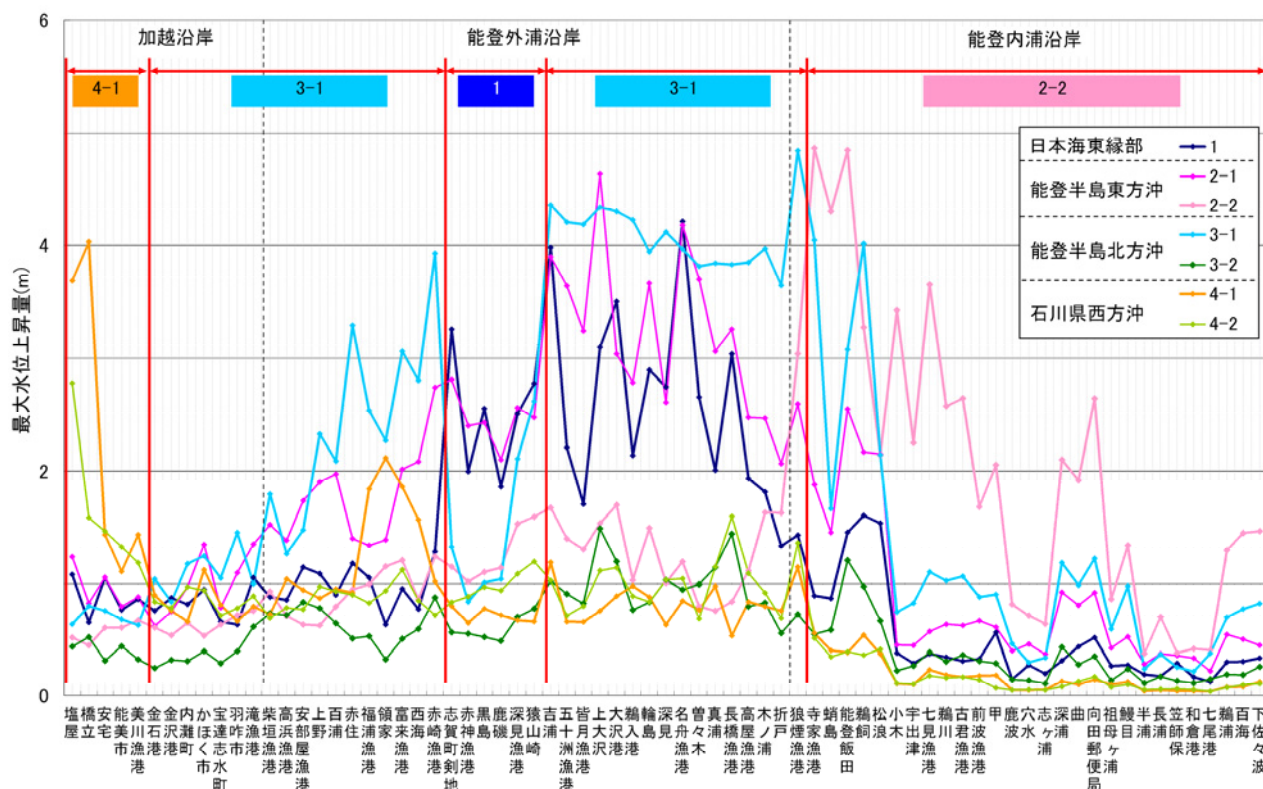


図-5 各波源の最大水位上昇量と卓越波源

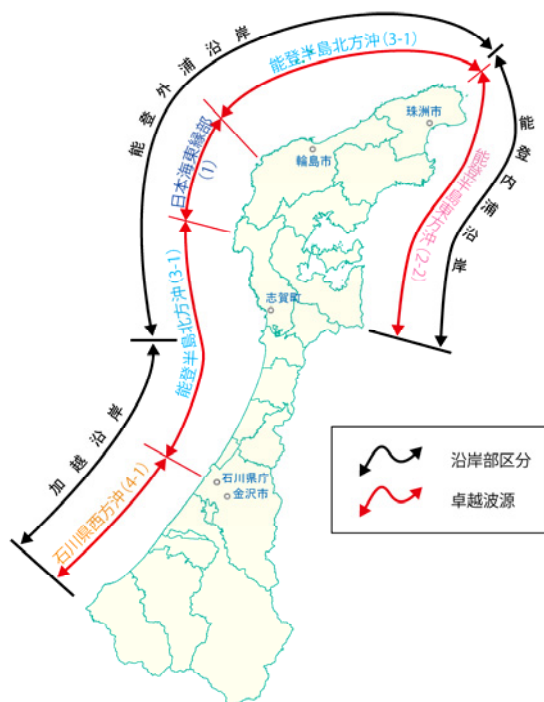


図-6 沿岸部の卓越波源

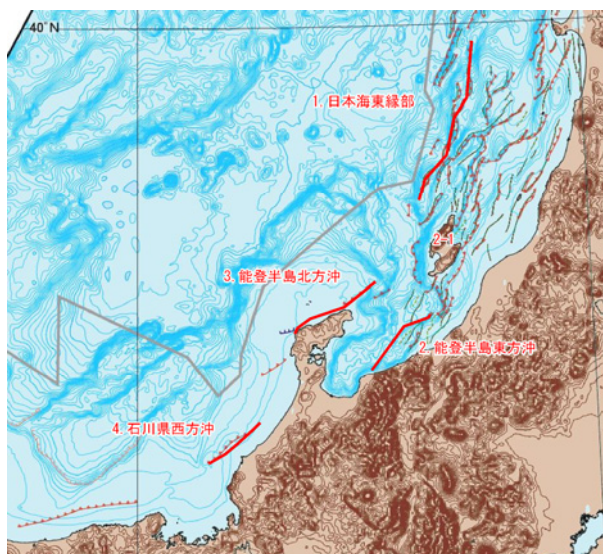


図-7 選定波源位置

4. 解析モデルの作成と解析ケース

(1) 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M7000シリーズ（財）日本水路協会），陸域については航空レーザー測量成果（国土交通省北陸地方整備局，国土交通省国土地理院）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地形図の等高線を基に作成した。河川の津波遡上解析を行うため、水位情報周知河川を対象に横断面図を基

に河道をモデル化を行った。

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-8に領域区分図を示す。

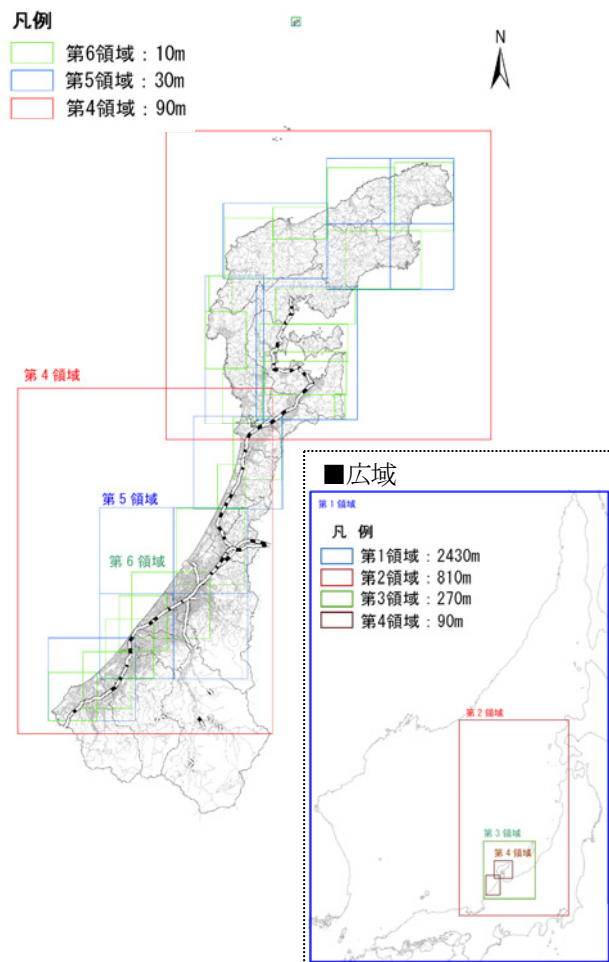


図-8 領域区分図

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。図-9に構造物のモデル化イメージを示す。

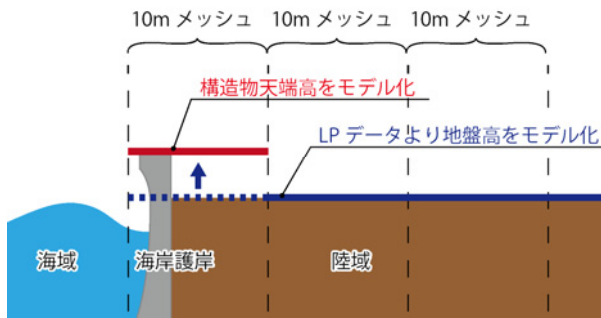


図-9 構造物ありモデル化イメージ

(2) 解析条件

a) 構造物の有無

地震及び津波発生時には、その外力によって構造物が損傷することが想定される。沿岸部の遡上解析にあたり、既存の構造物がある場合とない場合でその状況が大きく変わることは推測できる。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。それぞれのケースの位置づけは次の通りである。

- ・構造物なし：浸水範囲が最大となる。
- ・構造物あり：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。

なお、構造物の破壊については、本来は陸域の強震動による破壊や液状化発生による沈下、津波第一波による破壊などに起因するもので、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が、その評価方法等の確立した手法が無いことから、本検討では構造物が完全に存在しない場合とした。構造物なしの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する。なお、河川堤防については、初期の河道内水位よりも背後地盤が低い場合は、図-10に示すように初期水位よりも高く設定した。

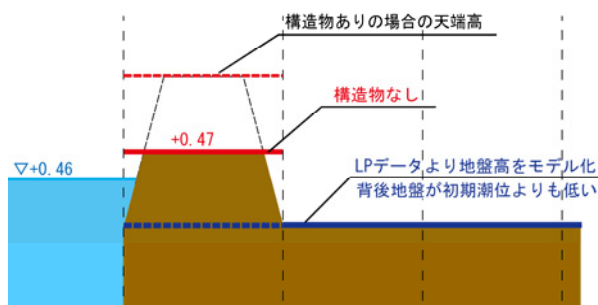


図-10 構造物なしのモデル化イメージ

b) 地盤変位

本検討は、原子力発電所の津波評価技術⁴⁾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⁵⁾を基本し、陸域の地盤変位については沈降する場合に考慮した。しかしながら、今回選定した想定波源のうち能登半島北方沖は、能登半島に近接する波源であり、地盤隆起範囲が能登半島の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る。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⁶⁾にて算定を行った。

(3) 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した。陸域遡上の先端条件は相田の式を用いた。河川遡上解析において、津波の河川遡上解析の手引き(案)⁷⁾により基づきソリトン分裂については考慮していない。

5. 解析結果の考察

(1) 地形的要因による解析結果の特徴

a) 海域津波高分布

図-11に日本海東縁部、能登半島東方沖、石川県西方沖の3波源の海域の津波高を合成したものを示す。能登外浦沿岸は、輪島市西部の門前地域に北西方向から津波が収斂していることが分かる。また、入り組んだ海岸線でも津波が収斂する。沖合いの七ツ島や舳倉島周辺でも津波が筋上に収斂している。能登内浦沿岸では、富山湾方向からの津波が収斂する。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高い津波が収斂する箇所となっている。

本検討では、石川県の四方に波源を設定しており、当然ながら海岸線では近い波源の影響を受ける結果となった。その中で、石川県の特徴として前出の図-5の各波源の最大水位上昇量からも分かるが、能登外浦地域において水位上昇量が高くなっている。これは、能登半島の北方の大陸棚によって、津波の速度が減速し津波高が高くなるとともに、陸側に収斂しているものと考えられる。

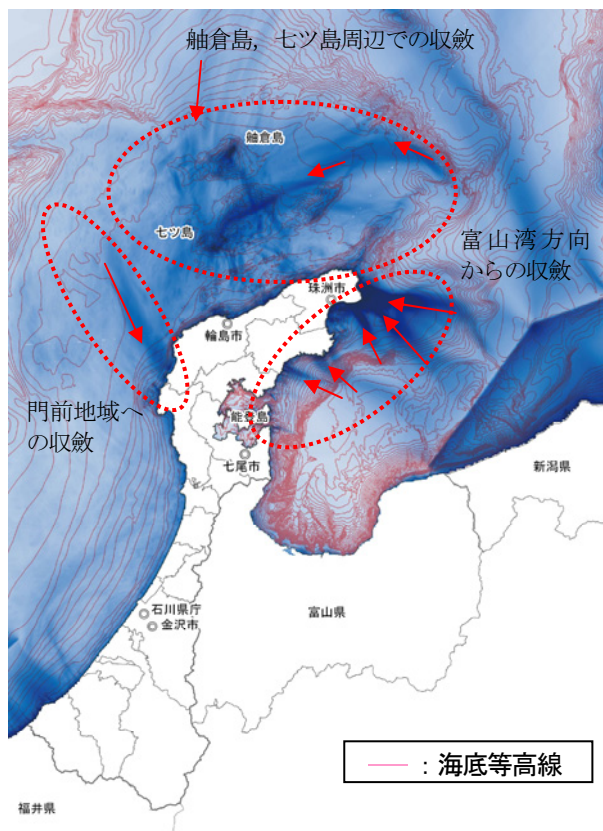


図-11 海域津波高分布図

b) 浸水面積、浸水人口

構造物がないケースにおいて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。表-4に波源別浸水面積を示す。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。

表-4 波源別浸水面積

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-5に波源別浸水域内人口を示す。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。

表-5 波源別浸水域内人口

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

c) 浸水開始時間

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-12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。

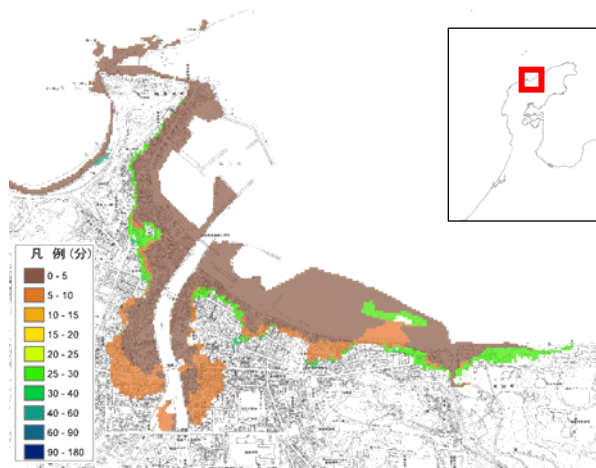


図-12 浸水開始時間図（輪島市中心部）

d) 最大浸水深

図-13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。輪島市の舳倉島では、能登半島北方沖の津波（構造物なし）が収斂し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。

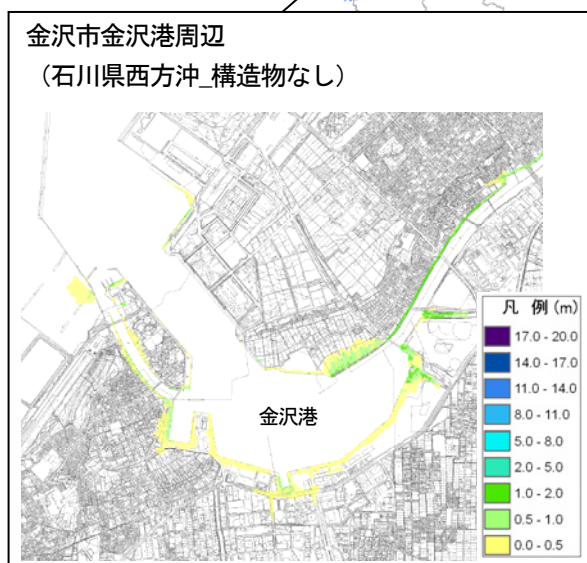
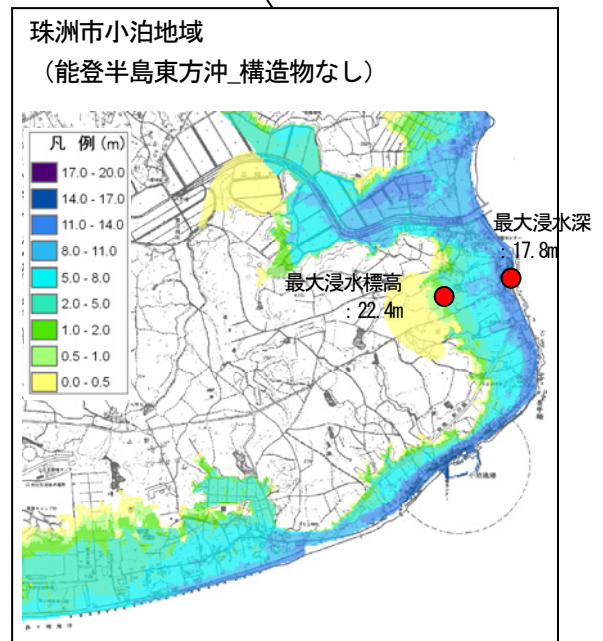
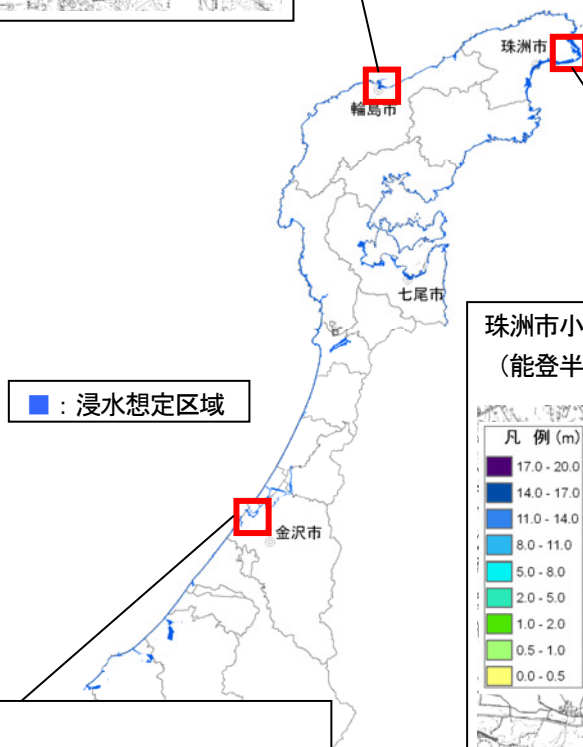
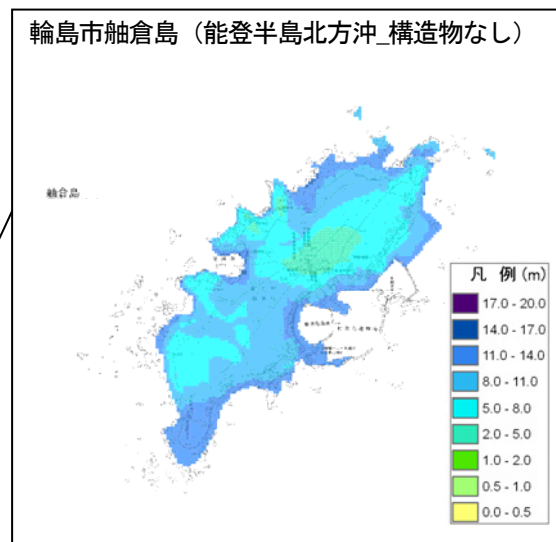
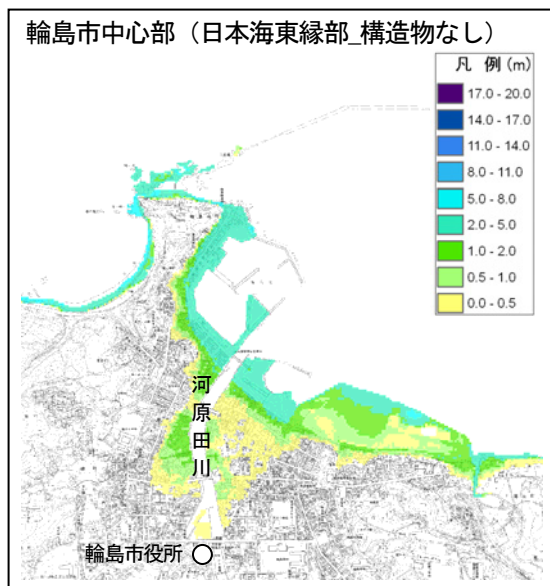


図-13 浸水想定区域図（石川県全域）

金沢市の金沢港周辺では、浸水範囲は港周辺で住宅地への浸水はわずかである。大きな活断層が周辺に確認されていないこと、金沢港が位置する加越沿岸が一様な地形で津波の収斂が少ないことが要因と考えられる。

(2) 構造物の有無による比較

図-14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、河川背後の低地に浸水範囲が広がることで、河口右岸の住宅地周辺で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がある場合と無い場合の河川遡上距離を整理する。

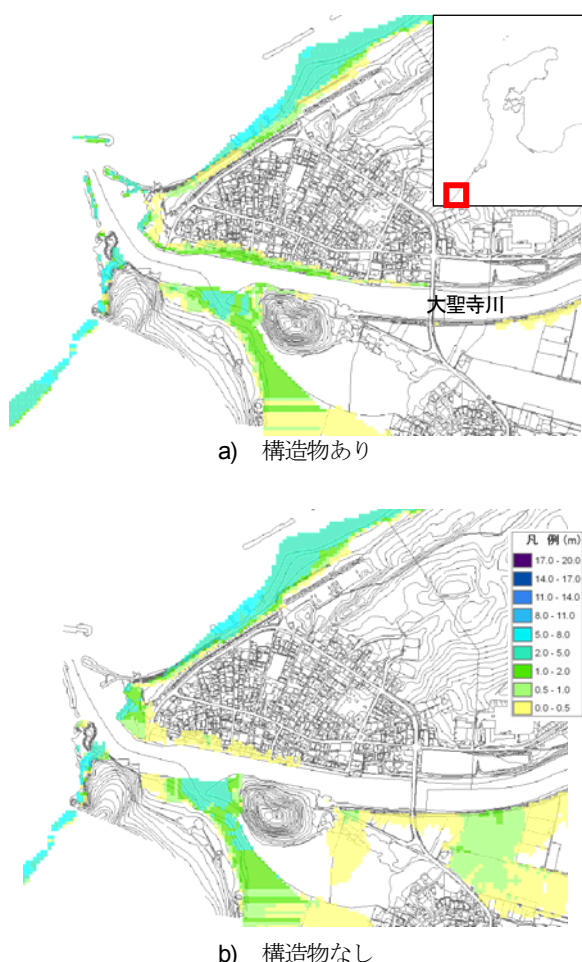


図-14 最大浸水深図（加賀市大聖寺川河口部）

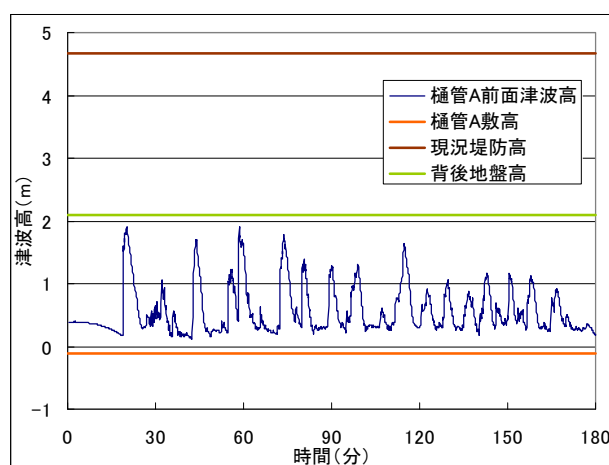
(3) 河川遡上と既設構造物の検証

本検討では河川の津波遡上範囲を対象区間とし、樋管及び水門等の前面にて、津波高の時系列データを算出した。これらの施設は、津波発生時に短時間での閉門が困難なため津波高、津波到達時間、施設敷高、背後地盤高

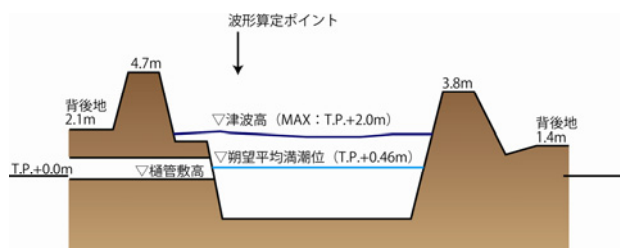
表-6 河川遡上距離（石川県西方沖-金沢市以西）

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
柴山潟		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

を確認し、各施設への影響を把握した。このうち、津波が短時間で到達し施設敷高を越える施設については、今後、津波対策上の重要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が必要な施設である。図-15に樋管Aにおける時系列津波高グラフ上に樋管A敷高、現況堤防高及び背後地盤高を示した。また、樋管Aの位置における河道断面イメージを示す。



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に河道内津波高及び樋管位置を示す。

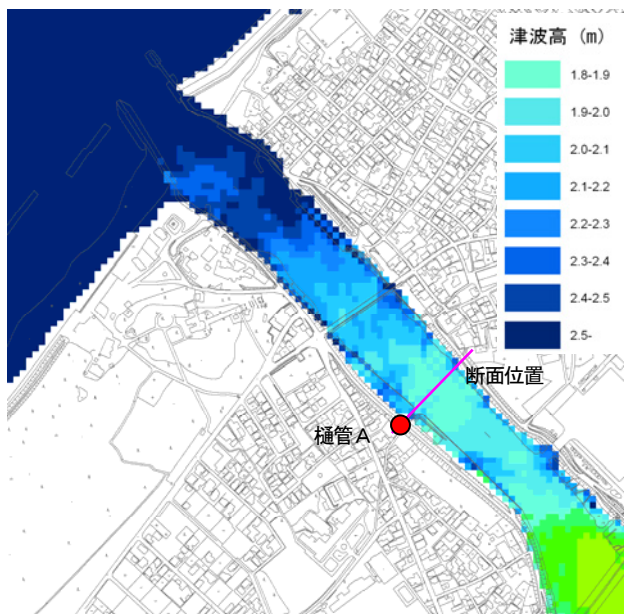


図-16 河道内津波高及び樋管位置図

(4) 陸域隆起の検討

図-17に輪島市中心部の浸水想定区域を比較する。表-7に輪島市及び珠洲市における浸水面積が、陸域隆起がない場合とある場合を比較した際の減少率を示す。輪島市では5分以内に浸水する地域の面積が78.5%，珠洲市では5分以内に浸水する地域の面積が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。

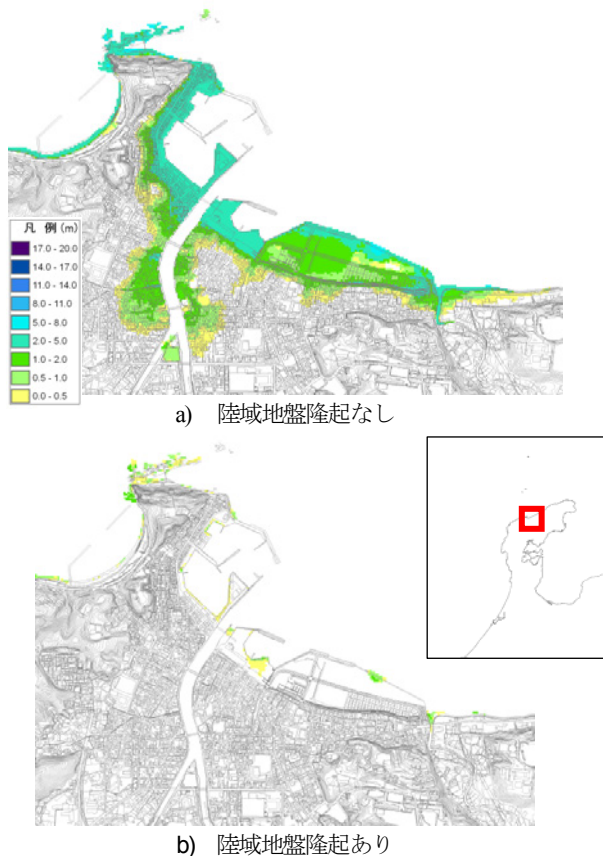


図-17 浸水想定区域の比較（輪島市中心部）

表-7 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-18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。

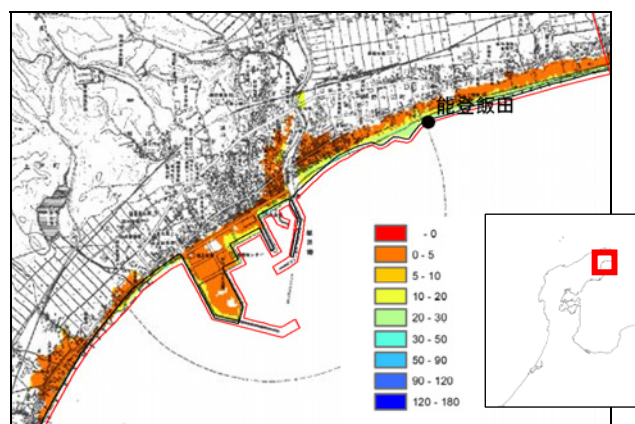


図-18 陸域隆起による第一波到達時間の遅れ（珠洲市）

(5) 既往最大津波との比較

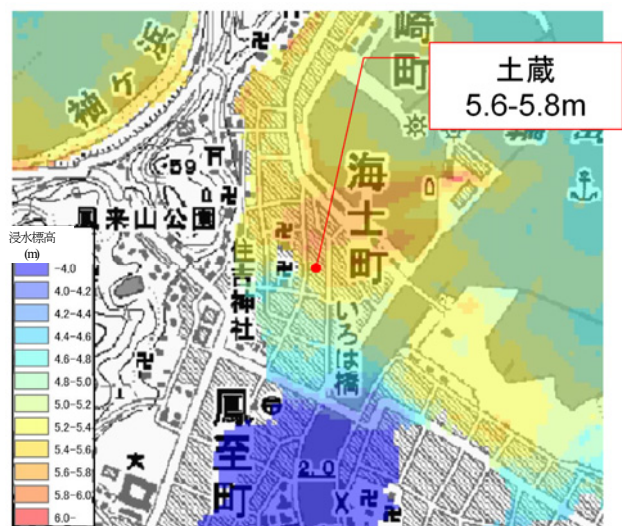
前出の続古地震¹⁾に記される天保四年津波の津波痕跡高は、輪島市鳳至町の土蔵にて5.6mであり、解析による同地点の最大浸水標高は、能登半島北方沖の場合で同程度であった。図-19に輪島市における既往最大津波との比較図を示す。なお、現在の海岸状況は海岸保全施設が整備されており、天保四年津波当時の海岸状況と大きく異なると考えられることから、比較の条件として構造物が無い場合との比較を行った。本検討の解析結果は、信憑性のある歴史記録と同程度であり、既往最大相当の津波を想定することができたと考える。

(6) 平成7年度解析結果との比較

石川県では平成7年に算定した津波浸水想定区域は、津波高よりレベルバックで浸水範囲の設定を行っていた。この手法は比較的簡便に行えるが、建物等の津波低減効果や陸域の遡上効果が考慮されていないため、浸水範囲が過大に評価されたり過小に評価されることがある。広く平坦な平野部に位置する金沢市を例に挙げると、前回の解析結果と本検討の解析結果を比較すると浸水範囲が極端に縮小している。海域の津波高を比較すると平成7

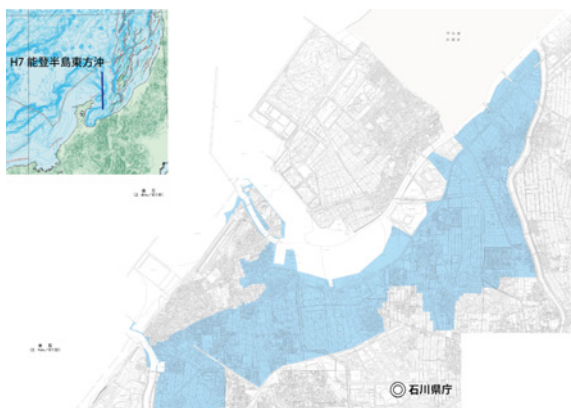


a) 天保四年津波の津波痕跡



b) 能登半島北方沖解析

図-19 既往最大津波との比較図(輪島市鳳至町)



a) 平成7年度解析



b) 平成23年度解析(石川県西方沖)

図-20 平成7年度解析と平成23年度解析結果の比較(金沢市)

年度は金石地区付近で2.4m, 平成23年度は石川県西方沖の津波で金沢市の海岸線の平均は2.5mであった。図-20に平成7年度と平成23年度の解析結果を比較する。

6. 結論

ここでは、得られた結論を要約して以下に示す。

(1) 沿岸部に来襲する津波特性の把握

今回の検討の検討では、既存の海底地質調査結果等を基に石川県に影響を及ぼす想定津波波源を設定し、最新の地形データを用いて津波遡上解析を実施し、津波浸水想定区域を作成した。石川県の地形的な特徴を考慮し、能登半島を取り囲むように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、能登半島を回折する津波が地形により収斂する箇所をおおむね把握できた。

(2) 危険箇所算定のためのデータ取得

各解析において最大浸水深、第一波到達時間、最大津波高、最大流速を算定し、各地点の危険性をそれぞれ把握した。今回算定した水深、時間、流速データは、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。また、危険エリアの観点では、津波防災地域づくりに関する法律で都道府県知事が定める津波災害警戒区域をの設定に当たって、津波の比エネルギーを用いた建物に津波が衝突した際のせき上げ高の算定等への利用が可能である。

(3) 遡上特性の把握

平成7年度解析では考慮できなかった陸域遡上について、今回は陸域の地形特性を考慮した浸水想定区域を設定し、各自治体の市街地の浸水深や浸水開始時間(第一波到達時間)を把握することができた。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としては、初めての取り組みである。今後、県内自治体の津波に対する避難計画や津波ハザードマップ作成の基礎資料

として寄与する。

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としない場合の検討を行った。輪島市では陸域の隆起量により、浸水範囲と到達時間に大きな相違があり、実現象により近い想定としては陸域の隆起を考慮する必要性を把握することができた。

(4) 構造物の有無による影響度把握

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に、それぞれの検討を行った。今回行った検討では、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。

(5) 既往地震に関する文献調査による把握

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、県内既往最大津波を確認した。調査結果と想定波源の津波解析結果の検証を行い、今回設定した想定波源が県内の既往最大津波相当の津波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。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を行い、浸水範囲のバッファゾーンの設定を解析的に行うことも可能であり、東縁部の震源域などの無数の活断層帯において津波波源を設定する場合には、このような作業がある程度必要であると思われる。このほかには、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などが課題である。

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、金沢大学理学部地球学科の平松准教授、(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。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) 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.
- 2) 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, 坂井真一, 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).
- 3) 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.
- 4) 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.
- 5) 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.
- 6) L.MANSHINHA, D.E.SMYLIE: THE DISPLACEMENT FIELDS OF INCLINED FAULTS, Bulletin of the Seismological Society of America. Vol.61, No.5, pp.1433-1440.
- 7) 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.

(2012.?? 受付)

A STUDY ON THE ANALYSIS OF THE INVASION OF COASTAL ISHIKAWA BY TSUNAMI WAVE SOURCE ASSUMPTION

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 addition, along the Hokuriku region, high wave by Winter wind is dominant, so many studies of winter wind wave has been carried out than the tsunami study. 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. A survey of historical documents was carried out, in addition a comparison and verification between analysis results and historical maximum tsunami is also carried out.