

津波に対する水門・陸閘の有効活用とその効果に関する考察

杉 本 卓 司* ・ 村 上 仁 士** ・ 島 田 富 美 男***
上 月 康 則**** ・ 倉 田 健 悟***** ・ 志 方 建 仁*****

2050 年までに 80% の確率で起こるとされる M 8.4 級の南海地震津波に対し、防災施設の新設は困難との立場から、既存の水門や陸閘の津波浸水防止効果を高知県の U 町を対象とした津波数値計算により検討した。その結果、これらの門扉が津波到達までに閉門できれば浸水範囲の低減や津波浸水開始時間を遅らせる効果があることが証明された。一方、多くの集落で門扉操作者の安全が確保できない場合があり、操作を含めた門扉の管理・運用方法の改善が必要との結果が得られ、さらにこれらの門扉を有効に活用した具体的な防災対策について提示した。

1. 緒 言

2001 年 9 月、地震調査委員会は次の南海地震が 2030 年までに約 40%、2050 年までに約 80% の確率で発生し、その規模は M 8.4 級であることを公表した。これにより次の南海地震に対する地震および津波の防災対策の緊急性と必要性が訴えられ、国民の間でもこれらの防災対策への関心が高まりを見せている。

また、これらの地震やそれに伴う津波の被害は東海地震と同時に起きれば、最大で関東南部から九州の広範囲な地域に及び、他地域からの救助が期待できなく、各地域ごとの防災対策・体制の確立が望まれている。

島田ら (1999) は、集落の津波防災対策の一つとして津波来襲時における浸水状況の経時変化を示し、住民の避難行動を考慮した人的被害の発生メカニズムを解明し、集落の具体的な防災対策を検討している。こうしたソフト面の防災対策は有効な方法と言えよう。一方、ハード面では、堤防の嵩上げや津波防波堤の建設は時間的にも経済的にも困難な状況にあり、既存の防災施設を有効に活用した防災対策が必要とされている。水門・陸閘などの門扉については、津波来襲時に活用しうるかどうかを事前に検討しておくことが必要と言えよう。

水門、鉄扉、陸閘などの門扉については、開閉に時間がかかる、手動のものが多いなどの現状における問題点が指摘されている (河田, 2001)。しかし津波来襲時における水門や陸閘の活用方法はこれまで具体的に検討されていない。

本研究では、水門や陸閘の開閉状態が及ぼす津波浸水特性への影響を把握し、津波防災にこれらの門扉を有効

に活用するための問題点や対策について検討を行った。

2. 門扉の開閉を考慮した津波の数値計算

水門や陸閘などの門扉の開閉状況が津波の浸水特性に及ぼす影響は津波の数値計算により把握した。

2.1 津波の数値計算

ここでの津波の数値計算は、すでに著者らが行っている手法 (村上ら (1996, 1997)) に準じた。

a) 基本方程式

津波の数値計算に用いる基本方程式として、水深の深い領域では移流項と摩擦項を省略した線形長波方程式、沿岸域を含む領域では非線形長波方程式を用いた。

b) 領域の接続

ここでは外洋で空間格子を粗く、沿岸部に近づくにつれて格子間隔を細かくする従来と同じ方法を用いた。

c) 計算領域

対象地域は、南海地震による津波の被害を繰り返し受けてきた高知県土佐市 U 町とした。計算領域 (表-2 参照) には、最も大きい領域に断層を含む領域を取り、U 町へと徐々に計算格子を小さくしていき、U 町周辺地形をなるべく正確に表現した。ここでは海図などの各種地形図を用い、陸上および海域の地形データを作成した。

d) 粗度

水域および陸域に関する摩擦係数は、Manning の粗度係数を用いて表-1 のように表現した。

表-1 Manning の粗度係数の分類

地形条件		粗度係数
陸域	陸域で T.P.+10 m 以上	0.160
	住宅密集地	0.160
	市街地	0.120
	その他の陸域	0.040
水域	水深 5 m 以浅	0.040
	水深 5 m より深い	0.025

e) 解析条件

表-2 に各計算領域の解析条件を示す。計算時間間隔は全領域で 1 秒、再現時間は 2 時間とし、初期条件は静水面で与える。

* 学生会員 工修 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻
** フェロー 工博 徳島大学教授 大学院工学研究科エコシステム工学専攻
*** 正 会 員 工博 阿南高等専門学校教授 建設システム工学科
**** 正 会 員 工博 徳島大学助教授 大学院工学研究科エコシステム工学専攻
***** 正 会 員 理博 徳島大学助手 大学院工学研究科エコシステム工学専攻
***** 学生会員 徳島大学大学院工学研究科エコシステム工学専攻

表-2 各計算領域の解析条件

領域	領域1	領域2	領域3	領域4
基礎方程式	線形長波	非線形長波		
格子間隔	1250 m	312.5 m	78.125 m	19.5 m
格子数	412×211	86×86	118×86	146×178
領域の大きさ	515.0 km× 263.75 km	26.9 km× 26.9 km	9.2 km× 6.7 km	2.9 km× 3.5 km
境界条件	沖	隣接する境界との接続		遡上
	陸	完全反射		

2.2 門扉の考慮

本計算では領域内の防波堤・防潮堤・防潮壁を境界条件として考慮し、水位がこれらの天端を越える場合には、本間(1940)の式を用いて線流量を求める。

また、通常の差分法では陸閘や水門の幅が計算格子間隔より小さい場合、的確な大きさに表現されない。格子間隔分だけ門を開状態と勘案すると、そこを通過する流量は過大に計算される。

そこで陸閘や水門の開閉状況を数値計算で表現するため、陸閘・水門の門扉の幅と高さに合わせて以下の計算方法により開門状況を考慮した。

a) 閉門時

陸閘・水門が閉じており、水位が天端高を越えた場合には計算領域内の防波堤、防潮堤、防潮壁と同様に本間の式を用いて線流量 Q を求める。

b) 開門時

陸閘についてはその前後の水位と天端高を比較し、以下の式を用いて線流量 Q を求める。

i) 水位が天端高より低い ($H \geq BY$) 場合

$$Q = \frac{BX}{\Delta S} Q_0 \quad \dots\dots\dots (1)$$

ii) 水位が天端高より高い ($H < BY$) 場合

$$Q = \left\{ 1 - \frac{BY(\Delta S - BX)}{H \cdot \Delta S} \right\} Q_0 \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 BX は陸閘の幅、 BY は陸閘の地盤からの高さ、 H は水深、 ΔS は格子間隔であり、 Q_0 は境界条件を与えない場合の流量を示している。

また水門が開いている場合は、前後の地盤高から流量の計算を行う。

2.3 計算結果

南海地震津波で繰り返し壊滅的な被害を受けた高知県のU町を対象に、1946年昭和と1854年安政の2つの南海地震津波を想定し、水門1基、陸閘59基の門扉の開閉状況を変えた数ケースの数値計算を行った。

図-1に示したようにU町はU湾に面しており、U湾に面した海岸線には防潮堤(天端高 T.P.+2.6~5.4 m)が整備されている。また北と南の地区には防潮堤の前面に防潮壁(天端高 T.P.+4.0 m)が設置され、この防潮壁

に59基の陸閘が設置されている。H川が防潮堤に沿ってU町内を流れており、河口に水門が設置されている。

a) 門扉の開閉状況による浸水特性の違い

図-1に昭和南海地震津波想定時(以下、昭和南海時と呼ぶ)に門扉を全閉した場合の計算結果を示した。U町では、昭和南海地震(M 8.0)規模の津波であれば門扉を全閉することにより北の地域の防潮壁は越流するものの、防潮堤堤内側への津波の浸水は完全に防ぎうるということがわかる。

しかし、図示していないが、安政南海地震津波を想定時した場合(以下、安政南海時と呼ぶ)は、門扉を全閉しても津波の堤内側への浸水を防ぐことはできないことがわかった。また、安政南海時に全ての門扉を閉じた場合、全て開いた場合に比べ津波の浸水域が約1割減少し

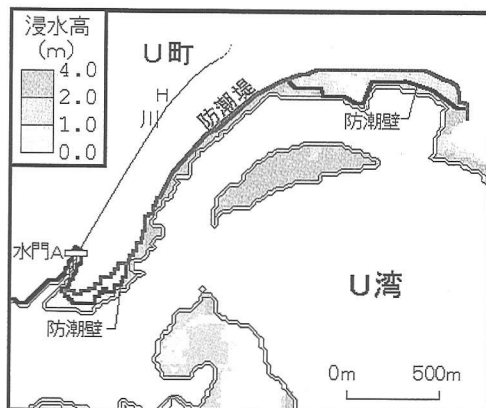


図-1 門扉を全て閉めた場合の最大浸水範囲(昭和南海想定時)

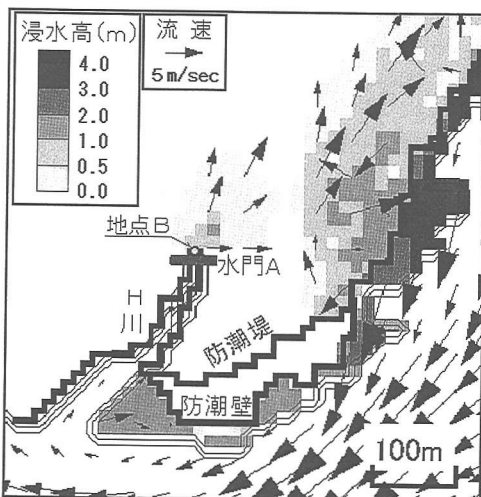


図-2 水門が開いた場合の浸水状況(1854年安政南海地震津波想定時、地震発生後85分)

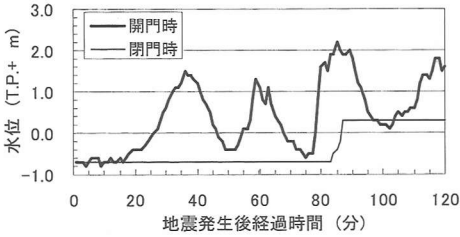


図-3 水門 A 内陸側地点 B における水位経時変化

ていた。

図-2 に、安政南海時に全ての陸閘が閉じられ、水門 A のみ開いた場合の水門 A 周辺の浸水状況を示した。図中、右上方向の防潮堤の越波による浸水域と水門 A から流入する浸水域が広がっており、H 川より右の地域は川と浸水範囲により囲まれた状態になっている。水門が閉まっておればこの時点ではまだ北の方向へ避難することも可能となり、人的被害は軽減しようと思われる。

図-3 に、安政南海時の水門 A 内陸側の地点 B(図-2 参照)における水位経時変化図を示した。水門が開いた場合は、第 1 波が到達する地震発生後 20 分後頃から水位が上昇しており、内陸側への津波の浸入が確認できる。一方水門を閉じた場合、第 3 波が到達する 84 分後頃まで水門からの津波の浸入はなく、開門時に比べ約 60 分水門の内陸側への津波の浸入開始時間を遅らせていた。

この水門を閉じることによる津波浸入への影響は、津波の到達時間が早い地域ではとくに住民の避難時間確保に有効にはたらくはずであり、水門を津波到達までに閉門できることが重要である。

3. 水門・陸閘の操作に関する問題点

表-3 に示した津波による浸水が懸念されている U 町を含む四国太平洋沿岸の 4 地域において、陸閘・水門に関する調査を行った。

3.1 閉門に関する門扉の問題点

まず、現況調査と管理台帳により、門扉の各諸元、設置状況、管理状況等について整理した。その結果、図-4 に示したように、U 町では 15%の門扉は物理的に津波来襲時に閉門できず、閉門に支障があるものを含めると全体の 40%にも及んでいた。この原因は、陸閘の腐食により扉自体が動かないことや漁具等の放置による閉門の障害であった。U 町に限らず、浅川地域、鞆浦地域の両地域においても、約 4 割の門扉で閉門できないまたは閉門に支障があり、津波来襲時に閉門できないことが懸念された。

3.2 操作者に関する問題点

2.では U 町における水門 A 閉門の津波に対する有効

表-3 水門・陸閘に関する調査の対象地域

調査対象地域	津波到達時間(分)	備 考
高知県土佐市 U 町	20	南海地震津波常襲地域
徳島県海部町鞆浦	8	津波到達時間が早い
徳島県海南町浅川	11	南海地震津波常襲地域
徳島県鳴門市里浦	8	海拔 0 メートル地帯が広がる

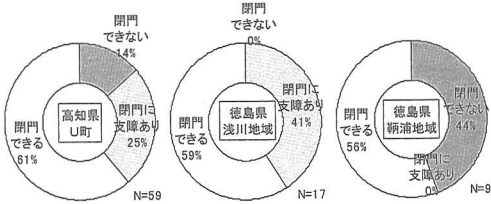


図-4 門扉の物理的な閉門操作状況

性が示された。しかし同町では、津波来襲時は操作業者も避難を優先するためこれらの門扉は操作しないとのことである。

さらに実状を把握するため高潮が問題となっている里浦地域において、県や市委託の樋門・陸閘の操作者を対象に、門扉の運営方法や門の開閉の判断、連絡体制等について、アンケート調査と面接方式のヒアリング調査を実施し、以下の問題点が抽出できた。

1) 津波来襲時の閉門の判断

里浦地域では、操作者は津波来襲時にどのように操作すればよいかわからない、あるいは考えたこともない、また、門扉操作のマニュアル化、文書化がなされておらず、県や市からの連絡もあるのか無いのか分からないとの回答も得た。

津波到達時間が早い、または地震による連絡系統の被災も考慮すると、門扉の操作者が自ら判断できる操作判断基準を事前に周知しておく必要がある。

2) 地震被災を考慮した閉門体制づくり

図-5 に里浦地域における樋門や陸閘 1 箇所割り当てられている操作者数の割合を示した。半数以上の門扉が 1 人で操作作業を担当しており、中には複数の門扉を掛け持つ作業者もいた。

このような人員の割り当てでは、南海地震津波のように地震後に津波が来襲する場合に、操作者自身や門扉に向かう経路が地震により被災した時には必然的に閉門できない事態に陥る。

こういった事態を回避するには、容易な閉門操作方法の門を整備し、地震後近くにいた住民など地域ぐるみで門操作する体制づくりや操作者を複数に増やすことが必要となる。

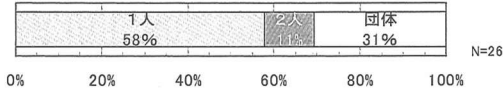


図-5 門扉に割り当てられている操作者数

4. 津波来襲時における水門・陸閘の閉門操作の可否

4.1 閉門操作可否の判定方法

これまでの数値計算の結果からも、水門や陸閘を津波来襲時に閉門しておくことが防災上有効であることが明らかになった。そこで、水門や陸閘を現在の状況で津波来襲時に閉門することが可能かどうかを検討する。

門扉の閉門操作者が、津波が来襲するまでに閉門しても安全に避難できるか否かを以下に説明する方法により判定した。各門扉の閉門操作者は、地震が発生した時点から一律に、地震による揺れを2分間耐え、その後5分間で門扉に到着すると仮定し、さらにその後、門扉を表-4に示す閉門操作所要時間かけて閉門操作を完了するものとした。閉門操作完了後は徒歩により指定津波避難場所へ速やかに移動するものとし、門扉の場所から避難場所までの道のりを老人の単独歩行の平均速度1.0 m/s（消防科学センター，1987）で移動するとした場合に必要時間を避難場所までの必要移動時間とした。

図-6の縦軸には、地震発生後地震の揺れを耐えた後門まで来て閉門操作を完了するまでに要する時間とし、横軸には門扉の場所から避難場所までの必要移動時間とした。図中の白い領域は津波来襲までに閉門操作者が閉門操作を終え避難場所に避難できると判定され、グレーの領域は津波来襲までに避難完了できないため、閉門できないと判定されることを示している。また図中には、各門扉の面積に応じたサイズのマークをプロットし、門扉の大きさ（面積）に応じた閉門できない場合のリスクの大きさを表現した。

4.2 判定結果および考察

図-6より、U町では全ての陸閘が閉門可能であると判定できたが、水門Aと一部の水門が閉門できないと判

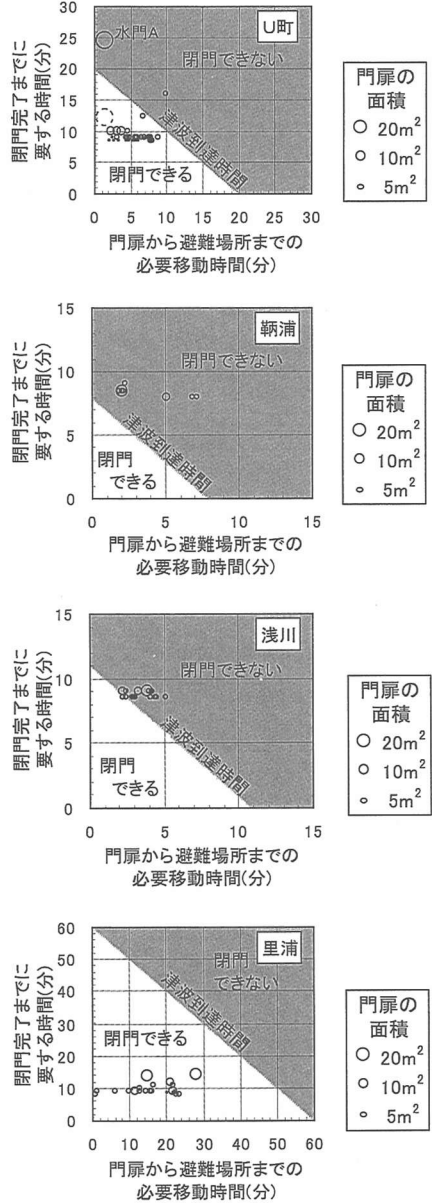


図-6 津波来襲時に閉門操作が可能かどうかの閉門の判定図

表-4 閉門操作所要時間の算出方法

門扉の種別		閉門操作所要時間算出方法
水門・樋門	フラップ式	所要時間 なし
	その他	管理台帳・聞き取り調査に基づき (揚程)÷(閉門速度)で算出
陸閘	引き戸式	防災訓練時の操作所要時間の計測所要時間平均値
	片開き式	〃
	回転ハンドル式	聞き取り調査

定された。水門Aは、通常閉門操作に17分以上（揚程5.2 m，閉門速度0.3 m/分）もの時間が必要となっており、急降下閉鎖装置を有した場合、閉門速度は1.0～2.0 m/分（ダム・堰施設技術基準委員会，1999）となり閉門操作時間を12分以上短縮できる。これを破線の円で判定図に示すと、閉門できる領域へと移すことができる。

この水門は河口に設置されており門扉の面積が49.6 m²とU町で最も大きいため、陸域への津波遡上を抑える

効果が大きい。したがって、急降下閉門装置の設置等による閉門操作時間の短縮がU町における効率的な津波防災対策の一つと提言できる。

またU町にはこれらの閉門できない水門のほかに、時間的に余裕が少ない陸間もある。U町より津波の到達時間が早い鞆浦と浅川について同様に判定してみる。津波数値計算により、鞆浦では地震発生後8分後、鞆浦では地震発生後11分後に津波が来襲すると求められ、鞆浦では全ての門扉が閉門できない、浅川でも同様にほとんどの門扉が閉門できないと判定できた。

これらの津波到達時間が早い地域では地震後に閉門する時間がなく、避難道路の整備や門扉の遠隔操作システムの導入が対策として挙げられる。しかし、先の里浦地域における聞き取り調査で、高潮時に門の外側に人の存在がないことを十分に確認しなかったため、漁師を閉め出してしまった経験があるとの話も得られており、遠隔操作の際は人を閉め出してしまうまいよう、閉門する際には門外に人がいないか十分確認する必要がある。

また陸間に関しては、通門頻度の低い箇所や時間帯・季節帯に閉門するなどの平常時からの対処により、これら既存の門扉の効果を津波来襲時にも得られることができる。閉門操作を日常化することにより、防災意識の高揚や門扉の点検効果等、防災訓練の効果も期待できる。

里浦地区については、津波到達時間が61分で、全ての門扉が閉門できると判断できた。しかし、この地域は海拔0m地帯であり閉門されなかった時の浸水リスクは大きい。したがってこの様な地域では、閉門操作者に地震後は閉門することを徹底しておく必要がある。

5. 結 言

本研究ではU町を対象として陸間や水門の開閉状況を考慮した数値計算により、津波浸水特性に及ぼすこれらの門扉の影響を把握した。また、門扉の操作に関する調査を地域特性の異なる4つの地域で行い、津波防災に活用するための問題点を抽出した。さらに、津波来襲時に水門・陸間の閉門操作ができるかどうかの判定図を用いて防災対策への活用に関して考察した。以下に得られた結果を示す。

- 1) U町では門扉を全閉することにより、昭和南海地震(M8.0)規模の津波であれば防潮堤内への津波の浸入を完全に防ぎうることを数値計算により実証した。また次の南海地震規模と予測されている安政南海地震規模の津波では、全閉することにより津波の浸水面積が

約1割低減することが確認できた。さらに水門Aを閉門は津波の河川遡上を抑制し、津波の浸水開始時間を遅らせる効果が大きく、住民の避難時間確保に有効にはたらくことが実証された。

- 2) 門扉の閉門操作者が津波来襲までに安全に閉門し避難できるかどうか判定することにより、U町では全ての陸間が閉門可能であると判定できたが、最も大きい門扉を持つ水門Aは閉門できないと判定された。水門Aは閉門操作時間を短縮する対策が効率的な対策であることを指摘し、陸間に関しては操作者がスムーズに避難できるよう避難経路の整備等が必要であることを指摘した。さらに津波到達時間が早い地域では、津波防災に有効活用するためには通門頻度の低い時間帯や期間は閉門しておくなど具体的な運営方法を提案した。

しかし、門扉を有効に活用するためには門扉が適切に管理されている必要がある。しかし約40%の門扉が閉門できない可能性があることが分かった。また門扉の操作は半分以上が1人で担当しているとの結果も得られ、地震により操作者が被災した場合閉門できない事態に陥る。したがって、これらを解決対策も講じていく必要がある。

最後に、本研究は科学研究基盤(C)(代表者：村上仁士)の一部であることを明記し、謝意を表す。また、本研究の調査に際してご尽力頂いた土佐市青野博氏、片山淳哉氏、鳴門市里浦地区自治振興会松下恭司氏をはじめとする皆様にも感謝の意を表す。

参 考 文 献

- 河田恵昭 (2001): 洪水氾濫災害を教訓とした新しい高潮・津波防災, 海防論文集, 第48巻, pp. 1361-1365.
- 島田富美男・村上仁士・上月康則・杉本卓司・西川幸治 (1999): 津波による人的被害予測に関する一考察, 海岸工学論文集, 第46巻, pp. 361-365.
- 消防科学防災センター (1987): 地域防災データ総覧 地域避難編, pp. 91-96.
- ダム・堰施設技術基準委員会 (1999): ダム・堰施設技術基準 (案) 基準解説編・マニュアル編, pp. 38-40.
- 本間 仁 (1940): 低溢流堰堤の流量係数, 土木学会誌, 第26巻6号, pp. 635-645.
- 村上仁士・伊藤禎彦・山本尚明 (1996): 各種断層モデルによる四国沿岸域の津波シミュレーションに関する考察, 徳島大工学部研究報告, 第41号, pp. 39-53.
- 村上仁士・上月康則・山本尚明・後藤田忠久 (1997): 高知県宇佐における津波の数値解析に関する基礎的研究, 平成9年度土木学会四国支部発表会, pp. 166-167.