調査報告

南海トラフ地震による大分県佐伯市と
番匠川河川環境の被害想定

東野 誠*・鬼束幸樹**・横田恭平*

古川隼士*・熊沢大地***

要 旨

本研究では、大分県佐伯市を対象として津波防災について検討を行うとともに、番匠川河川環境の津波による被害想定を行った。佐伯市は、南海トラフ地震発生時には県内で最も早く津波が到達するとともに、場所によっては予想される津波高は10mを超える。検討にあたっては、中央防災会議が実施した津波の佐伯市街地への津波到達時間、浸水深、および氾濫流速を基に、現況での津波防災と番匠川河川環境や生態系への影響を考察した。

キーワード：津波，防災対策，南海トラフ地震，佐伯，番匠川

1. ま え が き

東北地方太平洋沖地震（2011年3月11日）とそれに伴う津波は、東北地方の太平洋沿岸部に壊滅的な被害をもたらした。これを受けて中央防災会議では、南海トラフ巨大地震について、想定される最大クラスの地震、津波に対して被害の想定の見直しが行われた¹⁾。大分県においても、県内市町村のハザードマップ作成に資することを目的に南海トラフ、別府湾、周防灘を震源とする3地震についてシミュレーションを行い、県内43地点の津波の高さや到達時間を算出して、これらに基づいた防災対策が検討されている²⁾。

従来、洪水氾濫災害に関して、多くの検討が行われてきた。須賀³⁾は江戸時代の大井川渡渉則を取り上げ、流水中の水中歩行について広い範囲の条件のもとで行った実験結果を加味して整理し直し、水中歩行限界や安全条件の一般化を図った。洪水ハザードマップを作成するためには、複雑な場における氾濫水の挙動を正確に表せるモデルが不可欠である。中川ら⁴⁾は、都市域における洪水の挙動に関して大規模な水理模型

実験を行い、実験結果に基づいて数値解析モデルの適用性について検討した。その際、地上での氾濫のみならず、地下空間への浸水についても考案している。1999年、2003年の福岡水害、2000年の東海水害に見られるように都市域の洪水氾濫は地下空間への浸水という危険性を有している。地下空間における氾濫水の挙動を知ることは防災面でも重要であり、研究が進められてきたが、避難の際の階段部等の局所的な状況までは適切に表現されていなかった。戸田ら⁵⁾は、実際の地下街を再現した模型による水理実験から浸水過程を明らかにし、得られた実験結果から数値解析モデルを検証した。また、地下からの避難の困難性、浸水時の危険性について考察している。近年、集中的降雨の増加に伴い、下水道が整備された地域においても都市型水害が頻発する事態になっている。これに対して、黄ら⁶⁾は、“水のみち”の構築による水害軽減という新しい減災技術開発を試みた。これは、道路や建築物等の再配置により、洪水の流れを公園や農用地等に誘導して市街地の浸水深を抑えるものである。また、石垣ら⁷⁾は、地下空間の避難困難度に関する定量的な

2014年11月6日受付，2015年1月19日受理

Estimation of Physical and Environmental Damage Induced by Tsunami Due to Nankai Trough Earthquake in Saiki, Oita

*大分工業高等専門学校都市・環境工学科 HIGASHINO Makoto, YOKOTA Kyohei, FURUKAWA Takashi

**九州工業大学大学院工学研究院建設社会工学研究系 ONITSUKA Kouki

***熊本大学工学部社会環境工学科 KUMAZAWA Daichi

評価を実物大の階段やドアを用いて、地下から地上までの避難を想定して実施した。都市部では、積極的に地下空間の利用が図られているが、ヒートアイランド化の進行に伴って局所的集中豪雨が頻繁に発生している昨今、地下空間の浸水被害が増大している。原田ら⁸⁾は、実スケールの地下街における浸水時の群衆避難のシミュレーションに対するモデルの適用性を明らかにするために、実在地下街の店舗隔壁、通路、広場等のレイアウトの詳細を考慮した境界条件下で、複数の浸水シナリオを想定して、避難シミュレーションを実施した。以上のように、洪水氾濫に関する検討例は枚挙に暇がないが、これらは集中豪雨等を想定したものであり、津波による洪水を想定したものではない。

本研究は、南海トラフ地震を想定し、大分県佐伯市を対象に津波防災対策について検討を行ったものである。大分県佐伯市は、南海トラフ地震発生時には県内で最も早く津波が到達する。加えて、場所によっては予想される津波高は10mを超える。検討にあたっては、現地踏査を行い佐伯市街地の現況を把握するとともに、佐伯市が指定している津波緊急避難施設を調べた。これら、および中央防災会議による南海トラフ地震に起因する津波の佐伯市街地への到達時間、浸水深、氾濫流速から、現況での津波防災について検討した。また、津波が番匠川の河川環境や生態系に及ぼす影響を考察した。

2. 調査対象地域

検討対象とした佐伯市は大分県の南東端に位置し

(図1)、面積903.53km²、人口約75,000人であり、その大部分は番匠川河口の佐伯湾沿いの市街地に集中する。中央防災会議や大分県の検討では南海トラフ地震発生後、約50分で5～7mの津波が到達すると予測されている^{1, 2)}。しかし、佐伯湾にはこのような津波から市街地を守るための防波堤は設置されていない。したがって、ハザードマップ等による地域住民への避難方法の周知徹底や防災に対する意識の向上等のソフト面での対策が必要である。また、市街地には番匠川、およびその派川の中江川、中川等が貫流しており(図2)、それらの河川を津波が遡上し、津波被害が佐伯湾沿岸のみならず内陸部まで拡大することが懸念される。

なお、上述の番匠川は、大分県佐伯市三国峠を水源とする幹線流路延長38km、流域面積464km²の一級河川であり、豊かな自然環境と生態系を有することが知られている。すなわち、上流の山間部ではゲンジボタル、カワセミ、ヤマセミが生息する。一方、下流の水際にはヨシ群落が点在し、オオヨシキリ等のハビタットとなっている。河口干潟は河口沖と河口端から約2.5km上流までの左岸側に形成されており、面積は約30haである。この干潟にはハマボウ群落が分布し、水面にはマガモ、ヒドリガモ、カワウ等が生息している。また、干潟はアサリやハマグリ等の漁場でもある⁹⁾。

3. 津波遡上・浸水予測結果

南海トラフ巨大地震による津波が佐伯湾、そして市街地へと来襲することを想定して、佐伯市街地での地震発生時から津波が到達するまでの時間、浸水深、お

図1 検討対象地域(大分県佐伯市)

よび氾濫流速について、中央防災会議（2012年）による検討結果を図3～5に示す。検討では、最大クラスの津波（L2津波）が想定され、南海トラフで発生し得る巨大地震の津波断層モデルが用いられた。このような津波を伴う地震の発生間隔は300～500年とされている¹⁾。

図3より、中川河口付近の最大浸水深は5m以上であるが、内陸部へと入り込むほど低下する様子が見取れる。また、佐伯市街地の大部分で浸水深は2mを超える。図4は津波到達時間の検討結果を示したものである。なお、30cm以上の水位の上昇が津波の到達とされている。この図より、津波は発震後40～50分で海

図2 佐伯市街地

図3 南海トラフ地震津波による最大浸水深

図4 南海トラフ地震津波の到達時間

図5 南海トラフ地震津波による氾濫流速

岸部に到達する。佐伯市街地で海岸に近い部分では約60分、海岸から内陸部へと入り込み、堅田川との合流点よりも上流側の番匠川に沿った地域では60～90分となっている。図5より、佐伯市街地の大部分では津波による氾濫流速は3.0m/sに達するか、それ以上となる。また、番匠川、中川、中江川においては、場所によっては5.0m/s以上となる。前述（2.）のように津波がこれらの河川を遡上する様子が見て取れる。

4. 津波避難計画

4.1 緊急避難候補施設の選定

10mを超えるような南海トラフ地震による津波を想定して、佐伯市では市街地を対象に総合庁舎、高層住宅、小・中学校、ホテル、公民館、病院等36の建築物を緊急避難場所として設定している（表1）。これらの建築物は鉄筋または鉄骨鉄筋コンクリート造であり、新耐震基準（1981年施工）が適用されている。すなわち、緊急避難施設は想定される地震に耐え得るのが選定されている。また、これらはいずれも10m以上であり、想定される最大の津波よりも高い。ここでは、地震発生時の津波に対する緊急避難について以下に考察する。

4.2 避難可能範囲

地震発生時の緊急避難可能範囲に関しては、次のように考えた。まず、発震の後、避難行動を開始するまでに要する時間を20分とした。津波は発震後、地区によっては最短40分で到達する。前述（3.）のように水深30cmを津波の到達としているが、既往の研究結果³⁾、および高齢者や身障者を想起すれば、30cm以上の水深では歩行は困難であると推察される。したがって、残された20分が避難のための時間となる。歩行による避難の場合、その速度は成人で約4km/時（約67m/分）であるので、67m/分×20分≒1,300mを地震・津波時の歩行による避難可能距離と考えることができる。図6（48頁）は各々の避難場所を中心とした半径1,300mの領域を避難可能範囲として示したものである。この図より、市街地の大部分（9割以上）が避難可能範囲であるのがわかる。

上述の検討は、避難者が最寄りの緊急避難施設を把握したうえで迅速に最短距離で避難することを想定している。最寄りの緊急避難施設を正確に把握していなかったり、地形や道路の線形等によって実際には避難可能距離は上述の検討例よりも短くなると考えられ

表1 緊急避難候補施設

No	場所・施設名	収容人数
1	ホテルニュー佐伯	830
2	ホテル富杵荘	45
3	山城家 本館	220
4	山城家 新館	150
5	西島ビル	80
6	桧垣ビル	280
7	(株)大分銀行佐伯池船町社宅	44
8	リバーサイド池船	25
9	佐伯城南中学校	690
10	渡町台小学校	5,570
11	大分県佐伯総合庁舎	470
12	海上自衛隊佐伯基地分遣隊本部庁舎	930
13	大分県立佐伯鶴城高等学校	1,000
14	ニュースター春日	100
15	ホテル金水苑 本館	140
16	ホテル金水苑 新館	490
17	サンビュー南海	100
18	佐伯中央病院	100
19	佐伯東小学校	610
20	第一交通ビル	420
21	まな美	260
22	シャングリラ佐伯	370
23	市営野口団地	1,482
24	鶴岡地区公民館	260
25	長門記念病院	800
26	鶴岡小学校	730
27	上岡第1浄水場	25
28	西田病院	1,250
29	佐伯市消防本部	800
30	慶's コスモタワービル	280
31	市営城西団地A棟	1,275
32	市営城西団地B棟	828
33	市営城西団地C棟	733
34	下堅田小学校	430
35	市営鶯谷住宅	294
36	西浦小学校	490

る。そこで、半径を図6の1/2の650mとして同様の検討を行えば、図7（48頁）のようである。これより中川、および中江川は河口付近から内陸部まで川沿いに緊急避難施設が存在し、市街地の6～7割は避難可能範囲となっている。一方、中江川と番匠川に囲まれた地区は緊急避難施設が十分ではない。これらの地区で

は、40～50分と、発震後、比較的短時間で津波が到達すること、および地震によって橋が崩壊すれば周囲から孤立する可能性があることを考えれば、早急に何らかの対策を講じる必要があることが示唆される。

4.3 問題点と今後の課題

今回の検討では、各緊急避難場所・施設の中心から半径1,300m、および650m以内を避難可能範囲とした。しかしこれらは、前述(4.2)のように高齢者や身障者等を考慮すれば、適正であるとは言いがたい。これは、高齢者や身障者が避難場所・施設に避難する際、一般的に避難により多くの時間を要することに加えて、避難経路に手すりがついた階段やエレベーターが設置されているといった高齢者に配慮されている限られた場所・施設にしか避難できないからである。また、浸水によってエレベーターの使用が困難な場合も想定され、高齢者や障害者に対しても、安全かつ迅速に避難が可能な避難計画を検討していく必要がある。また、佐伯市が指定した各施設の収容人数の総数は約23,000人であり、佐伯市の人口75,000人全員の避難が可能な施設・場所を確保できていない。今後は、さらなる緊急避難施設の確保、またそれらのエレベーターや階段の数と規模、さらには、佐伯市街地での人口の分布等をも考慮に入れてより詳細な検討が必要である。

5. 環境や生態系への影響

前述(4.)の議論は、想定される津波に対して新たな築堤等のハード的な対策を講じない場合を想定している。同様の条件で、津波が番匠川の河川環境と生態系に及ぼす影響について以下に考察する。まず、河口干潟では、ハマボウ群落やアサリ、ハマグリは津波によって壊滅的な被害を受け、干潟での生態系が劣化すると考えられる。反面、番匠川河口干潟でのアサリ生態に関する既往の研究⁹⁾では、干潟に堆積した底泥による底質環境の悪化が当該水域でのアサリやハマグリはの個体数が減少の一因であることが指摘されている。図5に示すように5m/sを超えるような津波による流れが底泥を取り除き、環境改善に繋がる可能性もある。次に、津波が河口より約7km程度上流まで遡上することが予想されるため、ヨシ群落やそこに生息するオオヨシキリ等にも甚大な影響を及ぼすことが懸念される。

以上のように、現況の状態特にハード面での対策を講じなければ、津波は番匠川河川環境と生態系に甚大

な影響を及ぼすと予想され、今後の検討が必要である。

6. 結 論

本研究では、南海トラフ巨大地震を想定して、大分県県南の佐伯市を対象として津波防災について検討した。結果を要約すれば、以下のものである。

1) 佐伯市による緊急避難施設36ヵ所について、これらの中心から半径1,300m、および650mを避難可能範囲として検討を行った。半径1,300mとすれば、佐伯市街地の約9割が避難可能範囲となる。一方、半径650mでは、市街地の6～7割は避難可能範囲となるが、地区によっては緊急避難施設が十分ではなく、孤立する可能性がある。

2) 佐伯市が指定した各施設の収容人数の総数は約23,000人であり、人口75,000人全員の避難が可能な施設・場所を確保できていない。今後は、さらなる緊急避難施設の確保、また、それらのエレベーターや階段の数と規模、さらには、佐伯市街地での人口の分布等をも考慮に入れてより詳細な検討が必要である。

3) 番匠川では、現況の状態特にハード面での対策を講じなければ、河口干潟のハマボウ群落は津波によって壊滅的な被害を受ける。津波が河口より約7km程度上流まで遡上することが予想されるため、ヨシ群落やそこに生息するオオヨシキリ等にも甚大な影響を及ぼす。

謝辞：本研究は、河川技術研究開発制度 地域課題分野公募(河川)「東南海地震による津波を想定した大分県番匠川流域の地域住民との合意形成に基づく防災対策の提案」(代表：東野 誠)の援助を受けて行われた。ここに記して、謝意を表する。

参 考 文 献

- 1) 中央防災会議：南海トラフ巨大地震の被害想定について(第一次報告)，(平成24年8月24日)，2012。
- 2) 大分県：大分県津波浸水予測調査浸水予測図(速報版)，(平成24年11月28日)，2012。
- 3) 須賀如川：水中歩行限界と避難・救助法に関する考察，土木学会水工学論文集，**46**，839-844，2002。
- 4) 中川一，石垣泰輔，武藤裕則，八木博嗣，張浩：都市域を対象とした洪水氾濫模型実験と解析，土木学会水工学論文集，**48**，571-576，2004。
- 5) 戸田圭一，井上和也，大八木亮，中井勉，竹村典久：複雑な地下空間の浸水実験，土木学会水工学論文集，**48**，583-588，2004。
- 6) 黄光偉，磯部雅彦：「水のみち」による都市域水害軽減の提案，土木学会水工学論文集，**50**，571-576，2006。
- 7) 石垣泰輔，戸田圭一，馬場康之，井上和也，中川一：実物大模型を用いた地下空間からの避難に関する実験的検

討, 土木学会水工学論文集, 50, 583-588, 2006.

- 8) 原田英治, 後藤仁志, 酒井哲郎, 久保有希; 地下街浸水時の群衆避難の個体ベースシミュレーション, 土木学会水工学論文集, 50, 589-594, 2006.
- 9) 東野誠, 高見徹, 中茂義晶, 平島英恵, 井上徹教, 清野

聡子, 高木章次, 荒巻重則, 小松利光; 底質環境が河口干潟の生態系に及ぼす影響—大分県番匠川河口干潟のアカサリを対象として—, 土木学会水工学論文集, 48, 1303-1308, 2004.

図6 地震発生時避難可能区域(緊急避難施設より半径1,300m)

図7 地震発生時避難可能区域(緊急避難施設より半径650m)