

茨城県沿岸の長期の高潮・津波浸水リスク

信岡尚道¹・三村信男²・藤巻英明³・林佑合子⁴

高潮や津波などの防災や減災対策を効率よく全国で進めていくには、想定される被害が大きい地域や頻度が少なく被害も小さい地域などそれぞれの海象にあった方策を見つけていくことが重要と考えられる。本研究は、これまでに高潮と津波の被害が稀であった茨城県沿岸を対象に、高波と海面上昇をも災害要因にいたれた 100 年先を見通した浸水リスク解析を実施したものである。さらに現存の高潮・高波対策の護岸が有する津波や高潮に対する効果の検討も加えて、統合した防災システムの方向性をも議論する。

1. 緒 論

地球温暖化による海面上昇量が 2100 年には 9~88 cm に達すると予想されている。海面上昇により護岸の高さが海面に対して相対的に低くなることで、越流や越波の高潮被害が増加、津波による被害の拡大が考えられる。それに対して、護岸整備の根本的な見直しや移住などの長期間を要する対策を計画するには長期予測が不可欠である。また全国で一定の自然環境を確保しながら効率的に対策を行うには、地域の海象を考慮した地域ごとの対策方針が重要になる。

そこで本研究では、これまで高潮被害の規模が小さく、津波来襲頻度が低かった茨城海岸を対象として、海面上昇までを考慮した高潮、高波と津波による浸水リスクを明らかにする事を目的とした。さらに、現在の護岸高が海面上昇など他の事象に対して働く効果についても検討することから、統合した防災システムについて議論をする。なお、本研究では護岸の強度が常に保たれると仮定している。

2. 茨城県の高潮・津波災害の歴史

(1) 茨城の標高

海岸線が 180 km 以上に及ぶ茨城県の沿岸は大きく 2 つに区分され、崖と砂浜が短い距離で交互にあらわれる那珂川(ひたちなか市)から北の海岸、那珂川から利根川まで広大な砂浜で形成される南の海岸となっている。図-1 はこの沿岸の地形を標高で現したものであり、標高 5 m 以下と 5 m~10 m をそれぞれ黒と灰色で塗り潰している。北部の海岸で那珂川と久慈川の河口、高萩と北茨城市を除いて低平地が少ないとともに、南部の砂浜海岸でも広い低平地は鹿島市に限られている。なお、図-1 の地図は、国土地理院の数値地図 50 m メッシュと

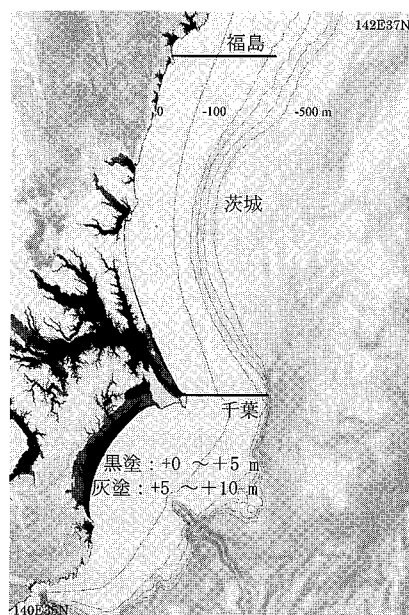


図-1 茨城とその周辺の標高

海上保安庁の日本海洋データセンターの J-BIRD と J-EGG500 を用いて独自に補間作成したものである。

(2) 茨城の高潮と津波の歴史

茨城県の高潮災害の記録としては、浸水被害や人的被害の記録は残っておらず、台風来襲時などの高潮の上のった高波や、春季と冬季の低気圧に伴う非常に強い風による暴浪、高波浪単独による護岸被災や越波が 1970 年代頃に多発したのみであった。

茨城に残っている津波の記録は表-1 に示すとおりであり、大規模なものは 1677 年の房総東方沖を震源とした延宝の地震津波、1960 年のチリ地震津波に限られ、そのうち死者が確認されたのは前者のみである。1970 年以降の津波記録は潮位観測技術が発達したため、これらから頻度が増加していると考え難いであろう。

中央防災会議(2005)では、茨城県沖の対象津波の候補として延宝の津波を検討したが繰返し発生が確認されて

1 正会員 博(工) 茨城大学講師 工学部都市システム工学科
2 正会員 工博 茨城大学教授 広域水圏環境科学教育研究センター
3 正会員 茨城大学大学院理工学研究科都市システム工学専攻
4 フォーラム・スタッフ株式会社

表-1 茨城来襲の津波記録

地震名	震源	マグニチュード	来襲日	茨城県の状況
延暦地震	房総(銚子)沖	不明	799.8.11	常陸鹿島・那加・久慈・多河の4郡に津波15回。通常の汀線から1町(約110m)まで内陸に達した。(宇佐美1987)
(不明)	(不明)	(不明)	1420.7.20	常陸多賀郡, 河原子および相賀に津波押し寄せること4時間に9回。地震記事なし。(宇佐美1987)
延宝地震	房総東方沖	8.0	1677.10.9	磐城から房総に來襲。水戸領内で潰家189、溺死36名、船破損または流出353。(宇佐美1987)
—	鹿島灘	7.0~7.3	1896.1.9	水戸付近から久慈・那珂兩川の沿岸地方で家屋・土蔵の小破あり。また猪苗代湖でも小被害があった。弱い津波あり(周期8分)(宇佐美1987)
明治三陸	三陸沖	6.8	1986.6.15	津波を観測。被害はほとんど記録なし(日本気象協会, 1996)
昭和三陸	三陸沖	8.1	1933.3.3	茨城県沿岸で波高1m程度(茨城大学, 1987)。津波を観測。被害はほとんど記録なし(日本気象協会, 1996)
福島県東方沖	福島県東方沖	7.5	1938.11.5	茨城の田中(42cm)、祝(88cm)の津波を観測(宇佐美1987)
チリ地震	チリ沖	8.5	1960.5.23	北茨城市の平潟港波高5.0m位・大津港5.7m位、日立市久慈港最大波の高さ3.0m、大洗町夏海最高水位2m(日本気象協会, 1996)
八丈島東方沖	八丈島東方沖	7.1	1972.2.29	日立港28cm、那珂湊14cm(日本気象協会, 1996)
宮城県沖	宮城県沖	7.4	1978.6.12	日立28cm、大洗26cm、鹿島29cm(日本気象協会, 1996)
茨城県沖	茨城県沖	7.0	1982.7.23	日立21cm、大洗26cm、鹿島10cm(日本気象協会, 1996)

いない地震のため、今後の津波堆積物等の調査の進展を待つとして、防災推進指定地域の検討から除外している。

(3) 高潮・津波の災害記録と地形の関係の考察

茨城沿岸の最大潮位偏差を、過去の値(1973~1984年)と、茨城県大洗港の最新の潮位データ(1984~2002年)から独自の計算により求めた。結果は既往の最大潮位偏差が2002年の台風0221号による82.4cmと算定された。

茨城の海岸線は図-1に示したように、南は銚子の犬吠崎、北は五浦岬さらに北の福島の小名浜を端とした大きなポケットビーチの形状をした海岸線が東に向いている。南側から接近する台風の進路の東側危険域に茨城の海岸が当てはまる場合でも銚子の犬吠崎があたかも巨大な突堤の役目を果たして、高潮の威力を低下させていると考えられる。津波についても、房総半島の南東から南西に震源を持ったものの沿岸への到達記録は銚子が端になっていたものが多数であった。茨城東方沖の地帯では地震の頻度が多いためかマグニチュードは大きくても7程度である。これに合わせて、大きな湾もないことから高潮や津波エネルギーが沿岸分散しやすく、水位がさほど上昇しないと考えられる。

3. 茨城県の長期高潮・津波リスク解析

今後の防災対策を検討する上で、2節で示したように茨城県のような過去の被害が小さい地域では、まず海面上昇による危険性を検討することが必要と考えられる。そこで将来の起こりうる事象のシナリオを作成し、浸水域の推定を検討する。

(1) 高潮と津波のシナリオ

高潮の水位シナリオは表-2のように設定した。海面上昇にはIPCCの予測の最低、平均と最大値である9, 49, 88cmを、天文潮には各年最大満潮位の平均値68

表-2 高潮水位シナリオ

被害	シナリオ	海面上昇 (m)	高潮偏差 (m)	天文潮 (m)	有義波高 (m)
越流	A	0.88	0.82	0.68	なし
越波	B-1	0	0.82	0.68	4.5~8.0
	B-2	0.49	0.82	0.68	4.5~8.0
	B-3	0.88	0.82	0.68	4.5~8.0

cm、高波の波高(有義波高)はNOWPHASの記録を元に、4.5m~8.0mの値とした。Wave setupをも考慮した高潮数値シミュレーションで台風0221号による高潮偏差を求めることを試みたが、計算による最大偏差は60cm程度で既往最大値以下であった。そこで高潮偏差には既往最大値の82cmを一定に用いることにした。

津波については、延宝津波を想定津波とした。震源は羽島(1975)を参考に、北緯35.5度、東経142度とし、次に示す数値シミュレーションを用いて初期波高14ケースに対して予備計算を行い、羽島(1975, 1979, 2003)が示した沿岸の津波記録と比較して最も一致したケース、東経142度上の北緯34~36度が2m、それから北緯36.5度までが線形で0mになるように与えた。周期について過去の記録を見つけれなかったため30分とした。計算時間は第2波の遡上が全域で終わる90分間とした。水位のシナリオは表-3のように設定して、満潮状態が計算領域で一定に続いたと仮定して計算をおこなった。

(2) 浸水予測の方法

地形は図-1を作成したデータを用いて、200mメッシュを採用した。また護岸については茨城県の市町村の平均高を用いた。高潮による浸水予測については、Waves setup量を波高の一割として(既往最大潮位偏差

表-3 津波計算のシナリオ

シナリオ	海面上昇(m)	天文潮(m)	初期波高(m)
C-1	0.09	0.68	2.0
C-2	0.49	0.68	2.0
C-3	0.88	0.68	2.0

時の波高を 5.8 m (Nowphas) と考え気象潮を補正), 各シナリオの水位の和を海岸に与え, 護岸を含めた標高のレベル比較法を用いた。越波について護岸前の重複波現象を考慮するため, 有義波の完全重複波の振幅を水位に加算した値で, 越波判定を行い, 越波と判定された地点を抽出した。

津波については連続の式と平面 2 次元の非線形項までを考慮した長波の運動方程式を組み合わせたものを基礎方程式として, それを差分方程式化したものを, ADI 法を用いて計算した。

(3) 浸水予測結果

a) 高潮浸水域

図-2 は, 海面上昇 88 cm に満潮, 既往最大高潮偏差を取ったシナリオ A で護岸が無い場合の浸水危険域である。浸水深 0 m の所では風波も完全に砕波したと想定したものである。浸水域の部分を黒塗りしているが, ほとんど海岸線に限られていることがわかる。日立市の南の部分で浸水域が面的に広がっているが, これは久慈川の河川堤防を考慮しなかったために, 浸水したものである。計算では海岸で一定の水位が長時間続いた場合をも想定した計算のため, 実際の現象よりも浸水範囲は広いと考えられる。このように危険側で推定したにも関わらず, 茨城県の全浸水リスク面積は 25 km³ しかなかった。

同シナリオで護岸を考慮した場合, つまり越流による浸水は, 茨城県内で全く起こらなかった。護岸高には市町村平均値を用いているため誤差が含まれる点, 護岸の強度には注意が必要であるが, 現在の護岸高が現在の海面水位上で越流のみならず, 越波阻止を想定して整備されて来たためと考えられる。言い換えれば, 我が国の護岸整備は海面上昇に対する適応策を既に取ってきたと評価することもできる。

次にシナリオ B-1~3 において, 越波が生じる海岸線距離の茨城県総海岸線に対する割合を求めたものを図-3 に示す。僅かでも護岸高よりも風波の峰までを含めた水位が高い場合には越波と判断したものであり, 現状でも発生している小規模な越波も含まれていると考えられる。図-3 を見ると波高 4, 5 m の場合に海面上昇が 9~49 cm の間で距離増加が鈍いが, 全体として海面上昇にともなって一定に越波地点が増加することがわかる。

b) 津波浸水域

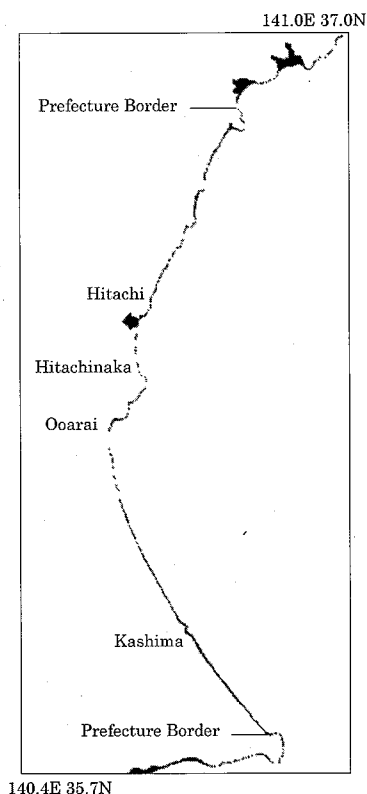


図-2 海面上昇後の高潮予測浸水域 (護岸なし)

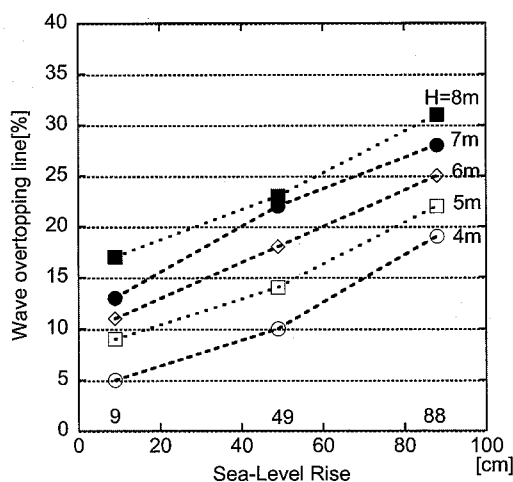
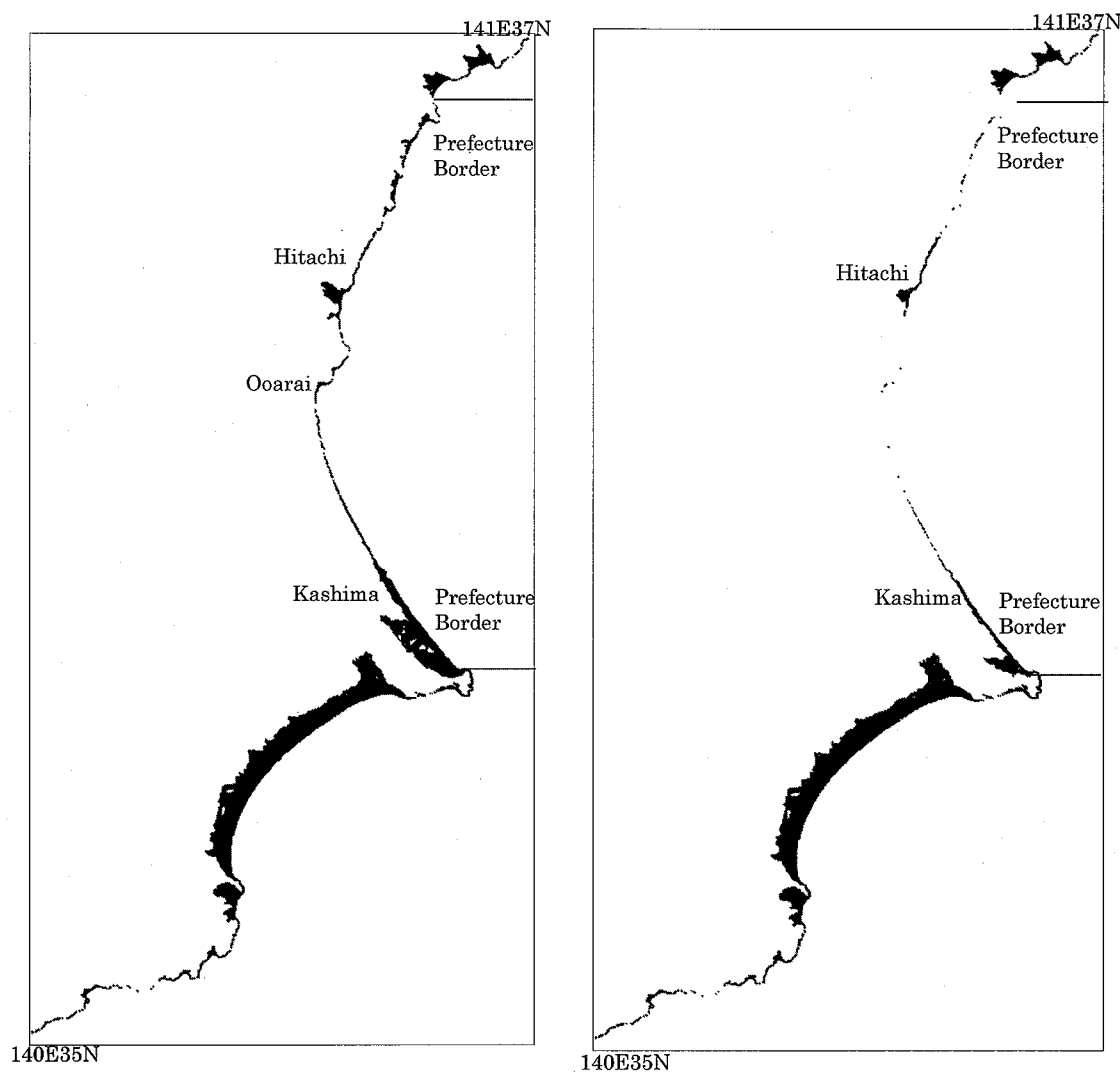


図-3 海面上昇量と越波海岸線の割合の比較

図-4(a) (b) は海面上昇 88 cm 後の想定津波 (延宝津波) に対して護岸のない場合と護岸のある場合の浸水域 (黒塗) の結果である。護岸は茨城県のみで, 護岸高の分布は高潮計算時に用いたものと同じである。護岸がない場合の図-4(a)では房総半島の九十九里で浸水域が最



(a) 護岸なし

(b) 茨城県のみ護岸あり

図-4 海面上昇 88cm 時の想定津波（延宝津波）による浸水域

も広がっている。これは延宝津波の痕跡記録でも、浸水高が高かったことと対応している。茨城県では千葉県に隣接する神栖市で浸水域が広がっているのと、日立市南の久慈川河口付近と県北の海岸に多少の広がりがあるが、それ以外の地区では海岸線付近に限定されている。一方、茨城県の海岸線に護岸がある場合の図-4(b)をみると神栖市と久慈川河口付近の浸水域もかなり抑えられ、他の海岸線でも抑えられていることがわかる。完全に津波を阻止してないが、現在の護岸高が津波浸水域を抑制できることがわかる。

図-5 は海面上昇シナリオ C1～C3 に対する、茨城県内の津波予測浸水域を、護岸がある場合と無い場合で求

めた結果である。水位の増加とともに浸水域が拡大しているが、現在の護岸高でも大きな減災効果があることがこの図からもわかる。

4. 低被害地域の長期沿岸管理計画について

茨城県のような低被害地域のこれからの防災および減災対策の方向性として、高波・高潮・津波と海面上昇の対策を統合して行うことが適切である。これまでに述べてきたように、茨城県の護岸は高波と高潮対策として建設されてきたと考えられるが、その護岸が海面上昇時の高潮による越流や津波侵入低減にも効果があるのが一つの例である。また、低被害地では確率が低いがために構

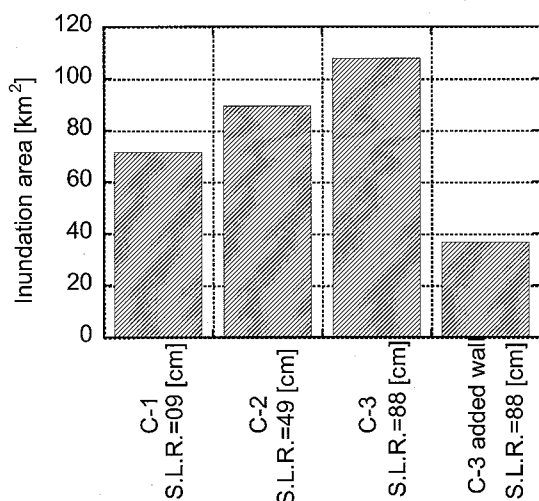


図-5 海面上昇量と越波海岸線の割合の比較

造物による防御に投資することが容易でない場合がしばしばあるが、避難方法や避難所を検討する上でも、護岸と同様に災害を引き起こす複数の事象に対応した有機的なものが望ましいであろう。

さらには人口減少社会を迎える場合、住民合意が必要であるが、移住による未利用地を設け、自然環境を保ちながら災害を避ける選択枝や、その中間の方策で中低の護岸と高床式住居の組み合わせによる方法も検討にいれることも考えられる。図-2や図-4にも表われているように、海岸線から僅かの距離しか浸水しない空間、言い換えれば海岸から遠くない場所に自然の防御システムが存在しているのであれば、それを活用することも有益なことである。

5. 結 論

茨城県の将来の高潮と津波浸水リスクについて、過去最大の事象に、予測されている地球温暖化による海面上昇を考慮して検討をおこない、以下の結論を得た。

- (1) 茨城県の高潮による越流は、満潮時で海面上昇量が88 cmの場合でも現在の護岸高さで防ぐことが出来る。現在の護岸高は現海面高において越波をも防げるように設定されているためである。
- (2) 高潮時の越波の可能性がある海岸線長は、海面上昇の進行にしたがって、長くなっていく。海面が88 cm

上昇して既往最大高潮偏差に満潮が重なった場合には、1/3の海岸線で越波が生じる危険性がある。

- (3) 護岸がない場合を想定すると、88 cmの海面上昇後に高潮と満潮が重なると越流による浸水リスク面積は25 km²となった。茨城海岸は極低平地が少ないため浸水域はさほど広くはならない。
- (4) 延宝津波規模の津波が来襲すると、浸水域が茨城県にはかなりあり、高潮越波被害よりも広範囲になる。海面上昇の影響が加わると千葉県との県境を中心に浸水域がさらに拡大する。

これらの議論の中で現在の高波・高潮対策の護岸が海面上昇や津波に対しても有効であることも示した。ハードおよびソフトでの災害対策に加え、海岸から遠くないところに自然の防御システムがあるならば、それらを有機的に活用することが今後の課題といえる。

謝辞：茨城県大洗港湾事務所から潮位観測データ、海上保安庁の日本海洋データセンターから海底地形データの提供を受けた。茨城県河川課の松浦健郎氏、水戸地方気象台防災業務課の荻原裕之氏、同技術課の大石喜仁氏から貴重な情報の提供を頂いた。ここに感謝の意を表する。本研究は環境省『地球環境研究総合推進費 (S-4)』温暖化の危険な水準及び温室効果ガス安定化レベル検討のための温暖化影響の総合的評価に関する研究』の成果の一部である。

参 考 文 献

- 茨城大学(1987)：茨城県における自然災害に関する総合的研究，168p.
- 宇佐美龍夫(1987)：新編日本被害地震総覧，東京大学出版会，493p.
- 中央防災会議(2005)：日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震防災対策推進地域の指定基準について，日本海溝・千島海溝周辺海溝型地震に関する専門調査会，第14回資料1，22p.
- NOWPHAS：全国港湾海洋波浪情報網，2002年，(独)港湾空港技術研究所海象情報調査室，参照2005.12.1.
- (財)日本気象協会水戸支部(1996)：茨城の気象百年，337p.
- 羽鳥徳太郎(1974)：房総沖における津波の波源－延宝(1677年)・元禄(1703年)・1953年房総沖津波の規模と波源域の推定－，地震研究所彙報，50，pp.83-91.
- 羽鳥徳太郎(1979)：九十九里浜における延宝(1677年)・元禄(1703年)津波の挙動，地震研究所彙報，54，pp.147-159.
- 羽鳥徳太郎(2003)：1677年延宝房総沖津波の波高偏差，歴史地震，19，pp.1-7.