

# 現地海岸を対象とした気候変化に伴う 海岸堤防・護岸の越波特性の変化に関する検討

CASE STUDY ON THE CHANGE IN THE WAVE OVERTOPPING  
CHARACTERISTICS OF COASTAL LEVEE AND REVETMENT DUE TO  
GLOBAL CLIMATE CHANGE

玉田 崇<sup>1</sup>・野口賢二<sup>2</sup>・諏訪義雄<sup>3</sup>・田村 保<sup>4</sup>・成毛辰徳<sup>5</sup>  
Takashi TAMADA, Kenji NOGUCHI, Yoshio SUWA,  
Tamotsu TAMURA and Tatsunori NARUKE

<sup>1</sup>正会員 工修 いであ株式会社 建設技術事業本部 海岸部 (〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

<sup>2</sup>正会員 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 (〒305-0804 つくば市旭1)

<sup>3</sup>正会員 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 (同上)

<sup>4</sup>フェロー 工修 いであ株式会社 建設技術事業本部 海岸部 (〒154-8585 東京都世田谷区駒沢3-15-1)

<sup>5</sup>工修 いであ株式会社 国土環境研究所 水環境解析グループ (〒224-0025 横浜市都筑区早渕2-2-2)

In order to take measures to reinforce and rebuild the coastal levee and seawall structure, we must understand the change in the wave overtopping characteristics due to the sea level rise and wave height change. In this study three typical coasts of our country were selected for the case study site and a numeric experiment by random waves with numeric wave motion water tank (CADMAS-SURF) was conducted to clarify the wave overtopping characteristics from the comparison with the conventional calculation technique of wave overtopping index. The amount of wave overtopping is subject to influence of the sea level rise and wave height increase. The sandy beach has been proved to be effective to prevent wave overtopping at the event of extreme wave condition induced by climate change.

**Key Words :** *Wave overtopping, CADMAS-SURF, Global climate change, Sea level rise*

## 1. はじめに

地球温暖化に伴う海面上昇により、海岸堤防・護岸や背後地の安全性の低下が懸念される中、わが国の海岸堤防・護岸は老朽化に伴う更新時期を迎えている。この状況下において、海岸管理者には海岸堤防・護岸の更新に際して、将来の海面上昇を見込んだ堤防・護岸の補強・改築が求められている。しかしながら、海面上昇が及ぼす越波特性について、現地海岸を対象とした実務レベルでの検討により、越波現象の支配的な諸量を明らかにした事例は、既往の研究では見当たらない。

そこで本研究では、日本沿岸域での地形・海象特性を代表させた海岸として、国土交通省河川局直轄海岸の中から3海岸を抽出し、越波現象に関係する諸量を種々変化させた不規則波による一連の越波の数値実験を行い、気候変化に伴う越波特性の変化を明らかにした。さらに、越波防止の観点から海岸堤防・護岸の天端を嵩上げする場合の留意事項を、現地海岸を対象に実施した堤体構造の安全性の照査結果に基づき検討した。本成果は、気候変化に適応す

るための海岸堤防・護岸の天端嵩上げに際する基礎資料を提供するものである。

## 2. 数値実験の概要

### (1) モデル海岸の選定

日本沿岸域での地形・海象特性は、次の3つに大別される。一つ目は外洋に面し、台風等による吹送距離の長いうねりの影響を受ける「太平洋側」であり、二つ目は広い内海に面した「日本海側」、三つ目は比較的静穏な「内湾域」である。

本研究では、国土交通省河川局直轄海岸の中から、これらの海岸特性を代表する海岸として、駿河海岸(太平洋側)、下新川海岸(日本海側)および東播海岸(内湾域)の3海岸を現地モデル海岸として選定し、気候変化レベルに応じた越波特性の変化をCADMAS-SURF(数値波動水槽)<sup>1)</sup>による一連の数値実験により検討した。いずれの海岸においても、検討において必要となる波浪、海底地形および構造物の断面データが十分に揃っていた。

## (2) 現地海岸における数値実験断面の設定

### a) 駿河海岸のモデル化

駿河海岸における海岸堤防の標準断面および定期深浅測量成果から、直立堤でかつ沖合に離岸堤等の波浪制御施設が設置されていない「住吉工区のNo.78断面」を計算断面として設定した。ここでは、越波特性に及ぼす気候変化の影響を明らかにすることが主たる目的であるため、地形や消波構造物等による影響は可能な限り除去することとした。断面は図-1に示すとおり、堤防、砂浜、海底地盤、助走区間で構成した。ここに、助走区間は入射境界と構造物との干渉を防ぐために必要となる区間である。なお、近年の地形断面図を重ね合わせ、越波に対して厳しい条件を考慮することとし、将来海浜が消失した場合を想定して図-1(b)のハッチングした部分の海浜はモデル断面から除外した。

### b) 下新川海岸のモデル化

下新川海岸での海岸堤防の標準断面および定期深浅測量成果から、「黒部地区第4工区のNo.66断面」を計算断面として設定した。同断面は本来消波工が設置されているが、まず消波工のない構造（直立堤）について検討した。その後、消波工のある場合（図-9を参照）について検討し、モデル化した計算断面は図-2に示すとおりである。

### c) 東播海岸のモデル化

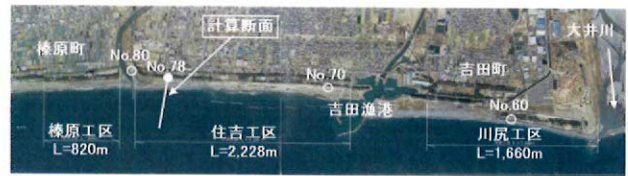
東播海岸では「塩屋地区の0.8k断面」を計算断面として設定した。同断面は本来消波工が設置されているが、下新川海岸と同様に、まず消波工のない状態（直立堤）について検討し、その後消波工のある場合（図-11を参照）について検討した。モデル化した計算断面は図-3のとおりである。

## (3) 通過波検定の実施

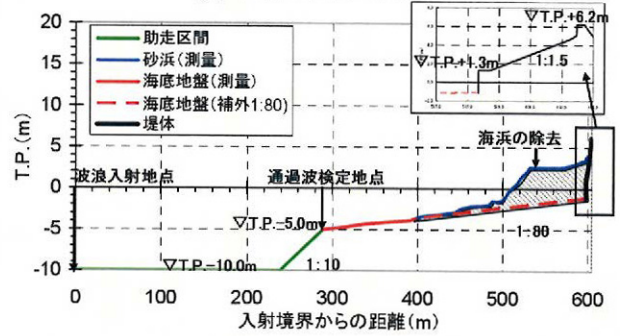
CADMAS-SURFによる数値実験では、碎波前または構造物前面で目標とする波高を得られるように、通過波検定を実施して入射波の調整する必要がある。駿河海岸では、設計対象である沖波波高が高く海底勾配が緩いため、通過波検定は碎波帯内とし、1/80海底勾配と1/7前浜勾配の変曲点前面より沖側である水深T.P. -5.0m地点で実施した（図-1を参照）。碎波帯内にある検定地点での目標波高は、沖波波高条件に首藤の非線形浅水係数の算定式<sup>2)</sup>による浅水係数と、合田の碎波後の有義波高算定式<sup>3)</sup>による碎波効果を考慮して設定した。他方、下新川海岸は急深な海底地形であり、汀線から非碎波水深までの距離が近いことから、通過波検定は非碎波水深である水深T.P. -35.0m実施した（図-2を参照）。また、東播海岸では、非碎波水深である水深T.P. -15.0mで通過波検定を実施した（図-3を参照）。

## (4) 計算条件

CADMAS-SURFによる数値実験の入射波には、修正Bretschneider・光易型スペクトルを有する不規



(a) 計算対象位置図

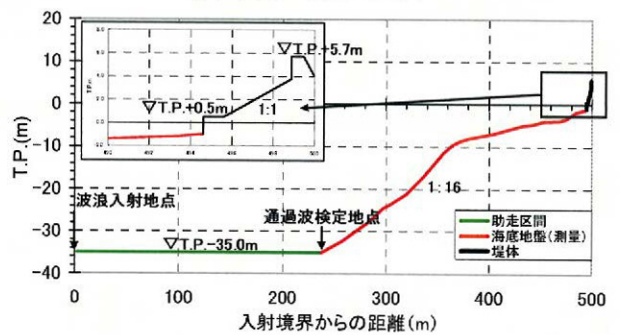


(b) 計算断面図

図-1 駿河海岸における計算位置図および断面図

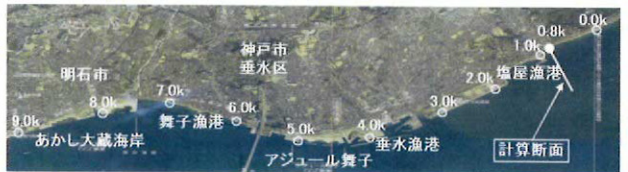


(a) 計算対象位置図

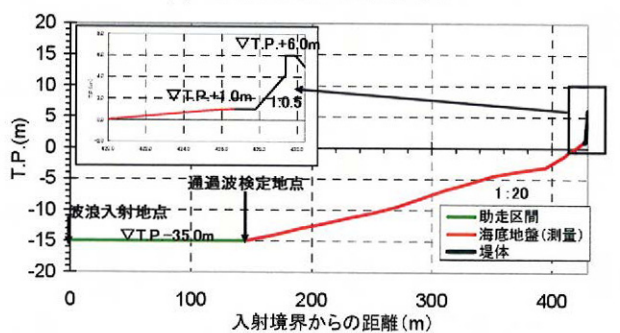


(b) 計算断面図

図-2 下新川海岸における計算位置図および断面図



(a) 計算対象地点位置図



(b) 計算断面図

図-3 東播海岸における計算位置図および断面図

則波を用いた。ここでは、入射の波形勾配の大きい場合でも安定した計算を実施するために、自動水位補正と越波量分の水の補給効果を考慮した。

越波現象に係る諸量として、潮位と波浪の条件をそれぞれ4レベル想定した。いずれも各海岸で設定されている現行の設計潮位および設計波浪を基準とした。IPCCのAR4<sup>4)</sup>によると、2100年の海水面は1980年～1999年と比較して0.18m～0.59m上昇すると予測されていることから、設計潮位に0.18m、0.59mを加え、参考値として1.00mの海面上昇量についても考慮した。また、IPCCのAR4<sup>4)</sup>におけるA1Bシナリオの二酸化炭素濃度は2100年に2000年の約2倍になっており、台風の最大気圧深度は10～20%増加、波高は概ね台風の気圧深度に比例すると仮定して、設計波の最大1.2倍までを検討した。さらに、将来の海岸堤防・護岸の補修や改築を踏まえて、嵩上げ工の天端高を種々変化させた検討を行った。表-1～表-4には、モデル海岸ごとの潮位および波浪条件を整理した。

### 3. 数値実験による越波特性の変化の検討

#### (1) 駿河海岸

駿河海岸における越波量の算定結果を表-5にとりまとめた。駿河海岸では、現況の設計条件および潮位のみ上昇した場合には越波は発生しなかった。これは、1/80の緩やかな海底勾配が続く外浜上で来襲波浪のエネルギーが十分に減衰したためと考えられる。ただし、入射波高を1.2倍したケースでは、潮位上昇量が0.18m以上のケースで越波が生じた。

ここで、砂浜による防護効果を検証するため、越波の生じた入射波高を1.2倍したケースに対し、図-1(b)のハッチングした部分を含む海浜が存在した場合の断面で再計算を実施した。その結果、いずれのケースにおいても越波は発生せず、潮位が1.0m上昇したケースでは $2.9 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m/s}$ の越波流量を防護することができた。これより、砂浜の有する越波防護効果の高さが改めて確認された。本研究では、計算に用いた海浜形状が維持されるという仮定で実施してきたが、気候変化に対して背後地の安全性を確保するためには、将来の海浜変形の状態には、十分に留意する必要がある。

#### (2) 下新川海岸

図-4および図-5には、下新川海岸における潮位上昇および波高増大率と越波流量の関係を整理した。

図-4によると、いずれの波浪条件に対しても、潮位が0.59m上昇した場合には、越波流量は現状に比べて2～3倍増加し、潮位が1.0m上昇した場合には越波流量は3～5倍に達する結果となった。また、図-5では、波浪が1.1倍の場合では潮位上昇量が1.0mの場合を除いて、いずれの潮位条件に対しても、波高の変化による越波流量の変化はほとんどみられな

表-1 各海岸で設定した潮位条件

	駿河海岸	下新川海岸	東播海岸
潮位(1) 設計潮位	1.66m	1.02m	2.80m
潮位(2) 設計潮位+0.18m	1.84m	1.20m	2.98m
潮位(3) 設計潮位+0.59m	2.25m	1.61m	3.39m
潮位(4) 設計潮位+1.0m	2.66m	2.02m	3.80m

表-2 駿河海岸における波浪条件

	波浪(a)	波浪(b)	波浪(c)	波浪(d)
換算沖波波高 $H_0'$ (m)	9.00	9.90	10.80	8.34
沖波周期 $T_0$ (s)	14.0	14.7	15.3	16.3
沖波波長 $L_0$ (m)	305.8	336.3	366.9	414.5
波形勾配 $H_0'/L_0$	0.029	0.029	0.029	0.020

表-3 下新川海岸における波浪条件

	波浪(a)	波浪(b)	波浪(c)	波浪(d)
換算沖波波高 $H_0'$ (m)	4.00	4.40	4.48	3.75
沖波周期 $T_0$ (s)	12.2	12.8	13.4	13.9
沖波波長 $L_0$ (m)	232.2	255.6	280.1	301.4
波形勾配 $H_0'/L_0$	0.017	0.017	0.017	0.012

表-4 東播海岸における波浪条件

	波浪(a)	波浪(b)	波浪(c)	波浪(d)
換算沖波波高 $H_0'$ (m)	4.60	5.06	5.52	3.89
沖波周期 $T_0$ (s)	8.0	8.4	8.8	11.2
沖波波長 $L_0$ (m)	99.8	110.1	120.8	195.7
波形勾配 $H_0'/L_0$	0.046	0.046	0.046	0.020

表-5 越波流量の計算結果(駿河海岸)

	潮位(1) 設計潮位	潮位(2) 0.18m上昇	潮位(3) 0.59m上昇	潮位(4) 1.00m上昇
波浪(a): 設計波	越波なし	越波なし	越波なし	越波なし
波浪(b): 設計波×1.1	越波なし	越波なし	越波なし	越波なし
波浪(c): 設計波×1.2	越波なし	1.0E-04	5.0E-04	2.9E-03
波浪(d): 波形勾配0.02	越波なし	越波なし	越波なし	越波なし

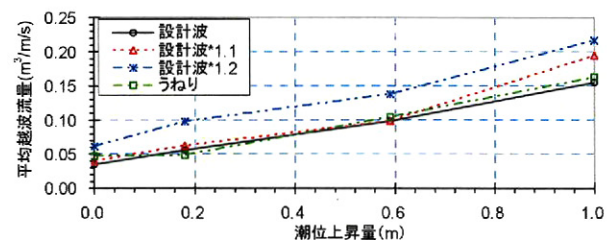


図-4 越波量に及ぼす潮位の影響(下新川海岸)

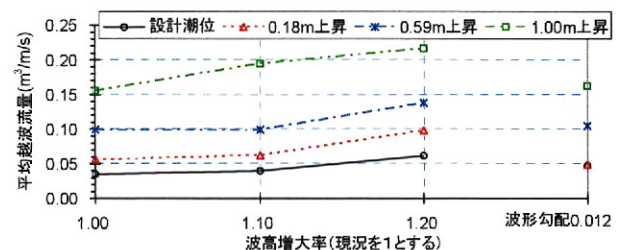


図-5 越波量に及ぼす波浪の影響(下新川海岸)

かったが、波高が1.2倍になった場合には、越波流量は1.4～1.8倍程度増加した。これらのことから、越波流量に及ぼす影響としては、潮位上昇量と波高の増大量のいずれも無視することができないといえる。なお、ここでの計算結果は、越波特性に及ぼす気候変化の影響を明らかにするため、消波工がない

場合を仮定した断面によるものである。

### (3) 東播海岸

潮位上昇量と越波流量の関係と波高増大率と越波流量の関係を図-6および図-7に整理した。

東播海岸においても、下新川海岸の場合と同様に、潮位上昇や波浪増大による越波流量の増加は顕著であった。図-6によると、いずれの波浪条件に対しても、潮位が0.59m上昇した場合には、越波流量は現状に比べて1.6倍程度増加し、潮位が1.0m上昇した場合には越波流量は約2.5倍となった。また、図-7では、いずれの潮位条件においても、越波流量は波浪が1.1倍の場合では越波流量は1.4倍程度、波高が1.2倍になった場合には1.6倍程度増加した。ここでも、越波流量に及ぼす潮位上昇量と波高増大量のいずれの影響も確認された。

### (4) 短時間越波流量

数値実験の結果から、諸量の変化に伴う平均越波流量への影響を分析した。また、1波ごとの越波量の変化を用い、代表波法と同様の定義による代表越波量 $Q_{max}$ 、 $Q_{1/10}$ 、 $Q_{1/3}$ および $Q_m$ を求めて、代表越波量比 $Q/Q_m$ を計算し潮位、波浪及び海岸堤防・護岸の嵩上げ量等との関係から越波特性を検討した。

図-8には、最大越波流量と平均越波流量の関係を整理した結果を一例として示す。これによると、直立堤防・護岸の $Q_{max}/Q_m$ は、海面上昇や入射波高の増大に関わらず大きく変動しており、最大越波流量が平均越波流量の5倍～20倍に達する結果となった。これらは井上ら<sup>5)</sup>ともほぼ同様である。なお、 $Q_{1/10}/Q_m$ および $Q_{1/3}/Q_m$ は、それぞれ1/10最大越波流量は平均越波流量の5倍～8倍、1/3最大越波流量は平均越波流量の3倍程度であった。これらより、背後地の状況によっては海岸堤防・護岸の補修や改築に際して、平均越波流量だけでなく、1波ごとの越波量も考慮する必要があることが改めて確認された。

## 4. 堤防嵩上げによる越波特性の変化の検討

3. の検討において、顕著な越波が認められた下新川海岸と東播海岸の2断面について、CADMAS-SURFを用いた数値実験により、天端高の嵩上げにより越波量がどのように変化するかを検討した。

### (1) 外力条件の設定

気候変化による外力特性の変化として、潮位の上昇および波浪の増大が想定される。このうち、波浪の増大については、将来の変化について不確定要素が大きいことから、潮位上昇と比較して越波量に対する影響が小さいことから、ここでは、潮位上昇についてのみ検討することとした。

また、潮位上昇量については、設計潮位+1.0mのケースはIPCCの予測の範囲を越えるケースである

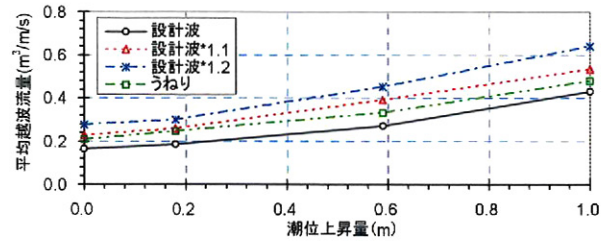


図-6 越波量に及ぼす潮位の影響(東播海岸)

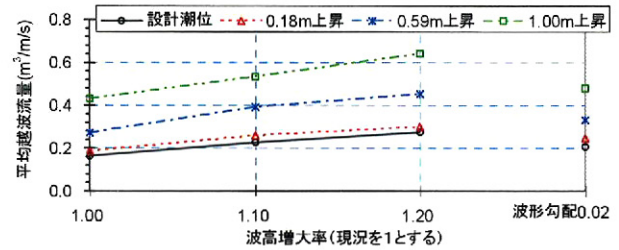


図-7 越波量に及ぼす波浪の影響(東播海岸)

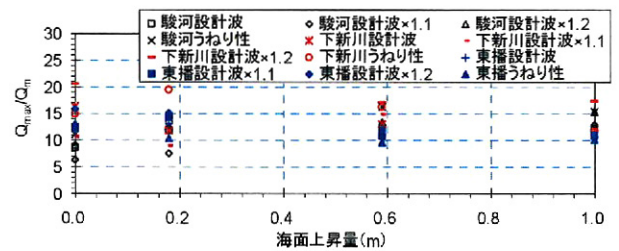


図-8 最大越波流量と平均越波流量の関係

ことから、これを除いた3ケースを検討した。

- ・ケース1：設計波，設計潮位
- ・ケース2：設計波，設計潮位+0.18m
- ・ケース3：設計波，設計潮位+0.59m

なお、下新川海岸および東播海岸では、直立堤での越波量が大きくなったが、いずれも本来は堤防前面に消波工が設置されている。ここでは、各海岸の現況に即した越波特性を分析するために、消波工が設置された構造で越波量特性の変化を検討した。ただし、駿河海岸の事例からもわかるように、砂浜の越波防止機能は非常に優れており、防護・利用・環境面での総合的な海岸保全対策としては、本来は砂浜による対策が望ましいことを忘れてはならない。

### (2) 下新川海岸（消波工あり）での検討結果

#### a) 計算断面

計算断面は図-9に示すとおり、堤体前面の消波ブロックもモデル化した。なお、天端高T.P.+5.7m（現況）、天端高T.P.+6.2m（0.5m嵩上げ）および天端高T.P.+6.7m（1.0m嵩上げ）の3ケースとした。

#### b) 嵩上げによる越波量の変化

図-10には計算断面における越波量の算定結果を整理した。下新川海岸の計算断面においては、直立堤では現況の越波流量が $2.0 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m/s}$ より多い結果となったが、消波工を有する場合には $2.8 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m/s}$ の越波流量であった。図-10によると、消波

工を有する場合でも直立堤と同様に、気候変化によって潮位が上昇すると越波流量が大きくなった。また、天端高がT.P.+5.7mで潮位上量が0.18mの場合には越波流量は $4.5 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m/s}$ であったが、T.P.+6.2mまで0.5m嵩上げすることで $2.6 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m/s}$ に低減することができた。同様に、天端高がT.P.+5.7mで潮位上量が0.59mの場合の越波流量は $1.1 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m/s}$ であったが、T.P.+6.7mまで1.0m嵩上げすることで $2.9 \times 10^3 \text{ m}^3/\text{m/s}$ に低減された。これらより、気候変化による外力の変化時に現況と同様の防護水準（越波流量）を確保するためには、潮位0.18m上昇時には0.5m程度、潮位0.59m上昇時には1.0m程度天端高を嵩上げする必要があるといえる。

### (3) 東播海岸（消波工あり）での検討結果

#### a) 計算断面

計算断面は図-11のとおりであり、堤体前面に捨石マウンドおよび消波ブロックが設置されている。設定した天端高は、天端高T.P.+6.0m（現況）、天端高T.P.+6.5m（0.5m嵩上げ）、天端高T.P.+7.0m（1.0m嵩上げ）の3ケースとした。

#### b) 嵩上げによる越波量の変化

図-12には計算断面における越波量の算定結果を整理した。この結果より、現況の防護水準を維持するために必要な天端高の嵩上げ量は、下新川海岸と同様に、潮位0.18m上昇時には約0.5m、潮位0.59m上昇時には約1.0m必要であるといえる。

## 5. 堤防天端嵩上げ量の検討と留意事項

ここでは、下新川海岸の直立堤（仮想断面）を対象として、打上げ高と越波流量の関係および堤防天端を嵩上げ時の堤体構造の安全性を検討した。

### (1) 打上げ高による必要天端高

現行の設計法で広く用いられている中村らの改良仮想勾配法<sup>6)</sup>をもとに、潮位面からの打上げ高の計算結果を図-13に示す。これによると、下新川海岸でいずれの波浪条件に対しても、0.6mの潮位上昇量の場合には約1.2~1.6mの打上げ高となり、1.0mの潮位上昇の場合には約1.8m~2.3mの打上げ高となった。なお、これらはいずれも潮位上昇量を含んだ打上げ高である。これらより、潮位上昇した場合には、潮位上昇量に加えて、打上げ高の増大分までを堤防の嵩上げ量に考慮しなければならないことがわかる。

### (2) 越波量の検討ケースの設定

検討する外力条件は、天端高の嵩上げの検討と同様に、潮位上昇量を考慮した3ケースとした。計算断面は図-14に示すとおりであり、現況における打上げ高算定結果がT.P.+7.36mであることから、基本ケースとして天端高T.P.+7.4mを検討した。また、潮位が0.18m上昇した場合の打上げ高はT.P.+7.75m、

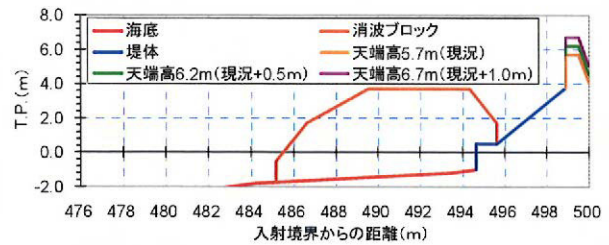


図-9 下新川海岸における計算断面図

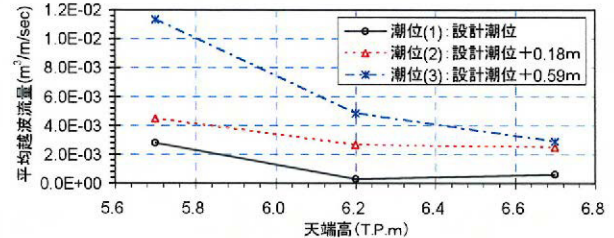


図-10 下新川海岸における越波流量の計算結果

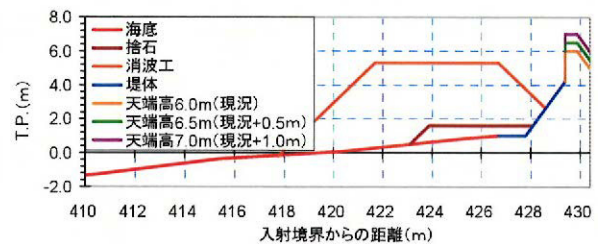


図-11 東播海岸における計算断面図

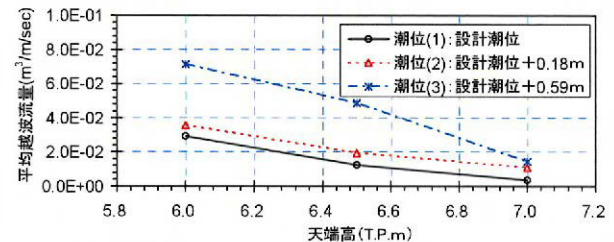


図-12 東播海岸における越波流量の計算結果

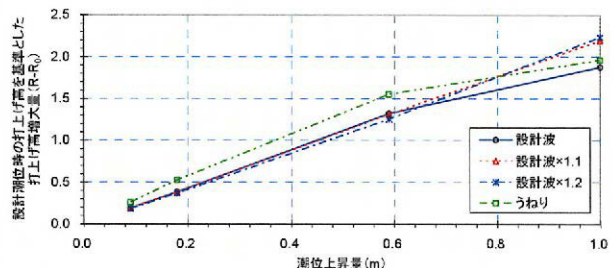


図-13 打上げ高と潮位上昇量の関係  
(下新川海岸)

潮位が0.59m上昇した場合の打上げ高はT.P.+8.86mであることから、それぞれ天端高T.P.+7.8mおよびT.P.+8.7mとして検討した。

### (3) 嵩上げによる越波量の変化

計算断面における越波量の算定結果を図-15にと

りまとめた。図-15によると、現況の天端高 T.P.+5.7mでは越波流量が $2.0 \times 10^{-2} \text{ m}^3/\text{m/s}$ を越えていたが、天端高を打上げ高と同じT.P.+7.4mとすることにより、越波流量を $5.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m/s}$ まで低減させることができる。また、天端高をT.P.+7.4mとしても、潮位上昇により越波量は増加するが、天端高をそれぞれの潮位での打上げ高算定結果から得られる必要打上げ高まで高上げることにより、潮位上昇前と同程度の越波防護水準を確保することができる。

これらのことから、直立護岸においては、打上げ高から設定された天端高と越波流量の関係にはある程度整合性があることが確認できた。ただし、所定の打上げ高まで堤防を高上げた場合にも $1.0 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{m/s}$ のオーダーの越波流量は発生しており、完全には越波を防止することはできない。

#### (4) 堤防嵩上げ時の安全性能照査

堤防嵩上げ時における堤体の安全性を検討するため、鉄筋の圧縮応力度、鉄筋の引張応力度およびコンクリート剪断応力度の照査を行った。図-16には鉄筋の挿し筋及び波返し鉄筋径をD16とした場合の鉄筋の引張応力度の計算結果を示す。

図-16によると、鉄筋径がD16の場合には、嵩上げ高が0.5mまでは問題ないが、嵩上げ高が1.0mの場合は潮位上昇量が約0.7m、嵩上げ高が1.5mの場合は潮位上昇量が約0.4mより大きくなると、許容値を満足しない結果となった。なお、鉄筋の圧縮応力度とコンクリートの剪断応力度については、潮位上昇量および嵩上げ高のいずれの組み合わせに対しても、許容値を満足する結果となった。ここでは紙面の都合上掲載しなかったが、駿河海岸および東播海岸でも同様の検討を行った結果、砂浜のある駿河海岸では、いずれの条件に対しても構造の安全性が確認されたが、砂浜のない東播海岸では、嵩上げ高が1.5mの場合は潮位上昇量が約0.6mより大きくなると、許容値を満足しない結果となった。

これらより、越波防止の観点から堤防・護岸を高上げる場合には、想定する潮位上昇量に対して波返し基部に作用する引張応力度に対する安全性には十分に留意する必要がある。特に、前面に砂浜が存在しない海岸では重要な照査事項の一つであるといえる。

## 6. おわりに

- 1) 越波流量に及ぼす諸量として、潮位上昇量と波高増大量のいずれも無視することができず、海底地形や構造物の条件によっては、潮位が0.59m上昇した場合には、越波流量は現状に比べて2~3倍増加し、潮位が1.0m上昇した場合には越波流量は3~5倍に達する場合があった。
- 2) 十分な砂浜を有する海岸では、気候変化に対しても越波防止効果を期待することができる。

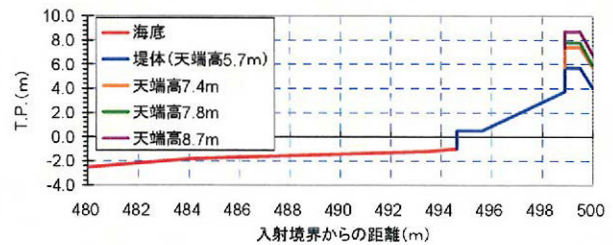


図-14 下新川海岸における計算断面図

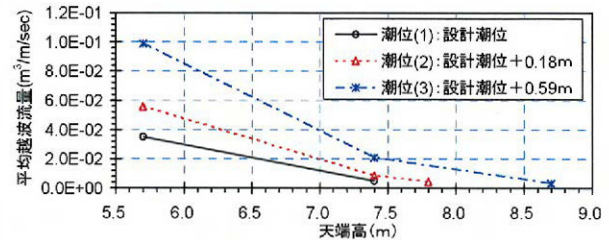


図-15 越波流量と堤防嵩上げ高の関係

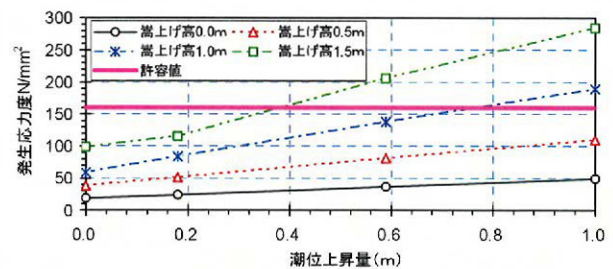


図-16 水位上昇量および堤防嵩上げ高と波返し基部引張応力度の関係（鉄筋径D16の場合）

- 3) 直立堤防・護岸の最大越波流量比  $Q_{max}/Q_m$  は、海面上昇や入射波高の増大に関わらず大きく変動しており、最大越波流量が平均越波流量の5倍~20倍であった。
- 4) 現況と同様の防護水準を確保するためには、潮位0.18m上昇時には0.5m程度、潮位0.59m上昇時には1.0m程度天端高を高上げる必要がある。また、必要天端嵩上げ量は既往の打上げ高算定法からある程度推定することができる。
- 5) 堤防・護岸の天端嵩上げ時には、特に前面に砂浜が存在しない海岸の場合に、波返し基部の引張応力度に対する安全性に留意する必要がある。

## 参考文献

- 1) 沿岸技術研究センター編：CADMAS-SURF 実務計算事例集，沿岸技術ライブラリーNo.30，2008。
- 2) 首藤伸夫：非線形長波の変形—水路幅、水深の変化する場合—，第21回海岸工学講演会論文集，pp.57-63,1974。
- 3) 合田良実：浅海域における波浪の碎波変形，港湾技術研究所報告，第14巻第3号，pp.59-106,1975。
- 4) IPCC Fourth Assessment Report: Climate Change 2007
- 5) 井上雅夫・島田広昭・殿最浩司：不規則波における越波量の出現特性，第36回海岸工学論文集，pp.618-622,1989。
- 6) 中村 充・佐々木康雄・山田穰二：複断面における波の打上げ高に関する研究，第19回海岸工学講演会論文集，pp.309-312,1972。