

消波工の波浪制御特性に関する研究

平成3年の台風17, 19号の被害調査から

Research on characteristics of wave control by the wave energy dissipating structure.

According to the investigation of typhoon number17 and 19 disaster in 1991

杉浦 国男

Kunio, Sugiura

Abstract

A wave energy dissipating structure with water cushion was constructed on the 3rd of March at Mitoyo, Kagawa Prefecture, on land reclaimed along the shore in order to prevent sea wind damage to farm products. This structure is based on the hydraulic model test. Since construction of this structure, I have observed the effect of the wave dissipation compare with the hydraulic model test. Two new-type structure with water cushion have been constructed as a result of this observation. There are two types of wave-energy dissipating structures made up of trapezoidal sections joined along Mitoyo's shoreline. This thesis discusses five types of structure which displayed the effect of preventing sea wind damage to farm products during typhoons 17 and 19 in 1991. Keywords: sea wind damage, type of wave energy dissipating structure

1. はじめに

わが国は四面を海に囲まれ、大小三千余りの島々からなっている。このため長い海岸線に囲まれ総延長は3万4千百キロメートルとなっている。また国土面積は38万平方キロメートルでその大部分は山地となっているため、人口と資産の大半が海岸線に集中しており、わが国の生産・流通の経済活動を始めとする諸活動の中心地域を形成している。このため国は昭和31年に海岸法を制定し、海岸の管理は国土保全であり、国が行うべきものであることを明確にした。これにより海岸保全の法的根拠が整備された。また昭和34年の伊勢湾台風がもたらした臨海地域の壊滅的災害を教訓に海岸保全施設の技術的検討も加えられるようになった。

このころより堤防・護岸前面に異型ブロックを台形状に積み上げた消波工と呼ばれるものが盛んに築造されるようになった。この消波工は不透過な壁体からなる堤防・護岸前面に空隙の多い異型ブロックを台形状に積み上げ、波のエネルギーを砕波により減殺し、波の打ち上げ高、越波量、波力等を軽減しようとするものである。

ところがこの種の消波工は海水飛沫の発生・飛散を助長し、潮風害を広域化させる場合がある。このため海水飛沫の発生・飛散により塩害を受ける水稲・野菜等の農作物、住宅地・変電所等の重要施設の防護には視点をかえた新しい型の消波工が必要である。

香川県では干拓地の農作物への塩害を防止する目的で模型実験を基に遊水部付緩傾斜消波工を設置することとした。そして昭和59年3月に計画延長の一部が完成して以来、模型実験との相違、隣接海岸の従来型台形断面消波工との消波効果の差異等について現地観測を続けてきた。その結果、この消波工は実験で予測した以上の効果が確認されたため、更に試験施工・模型実験を行ない縮小型の経済的な消波工を築造した。一方、隣接地の従来型台形断面消波工は越波量が予想以上に多いと住民から苦情がだされていたため沖合に離岸堤が計画され、施工が始められた。また隣接地に続く南の埋め立て地では護岸法線を60mほど陸側に移動し、護岸・消波工天端高を0.60m上げた施工が行われた。ここに従来型台形断面消波工2、試験施工断面を含めて遊水部付緩傾斜消波工3の計5タイプの消波工が築造された。

平成3年の台風17, 19号は降雨が少なく風が強い典型的な風台風であった。このため農作物への潮風害が顕著となり、香川・愛媛の両県においても瀬戸内海の島々・沿岸域ではミカン・水稲等に大きな被害が発生した。このことが5タイプの消波工の潮風害防止効果の差異を際立たせる結果となった。このため農作物への被害調査を基に各タイプの消波工がどのような効果を発揮したかを述べ、その原因について論及する。そして現在の消波工の問題点を指摘し、その改良工法を提案する。また遊水部付緩傾斜消波工はその構造上の特質から近年、大きな問題となっている地球温暖化による海面上昇により、発生が増大すると考えられる沿岸域の波浪災害防止に対しても有効な工法であることを述べる。

正会員 香川県仲多度土地改良事務所(〒765 善通寺市生野本町一丁目1番12号)

2. 台風17号による潮風害について

平成3年9月14日に来襲した台風17号は風速が小さくまた満潮時と台風の吹き返しによる西風の吹送時間が少しずれたため、香川・愛媛の両県とも護岸等の海岸施設本体への被害は生じていない。しかし一部地域において水稻等に潮風害が発生した。この状況を図-1に示す香川県西部の燧灘に面した地域を中心に述べてみる。

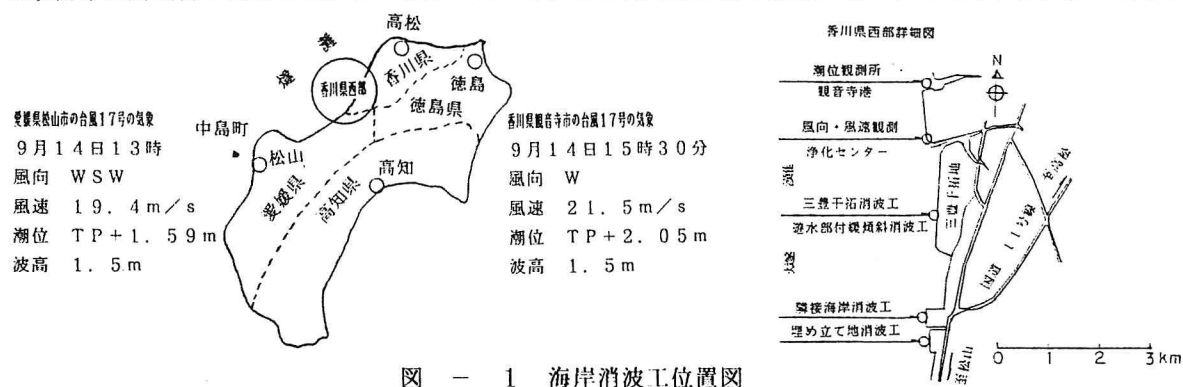


図 - 1 海岸消波工位置図

(1) 従来型台形断面消波工設置の場合

図-2 (a) は現在の標準的な海岸堤防というべきもので直立型堤防前面に台形断面消波工を設置し、消波効果相当分だけ堤防天端高を低くしたものである。この堤防は内海を埋め立て工場用地を造成するために築造されたもので面積を確保するため堤防法線を海側へかなり出したので前面水深は期望平均満潮位で5.0m前後と深くなっている。現在、堤内地には(株)ユニチャームが操業しているが毎年のように冬期風浪時の越波・シブキの侵入に悩まされている。このため沖合に離岸堤の設置が始まっており、北側の一部はすでに設置済みである。

また図-2 (b) は前述のように (a) の消波工では越波量が多く毎年のように潮風害に悩まされているためその南側に法線を60mほど陸側に移動し、護岸・消波工天端高を0.60m上げ潮風害を軽減しようと築造された埋め立て護岸である。

この断面を設計するにあたり考慮されていることは護岸・消波工の天端高を上げると共に工事費を節減するために前法面勾配を図-2 (a) の1割5分について1割3分と急勾配としていることである。これは静水面上容積を増大させることが越波量低減に有効であるという現在の設計基準に沿った経済的な設計ということができる。なお、この消波工の前面水深は護岸法線を陸側に移動したため図に示すように浅くなっている。

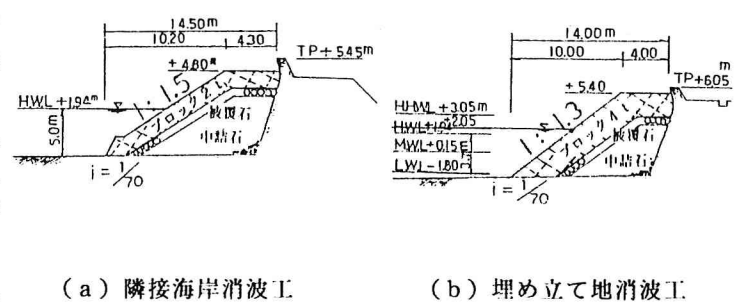


図 - 2 従来型台形断面消波工横断面図

図-2 (a) の断面による台風17号通過時の現地の消波状況・消波機構を述べれば次のとおりである。まず沖から6~8mの高速で進行してきた波は消波工前法面に激突し、瞬時に反射波と小水塊・海水飛沫の発生となり、それが風の影響を受け法面に沿って或いは直接に陸地内へ侵入する。このためそれ以降、波が静水面状の異型ブロック空隙に吸収される量はほとんどない。この結果、静水面上の異型ブロックは波のエネルギー減殺にほとんど効果がなく、海水飛沫の陸地内侵入は堤防前面より20~30mとなっており、防風林に潮風害が発生している。また図-2 (b) の断面は護岸・消波工天端高を0.60m上げたにもかかわらず写真-1でわかるようにその効果は全く現れていない。これは護岸高を少し上げたくらいでは影響がなく、また静水面上の異型ブロックの容積をましても前に述べた理由で効果がないことを示している。このため、海水飛沫の堤防前面からの侵入



写真-1 台形断面消波工の越波状況[図-2(b)]

入は図-2(a)と同じく20~30m程度となっており、結果的には工事費が増大したにもかかわらずその効果はほとんどなかったことになる。

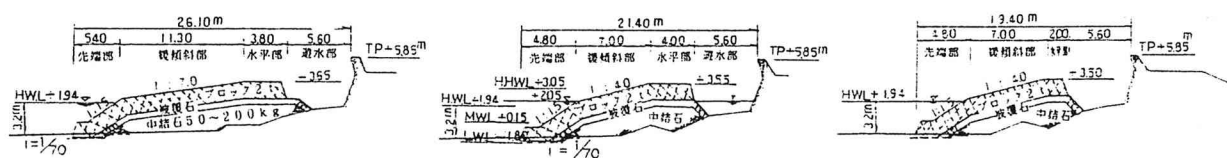
(2) 遊水部付緩傾斜消波工設置の場合

図-3(a)は農作物への潮風害を防止する目的で模型実験を基に海水飛沫の陸地内侵入が2/3程度に減少することが期待されて築造された消波工である。この断面の特徴としては

1. 先端傾斜が緩やかなこと。2. 横断幅が広いこと。3. 天端高が低いこと。4. 遊水部を設けていること。等々である。堤防高は図-2のTP+5.45m、+6.05mの中間にあたるTP+5.85mとなっている。また前面水深は朔望平均満潮位で3.2m程度となっており、海底勾配は約1/70で底質は細砂である。

図-3(b)は(a)の消波工が予想以上の効果を発揮したが工事費が1.0m当たり120万円と従来型台形断面消波工の70~90万円と比較して高いことから更に試験施工・模型実験を行ない決定された断面である。また図-3(c)は(b)の断面決定に当たり試験施工した断面である。

図-3(b)、(c)の消波工は緩傾斜部を(a)の7割から4割に変えることにより断面を縮小しており、工事費は異型ブロックの種類により差はあるものの(b)で80~90万円、(c)で70~80万円となっている。



(a) 当初断面消波工

(b) 縮小断面消波工

(c) 試験施工断面消波工

図 - 3 遊水部付緩傾斜消波工横断面図

図-3(b)の消波工を設置した堤防の台風17号通過時の状況を示したのが写真-2である。

これからわかるように遊水部付緩傾斜消波工は断面を縮小したにもかかわらず海水飛沫の陸地内侵入は全くない。また写真中程に捨て石マウンドのみで未だ異型ブロックが設置されていない部分がみられるがこの部分では遊水部のウォータクッションが効かず波浪エネルギーが残り波が堤防に衝突するもののこの程度の潮位・波高では捨て石工のみでも海水飛沫の堤防よりの侵入がないことがわかる。また写真-3は図-3(c)の試験施工断面であるがこの断面も完全に波浪エネルギーを減殺しているため海水飛沫の陸地内侵入はまったくない。ところが砕波点が陸側に移動したため、砕波したシブキが遊水部に飛び込んでおりその効用が現れ始めている。

(3) 堤防のみで消波工未設置の場合

写真-2、3に示す消波工未設置部の海水飛沫の陸地内侵入は90~100mに達し、水稻に潮風害を発生させた。このため、図-4に示す堤防背後の60~100mの範囲の水稻は台風17号により収穫不能となった。



写真-2 遊水部付緩傾斜消波工の状況[図-3(b)]



写真-3 遊水部付緩傾斜消波工の状況[図-3(c)]

(4) 愛媛県温泉郡中島町の場合

瀬戸内海の離島である中島町では、現地での聞き取り調査によると島の西部の護岸のみでパラペット天端高がTP+3.70mのところでは海水飛沫の陸地内侵入が10~15mであり、また天端高がTP+5.0mで前面に乱積の異型ブロック消波工が設置されているところは零であった。低い護岸の背後は県道となっているため

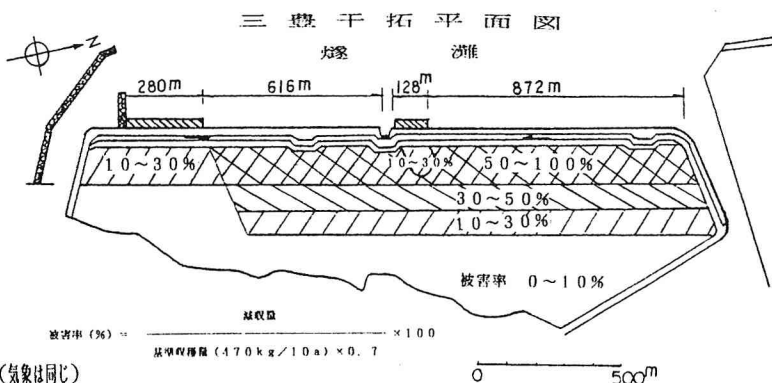
それに続くミカン園まで海水飛沫は侵入せず、台風17号では潮風害は発生しなかったとのことである。

3. 台風19号による潮風害状況について

平成3年9月16日9時に北緯14度50分、東経158度40分に発生した台風19号は9月28日15時に温帯低気圧になるまでわが国に大きな被害をもたらした。青森のリンゴを始めとする農作物への被害はマスコミ等でも大々的に報道された。香川・愛媛の両県でも9月27日18時ごろより風速が強まり22時30分（愛媛県中島港、松山港）、24時00分（香川県観音寺港）の満潮と重なり、ミカン・水稲・レタス等の農作物はもとより海岸堤防・護岸・突堤などの海岸保全施設にも大きな被害をもたらした。特に愛媛県では台風19号は降雨がほとんど無く強い風が吹いたため潮風害をまともに受け、かんきつ類の被害額は141億8千万円と推定されている。このため全国の生産量の15%を占めるミカン王国の地位も和歌山県に抜かれそうな状況となった。中でも温泉郡中島町は島の主産物であるミカンが壊滅的打撃を受け、高齢者の多い農家は存亡の瀬戸際であえいている。次に香川県西部と愛媛県中島町の農作物への潮風害発生状況について述べてみる。

(1) 香川県西部の三豊干拓地場合（風向SW、風速22.0m/s、潮位TP+2.3m、波高2.1m）

今回の台風による潮風害について三豊農業共済組合の藤田・高橋氏提供の資料と筆者の調査を取りまとめたものを図-4に示す。この図から見ると消波工未設置部では潮風害は堤防前面より陸地内へ400mほど及んでおり、水稲被害率は60~400mの範囲で100~10%となっている。一方、消波工設置部では60~200mの範囲で30~10%を示している。ところが水稲が黄熟期であったため、この被害率の中には強風による水稲の倒壊の影響も含まれている。これを考慮すれば消波工設置部の潮害はさらに少なくなる。このことは堤防のすぐ背後のレタス畑がまったく潮害を受けていないことから推測できる。なお、この潮位・波高の場合には写真-3の捨て石工のみで異型ブロック未設置の場合には波浪エネルギーの減殺が不十分で背後地に潮風害を発生させた。



(2) 従来型台形断面消波工設置の場合(観音寺)

図-2で示す堤防・護岸の台風19号通過時 図-4 台風19号による三豊干拓被害状況調査の越波状況は当直警備員によると堤防を越波した小水塊・海水飛沫は堤防前面より工場内へ80~90mほど侵入していたとのことである。調査の結果においても図-2の両断面とも防風林等にその付近まで潮風害が及んでいるのが確認できた。

(3) 愛媛県温泉郡中島町の場合（風向WSW、風速26.2m、潮位TP+2.0m、波高2.2m）

中島町は松山の北10数キロメートルにある瀬戸内海きってのミカンの島であるが台風19号により島内のミカン畑1600ヘクタールのほとんどが被害を受けた。その被害は中島町青果農業協同組合によると加盟農家数1492戸のうち70%以上の収穫減になるのが全体の4割、収穫ゼロになる農家も304戸にのぼる壊滅的な打撃を受けたとのことである。この最大の原因は台風19号が前述したように降雨が少なく風が強い台風であったことによる。台風で巻き上げられた海水はシブキになり強風にあおられて高さ300mちかい山も越え、南西部の日当たりがよく高品質のミカンがとれる地域を直撃した。地元民が「雨さえ降っていたら……」となげくように典型的な潮風害だったのである。

写真-4は護岸高がTP+5.0mと隣接海岸より1.3m高く、前面に台形断面消波工を設置しているにもかかわらず潮風害を受け、ミカンの木が枯れ出した被災後16日目の状況である。防風林としての杉の木は焼け跡のように茶褐色に変わりこの地区のミカンは山頂までほとんど枯れており、烈風が海水飛沫を吹き上げたことを示している。

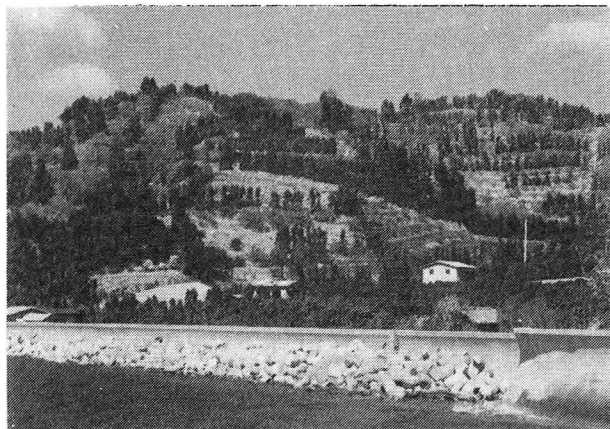


写真-4 中島本島西側の潮風害状況

4. 海岸消波工築造基準の指針について

現在、消波工の築造は昭和62年3月に改訂された海岸保全施設築造基準解説のP176の3・2・6・7の消波工において「消波工は波の打ち上げ高、越波量及び衝撃砕波圧を減ずる等の目的で設けるものとし、適正な規模のものでなければならない。」とされ、図-5の静水面上の①の部分が消波に有効に作用するという考え方のもとに表-1の消波工諸元の標準が定められている。

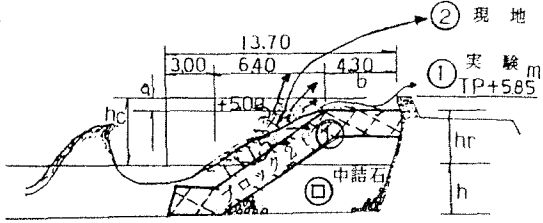
この標準に基づいて全国の海岸堤防・護岸前面に消波工が設置されており、図-2(a)もその例である。そして消波工設置後も越波量が多い場合には図-2(b)のような設計がなされる。ところが台風17号の写真からもわかるようにほとんど効果がない。これは筆者が従来から指摘しているように築造基準解説の標準は実験的研究成果に基づいて作成されたものであり、現地の消波機構と大きく異なることによる。模型実験では沖から進行してきた波は築造基準解説が示すように図-5①の経過をたどり消波されるため、静水面上の①の部分が波のエネルギー減殺に有効に作用する。

ところが現地においては進行波は②のように消波工法面に衝突すると同時に小水塊・海水飛沫が発生し、それが法面に沿って或いは直接に陸地内へ侵入する。このため、それ以降、波が静水面上の異型ブロック空隙に吸収される量はわずかである。この結果、静水面上の異型ブロックは消波に有効なものとなっていない。

この欠点を克服したのが前述した4つの特徴を有する遊水部付緩傾斜消波工である。このため、今回基本断面として図-6の断面を提案したい。この断面は1. 先端傾斜を4割程度の緩勾配とする。2. 天端高を設計潮位から波高の0.2~0.4倍とする。3. 天端高を下げた分だけ横断幅を広くする。4. 遊水部を設ける。という従来の消波工と異なる考えかたに基づいている。1. は小水塊・海水飛沫の発生・飛散を少なくすることに有効であり2. 3は消波工を構成しているすべての異型ブロックが波のエネルギー減殺に関与し、効果的な波浪制御が可能となる。また4. は砕波点を堤防より遠ざけ、波のエネルギーがのこった場合、水クッションにより完全に吸収するのに効果的な作用をする。

図-6の消波工を表-2に基づいて設計・施工すれば海底勾配が1/20以下のところでは工事費も従来型台形断面消波工と大差なく施工ができ消波効果の水準も極めて高いものとなる。そしてこのタイプの消波工を設置すれば台風19号で壊滅的な打撃を受けた愛媛県中島町の写真-4のような事態も回避することができよう。

なお昭和35年には永井・上田がまた最近では水産工学研究所の山本らが台形断面消波工を海側へ出した遊水部付消波工の模型実験で越波量が低減することを報告しているところがこの消波工は前述した1. 2. 3. の条件を満たしていないため、工事費の増大の割には効果が少ないということであり普及していない。またこの実験では消波機構・遊水部の水位上昇等の結果において現地の実現象を適確に表現していない。これは現地の風速・海水の粘性・ブロックの透過性等々が大きく影響する海域の三次元的な不規則波による非線形的な越波現象をフルード相似則に基づいた模型実験で求めることの困難さを示している。

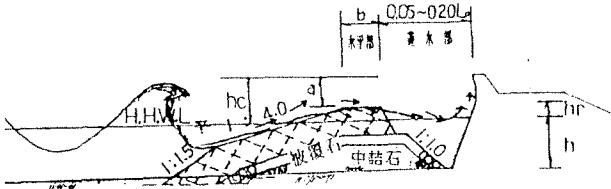


h:堤防の堤脚水深 hc:堤防天端の水面上の高さ hr:消波工天端の水面上の高さ
a:a=hc-hr S:消波工の水面上の断面 (関の2の部分) Ho:沖波高さ Lo:沖波波長

図-5 消波工・消波機構の説明図

表-1 消波工の諸元の標準

消波工の高さ	hr	hc-hr	hc-hr	2πS
水 深	Ha	Ha	h	Ha/La
$h/H_a = 0$	0.5	1.0	-	0.0
$h/H_a = 0.5$	0.6	1.5	3.5	0.2
$h/H_a = 1.0$	0.8	2.0	2.5	0.4
$h/H_a = 2.0$ 以上	0.7	1.7	1.0	0.2



h:堤防の堤脚水深 hc:堤防天端の水面上の高さ hr:消波工天端の水面上の高さ
a:a=hc-hr S:消波工の水面上の断面 (関の2の部分) Ho:沖波高さ Lo:沖波波長

図-6 遊水部付緩傾斜消波工の標準断面

表-2 遊水部付緩傾斜消波工の設計諸元

消波工の高さ	hr	hc-hr	hc-hr	2πS
水 深	Ha	Ha	h	Ha/La
$h/H_a = 0$	0.2	0.8	-	0.0
$h/H_a = 0.5$	0.3	1.2	3.0	0.2
$h/H_a = 1.0$	0.4	1.6	2.0	0.3
$h/H_a = 2.0$ 以上	0.4	1.4	0.8	0.2

(注) 遊水部幅B、Hc、Hrは単位とする。またHc/Hr > 0.0、Hc/Hr < 0.0の場合にはHc/Hrの値をHc/Hrの値に置き換える。またHc/Hr < 0.0の場合にはHc/Hrの値をHc/Hrの値に置き換える。

5. 地球温暖化による海面上昇と波浪対策工法について

現在、地球環境問題が世界的に大きな注目を浴びている。この中でも二酸化炭素の増加による地球温暖化は地球環境問題の主要なテーマの一つである。地球温暖化の影響としては海水温が上昇し、海水の膨脹、南極等の氷床・氷河の融解が起こり、海水面が上昇することが考えられる。最近の科学的知見によると現在の状態で二酸化炭素が増大すれば西暦2030年代には地球の平均気温は1.5～3.5℃上昇し、海水面は20～110cm上昇すると予想されている。この海面上昇による問題としては1. 沿岸低地の浸水 2. 河口氾濫域の拡大による災害ポテンシャルの増大 3. 沿岸域の地下水への塩水侵入等々が考えられる。この中で1. 2. に関するものとして沿岸部の波浪災害の増大がある。図-7は堤防の堤脚位置が0から-7mの位置に置かれた時に現地換算で2～4mの来襲波の堤防への打ち上げ高がどう変化するかを示した土木研究所の実験結果である。これによると堤防が汀線位置（堤脚水深0m）にあるときには、波高が2mでも4mでも打ち上げ高は同じで僅かに0.9mである。ところが堤脚水深が1mになると途端に3.2mと3倍以上になる。2mでは6mに3mでは7.4～8.4mと高くなっている。そして波高が4mの場合は水深4.5mで11.2mと大きなうち上げ高となっている。

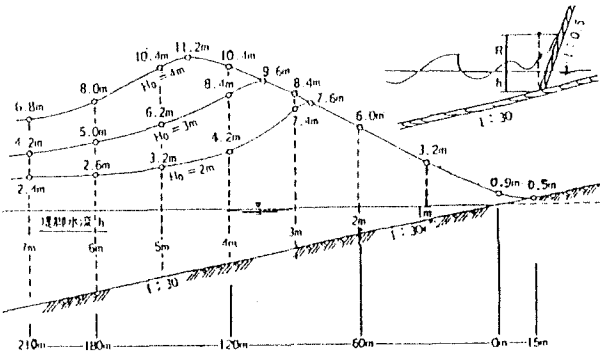


図-7 堤脚水深と波の打ち上げ高(周期8秒 土研の実験)

ここで堤防高を波の打ち上げ高一杯にとりとして計算してみると、海面上昇以前の計画潮位時の堤脚水深が2mであったとすると、堤防高は潮位上6mの高さでよいしかし海面上昇が1mあったとすると、上昇分をまず1mかさあげし、更に波のうちあげ高の増加分2.4m（波高3m以上の場合）を高くする必要が生じ、従来と同程度の機能をもたせるには計3.4mのかさあげが必要となる。このことは海面上昇が海岸保全施設にいかにか大きな影響を与えるかを示している。



堤防工型式	遊水部付緩傾斜消波工設置堤防	堤防のみ	備考
海面	消波工設置堤防		
海面上昇前の堤防高	+2.2m	+6.0m	上昇前高潮位より
海面上昇後の堤防高	+2.2m	+8.4m	上昇後高潮位より

ところが図-8に示すように遊水部付緩傾斜消波工を設置すれば海面上昇以前の堤防高は計画潮位上2.2m（波高：3m）ほどでよく、また1mの海面上昇があった場合には堤防高・消波工天端高を1.0m上げればよい。このため遊水部付緩傾斜消波工設置堤防はそれが設置されていない堤防より海水面上昇後においてもその高さを低くすることができ、また海水面上昇の影響を少なく受けとめる工法ということが出来る。このことから遊水部付緩傾斜消波工は海水面上昇による波浪災害防止工法としてきわめて有利な工法ということが出来る。

図-8 遊水部付緩傾斜消波工の波浪制御効果

6. おわりに

台風17、19号は降雨がほとんどなく風が強い典型的な風台風であり潮風害を受けやすい条件下にあった。このことが遊水部付緩傾斜消波工が従来型台形断面消波工に比較してきわめて消波効果が優れていることを証明する結果となったのである。これは従来型台形断面消波工が模型実験と現地ではその消波機構が異なり静水面上の異型ブロックが消波に有効に作用しないのに対して遊水部付緩傾斜消波工はその欠点が克服されていることによる。またこの消波工は天端高が低い等の構造上の特徴から近年、問題となっている地球温暖化による海水面上昇に対しても波浪災害防止工法として優れた工法であることをのべた。

最後に今回の台風は海岸工学が経験工学的要素が非常に強いものであり、効果的な波浪制御構造物の築造にあたり、現地観測の重要性を認識させるものとなった。

参考文献

1) 大木・橋田・吉井・黒川・杉浦：遊水部付緩傾斜消波工の潮風害防止効果について、第34回海岸工学論文集 pp526~530、1987 2) 杉浦国男：消波工の波浪制御特性に関する研究、土木学会中国四国支部 pp246~247 1991