

沿岸防災技術研究所の活動について（平成 26 年度）

高山 知司

（一財）沿岸技術研究センター 参与
沿岸防災技術研究所長

沿岸技術研究センターは沿岸防災技術研究所を平成 17 年 12 月に設立した。沿岸防災技術研究所では総合的な沿岸防災技術について、調査研究を進めるとともに、セミナーやワークショップを開催するなど沿岸防災に係わる新しい情報の発信に取り組んできている。本稿では平成 25 年度における沿岸防災研究所の取り組みを紹介する。

キーワード：爆弾低気圧，うねり性波浪，設計波の見直し，第 2 回日韓沿岸技術研究ワークショップ，書籍「TSUNAMI」

1. はじめに

1951 年から 2014 年までの間に日本に上陸した台風のうち上陸直前の中心気圧が低い上位 10 位までを気象庁が調べた結果によると、1 位が 1961 年の第 2 室戸台風で 925hPa、2 位が 1959 年の伊勢湾台風で 929hPa あった。また、5 番目から 10 番目までの台風は 940hPa であった。1951 年以前の台風を含めると 1 位は 911hPa の室戸台風である。そして、10 個の台風のうち、1950 年代に起きたものが 4 個、1960 年代が 3 個、1970 年代が 1 個、1980 年代が 0 個、90 年代が 2 個、2000 年代と 2010 年代は 0 個であった。これからわかることは、1950 年代と 1960 年代に大きな台風が来襲しており、それから 1990 年までは大きな台風は来襲してなく、1990 年代に入って少し大きい台風が来襲するようになったが、2000 年代に入って大きな台風は上陸しなくなっている。しかしながら、近年は台風による風速も降雨強度も非常に大きくなっているように感じる。

このような状況の中で、技術の進歩もあって港湾構造物の被災は少なくなってきたが、近年になって被災の要因に変化が起きているようにみられる。気圧が 24 時間で 50hPa 以上も急激に低下して、台風並みに発達した爆弾低気圧によって起こされた波浪によって日本海側で大きな被害が 2012 年や 2014 年に生じた。また、沖波では設計波高を下回っていたが、周期の長いうねり性波浪による防波堤や護岸の被災が顕在化してきている。例えば、2006 年には台風 12 号によって起こされた波高 4.5m、周期 16s のうねり性波浪が来襲して久慈港半崎地区の護岸パラペットが崩壊した。また、2008 年 2 月に富山湾に発生したうねり性波浪（寄り回り波と呼ばれている）は波高 9.92m、周期 16.2s になり、既往最高の波浪となつて、伏木富山港の防波堤 1500m のうち 855m を被災させた。さらに、2013 年には台風 26 号が通り過ぎた後に来襲した波高 7.5m、

周期 15.3s のうねり性波浪によって鹿島港の防波堤が被災したと考えられている。

以上のように、急激に発達して突然設計波を超えるような波が来襲して防波堤等の港湾構造物が被災するような場合、風波とは異なる非常に周期の長いうねり性の波浪によって被災する場合とに分けられる。前者については、爆弾低気圧として近年に名前が付けられた特異な現象である。また、後者については、設計波の設定において十分には考慮してこなかった波である。

近年、後者のうねり性波浪を設計の中で考慮する必要があるとの観点から検討がなされてきている。そこで、本報告では、うねり性波浪を含めた設計波の見直しの方向性について述べるとともに、沿岸防災技術研究所の平成 26 年度において取り組んだ調査等について紹介する。

2. 設計波の見直しの方向性

2.1 設計波の設定方法の現況

現行の基準によると、港湾の施設の設計に用いる波は、一般に長期間（基準では 30 年以上を標準）における異常時の極大波を数多く抽出し、抽出した極大波に対して極値統計解析を行い、採用する再現期間に対応する波浪を設計波としている。ここで極大波とは、異常時の気象擾乱によって波浪が発生・発達し、減衰する波高の時系列変化の中で最大の波高となる波のことである。このように、極大波を統計解析に用いるのは、それぞれの極大波が無相関で独立になるようにするためである。図-1 のような異常波浪の時系列変化が得られた場合、極大波は赤○印で示した波になる。この波は有義波高 7.5m、有義周期 11.5s となつて、風波性の波である。

再現期間としては、防波堤の場合、一般に 50 年が用いられており、設計波としては、平均的な発生間隔が再現期間になる波浪である。構造物の重要度によっては 50 年より長くともできる。上五島や白島における国家備蓄用海上貯油施設では、再現期間を 100 年とすることを原則としている。

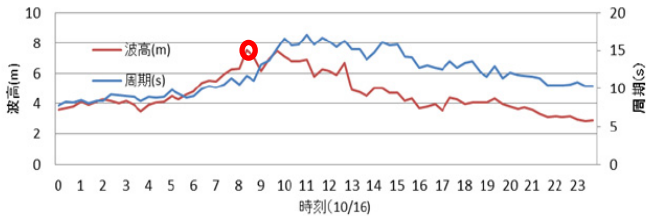


図 - 1 極大波の選定

異常時の波浪としては、海底地形の影響を受けていない沖波状態の波を用いなければならない。波浪観測値を用いる場合には、十分深いところに設置された波高計の波浪データを用いることが重要である。しかし、30 年以上にわたる長期間の観測値がない場合には、波浪推算値を用いなくてはならないが、観測値と比較して推算精度を明確にしておくことが重要である。

長期間の間にいくつの異常時波浪を抽出して統計解析するかについては明確な指標はないが、過去においては、年最大波浪を用いて解析されることが多かった。年最大波浪を用いると大きな波浪が年 2 回以上発生した場合、2 番目以降の大きな波が抜け落ちることになる。そのために、大きな異常波浪から抽出することが行われるようになった。長期間 K 年に対して N 個の異常波浪を抽出した場合、異常波浪の出現間隔は K/N 年になる。 N 個の波高を用いて極値統計解析を行い、波高 H が H_D を超えない確率(未超過確率)が $P[H < H_D]$ で与えられるとすると、再現期間 R 年の設計波高 H_D は次式を満足するときの H_D である。

$$\frac{K}{NR} = 1 - P[H < H_D] \quad (1)$$

20 年間に 16 個の異常波浪データを用いて極値統計解析して、再現期間 50 年の波を設計波とすると、設計波の未超過確率は

$$P[H < H_D] = 0.975 \quad (2)$$

となる。

2.2 現状の設計波設定法の問題点

前節で述べたように、現状では異常時波浪の時系列変化から最大の波高になる極大波を対象にして設計波を設定している。そのために、極大波としては波形勾配が比較的大きな風波が選定されることが多い。これ

は、異常時波浪として海底地形の影響を受けていない沖波を対象にしているためである。その結果として、設計対象構造物の設置点における最大の波浪を選定していることには必ずしもならないという問題がある。

設計波の周期は、既に述べたように抽出した極大波の波高と周期の平均的な相関関係を用いて、設計波の波高に対応する周期として求められる。しかしながら、極大波には風波が多く含まれているために、波高と周期の相関は風波の方向に引っ張られ、比較的、周期は短くなる。風波の波形勾配は 0.035 程度であるから、設計波の波高を 7.7m とすると、周期は 11.9s になる。もしうねり性で波形勾配が 0.02 であったとすると、周期は 15.7s になり、3.8s も長くなる。1/30 の一様勾配で海岸において水深が 15m の地点における波高を上記の条件の風波とうねり性波浪について図-2 から求めてみる。換算沖波波高はどちらも 7.7m とすると、

$$\text{風波: } H_{1/3} = 1.0 \times 7.7 = 7.7\text{m}$$

$$\text{うねり性波浪: } H_{1/3} = 1.1 \times 7.7 = 8.5\text{m}$$

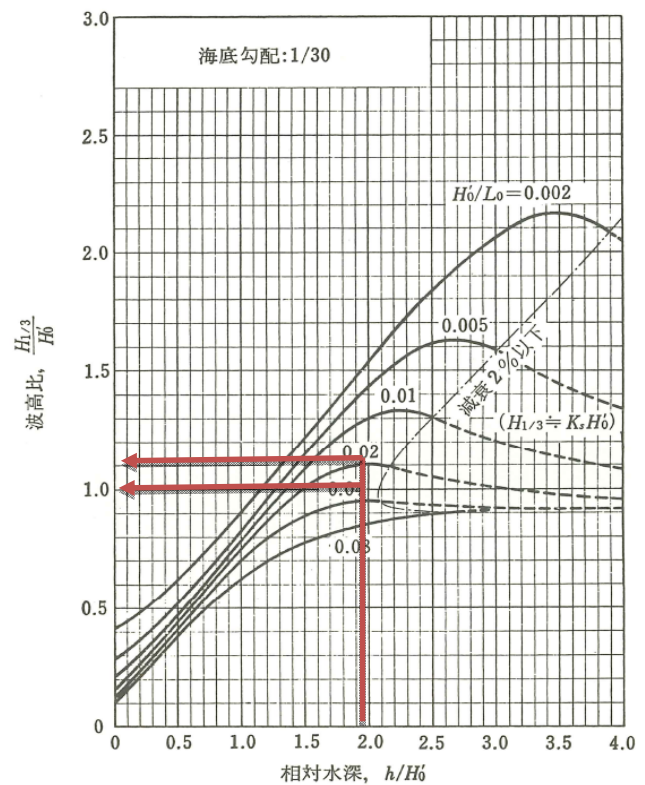


図 - 2 波形勾配による波高の違い

このように周期の違いによって波高が 0.8m も異なることになる。最高波高に直すと更に大きく異なることになる。実際の海岸では屈折等の影響で上記以上に差が出る場合がある。

図-3 は直立防波堤に作用する砕波の平均波圧強度を示している²⁾。この図の横軸は沖波の波形勾配(厳密には換算沖波波高に対する波形勾配)である。縦軸

は平均波圧強度を示しており、 H_b は碎波波高で、 H_{max} に対応している。この図で分かるように波形勾配が 0.035 程度の風波の場合、波圧強度は海底勾配が 1/15 と急であっても 1.5 程度であるが、うねり性波浪で波形勾配が 0.02 の場合、平均波圧強度は 1/15 の急勾配では 3.5、1/50 程度になっても 2.2 となって、風波性の波よりかなり大きいことがわかる。

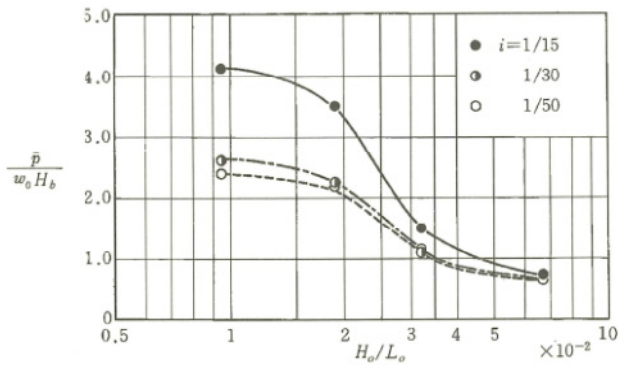


図 - 3 沖波波形勾配による平均波圧強度の相違

このように設計波の周期を正確に設定しないと、構造物に作用する波高、更には、波力を小さく見積もる可能性があることが分かる。現行の設計波の設定法では風波性とうねり性波浪とを区別することなく用いていることが問題である。

2.3 設計波の設定法における今後の方向性

2013 年の台風 26 号によるうねり性波浪で鹿島港の防波堤が被災した可能性があることから、横浜港湾空港技術調査事務所においては設計沖波算定におけるうねり性波浪の重要性について検討している³⁾。これを参照しながら設計波設定法の今後の方向性について述べる。

図-4は防波堤が被災したときの波高・周期の時間変化を示したもので、横軸に有義波高、縦軸に有義波周期を取っている。赤線は波高が最大になるまでの発達期における波高・周期の時間的変化を示し、青線は波高が最大になった後の減衰期における時間的変化である。

鹿島港に台風が最も近づくまでは波高も周期も増大し、10月16日8:20に最大の波高 $H_{1/3} = 7.52m$ となる。波浪の発達時における波形勾配は 0.03 と 0.04 の間にあり、風波的特性である。その後、波高は少し低下するが、周期は急激に増大し、9:40には最大波高にほぼ等しい $H_{1/3} = 7.50m$ になるが、周期は $T_{1/3} = 15.3s$ とかなり長くなっている。さらに、周期は増大し、11:00には最長の周期 $T_{1/3} = 17.2s$ になる

が、波高は $H_{1/3} = 6.90m$ まで下がる。その後は波高も周期も下がる。減衰期の波形勾配は 0.01~0.02 の間にある。このような波高と周期の変化パターンは台風の経路によって異なると考えられる。

このような変化をする波高と周期に対して、風波とうねり性波浪とを識別する条件が必要であるが、図-4からわかるように波形勾配で分けるのが合理的であると考えられる。そこで、各対象擾乱において波高最大時と周期最大時での波形勾配の発生頻度を調べると図-5のようになった。風波性とうねり性の発生頻度の境界が波形勾配 0.025 付近にあり、波形勾配 0.025 を風波とうねり性波浪の区分境界としてもよいと思われる。

鹿島観測値(2013年10月15日~19日)

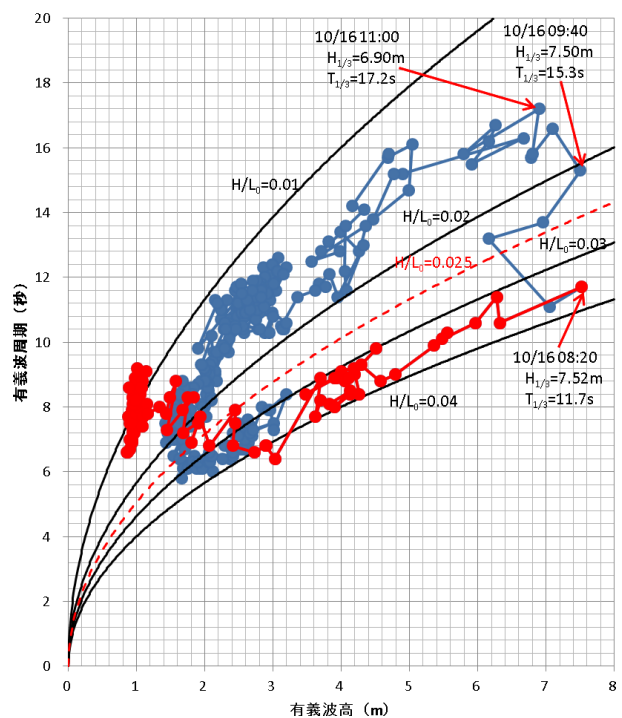


図 - 4 鹿島港防波堤被災時における波浪特性の時間変化

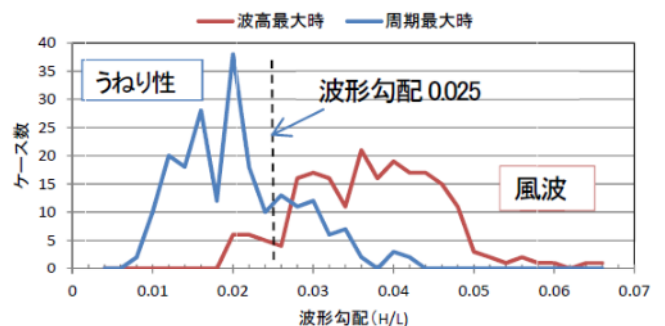


図 - 5 風波とうねり性波浪の分離

設計波を設定するに当たって、異常時の時系列波浪から波形勾配が 0.025 以上になる風波とそれ以下のうねり性波浪に分け、それぞれの条件を満足する最大の

有義波を抽出する．図-6の異常時波浪の時系列から波形勾配が0.025より大きい風波性波浪の極大波は濃紺○印の波になり，0.025より小さいうねり性波浪の極大波は濃紺△印の波になる．

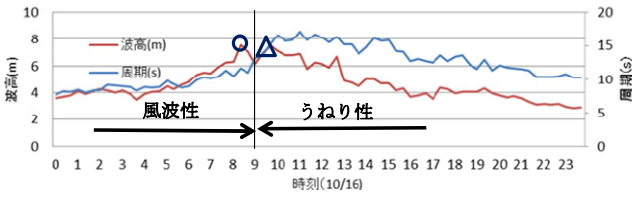


図 - 6 風波とうねり性波浪の極大波

このようにして選定した風波性波浪とうねり性波浪のグループに分けて，プロットすると図-7が得られたと仮定する．黒塗りの丸が風波性で，白抜きの丸がうねり性である．そして，最もよい相関を示す波形勾配がそれぞれ，赤と青の太線で示されている．風波性波浪で平均の波形勾配が0.036，うねり性波浪で0.025になっていたとする．

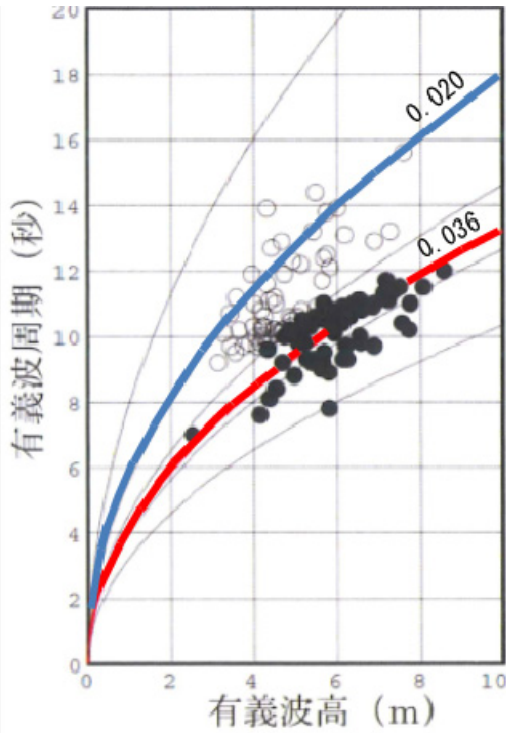


図 - 7 風波とうねり性波浪における波高と周期の関係

極値統計解析を行った結果，風波性とうねり性波浪の極値分布形が $k = 1.1$ のワイブル分布になったと仮定する．そして，風波性波浪の確率分布が図-8のようになったとする．適合度のよい分布関数が風波性とうねり性波浪に関して次式のように求められたとする．

風波性：
$$H_{1/3} = 1.49r_v + 2.81 \quad (3)$$

うねり性：
$$H_{1/3} = 1.41r_v + 2.40 \quad (4)$$

ここに，

$$r_v = [-\ln\{1 - P[H \leq H_{m,N}]\}]^{1/k} \quad (5)$$

$$P[H \leq H_{m,N}] = 1 - \frac{m - \alpha}{N + \beta} \quad (6)$$

波浪のデータ個数を N ，大きい方から数えて m 番目の波高を $H_{m,N}$ とする． $k = 1.1$ のワイブル分布の場合， $\alpha = 0.46$ ， $\beta = 0.50$ となる．

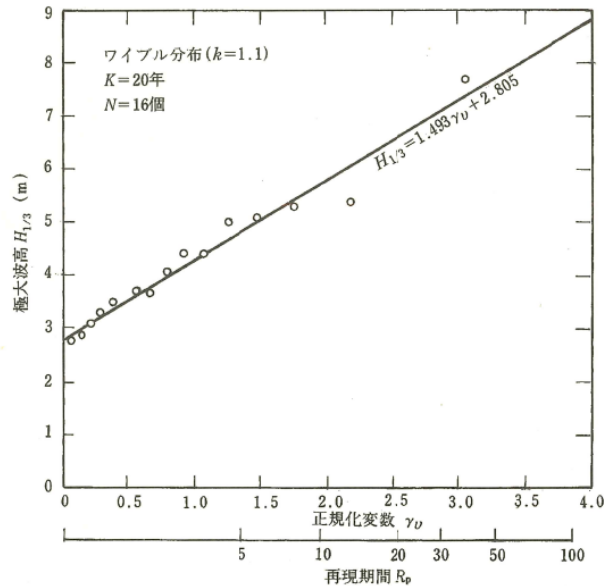


図 - 8 風波性波浪の極値分布の例

$K = 20$ 年間に $N = 16$ 個を用いたとすると，再現期間 $R = 50$ 年の設計波に対する未超過確率 $P[H < H_D]$ は式 (1) を用いて 0.975 と求まり， r_v の値は

$$r_v = [-\ln\{1 - P[H \leq H_D]\}]^{1/k} = 3.28 \quad (7)$$

となり，設計沖波は，式 (3) と (4) から次のように求まる．

風波性：
$$H_D = 7.7 \text{ m}$$

うねり性：
$$H_D = 7.0 \text{ m}$$

これらの波高に対応する周期は平均波形勾配を用いて，次式で求める．

$$T_D = \sqrt{\frac{2\pi H_D}{g \bar{S}_w}} \quad (8)$$

ここに， \bar{S}_w は平均波形勾配である．

式 (8) を用いて周期を求めると，以下のようになる．

風波性：
$$T_D = 11.7 \text{ s}$$

うねり性：
$$T_D = 15.0 \text{ s}$$

このようにして求めた風波性とうねり性の設計沖

波を用いて、波浪変形計算を実施し、構造物に与える影響が大きい波を設計波として採用するのが合理的だと考える。この方法を採用する場合、常に波浪観測値が得られるわけではないので、波浪推算による補完が必要となる。推算法によってはうねり性波浪を小さく見積もるものもあるので、うねりの算定精度について十分に検討しておくことが重要となる。

3. 沿岸防災技術研究所の業務

沿岸防災技術研究所の業務は、以下の業務について取り組んでいる。

- ①沿岸防災技術に関する情報の収集・整理
- ②沿岸防災技術に関する調査研究の実施
- ③沿岸防災技術に関する政策提言
- ④沿岸防災技術に関する技術の普及
- ⑤大規模災害に関する調査研究

4. シンポジウム等の開催

沿岸防災の重要性についての啓発や防災技術の情報交換のため当センターでは国内外でシンポジウムやセミナー等を開催しており、ここでは沿岸防災関連のものについてのみ紹介する。

4.1 コースタル・テクノロジー-2013における防災関連論文の発表

2014年11月19日（水）に発明会館ホール（東京都港区）において「コースタルテクノロジー-2014」を開催し、14編の論文を発表した。その内、防災関連については以下のような4編の論文発表を行っている。論文の詳細については、「沿岸技術研究センター論文集 No.14 (2014)」を参照してほしい。

1) 港湾における津波避難施設の設計手法等の検討について

前調査部 主任研究員 高瀬英悟
 調査部 調査役 金正富雄
 国土交通省 港湾局 海岸・防災課
 沿岸域管理係長 岡田雅俊

平成23年3月11日に発生した東日本大震災における津波は防波堤等の設計外力を大きく上回るとともに、地域防災計画の避難想定をも超えており、津波防災について根底からの見直しを迫っている。この教訓と切迫する大規模地震に対応するため、港湾の特性を踏まえた津波避難施設を設計する際に参考となる「港湾の津波避難施設の設計ガイドライン」を取りまとめた。

2) 大阪湾東部地域の地震・津波対策について

調査役 福間 正
 前調査部 主任研究員 青田 徹
 近畿地方整備局 大阪港湾・空港事務所

統括建設管理官 梅谷登志文

東日本大震災では2万人に迫る犠牲者が出る等、未曾有の大災害となった。これを契機に近畿地方整備局では、「近畿地方の港湾における地震・津波対策の基本方針」を策定し、引き続き各地域毎に対策の具体化を図ってきた。ここでは、大阪湾東部地域における地震・津波対策の検討内容について記述している。

3) 大規模台風の高潮・高波に起因する志布志港内の存置物流出と防波堤被害の検討

調査部 主任研究員 山本隆信

参与 高山知司

九州地方整備局 志布志港湾事務所

工務課 沿岸防災対策官 光行忠司

同上事務所 同課 沿岸防災調査官 松岡英雄

志布志港は台風の常襲地帯に位置しているために、今後想定される大規模台風に対しても被害を最小限に防ぎ、港湾機能や経済活動を保持することが重要となる。本報告では、志布志港を対象にして、来襲する可能性の高い最大規模の台風を設定するとともに、その台風によって起こされる高潮と高波のシミュレーションを行った。現地踏査を行って得たコンテナや木材などの存置物がこの台風によって起こされた高潮や高波によって流出被害を受ける可能性について検討するとともに、既設防波堤の安定性についても調べ、必要な場合にはその補強対策について検討を行っている。

4) 高潮対策における水門の設置と内水対策について

調査部 主任研究員 笹井 剛

調査役 白井博巳

調査役 岸良安治

九州地方整備局 下関港湾事務所

海岸課 課長 中島謙二郎

同上事務所 所長 仙崎達治

下関港海岸では、海岸保全施設整備事業として、長府・壇ノ浦地区と山陽地区の高潮対策事業が進められている。そのうち山陽地区は、臨海部の低平地に発電所を含む大規模工場や工業団地からなる工業地帯が形成され、背後地は市街地となっている。整備に当たっては、整備区域内に中小の河川が存在することから、高潮対策を行うとともに、河川からの流入に対する内水対策を行う必要がある。本報告では、下関海岸山陽地区の整備計画について、検討結果をまとめたものである。

4.2 第2回日韓沿岸技術研究ワークショップ

本ワークショップの始まりは、2009年10月7日に当沿岸技術研究センター（CDIT）と韓国海洋研究院（KORDI: Korean Ocean Research & Development Institute）との間で研究交流に関する協定書を調印したこともあって、隔年ごとにそれぞれの国で開催す

ることにしてきたものである。CDITとKORDIとの共同沿岸防災ワークショップは韓国と我が国と交互に計4回行われた。韓国海洋研究院は2012年6月1日に韓国海洋科学技術院(KIOST: Korean Institute of Ocean Science and Technology)として名称変更することによって新たな歴史を開始している。そして、みなと総合研究所(WAVE)が2012年にKIOSTと「沿岸技術分野の協力覚書」を締結したこともあって、従前からKIOSTと研究協力を行っている港湾空港技術研究所(PARI)も含めて、新たに日韓沿岸技術研究ワークショップが始まった。第1回ワークショップは2013年9月5日にK-Seoul Hotelで開催され、今回が新しくなったワークショップの第2回目である。

KIOST一行、14名が来日した2014年9月24日はテクニカルツアー①として、横浜港とみなと21地区の見学を行った。図-9は赤レンガ倉庫群の見学の様子である。



図-9 みなと21地区の見学の様子

第2回ワークショップは2014年9月25日にワークピア横浜で開催された。参加者は74名であった。

開会挨拶がCDITの川島 毅理事長とKIOSTのGi-Hoon Hong院長によって行われたのちに、最初に、基調講演として「横浜港と横浜市の中心街の再開発ーみなとみらい21の背景」と題して、(一財)みなと総合研究財団の金田孝之理事長の講演があった。

基調講演に続き、最初のセッション「沿岸防災」では韓国における災害防護のための海洋環境予測システムの開発や2011年の高さ5mの津波による波崎での地形変化、和歌山下津港における津波に対する粘り強い防波堤構造に関する調査について発表があった。

次に特別講演として、KIOSTの安 熙道名誉研究員による「韓国における沿岸・海洋資源開発の現状と未来」と題する講演があった。

次に、セッション「沿岸管理」では、生態系管理のために重要となる関係者の参画や底生生物種の豊かさに係る底質の特性、東京湾の再生行動計画のもとで

の公私の協力について発表があった。

次のセッション「沿岸環境」では、海岸環境における数値モデルと観測データに求められる最少要件、海中による木材の劣化とそれに対する防護法、浚渫土砂の有効活用のための危険物質の管理について発表があった。

最後のセッション「技術開発」では、クウェイト湾におけるグリーンタイガーエビの新しい養殖計画と日本における港湾施設の有効活用と維持、第3次世代のカムインズの開発について発表された。

図-10は講演会場における活発な討議の様子を示しており、各セッションとも多くの質疑が交わされた。

明るく、9月26日にはテクニカルツアー②として、港空研の実験施設の見学が行われた。



図-10 ワークショップ会場の様子

5. 調査研究の実施

5.1 調査研究

沿岸研究センターにおいて受託・共同・自主研究を合わせて、88件の調査研究を昨年度に行っている。そのうち防災関連の研究が18件で、20%の占有率で、昨年度より10%減である。東日本大震災から3年が経つこともあって、防災関連の調査が少なくなってきたのかもわからない。

これらの調査業務を災害の予測、減災対策、新技術に関する研究に分けて、その主なものを示す。

① 災害の予測技術に関する研究

- ・偶発波浪の検討
- ・海象観測データの活用
- ・埋没対策の高度化

② 減災対策に関する研究

- ・港内埋没対策
- ・長周期波対策
- ・海岸安定化の検討

③ 新技術に関する研究

- ・フラップ式陸閘の開発

6. 出版物の刊行

わが国は津波の常襲地域であり、津波に対する知見や経験が豊富である。津波に関するわが国の技術的知見を広く世界に情報発信することは当センターの業務の一つとして考えられることから、津波災害の危険性が高い国内外諸地域における人的被害軽減に貢献することを目的とし、津波に関する被害、現象、予警報及び被害軽減策等の技術的知見を紹介する書籍「TSUNAMI」と絵本「津波は怖い！」を出版してきた。

6.1 書籍「TSUNAMI」

書籍「TSUNAMI」は、津波に襲われたときに生き延びるために必要な知識を伝えることを主たる目的とし、数式等はほとんど使わないで、できるだけ読みやすい平易な本にした。このTSUNAMI本は、日本語版（2008年11月）で最初に出版され、引き続いて、インドネシア語版（2009年6月）、英語版（2009年10月）、韓国語版（2009年12月）を出版している。

英語版については2011年3月11日に発生した東日本大震災を踏まえて、表紙の写真とまえがきを書き直している。英語版とインドネシア語版については平成21年度土木学会出版文化賞を受賞した。2011年3月11日にM=9.0という大地震とそれによる大津波で東日本大震災が起こった。この災害による教訓を取り入れた改訂版を少なくとも今年度中には発刊する予定である。

6.2 絵本「津波は怖い！」

小学生や中学生でも簡単に読め、尚且つ、正確な津波知識が身に付く簡易本として「津波は怖い！」と題する絵本を出版してきた。

「津波は怖い！」と題する絵本は、日本語版を2010年4月、インドネシア語版を2010年10月に出版した。2010年2月27日にM=8.8のチリ沖地震が発生し、その災害調査団員として派遣した職員によって本簡易本がチリ側に提供され、スペイン語に翻訳された。2011年の東日本大震災が起こったこともあって、この津波災害から得られた教訓や写真画像を採用して、絵本「津波は怖い！」を大改訂した。

7. その他

これまでに紹介した取り組みのほか、当センターが実施している「沿岸気象海象情報配信システム（COMAINS）」の運用など、沿岸防災に関連する情報提供、港湾・空港の土木施設やその他の土木施設の耐震性能の評価に必要な技術の普及も実施している。これらも、沿岸域における防災対策に関する検討にとっても不可欠なもので、今後も充実に努めるつもりである。

参考文献

- 1) 平山克也・鹿島寛章：うねり性波浪による越波災害の発生過程の推定とその対策，港空研資料，No.1270，P.7，2013.
- 2) 国土交通省港湾局監修：港湾の施設の技術上の基準・同解説，p.196，2007.
- 3) 高嶋 宏ほか：うねり性波浪を考慮した設計沖波算定手法について，土木学会論文集 B2(海岸工学)，Vol.71，No.2，2015.