

6. Abstracts and Presentations(要旨・発表原稿)

(1) Disasters in Japan Due to Storm surges and Waves

Tomotsuka TAKAYAMA, DPRI, Kyoto University, Kyoto, Japan, takayama@kaigan.dpri.kyoto-u.ac.jp

1. INTRODUCTION

Japan has suffered from disasters caused by storm surges and waves because she is surrounded by seas and located on the tracks of typhoons. The characteristics of storm surges in Japan are described in the paper. The past countermeasure projects against the storm surges are reviewed as an example of storm surge projects in Osaka. Future countermeasures are discussed through the recent storm surge disasters.

2. Past Storm surge disasters

The past major typhoons which caused big disasters in Japan are listed up on Table 1. The table shows that the big disasters took place in the three major bays of Tokyo, Ise and Osaka, and in the seas of Ariake and Suou. It also shows that the occurrence of these typhoons is divided into two periods before 1961 and after 1999. This concludes that the typhoons in the period between 1961 and 1999 have relatively small magnitude and create calm sea. The most miserable disaster was caused in the coastal area of Ise Bay by Typhoon No.15. The typhoon has been called Ise-Wan Typhoon since the disaster. After the disaster a permanent countermeasure project was established for each major bay. In the project storm surge barriers in each major bay were designed under the assumption that a big typhoon with the magnitude same as that of Ise-Wan Typhoon passed through on the track of the typhoon which caused the past highest storm surge in a bay of interest.

Table 1 Past typhoons which much affected Japan

Name of typhoon	Places	Anomaly (cm)	Death	Inundated houses
Taishou 6th (1917)	Tokyo Bay	230	1,127	302,917
Muroto (1934)	Osaka Bay	310	2,703	401,157
Sou-Nada (1942)	Sou-Nada	160	391	132,204
Makurazaki (1945)	Kagoshima Bay	>200	2,076	217,326
Jane (1950)	Osaka Bay	240	398	301,919
Ise-Wan (1959)	Ise Bay	345	4,697	363,611
2nd Muroto (1961)	Osaka Bay	241	194	384,120
Typhoon 10 (1970)	Tosa Bay	235	12	40,293
Typhoon 18 (1999)	Suo-Nada & Yatsushiro Sea	211	30	18,001
Typhoon 16 (2004)	Seto Inland Sea (Uno & Takamatsu)	160	16	44,935
Typhoon 18 (2004)	Seto Inland Sea (Hiroshima)	180	22	—

3. History of Countermeasure Projects for Mitigation of Storm Surge Disasters in Osaka

The coastal area of Osaka bay was much damaged in 1934 by the attack of the storm surge and waves generated by Muroto Typhoon. Though a project for countermeasure was started after the disaster, the project was not executed smoothly because of the plunge of Japan into the world war and the ground subsidence due to pumping-up of underground water. In the waste state by the war Jane typhoon attacked Osaka and generated a large storm surge though the storm surge was smaller than that by Muroto Typhoon. Figure 1 shows the inundation area which reached to 30% of Osaka. A recovery project from the damage was established and seawalls were constructed along the sea front. However, the crowns of the seawalls went down

by 0.4 to 0.8m from their original levels because of the ground subsidence. The reduced potential of the seawall protection enlarged the inundation damage in the following storm surge induced by Second Muroto Typhoon in 1961. However, fortunately the loss of human lives could be avoided because the fear of storm surge forced people in Osaka to refuge to safety places. Information of the storm surge reminded the people of the miserable storm surge disaster in Nagoya by Ise-Wan Typhoon of just two years before.



Fig.1 Inundation area due to Jane Typhoon in 1950

After the second Muroto Typhoon, more compulsory enforcement of the law which prohibited pumping-up of the underground water could stop the subsidence of the ground. The permanent countermeasure project against storm surge for Osaka was established in 1967, and has almost been completed. However, it is disclosed that the barriers constructed in early stage of the project have become old for work and have not been designed with sufficient quake-resistance.

4. Future Measure against Storm Surges

Storm surge disasters were much reduced in the three major bays by the execution of the permanent countermeasure project. However, storm surge disasters have recently occurred in different bays from them. Though these bays also have some storm surge barriers, the disasters were caused by the collapsing of the barriers. If the barriers had stood with the storm surge, the disaster would have been reduced. The water overflow rate is more than ten times increased by collapse of the barriers. Therefore storm surge barriers should not be easily broken even in the condition over the design.

5. Concluding Remarks

The permanent countermeasure project against storm surge was executed for three major bays. Consequently storm surge disasters were much reduced in the bays, but the storm surge barriers in the bays have become old for work. Furthermore, recent storm surge disasters have occurred in different bays from the major ones and have been enlarged due to the destruction of the barriers.

日本の高潮・高波災害

京都大学防災研究所教授 高山知司

1. はじめに

日本は海に囲まれ、台風の経路上に位置するため、高潮・高波災害に苦しめられてきた。本論文では日本の高潮の特性について述べるとともに、これまでの高潮対策事業について大阪湾における取り組みを例に紹介したい。また、最近の高潮災害を踏まえつつ、将来の高潮対策についても議論したい。

2. 過去の高潮災害

日本に大災害をもたらした主要な台風を表-1に示す。この表によると、大災害は三大湾（東京湾、伊勢湾、大阪湾）の他、有明海や周防灘にも起きている。また、これらの台風の発生時期は1961年以前と1999年以降の2つの期間に分かれている。すなわち、1961年から1999年の間は、台風が比較的弱く、海も静穏であったと言える。最も悲惨な高潮災害は、台風15号によって伊勢湾沿岸にもたらされたものである。この災害によって、この台風は伊勢湾台風と呼ばれるようになった。また、この災害を契機に、三大湾ではそれぞれ恒久的な高潮対策事業が開始された。その事業では、それぞれの湾において、伊勢湾台風と同じ勢力の台風が、過去に来襲した台風の中でその湾に最大の高潮を発生させたものと同じコースをとった場合を仮定して、高潮対策施設が設計された。

3. 大阪における高潮対策事業の歴史

大阪湾の沿岸では1934年の室戸台風による高潮・高波で多大な被害が生じた。この災害後から高潮対策事業が開始されたが、日本が世界大戦に突入し、地下水のくみ上げで地盤沈下が生じたため、あまり進捗しなかった。

戦争で荒廃した状態から抜け出す前に、ジェーン台風が大阪湾に大規模な高潮を発生させた。ただし、その高潮偏差は室戸台風のとくときと比べれば小さかった。図-1はそのときの浸水域を示しており、その浸水域は大阪市の30%に達した。この被

害から復興する事業が行われ、海岸には護岸が築造された。しかし、地盤沈下で護岸の天端が元の高さから0.4~0.8m沈下した。このような護岸の防護性能の低下は、1961年の第二室戸台風の高潮による浸水被害を拡大させた。しかしながら、大阪の人々には高潮に対する警戒心があったため、安全なところへ避難することで、幸いなことにも死者は免れた。高潮の情報は、人々にちょうど2年前の伊勢湾台風による名古屋の悲惨な高潮災害を思い起こさせた。

第二室戸台風の後、地下水の汲み上げを禁止する法律の施行が強化され、地盤沈下の進行は止まった。大阪湾の恒久的な高潮対策事業は1967年に開始され、今ではほとんど完成している。しかしながら、そこで築造された防潮堤はこの事業の初期の段階で築造されたものであるために老朽化しており、また、十分な地震耐力を持つ設計になっていない。

4. 将来の高潮対策

三大湾では恒久的な高潮対策事業の実施によって高潮災害がかなり低減された。しかしながら、最近では三大湾とは別の湾で高潮災害が発生している。これらの湾にも高潮対策施設はあるが、それが破壊されることで災害が発生した。もし高潮対策施設が高潮で破壊を免れれば、もっと小さな災害ですんだであろう。高潮対策施設が破壊すると越流量は10倍以上に増える。したがって、高潮対策施設は、超過外力が作用した場合であっても簡単には破壊しないようにすべきである。

5. まとめ

三大湾では恒久的な高潮対策事業が実行されたその結果、高潮災害はかなり低減されたが、高潮対策施設は老朽化している。さらに、最近では三大湾以外の湾で高潮災害が発生しており、高潮対策施設の破壊が災害を拡大している。

Coastal Disasters in Japan Due to Storm Surges and Waves

Tomotsuka TAKAYAMA
Disaster Prevention Research Institute
Kyoto University

ただ今 ,ご紹介にあずかりました高山でございます .日本の高潮・高波災害について話して欲しいということで 限られた時間の中でどこまでお話しできるかわかりませんが ,日本の高潮・高波災害にこのようなものがあるということをお話ししていきたいと思います .

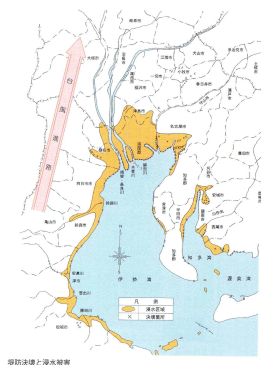
Past Typhoons which much affected Japan

Name of typhoon	Places	Anomaly (cm)	Death	Inundated houses
Taishou 6th (1917)	Tokyo Bay	230	1,127	302,917
Muroto (1934)	Osaka Bay	310	2,703	401,157
Sou-Nada (1942)	Sou-Nada	160	891	132,204
Makurazaki (1945)	Kagoshima Bay	>200	2,076	217,326
Jane (1950)	Osaka Bay	240	398	301,919
Ise-Wan (1959)	Ise Bay	345	4,697	363,611
2nd Muroto (1961)	Osaka Bay	241	194	384,120
Typhoon 10 (1970)	Tosa Bay	235	12	40,293
Typhoon 18 (1999)	Suo-Nada & Yatsushiro Sea	211	30	18,001
Typhoon 16 (2004)	Seto Inland Sea (Uno & Takamatsu)	160	16	44,935
Typhoon 18 (2004)	Seto Inland Sea (Hiroshima)	180	22	—

この表は日本で起きた大きな高潮による災害を示しており ,1917 年から 1961 年までに大きな高潮が起きております .1960 年以降は 1990 年ぐらいまであまり大きな高潮は起きておらず ,台風としても大きなものが起きていない時期となっております .この表でお分かりのように ,日本では高潮が東京湾 ,大阪湾 ,周防灘 ,伊勢湾といった閉鎖的な海岸で起きています .アメリカのように ,メキシコ湾に面した海岸に大きな高潮が来襲するということはありません .これは ,日

本の海岸が比較的急勾配なので大きな高潮が起きにくい ,ということだと思います .

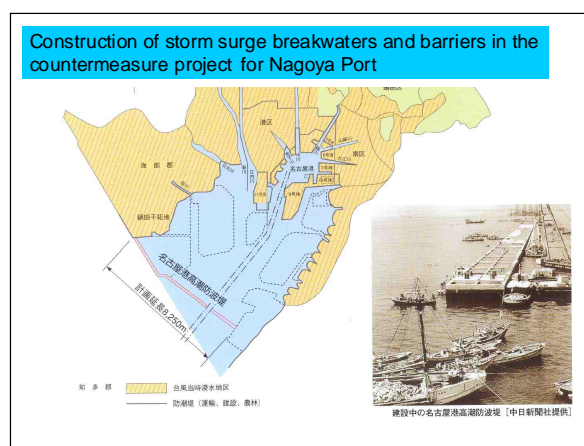
Inundation area along Ise Bay



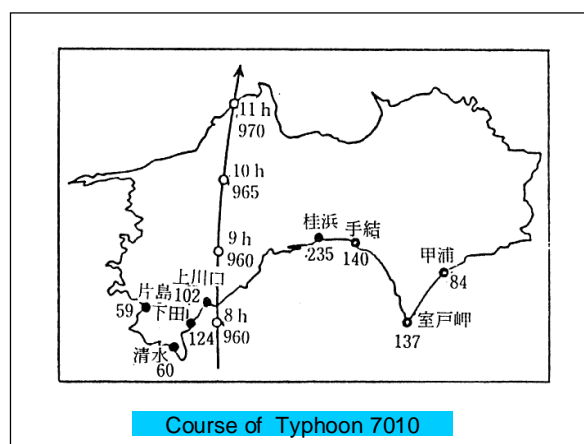
我が国で一番大きな高潮災害は ,1959 年に起きた伊勢湾台風による高潮災害です .この赤い矢印のところを台風が通って行きました .黄色い部分は浸水域を示しております .名古屋では海岸線から 30 km 位まで浸水しました .



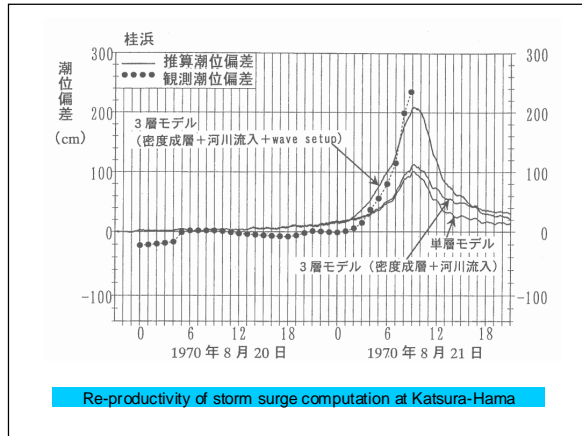
この災害では、名古屋港に積んであったラワン材が流れ出し、多くの民家を壊したことが、一番大きな問題になりました。



この対策として、名古屋港の港口部に高潮防波堤を造る計画が立てられ、この防波堤は今でも使われています。右下の写真は建設している時の状況を示した写真です。当時は、左上の図の黄色い部分だけが陸地だったのですが、現在では黒い点線で囲まれた部分が埋め立てられて、港域が非常に狭くなっています。



もう一つご紹介します。高知の海岸では 1970 年の 10 号台風で大きな高潮が起きました。色々な研究者がこの高潮を計算しましたが、どうしてもこのような大きな高潮は再現できませんでした。



そこで、波によるセットアップを考慮すると、推算値が観測値とほぼ一致しました。つまり、高知における 1970 年の 10 号台風による高潮のかなりの部分はセットアップによるものであり、これと通常の高潮とが重なって起きたものであると考えられます。先ほども示したように、台風が四国を横断して行くコースになっていますので、高知の海岸には非常に大きな波が作用し、それによるセットアップで大きな水位上昇が起きたということです。

Countermeasure Projects in Osaka

Past disasters due to three biggest storm surges

1. Highest storm surge generated by Muroto Typhoon in 1934
Anomaly : 310cm Highest sea level : T.P. +3.2m
2. Storm surge by Jane Typhoon in 1950
Anomaly : 240cm Highest sea level : T.P. +2.6m
3. Storm surge by 2nd Muroto Typhoon in 1961
Anomaly : 241cm Highest sea level : T.P. +2.8m

さて、今回は日本の高潮対策についてお話しすることになっております。特に大阪湾では昔から高潮で非常に苦労して対策を講じて来ますので、ここでは大阪湾を例にお話をしたいと思います。

大阪湾に來襲した三大台風、三大高潮にはまず、1934 年に來襲した室戸台風による高潮があります。その時には 3.1 m という高潮偏差が起き、最大水位は T.P. 上 3.2 m に達しました。

この台風の後には、1950 年に、これは第二次世界大戦の後になるのですが、疲弊した日本の国土にジェーン台風が來襲し、高潮偏差は 2.4 m、最大水位は 2.6m に達しました。この高潮は前の室戸台風に比べて小さかったのですが、国土が疲弊していたために、非常に大きな災害になりました。

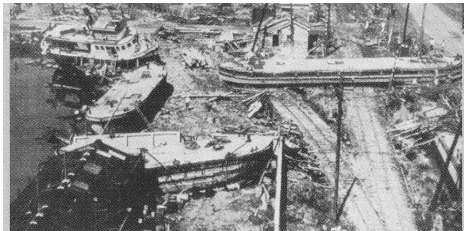
3 番目が 1961 年の第二室戸台風による高潮災害です。

Tracks of three biggest typhoons



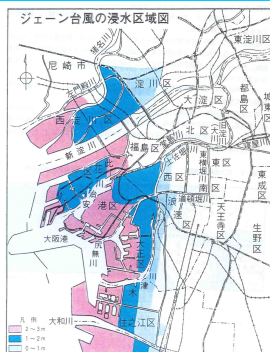
この図は大阪湾を示したのですが、3 つとも大阪湾の西を通って行った台風で、このように大阪湾の西を通ると非常に大きな高潮を大阪湾にもたらすことが分かります。

Damages of vessels in Muroto Typhoon



この写真は室戸台風によって高潮が起きた時に、船が陸に打ち上げられた災害の様子を示したものです。

Inundation area due to storm surge caused by Jane Typhoon in 1950



室戸台風の後に対策は始められたのですが、第二次世界大戦に突入したこともあって、ほとんど対策が進まないうちに戦後を迎え、1950 年にジェーン台風という台風が来ました。この頃はまだ米国が日本を統治していたので、アメリカにならって台風の名前が付けられました。この台風では、高潮そのものはそれほど大きくなかったのですが、大阪市の 30% が浸水するという、非常に大きな災害になりました。この図に示す部分が全部浸水しました。

Storm waves and wind in Osaka Port in 1961



この写真が台風の来襲時の状況です。

Lessons from the storm surge generated by 2nd Muroto Typhoon

1. No loss of human lives by direct affection of storm surge because people took refuge sufficiently before the storm surge
2. Ground subsidence reduces the effect of storm surge barriers. Therefore, it was inevitable to prohibit pumping-up of underground water by a law.
3. The crown heights should be increased up to T.P. +4.9m

これは第二室戸台風の教訓なのですが、2年前に伊勢湾台風によって大きな災害があったことを人々が覚えていて、みんな避難できたおかげで、高潮を直接の原因とする死者が一人も出なかったのです。地盤沈下は高潮に対する安全性に非常に大きな影響を与えるため、地下水のくみ上げを完全に禁止する方針になっていました。防潮堤の天端高も前回のジェーン台風のものより少し高くする計画が立てられております。

Permanent measure project after 2nd Muroto typhoon

1. Ise-Wan Typhoon, which was assumed to pass on the track of Muroto Typhoon, was employed for the design of storm surge barriers and water gates in Osaka.
2. The crown height of storm surge barrier H_c was estimated by the following formula : $H_c = (O.P. + A) + B + C$
where O.P.: Osaka pale, A: Mean high tide in a typhoon season,
B: Anomaly of storm surge(3.0m), C: wave height or rise of water level due to water gate
3. Seismic intensity: 0.2
4. Countermeasures against tsunami
Sea level at tsunami=O.P.+Mean high tide+ Chilean tsunami+ground subsidence
=O.P. + 2.1m + about 0.7m +about 0.7m
=O.P. +3.5m

そして、昭和42年、1967年には恒久的な対策が立てられております。伊勢湾台風を室戸台風のコースに走らせることで、防潮堤等の設計条件を決めました。防潮堤の天端高は、大阪湾の基準潮位に台風期の朔望満潮位の平均を加え、さらに高潮偏差、波の影響を加えるという方法がとられています。それから、構造物の設計震度には0.2を用いております。大阪はチリ津波でも被災しているため、津波に対してもこのような方法で天端が決められ、対策が立てられてお

ります。

Protection line from storm surges in Osaka



この図は大阪港の防護ラインを示したものです。この図の赤と黄色の線が大阪市，緑と青が大阪府の担当しているところです。このように防潮堤が造られております。

A sliding gate at Tenpo-Zan



この写真はゲートを示したものです。高潮が来そうな時には，このようなゲートを閉めることになります。

Sluice gate at Sanjikken Horikawa



この写真のような水門も造られており，高潮時には水門が下りるしくみになっております。

Arch type water gate at Aji River



それから、この写真は特殊なものですが、このようなアーチ型の水門もあって、このアーチの部分がこちら側に倒れることで、高潮を防ぎます。

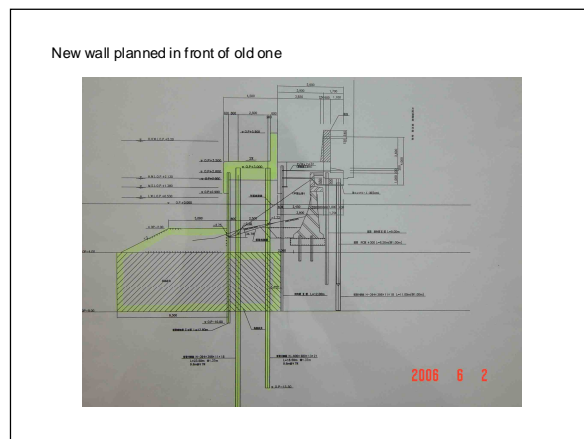


このような看板が事務所の前に貼ってあったので、写真を撮ってきました。

Old sea wall as storm surge barrier



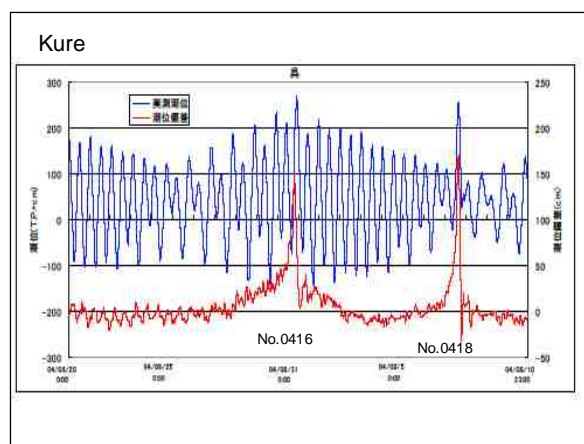
このような堤防で高潮あるいは津波を防いでいます。



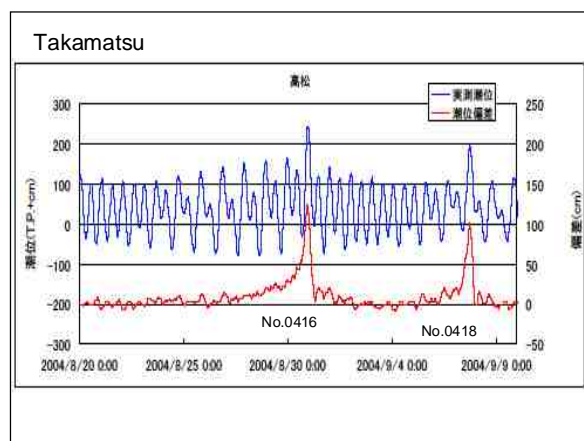
造り直そうとしているもので、震度 0.25 に対応するものを現在あるものの前面に造る計画です。

現在はこのような恒久的な対策がとられているのですが、第二室戸台風後に造られた古い護岸は設計震度が 0.2 であり、現在では 0.25 になっています。この古い護岸をどうするか、ということが大きな問題になっています。

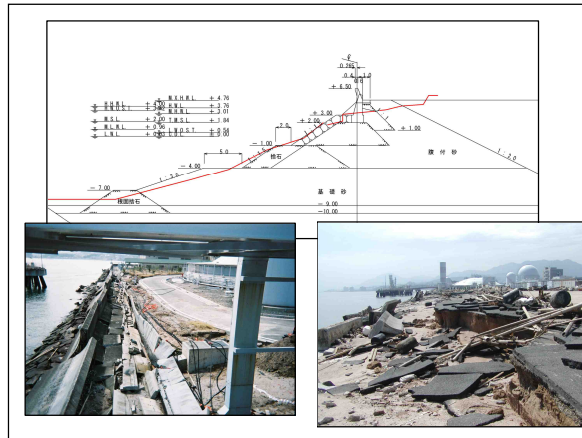
この図はジェーン台風の時に造られた護岸を示したもので、地盤沈下によりこれだけ低くなり、その上に新しい護岸を造りました。つまり、これが第二室戸台風以後に造った護岸です。さらに黄色で塗りつぶしたものは、さらに新しく



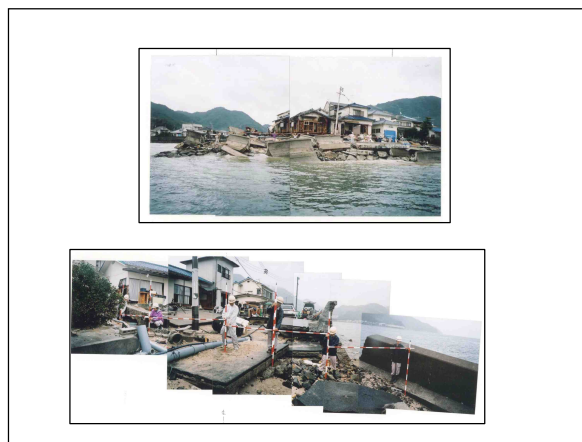
ところで、先ほど参事官の話にもあったように、最近もかなり台風が来て、大きな高潮や高波を発生させています。この図の赤い線が 2004 年の台風 16 号と 18 号による高潮偏差で、青い線が天文潮も加えた水位を示しております。呉の場合ですと、18 号台風で非常に大きな高潮偏差が起きております。ただし、この時は天文潮が小潮だったので、水位はそれほど高くならなかった。これがもし大潮と重なっていたら、非常に大きな災害を起こした可能性があります。



それから、これは高松について示したもので、高松では 16 号台風のとくに、大潮と高潮偏差のピークが重なって、非常に大きな水位上昇を起こし、浸水するという騒ぎがありました。18 号では小潮だったため、それほど水位上昇は大きくななかったということです。



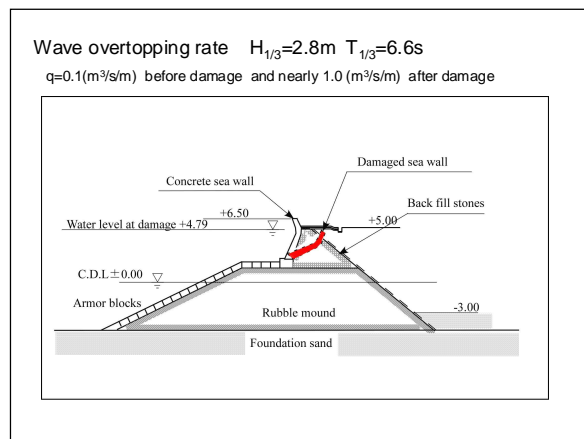
これらの台風によって非常に大きな災害が広島で生じております。この図の黒い線が元の防潮堤、護岸の断面ですが、高潮と波浪によって赤い線で示すように壊されてしまいました。



この写真に示すように、ここでも護岸の背後に普通の人家があったわけですが、護岸が壊され、人家の下の地面が洗掘されるという災害が起きております。



これは、広島港の観音マリーナで護岸の一部が壊されたところです。



造物が壊れてしまうと、背後にものすごい大きな水が流れ込み、非常に大きな災害を招くということになるわけです。

Concluding remarks

1. Disasters caused by storm surges have occurred in semi-closed bays in Japan.
2. Big storm surges did not take place between 1960 to 1990. This period was relatively calm. However recently big typhoons have attacked and generated storm surge disasters.
3. The disasters have been occurred in the bays or seas different from major three bays of Tokyo, Ise and Osaka.
4. Big damages are caused by the destruction of the barriers which have the function of protection from the storm surges.
5. Evaluation technology should be developed soon to know the performance of old existing barriers.
6. It may be possible to design the storm surge barriers under different conditions between their crown height and resistant strength in order to construct the barriers which are hard to be yield.

そこで、この護岸について検討してみます。例えば、護岸がそのまま残っていたら、どれぐらいの越波量になっていたかと言いますと、高潮によって水位がこの図のここまで、4.79 m まで上昇しており、背後の陸地と同じぐらいの高さになっていました。越波量を算定すると、 $0.1 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ぐらいの量が得られます。しかし、この護岸が倒れることによってこの越波量がどうなるかと言いますと、10 倍に増えます。 $1.0 \text{ m}^3/\text{s}/\text{m}$ ぐらいになってきます。つまり、このような構

ですから、結論になるのですが、日本では大体半閉鎖的な海岸に高潮が発生していて、1960 年から 1990 年ぐらいまでは穏やかな時期だったわけですが、最近になってまた非常に大きな台風が来襲するようになっていきます。

東京湾、大阪湾、伊勢湾では伊勢湾台風をもとに対策が立てられているので、現在ではあまり高潮災害が起きていないわけですが、それ以外の地域では大きな災害が起きています。

大きな災害を起こす原因は、高潮で水位が上がり、大きな波が作用して護岸が被災する。護岸が被災することで、物凄い量の水塊が陸地に入行って、大きな災害を起こす、ということです。

したがって、どこまで護岸がもつのか、ということをきちんと調べる技術が今後必要なのではないかと思えます。つまり、護岸が既にあるわけですが、古くなった護岸がどこまでもつのかということをきちんと評価する技術がまだないので、今後はそれをきちんと開発していく必要があるだろうと考えています。

もう一つは、護岸の天端高と護岸の強度は、違う条件で設計してもいいのではないかと。つまり、護岸が壊れると物凄い越波量や越流量となって大きな災害を引き起こすので、天端の高さと護岸の強さの設計外力は変えてもいいのではないかと考えております。



最後に、これは広島で撮られたビデオで、護岸に波が来襲しているときの状況です。前面の護岸がほとんど壊されている状態です。そして、背後では、越波した水が川のように流れている状況です。

このように一旦護岸が壊されてしまうと、物凄く越波量が大きくなって、大きな災害をもたらします。ですから今後は、このような護岸がどういう条件で、どのような壊れ方をするのかということ予測する技術をきちんと開発して

いくことが大事ではないかと思っています。

これで私の講演を終わりたいと思います。どうも有り難うございました。

【質疑応答】

特になし。