

護岸背後に位置する家屋の越波による 被災特性について

A STUDY ON DAMAGED SEASIDE HOUSES DUE TO WAVE OVERTOPPING

坂井洋平¹・山本泰司²・木村克俊³・古川諭⁴・名越隆雄⁵

Yohei SAKAI, Yasuji YAMAMOTO, Katsutoshi KIMURA, Satoru FURUKAWA
and Takao NAKOSHI

- | | | |
|-----------------------|------------------|-------------------------------|
| ¹ 正会員 | (独)土木研究所 寒地土木研究所 | (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34) |
| ² 正会員 博(工) | (独)土木研究所 寒地土木研究所 | (〒062-8602 札幌市豊平区平岸1条3-1-34) |
| ³ 正会員 博(工) | 室蘭工業大学 建設システム工学科 | (〒050-8585 室蘭市水元町27-1) |
| ⁴ | 室蘭工業大学 建設システム工学科 | (〒050-8585 室蘭市水元町27-1) |
| ⁵ 正会員 | (株)ドーコン 防災保全部 | (〒004-8585 札幌市厚別区厚別中央1条5-4-1) |

Seaside houses in Kamoenai Village were seriously damaged by Typhoon No.18 in 2004. The damage patterns were classified according to wave overtopping rate and the distance from the seawall alignment. The wave overtopping rate and wave forces on the houses were reproduced by two dimensional model tests, and the critical condition of seaside houses behind the seawall was shown as the function of offshore wave height and the distance from seawall. Based on the results, the evacuation condition was recommended for the coastal residents in Kamoenai Village. It was also confirmed that the safety of seaside houses can be improved by wave absorbing revetments in front of seawalls.

Key Words : seawalls, wave overtopping, seaside house, damage

1. はじめに

2004年9月8日、北海道西岸を北上した台風0418号は、広範囲を暴風圏に巻きこみ、日本海沿岸各地に高潮・高波・暴風による大被害をもたらした。北海道日本海側神恵内村の海岸に隣接している家屋では、高波によって発生した越波による被災を受け、窓ガラスやシャッター等の破損だけでなく、写真-1のように住宅の半壊に至ったケースも数多く見られた。この家屋がある集落は、護岸背後の10数メートル幅の道路を挟んで直後に位置している。さらに、家屋背後には崖が迫っており、今回のような災害時の避難経路は護岸背後の道路を除いて他に無く、高波浪による災害が懸念される状況では早い段階から効果的に避難を始める必要がある。

港湾の施設の技術上の基準・同解説¹⁾では、背後地利用状況からみた許容越波流量として、護岸の直背後に家



写真-1 越波による家屋被害状況

屋がある場合に安全を保つための基準値が示されている。また、この基準で引用されている福田・宇野²⁾による研究では、ビデオ画像を用いて複数の技術者による越波状況の観察を行い、護岸直後(5m程度)と若干後退した位置(10m程度)に家屋がある場合の安全性を検討しているが、家屋が受ける波力自体を計測しているわけではない。したがって、対象とする地区の家屋毎に詳細な検討をする必要がある。

本研究では、この台風による海岸家屋の越波被害に関する現地調査結果を整理し、各家屋の被害に与える家屋位置での越波流量、および家屋の護岸からの後退距離の影響を調べる。次に現地条件を考慮した水理模型実験を行い、越波水が陸上でどのような挙動を示して家屋被害に結びつくのかを把握し、越波水と家屋被害の関係を見出す。

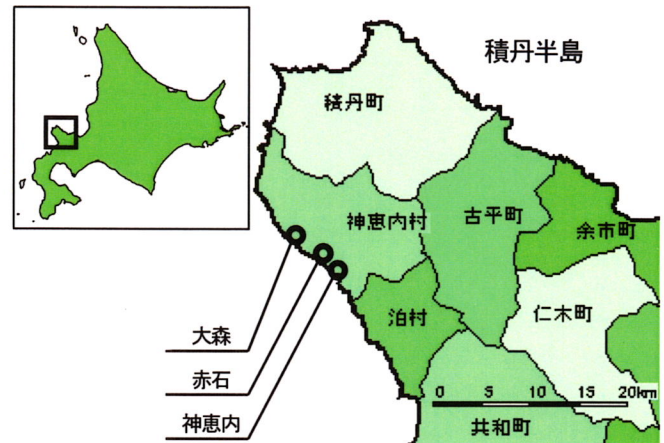


図-1 神恵内村の位置

2. 海岸家屋の越波被害

(1) 越波被害時の海象・気象状況

2004年8月28日に発生した台風0418号は、勢力を維持したまま2004年9月8日に北海道西岸を北東に進んだ。この台風により神恵内村周辺海域では、13～14時に平均風速が30m/sを超えるSWの風(海岸に直角方向)が観測され、13時に沖波波高の極大値7.58m、周期11.8sの波(第三世代波浪推算モデルであるWAMによる沖波の推算値)が発生した。また、潮位は台風による気圧の低下に伴う海面の吸い上げ効果と、海岸線に対して直角方向である南西の強風による吹き寄せ効果により記録的な潮位偏差があったものと考えられる。実際、日本海側に位置する小樽・函館・稚内の各港では最大潮位偏差60～80cmを記録していた。

(2) 赤石地区での家屋被害状況

神恵内村は図-1に示すように積丹半島西岸に位置し、北から大森、赤石、神恵内の各地区に集落が形成されている。写真-2(a)に示すように、対象地区は急峻な崖が海岸まで迫る岩礁地帯で、平地は殆どなく沖側は1:20程度の海底勾配となっている。海岸線沿いには道路があるが、写真-2(b)のように道路を挟み護岸から10～20m程度離れた位置に家屋が立ち並び、海側には遮るものが無い。このため、当該台風によって発生した越波が家屋まで達して、神恵内村各地区に被害をもたらした。

しかし同じ集落の家屋のなかでも、被災した家屋と被災していない家屋に分かれていた。この要因を探るため、次に述べるように、越波と家屋位置の2点に着目して検討した。ここでは最も家屋被害が大きかった赤石地区について、被災時の極大波における越波流量を算定し、家屋被害との関係を整理した。なお、本地区の海底勾配は1:20であることから、合田による海底勾配1:10および1:30に対する越波流量推定図より求めた値の中間値を本



(a) 航空写真



(b) 護岸・道路・家屋・崖の位置関係

写真-2 赤石地区の立地条件

地区の越波流量とした。今回、家屋被害の基準は「家屋半壊」としている。これは、越波による被害のうち、避難しないで屋内に残ることによって生じる人命に関わる危険度の基準として、限界状態であると考えたためである。なお、家屋半壊とは、外壁や窓ガラスが複数破壊され、建物内にも被害が発生している状態としている。

図-2は家屋の護岸前面からの後退距離 B と各家屋の位置での推定越波流量 q の条件を用い、被災の有無別に分けて描いたものである。各家屋の構造形式や築年数が異

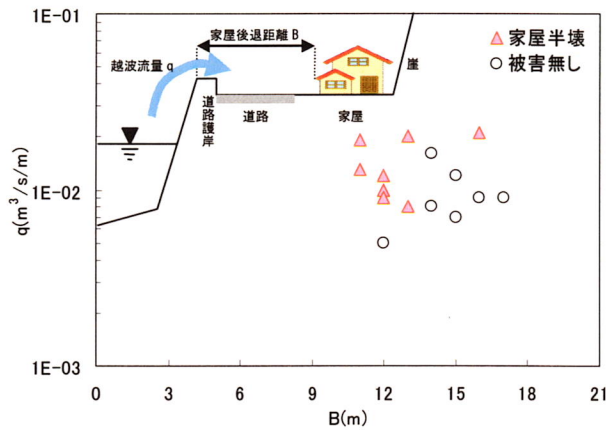


図-2 家屋被害発生時の越波流量

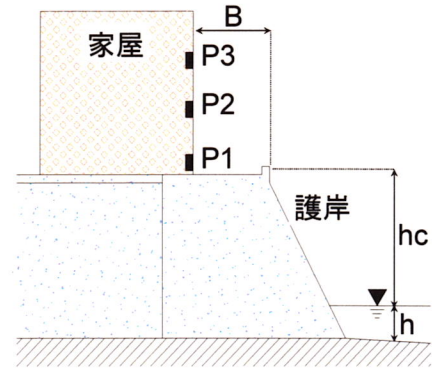


図-3 家屋模型と波圧計設置位置

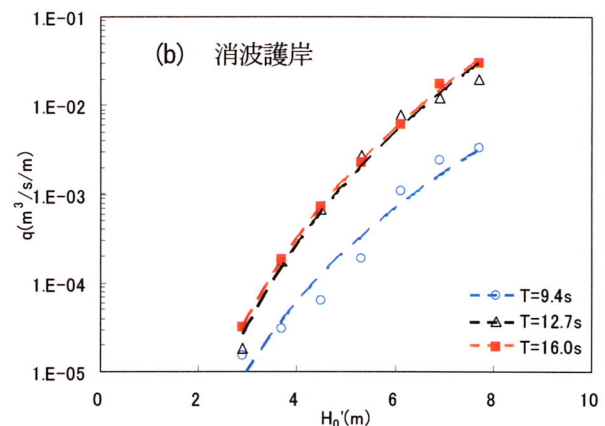
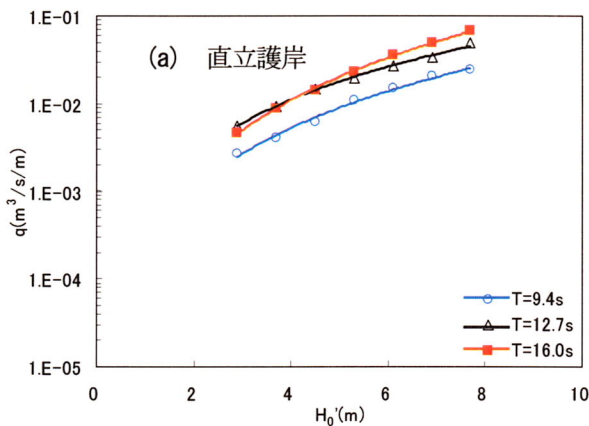


図-4 護岸の越波流量

なるため厳密な評価は難しいが、この図から後退距離Bが大きくなると「家屋半壊」被害は少なくなり、越波流量が大きくなると被害は多くなる傾向が認められる。つまり、家屋被害の有無は、越波流量と家屋の後退距離との相互関係によって説明できる可能性がある。

3. 越波被害のメカニズム

現地調査によって見出された越波や家屋位置の条件と被害の関係を詳細に検討し、同時に調査結果を検証するため、対象地区の護岸に対して波浪条件を様々に変化させて水理模型実験を行い、家屋被害に関する越波水の破壊力を調べることにした。ここでは、水理模型実験の概要を説明した後、対象地区護岸の越波特性を示す。続いて、あらかじめ越波流量を把握した波浪条件で計測した家屋模型に働く越波水の波圧を整理し、許容越波流量の推定を試みる。

(1) 実験方法

水理模型実験は、長さ22.0m、幅0.8m、深さ2.0mのピストン型造波装置が設置された2次元造波水路において実施した。模型縮尺は $S=1/30$ を想定し、対象としている

神恵内村赤石地区における海岸付近の海底勾配を反映させ1:20の海床地形を水路内に設けた。潮位はH.H.W.L.時のT.P.+1.2mとして、低気圧接近時の海面上昇を考慮した。護岸模型は、図-3のように水深 $h=4.0\text{cm}$ （以下、括弧内現地換算;1.2m）、天端高さを $hc=17\text{cm}$ （5.1m）とし、1:0.5の傾斜を持つタイプとした。また、現地同様に護岸前面に消波ブロックは設置しない直立護岸を基本としたが、今後の対策工設置時の参考のため消波護岸も用意した。

実験に用いた波浪条件は、台風襲来時の被災状況を反映させたケースを含む $T_0=1.72\text{s}$ （9.4s）～ 2.92s （16.0s）の周期3種類、 $H_0'=9.67\text{cm}$ （2.90m）～ 25.67cm （7.70m）の波高7種類を組み合わせた21パターンの不規則波を用意し、これに対して波浪条件を変化させた時の越波流量の変化を計測した。続いて、各波浪条件に対して護岸背後に設置した家屋模型が受ける越波水の波圧を図-3に示すP1（地上0.3m）、P2（地上2.1m）、P3（地上3.9m）の位置に取り付けた小型圧力計（定格10kPa）で計測した。この際、家屋模型を護岸前面から次第に遠ざけてゆき（図-3中のBを大きくしてゆき）、各家屋位置で越波水から受ける波圧の変化を調べた。

(2) 越波特性

家屋模型が受ける越波水の波圧を測定する前に、用意

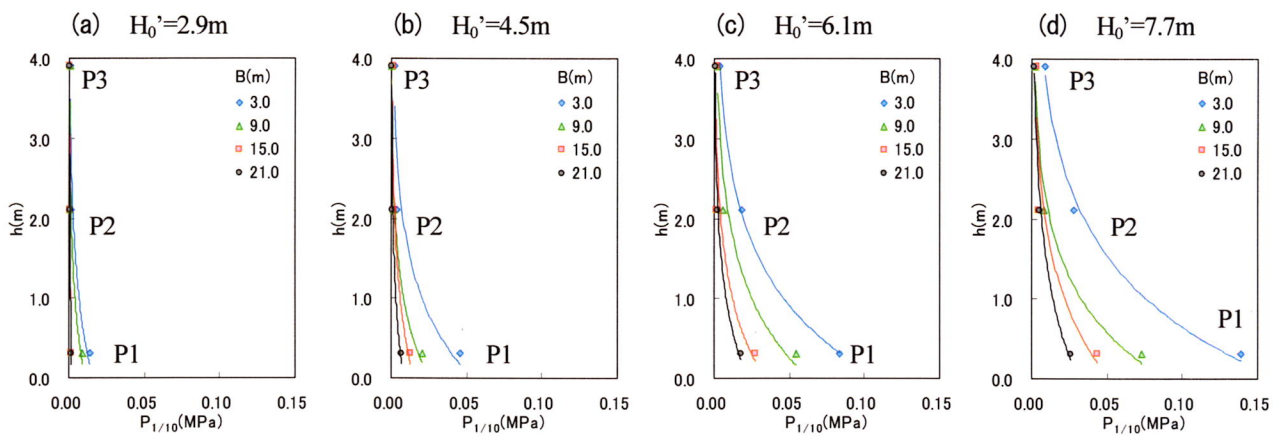


図-5 直立護岸背後の家屋が越波から受ける波圧分布 ($T_0=12.7s$)

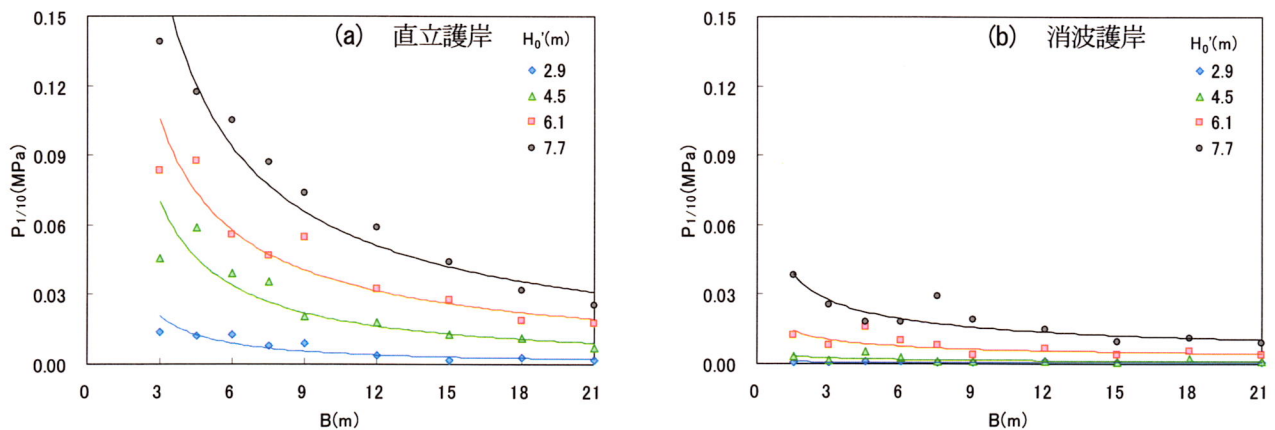


図-6 家屋後退距離と越波水圧 ($T_0=12.7s$)

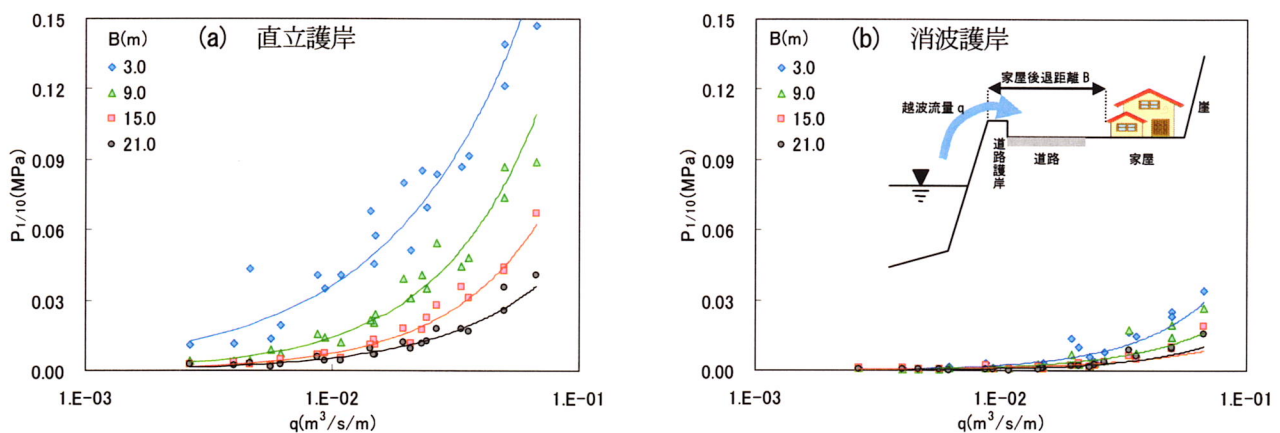


図-7 越波流量と越波水圧

した直立護岸および消波護岸について各波浪条件に対する越波流量を調べた。図-4はそれぞれ(a)直立護岸、(b)消波護岸の場合の換算沖波波高に対する越波流量の測定結果であり、3種類の周期毎に示している。対象とする海岸沖の海底勾配が $i=1:20$ であるため、合田の越波流量算定図のうち $i=1:10$ に対する推定値と $i=1:30$ に対する推定値の平均値と比較した結果、オーダーレベルで概ね一致することを確認している。このことより、前章の図-2中に用いている推定越波流量は妥当な値であることを検証できた。

図-4(a)から、一番小さい波高である $H_0'=2.9m$ でも直立護岸では $2 \times 10^{-3} m^3/s/m$ の越波が発生していることが分かる。前出の港湾の施設の技術上の基準・同解説では、護岸直背後に家屋がある場合の許容越波流量（90%安全度）として $1 \times 10^{-6} m^3/s/m$ としている。当該護岸は、この基準を満たさないが、実際には赤石地区の家屋は護岸から一定距離離れていたため、被災しない家屋があったと言える。図-4(b)との比較により、いずれの波浪条件に対しても、消波工による越波低減効果が確認できる。特に、小さい波高に対して有効であると言える。

(3) 波圧特性

水理模型実験で得られた家屋に働く波圧を指標とし、家屋被災の有無を検討した。ここでは、実験で計測した波圧の経時変化を波別解析し、1/10最大波圧 $P_{1/10}$ を用いている。本来、家屋が被災するのは極大波によると考えられるが、最大波圧 P_{max} は変動が大きく系統的な議論が難しいと判断した。このため、 P_{max} と $P_{1/10}$ の間に十分な相関を確認したうえで $P_{1/10}$ を不規則波圧の代表値として用いた。

図-5は、直立護岸の場合に各波圧計で計測された $P_{1/10}$ である。周期 $T_0=12.7s$ で換算沖波波高 H_0' が(a)2.9m, (b)4.5m, (c)6.1m, (d)7.7m, の波浪条件に対して、家屋後退距離 $B=3, 9, 15, 21m$ での代表的な結果を示しているが、どの条件においても最下部のP1において計測された波圧が最も大きい。逆にP2や、特にP3においては、波圧がほとんどゼロになるケースもある。これは、衝突する越波水がP2やP3の高さまで達していないことを意味している。以上により、家屋被害に最も影響するのは家屋の最下部に働く波圧だと考えた。この先の検討では、P1における波圧を取り扱うこととする。

図-6(a), (b)はそれぞれ、直立護岸と消波護岸の場合に、ある波浪条件に対して各家屋位置で最下部の波圧計P1が受ける越波水の波圧の関係を示している。図では、周期 $T_0=12.7s$ で換算沖波波高 $H_0'=2.9, 4.5, 6.1, 7.7m$ の代表的な波浪条件での結果を示しているが、護岸前面に近いほど、そして波高が大きいほど家屋は大きな越波水による力を受けることがわかる。これは、護岸前面に近いと越波水が大きな流速を保ったまま衝突するためであり、波高が大きいと越波流量自体が大きくなるためである。また、消波護岸とすることで、同一の波浪条件に対して直立護岸の際に受ける越波水圧に比べて大きく減少していることがわかる。消波護岸では、同じ波浪条件に対する越波流量が大幅に減少し、陸上を流れる越波水の勢いを弱める効果があるためと考えられる。

このことから、他の波浪条件のケースも加えて図-4に示している波浪と越波流量の関係を用い、越波流量と越波水圧の関係として図-7に再整理した。この図では、家屋後退距離 $B=3, 9, 15, 21m$ での代表的な結果を示しているが、家屋位置毎に越波流量と越波水圧の間に1対1の関係を見いだすことができる。また、消波護岸では同じ越波流量であっても直立護岸の受ける越波水圧に比べて大きく減少していることがわかる。これにより、何らかの手法によって越波水の勢いを弱めることによって、家屋が受ける越波水圧を減少させることが可能であると言える。

(4) 許容越波流量の推定

ここでは、例えば $q=1.00 \times 10^{-2} m^3/s/m$ となる時の家屋後退距離 $B=14m$ に対するP1での $P_{1/10}$ の値を図-7(a)から読み取ると $P_{1/10}=0.008MPa$ となる。家屋後退距離 B ごとに $P_{1/10}=0.008MPa$ に対応する越波流量を読み取ることにより図-8中の実線に示すような家屋後退距離と家屋被災の

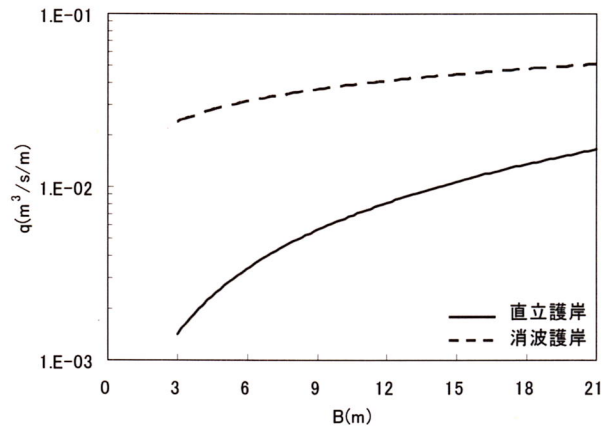


図-8 家屋半壊限界越波流量

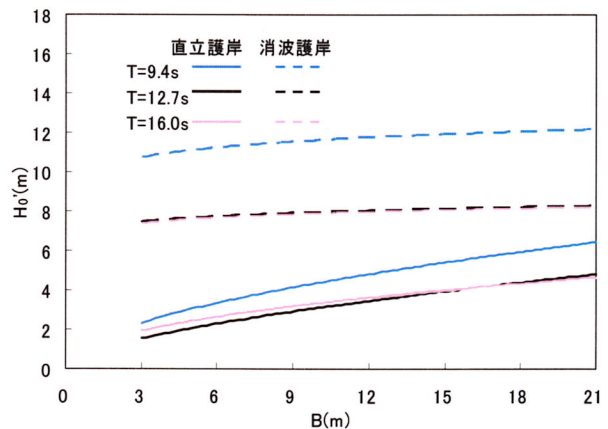


図-9 家屋半壊限界波高

許容越波流量との関係を得た。両者の関係は図-2に示した現地調査から得られた傾向と一致し、さらに現地調査の範囲外の条件に対する許容越波流量の推定も可能である。消波護岸についても同様に、図-8に破線で示した関係が得られ、許容越波流量は家屋後退距離にもよるが概ね1オーダー程度大きくても良いと言える。

続いて図-8のように推定された、対象地域の護岸に対する家屋被害が発生する越波流量の限界値を、図-4に示した波浪条件と越波流量の関係を用いて整理し直したものが、図-9である。この図から、各波浪条件に対する家屋に生じる越波被害の限界値が読み取れる。例えば、直立護岸では、周期 $T_0=12.7s$ の場合、 $B=10m$ 付近の家屋は $H_0'=3.5m$ 程度で被災する可能性があるのに対し、 $B=20m$ まで家屋が後退すると、 $H_0'=5m$ 程度までは被災しないことが分かる。また、より周期の長い $T_0=16.0s$ の波浪が襲来しても被害は増大しない一方、周期の短い $T_0=9.4s$ の波浪の場合は10m以上護岸から離れた家屋位置において、被災限界波高は約1m大きくても良いことが分かる。また、消波護岸では家屋位置によって、被災限界波高を4~8m引き上げていることから、対策工として有効である。

4. おわりに

台風0418号によって生じた神恵内村の海岸家屋の越波被害に関して、現地調査および水理模型実験によって家屋の後退距離と波浪条件による家屋被害への影響を検討した。この結果、対象地区の海岸地形や護岸の状況下に限られるものの、家屋被災の発生限界状況を把握することができた。

実際に被災が懸念される状況になった際に時期相応な避難を開始する上で、本研究で得られた知見を含め、今後さらなる検討を加えて対象地区全体の特性を把握すると有益な情報となるはずである。また、同じ越波流量でも、陸上での越波水の勢いの違いが家屋被害の有無に重要であることから、護岸形式や家屋前面の遮蔽物などの影響を検討する必要がある。

謝辞：本研究の現地調査を行うにあたり、神恵内村からの協力を得た。ここに謝意を表すると同時に、本研究が地域防災に利用されることを期待する。

参考文献

- 1) 港湾の施設の技術上の基準・同解説検討委員会編：港湾の施設の技術上の基準・同解説，平成11年5月，p.124.
- 2) 福田伸男，宇野俊泰，入江功：防波護岸の越波に関する現地観測（第2報），第20回海岸工学講演会論文集，1973，pp.113-118.