

第2回 富山湾における「うねり性波浪」対策検討技術委員会(H20.3.27)

万葉ふ頭緑地護岸被災時の越波状況に関する基礎検討

独立行政法人 港湾空港技術研究所
耐波研究室 主任研究官 有川 太郎

本調査におけるまとめ

・ Stem 波の非線形挙動に関する知見から、護岸の開始点から 357.5m～536.3m で最大波高が入射波高の 2.4 倍程度となる。

・ ブシネスクの計算結果から護岸付近の波高は 3.0m 程度と考えられることから、天端の低い場所では 2m 程度の越波は十分あったのではないかと考えられる。

・ それらの検証が妥当であるかどうかを確認するため、砕波・越波が考慮できる 3次元数値波動水槽を用いて数値実験を行ったが、まだ計算時間が十分ではないため、越波・圧力は十分に再現できていない。ただし、ある程度の波浪変形の状況は把握できる。

・ 今回の考察から、以下の点を特に現地調査で調べたい。

- ・ 越波の最大浸水範囲
- ・ 護岸形状の詳細
- ・ 破壊した地点
- ・ 越波の最大高さ

これらの痕跡等から波高の最大値、数値計算の改良および妥当性の確認を行い、被災メカニズムの解明を行うことに資する。

1. 計算条件および計算ケース

1. 1 計算目的

伏木富山港における万葉ふ頭緑地における被災時の越流状況を確認するために、3次元数値波動水槽(有川ら,2007)を用いて計算を行う。



図1 万葉ふ頭航空写真 (出展: Yahoo, 上が北)

1. 2 既存の研究による検討

今回の護岸の配置, 周期の長さ, 入射角度等を考慮すると, Stem波が発生している可能性がある。Stem波の波高は, 壁に対する入射角度で変化するが, 非線形性の強いStem波を非線形緩勾配方程式を用いて計算すると図2のようになる(有川・磯部, 1999)。横軸は壁面に沿った軸(無次元軸)であり, 縦軸は入射波高比を表す。横軸の k は波数($2\pi/L$), x は壁面の開始点からの距離, θ は壁面に対する角度を表す。

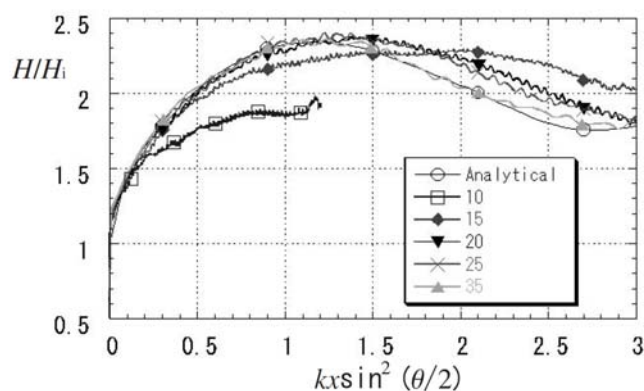


図2 Stem波の壁面沿いの波高と壁面距離の関係

これを見ると, 入射角度が20度から25度の間であるときには, $kx \sin^2(\theta/2)$ が1から1.5程度で最大波高になることがわかる。またその波高は入射波高の2.4倍程度であることがわかる。また, 最大波高と入射角度の関係を図3に示す。これから, 入射角度が20度から30度の付近でもっとも波高が大きくなることがわかる。

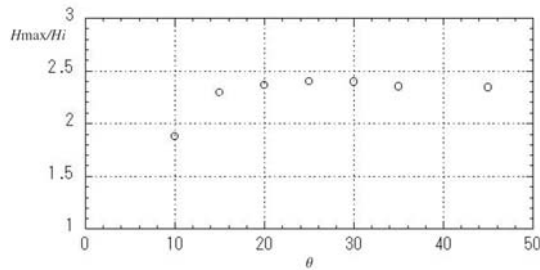


図3 入射角度と最大波高の関係

これらのことから、入射角度が 20 度から 30 度の間で、 $kx \sin^2(\theta/2)=1\sim 1.5$ で、護岸沿いの波高がもっとも大きくなり、それは入射波高の 2.4 倍程度となることがわかる。

護岸前の水深は、8.0m から 3.0m まで約 500m で浅くなっており、その間の波数 k は、0.052~0.084 と変化する。そこで平均的な水深として 6.0m を選び入射角度を 25 度として計算をすると $kx \sin^2(\theta/2)=1\sim 1.5$ となる場所は、壁面の開始から 357.5m~536.3m となる。これは後述する図 4 から考えると A-2-1 以降の断面で最大波高となる。また、波高比が 2.0 を越える場所は、 $kx \sin^2(\theta/2)=0.5$ であるが、壁面の開始から 178.8m の場所であることがわかる。天端高が A-1 は+2.0m、A-2-1 が+4.0m であることを考えるとおと、A-1 と A-2-1 の接続部付近がもっとも越波の大きくなりそうな場所であることがわかる。ただし、この結果は砕波・越波を考慮していない結果であるため、それを考慮する必要がある。

1. 3 数値波動水槽による計算

1.3.1 解析領域

次に上記の考察を検討し、また越波等の状況を再現するために数値波動水槽を用いて数値実験する。数値波動水槽は、砕波等複雑な変形も考慮して計算することができる。解析領域は図 4 に示す通りである。解析領域の大きさは、x 方向 290m、y 方向 701m、z 方向 16m であり、x 方向、y 方向にはそれぞれ 1m 格子幅、z 方向には 50cm 格子幅とした。

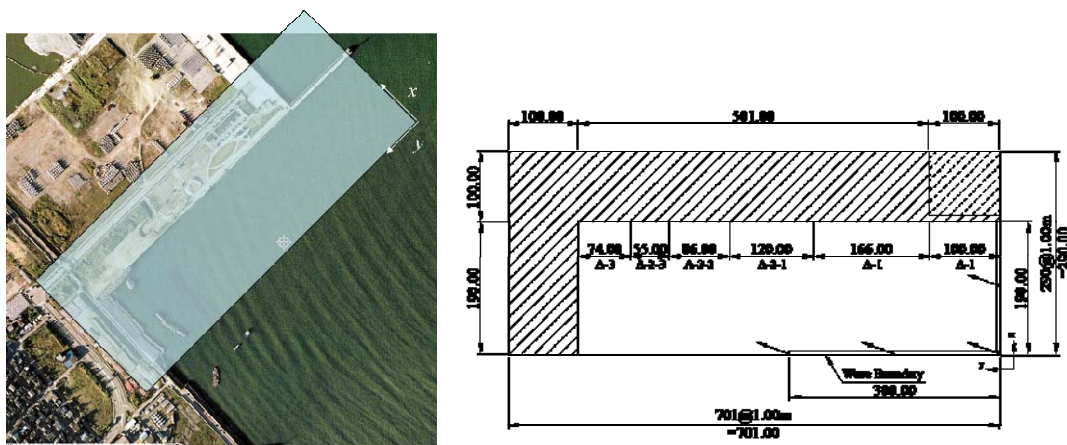


図4 解析領域

斜線部には、A-1～A-3 までの断面を設置した (図 5)。斜線部が陸域となる。点線斜線部は、海であるが、今回は、計算に関係しないため陸域とした。今回は試算のため透過構造物は消波ブロック以外は設置しないものとする。また、護岸前面の水深は、断面図から読みとり、ほぼ 1/100 の斜面地形となっている。

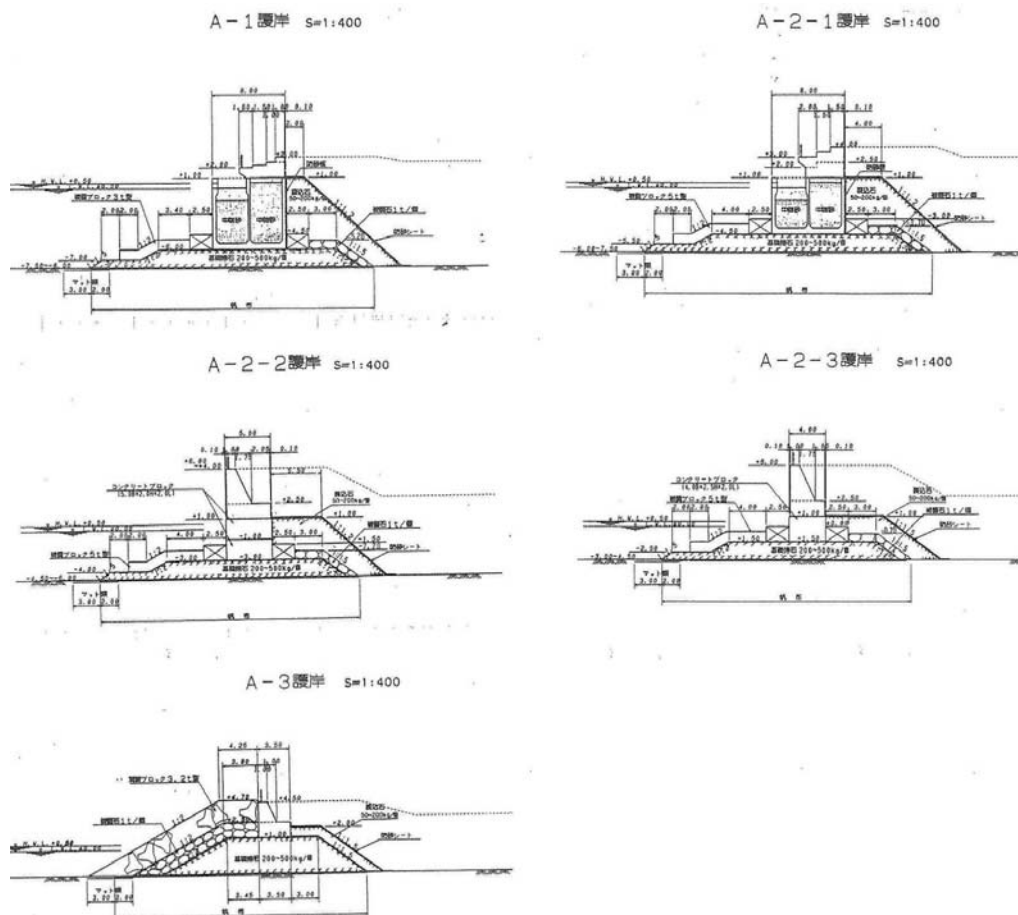


図 5 各護岸の断面図

1.3.2 波浪条件

NOWTPARI の計算結果から潮位は H.W.L.+0.20m, 入射波高 3.0m, 周期 14.2s とする。図 2 の解析領域に示す場所から造波し、壁面に対して入射角度は 27 度とした。これは防波堤からの回折効果を航空写真から読み取り、おおざっぱに入れたものである。ここについては、防波堤まで計算領域をとることも考えられるが、今回は時間の都合から試算であることから、取り急ぎ、この条件で計算した。今後は、入射波高、入射角度をいろいろと変化させて計算することとしたい。

1.3.3 計算結果

計算は現在 60 秒まで計算できたため、護岸前面 (図 4 における $x=190.0\text{m}$ のライン) お

よび 10m 背後における最大波高の結果を図 6 に示す。まだ、波としては 3～4 波入っている程度であることから、定常状態になっておらず、波高としても入射波高程度の波であることがわかる。参考までに背後地 10m(x=191m～200m)までの最大圧力分布を示す。まだ、歩道までに大きな圧力が作用していない。また、参考までに空間波浪変形の時刻歴を示す。

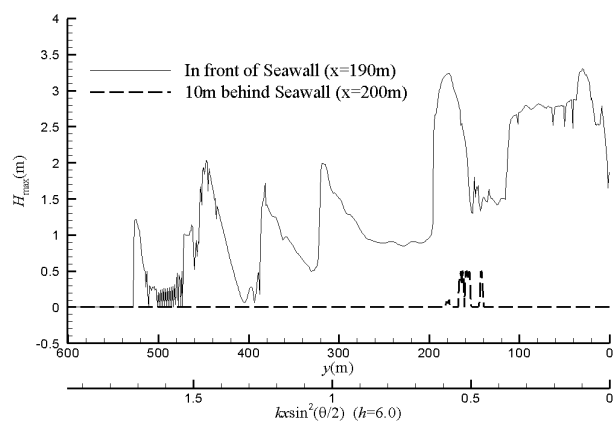


図 6 y 方向に沿った最大波高分布

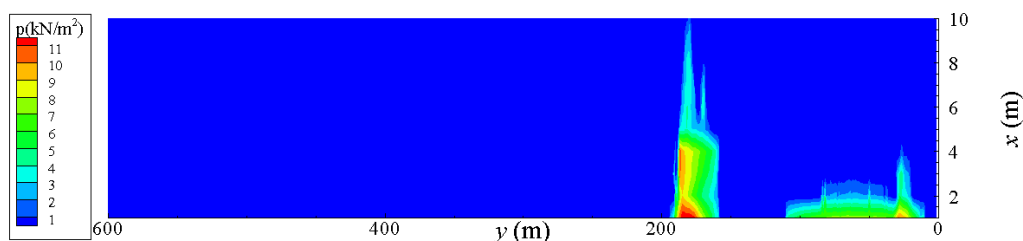


図 7 護岸天端における最大圧力分布

1. 5 現地調査に向けて

今回の検討から現地調査では、以下の点を調査したい

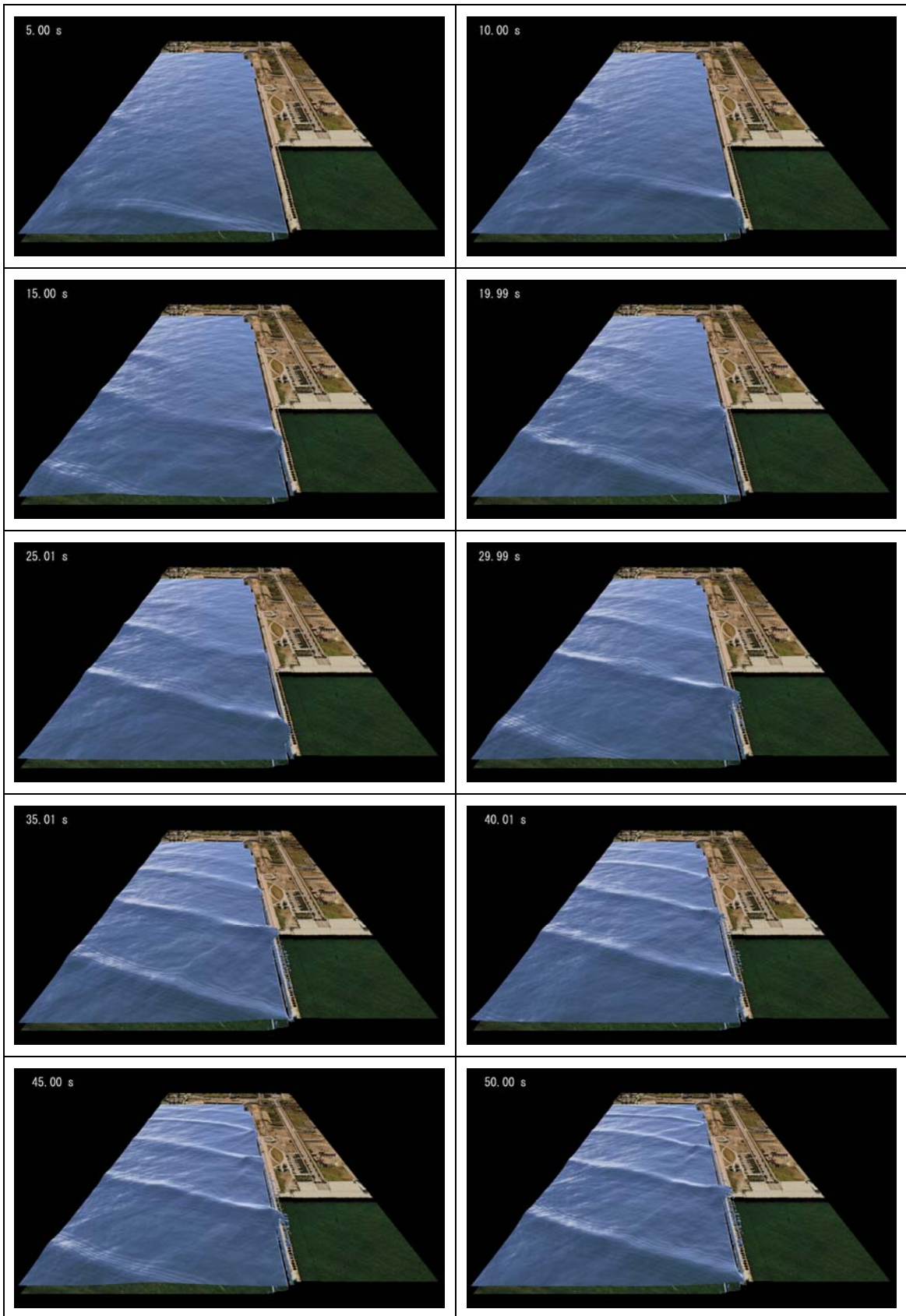
- ・越波の最大浸水範囲
- ・護岸形状の詳細
- ・破壊した地点
- ・越波の最大高さ

これらの痕跡等から波高の最大値、計算の妥当性・改良を行い、被災メカニズムの解明を行うことに資する。

[参考文献]

有川太郎・山野貴司・秋山 実(2007)：数値波動水槽における砕波変形計算の高度化，海岸工学論文集，第 54 巻，pp.71-75

有川太郎・磯部雅彦(1999)：非線形緩勾配方程式を用いた任意反射率を持つ構造物周辺の入・反射波浪共存場の解析，第 46 巻，pp.56-60



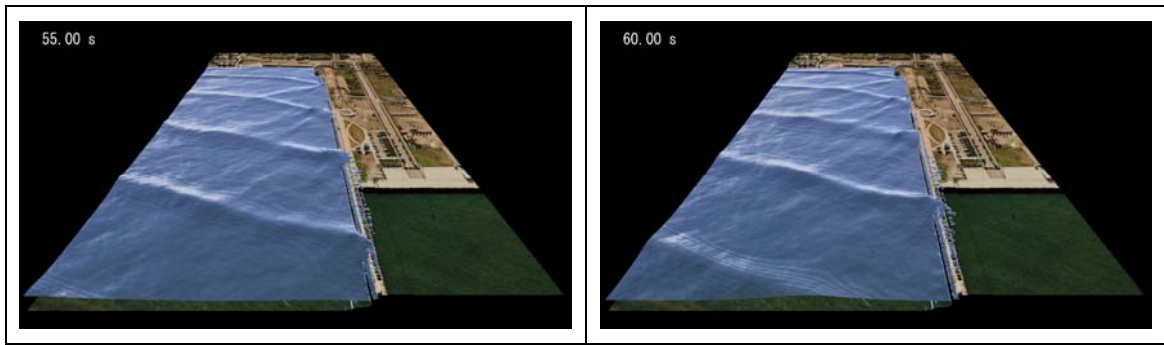


図 8 空間波浪変形 (60s まで)

砕波する状況 (横位置)

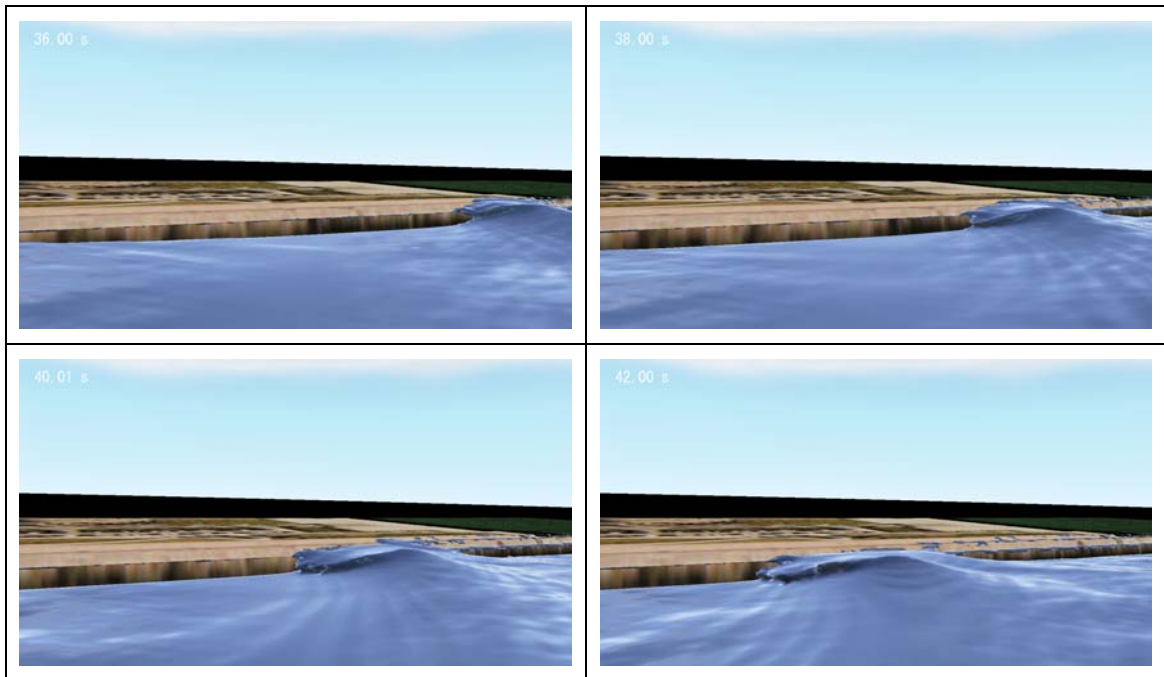
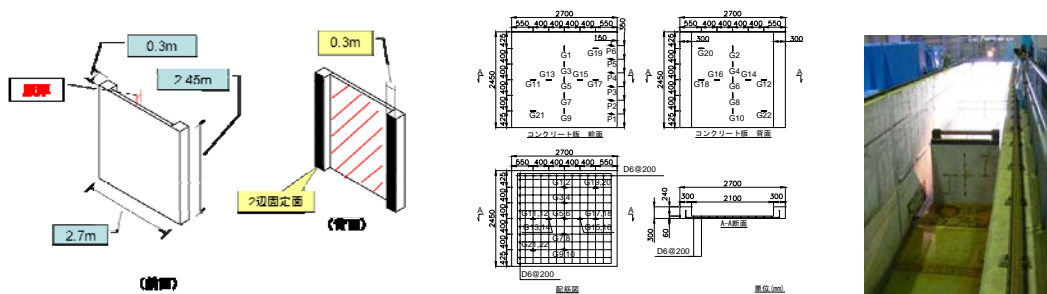


図 9 空間波浪変形 (砕波している様子)

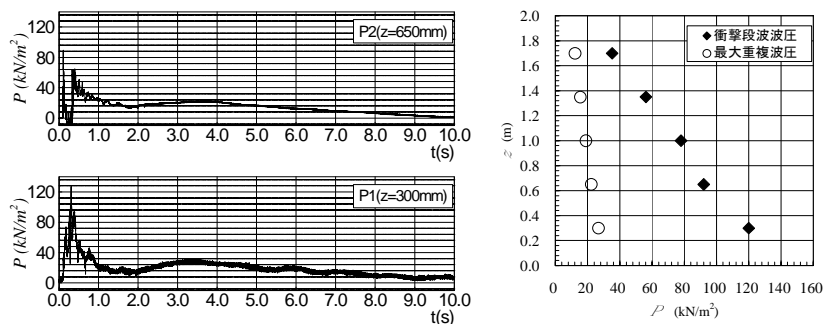
[参考資料]

・コンクリート版の破壊・変形に関する考察

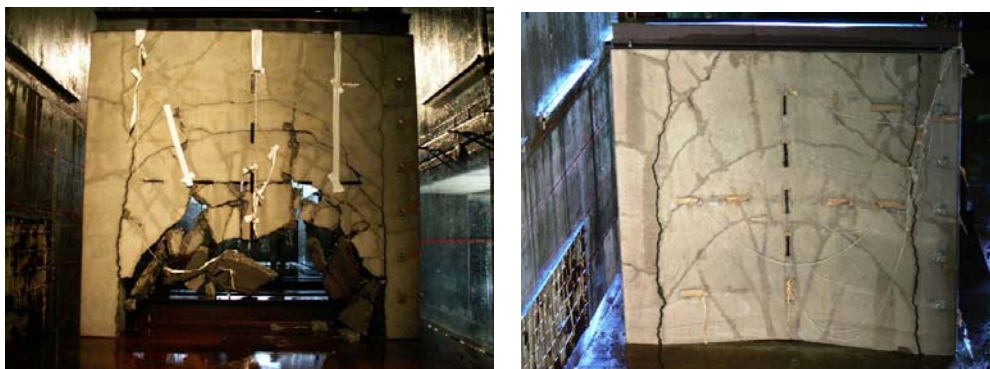
有川ら(2007)では、コンクリート版の破壊・変形に関して大規模な実験を行い、その報告をしている。それによると、図参1のようなコンクリート版を水路に設置し、図参2のような衝突力を持ち、最大圧力に関する鉛直分布を持つ波力を作用させた。そうしたところ版厚 6cm では完全な押抜きせん断破壊が生じ、10cm ではヒビが入り全体破壊にいたった(図参3)。そのため、設計強度の4倍程度以上の衝撃波力が作用すると壊れる破壊に至ることがわかった。それらの一連の実験から、図参4のような破壊の違いが見て取れる。今回の歩道などの破壊の様子からどの程度の力が作用したかの参考になるかもしれない。ただし、歩道の下が空洞でないと成り立たない。



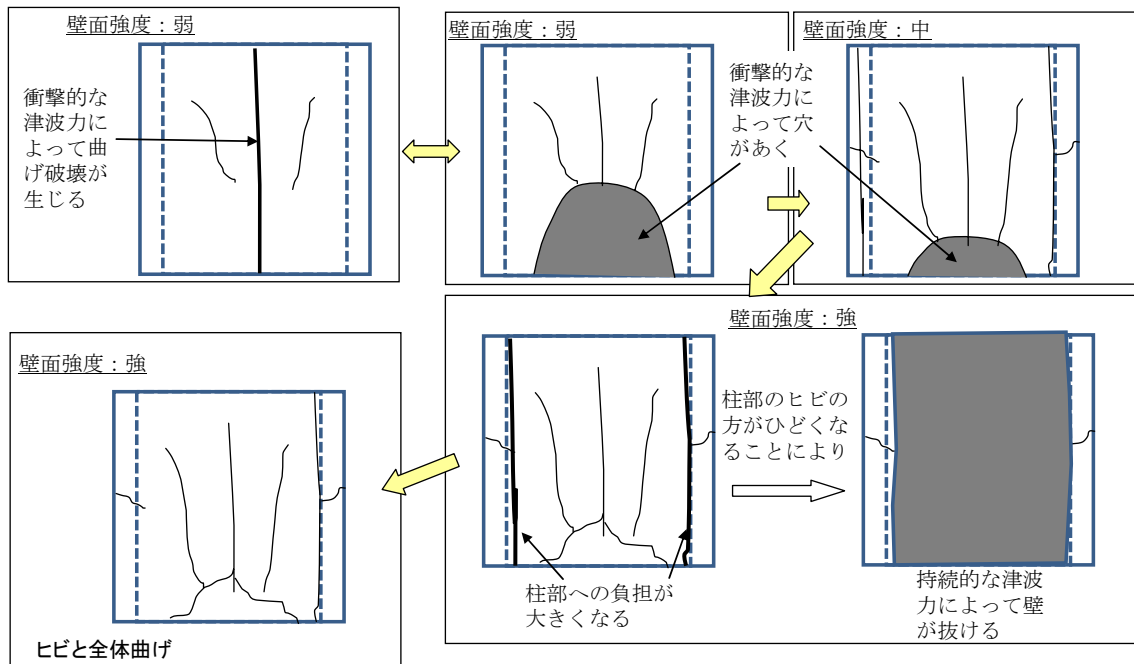
図参1 コンクリート版の図面・設置の様子



図参2 作用させた圧力分布



図参3 版厚による破壊の違い (左 6cm, 右 10cm)



図参 4 壁面強度による衝撃力と破壊形態の違い

これらの結果から考えると、どの程度越波したか、なぜそのような越波が生じたか、越波後の波力がどの程度か、洗掘との関係（歩道が壊れる前から空洞が生じてはいなかったか？）などを現地調査から得られる知見がないか調べておきたい。

参考文献

有川太郎・中野史丈・大坪大輔・下迫健一郎・石川信隆(2007)：遡上津波力による構造物の破壊・変形挙動の検討，海岸工学論文集，第 54 巻， pp.841-845