

高架橋波浪対策護岸における越波量および 水塊打上げ高の現地観測

FIELD OBSERVATION OF WAVE OVERTOPPING RATE AND SPLASH HEIGHT OVER BLOCK MOUND SEAWALL

泉宮尊司¹・馬場真宏²・石橋邦彦³

Takashi IZUMIYA, Masahiro BABA and Kunihiro ISHIBASHI

¹正会員 工博 新潟大学教授 工学部建設学科 (〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐2の町8050番地)

² 工修 前新潟大学大学院自然科学研究科 (〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐2の町8050番地)

³正会員 新潟大学技術職員 工学部建設学科 (〒950-2181 新潟県新潟市五十嵐2の町8050番地)

Field observations have been carried out to investigate on splash height and overtopping rate of block mound seawall at the Oyashirazu Coast in Niigata Prefecture. Splash heights were measured by using video camera system. Velocities and depths of a overtopping flow were directly measured by electro-magnetic current meter and ultrasonic-type elevation meter. The main results are in the followings: Relative heights of a splash depend on the relative crown height (h_c/H_o) and deepwater wave steepness. They increase their values as the relative crown height become large, whereas the deepwater wave steepness become small. Standard deviations of splash height amount to about 25% of the mean value. The maximum velocities of overtopping flow reach from 6m/s to 8m/s with a depth of 5cm to 20cm. The peak values of overtopping rate measured amount to larger than $0.2\text{m}^3/\text{s/m}$.

Key Words : Wave overtopping rate, wave spray, splash height, block mound seawall, field observation.

1. はじめに

新潟県親不知海岸では、波打ち際に設置された高速道路高架橋の橋脚を波浪による磨耗等から保護するために、やや低天端の波浪対策護岸を設置している¹⁾。護岸設置の目的が橋脚の防護であるため、許容越波量も大きく、その排水対策として7%勾配のコンクリート斜面を設置して自然排水するように設計されている。しかしながら、波浪対策護岸の越波量が大きいため、越波流速や水塊および飛沫の打上げ高さがどの程度になるかが、コンクリート面の磨耗や周辺への環境影響を考える上で重要となっている。

これまで越波量や水塊打上げ高の現地観測を行った研究例は数少なく、消波護岸に関して西村ら²⁾、福田ら³⁾および榊山ら⁴⁾、道路護岸では木村らの一連の研究^{5), 6), 7)}があるに過ぎない。平石ら⁸⁾は、台風による緩傾斜護岸の越波による浸水は、サーフビート等の長周期波の影響により越波量が大きくなったことを、高山らの越波量算定法⁹⁾と合田によるサーフビートの式¹⁰⁾を用いて示した。このように越波量や水塊打上げ高は、長周期波を含む波

浪特性に依存し、護岸の形状および消波ブロックの被覆形態にも拠るために、模型実験だけでなく現地での観測を行うことが望ましい。

そこで本研究では、現地護岸の越波流速と越流水深、および水塊打上げ高さ等の測定を行うことを目的として、10m/sの高流速まで測定可能な電波流速計、空中発射式超音波水位計およびビデオ撮影システムを用いて、越波の現地観測を行っている。それらの測定結果を基にして、波浪対策護岸の越流量および水塊打上げ高と波浪諸元との関係を明らかにし、越波の簡易予測法を構築する。

2. 現地観測の概要

越波量および水塊打上げ高の現地観測は、新潟県糸魚川市(旧西頸城郡青海町)親不知海岸の北陸自動車道親不知高架橋の波浪対策護岸で行った。観測期間は、沖波の波浪観測は2003年11月20日から2004年3月10日までであり、越波流速の観測は上記期間中の波浪の比較的大きい日を選び、2004年1月8日、14日から15日、および2月16日である。

写真-1は、親不知高架橋の全景を写したものであり、写真-2は現地観測を行った波浪対策護岸を撮ったものである。この波浪対策護岸は、高架橋橋脚を波浪による磨耗から守るために設置されたもので、一般の海岸保全施設としての護岸とは異なり、天端高が低くT.P. 3.1mとして設計されている。また、消波ブロックは波浪による安定性と磨耗を考慮し公称20tを使用し、天端は2列配置で1:4/3の勾配で設置されている。擁壁はコンクリートブロックでできており、一体化し安定性を増すためにH型鋼が挿し込まれている。

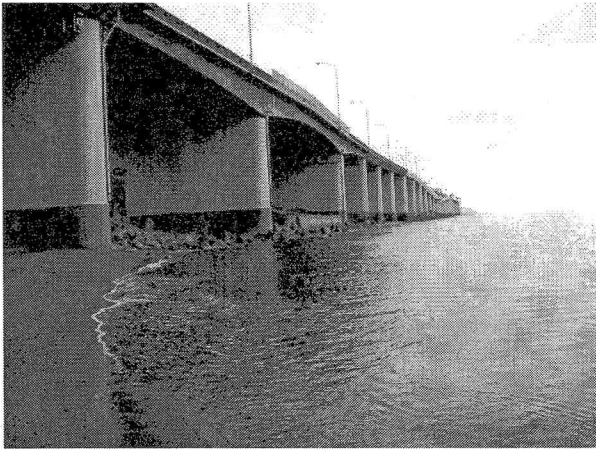


写真-1 親不知高架橋の全景

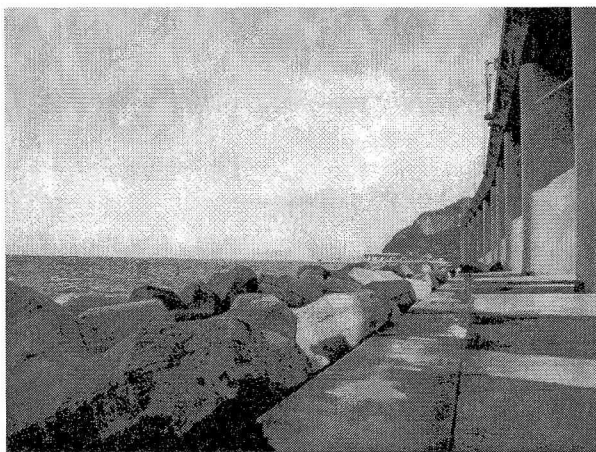


写真-2 現地観測を行った波浪対策護岸

越波の状況および水塊の打上げ高を測定するために、図-1に示すように天端の高い旧護岸(T.P. 12.0m)にビデオカメラを設置した。また、越流水深を測定するために、高架橋管理通路を利用して7%のコンクリート勾配斜面より高さ約10mの位置に空中発射式超音波式水位計を設置している。越流水深を測定している位置は、消波護岸の天端より12.5m岸側の場所である。越流流速の測定には電波流速計を用い越流水深を観測する場所に向けて、

旧護岸天端に設置した。

越流流速の測定に用いた電波流速計は、横河電子機器社製の電波流速計で、マイクロ波のドップラー効果により流速を非接触で計測できるものである。流速の測定範囲は0.5m/s～10m/sで、分解能0.01m/s、最大流速10m/sまで計測できる利点を有している。しかしながら、この流速計は河川や下水流の測定用に開発されたこともあり、平均流速を測定するように設定されているために、1s～3s程度の時間分解能しかないことがやや欠点である。

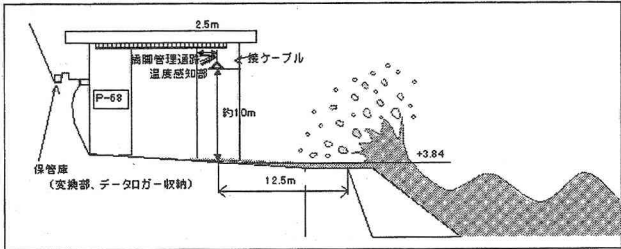


図-1 観測装置の配置

3. 観測結果と考察

(1) 水塊打上げ高の特性

水塊打上げ高の観測は、波浪の比較的大きい日を選びビデオ撮影を行い、撮った画像を3次元透視座標を作成して読み取った。図-2は、親不知海岸沖合の水深20m地点での波高変化を示したものである。有義波高を実線で、最大波高を破線で示している。ビデオ撮影を行った1月8日および1月14日、15日は有義波高が1mから3.5m前後の中規模の時化が生じていたことが分る。

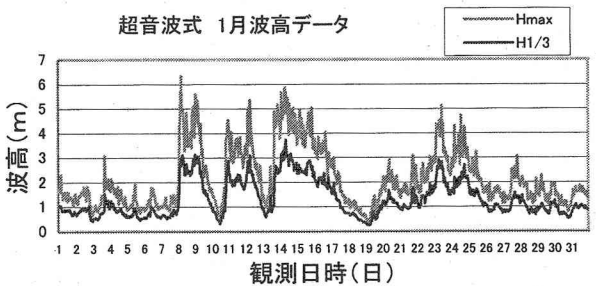


図-2 親不知海岸沖合水深20m地点の波高変化

図-3は、2004年1月14日午前7時50分から8時20分までの間の護岸天端高さを越えた水塊打上げ高 R_w (T.P. 換算値)を示したものである。横軸は波の数(No.)を示している。この時の有義波高は超音波式波高計によると3.58m、有義波周期は9.7sである。水塊の打上げ高は、4m前後の頻度が高いが、時よりT.P. 8mを越える高さを記録している。

図-4および図-5は、1月15日の16時および17時の水塊

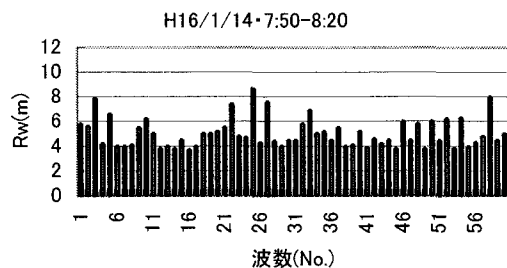


図-3 水塊打上げ高の変化(1月14日8時)

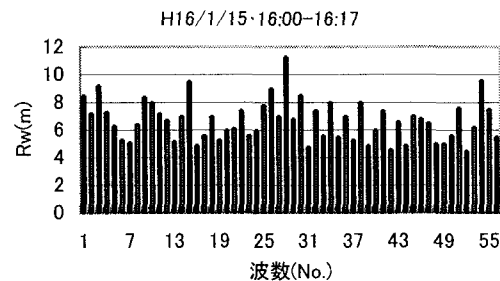


図-4 水塊打上げ高の変化(1月15日16時)

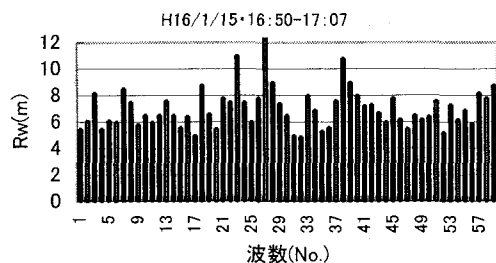


図-5 水塊打上げ高の変化(1月15日17時)

の打上げ高の波数毎の変化を示したものである。これらの時間帯の有義波高と有義波周期は、15日の16時が2.69m、8.9s、17時が2.78mおよび8.9sである。図-3の14日に比べて有義波高が0.8m程度小さくなっているが、水塊の打上げ高は逆に高くなり、その変動も大きくなっている。図-3の水塊の打上げ高の平均値は5.05m、図-4のそれは6.69mおよび図-5は6.69mであり、水塊の打上げ高の標準偏差は、それぞれ1.18m、1.46mおよび1.51mである。図-4と図-5の有義波高と有義波周期はほぼ同じであるので、水塊の打上げ高とその標準偏差はほぼ同じになることが予想されるが、今回の観測結果はこの条件を満たしていることから、50波程度でもそれらの値が有効であると考えられる。

有義波高の小さい1月15日の16時から17時の方が水塊の打上げ高が大きくなったのは、堤脚水深が4.9mから4m前後なので、有義波高が2.7m前後の波の方が護岸直前面で碎波する割合が高くなり、打上げ高も大きくなったものと考えられる。

図-6は、平均水塊打上げ高 R_w と沖波有義波高 H_o との関係を示したものである。この図からは、有義波高が大き

くなると逆に水塊打上げ高が小さくなる傾向にあることが分る。また、有義波高が2.5m前後の値の時に、最大の打上げ高となり、その値はおよそT.P. 7.0m程度である。

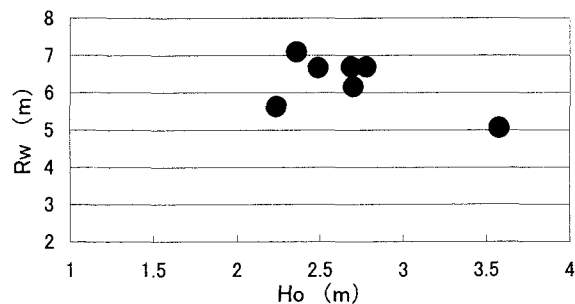


図-6 平均水塊打上げ高と沖波有義波高との関係

図-7は、相対的水塊打上げ高 R_w/H_o と相対天端高 h_c/H_o との関係を示したものである。沖波有義波高 H_o で無次元化した方が関係が分り易く、天端高が相対的に高くなるほど、あるいは天端高が同じ時、沖波波高が小さいほど、無次元水塊打上げ高が大きくなることが言える。ただし、このような関係は、有義波高が2.24m～3.58mで有義波周期が7.9s～10.4sの範囲内で成り立つものであることを注意しなければならない。

相対的水塊打上げ高 R_w/H_o と波形勾配との関係を、図-8に示している。この図より、波形勾配が小さいほど相対的水塊打上げ高が大きくなる傾向にあることが読み取れる。この関係も観測時の波浪の条件より、波形勾配が1.4%から2.7%の範囲において成立するものである。

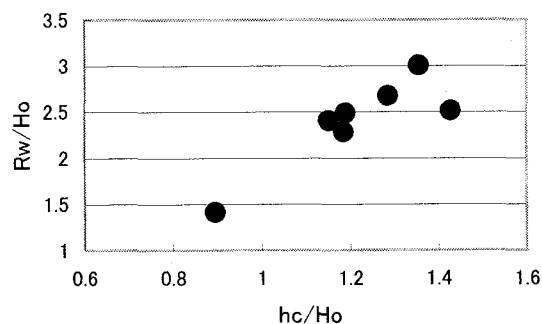


図-7 相対的水塊打上げ高と相対天端高との関係

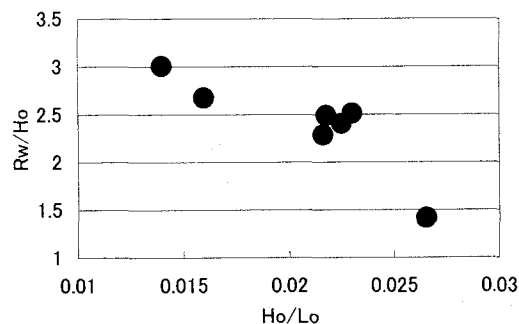


図-8 相対的水塊打上げ高と波形勾配との関係

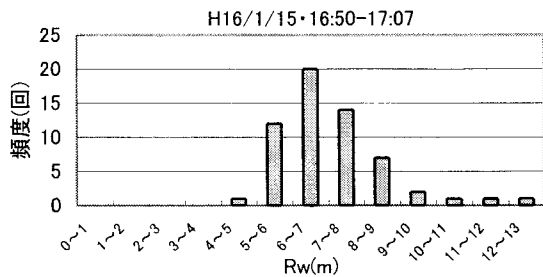


図-9 水塊打上げ高の頻度分布の例

水塊の打上げ高は、図-9に示すように現地波浪の場合大きく変動し、場合によっては平均値の2倍以上となる場合がある。その変動特性の代表値として、標準偏差を算定し、水塊の打上げ高の平均値や波浪諸元や相対天端高との関係を調べることにした。

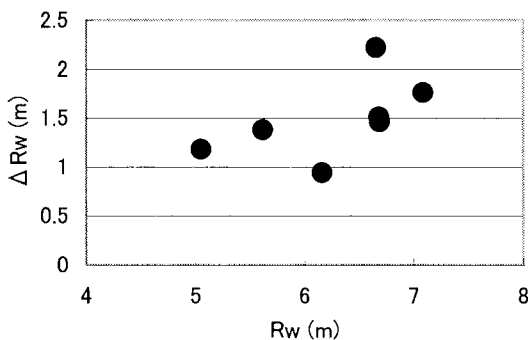


図-10 水塊の打上げ高の平均値とその標準偏差との関係

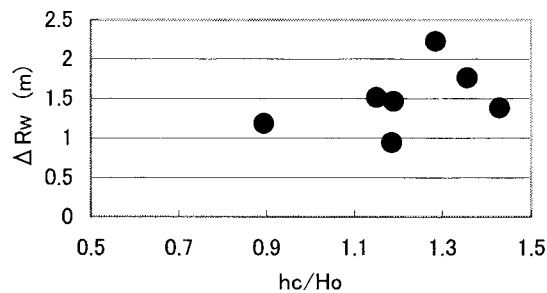


図-11 水塊の打上げ高の標準偏差と相対天端高との関係

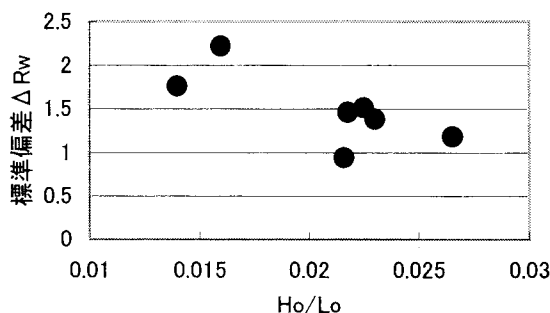


図-12 水塊の打上げ高の標準偏差と波形勾配との関係

図-10は、水塊の打上げ高の平均値とその標準偏差との関係を示したものである。ややデータにばらつきがあるが、水塊の打上げ高の平均値が大きくなるほど標準偏差も大きくなる傾向にあり、標準偏差は平均値のおよそ25%にもなっていることが分る。図-11は、水塊の打上げ高の標準偏差と相対天端高との関係を示している。相対天端高が高くなるほど、あるいは沖波有義波高 H_o が小さくなるほど標準偏差は大きくなる傾向にあるが、データのばらつきが大きいので、相対天端高だけから決っているのではないことがこの図より読み取れる。

水塊の打上げ高の標準偏差と波形勾配との関係を調べたのが図-12である。この図の場合、図-10や図-11のものに比べると変動が小さく、波形勾配が大きいほど標準偏差は小さくなる傾向にあると言えることができる。ただし、観測されたデータが限られており、波形勾配の値が1.4%から2.7%の範囲においてほぼ成立するものである。

(2) 越流流速および越流水深の特性

親不知高架橋の波浪対策護岸は、波浪による磨耗から橋脚を守る目的で建設されたため、一般の海岸保全施設と異なり越波量がかなり大きい施設である。このため実際に越波量や越流流速がどの程度になるかを調べることは、既存の橋脚や波浪対策護岸自体への影響を知る上で重要なことである。本研究では、このような越波量の大きい条件での越波流速と越流水深の観測を試みている。

越波流速の観測は、洪水観測等に用いられている電波流速計を用い、越流水深は空中発射式超音波水位計を用いた。取得されたデータは、1Hzでサンプリングされデータロガーに記録された。図-13および図-14は、電波流速計により測定された越流流速である。図-13は、2004年1月14日18時00分から15分までの記録であり、下側の図-14は同じく1月14日21時00分から15分までのものである。この観測時の水深20mでの有義波高および有義波周期は、それぞれ18時で2.60m、9.9s、21時には2.50m、8.7sであった。

図-13および図-14より、越流流速は最大で6m/sから8m/sにも達することが分る。しかしながら、流速1m/s以下で負の流速は上手く観測されていない。これは流速が小さく水面が滑らか時には、電波の後方散乱強度が低下し、データの取得率がかなり低下することが考えられる。越波量を算定する際には、低流速時の誤差が含まれることが予想されるが、水位観測結果から低流速時には越流水深が2cm～3cm以下であることを考慮すると、越波量のオーダは高流速時の流量で決っていることになる。したがって本研究では、電波流速計で観測された流速と水位計で観測された水深を乗じるにより越波量の算定を試みることにする。

図-15および図-16は、2004年1月14日の18時48分および21時06分の越流水深と越流量の時間変化を示したものである。前者の図では、越流水深が5～6cm程度であり、極めて薄い層状で越流していたことが分る。一方、後者

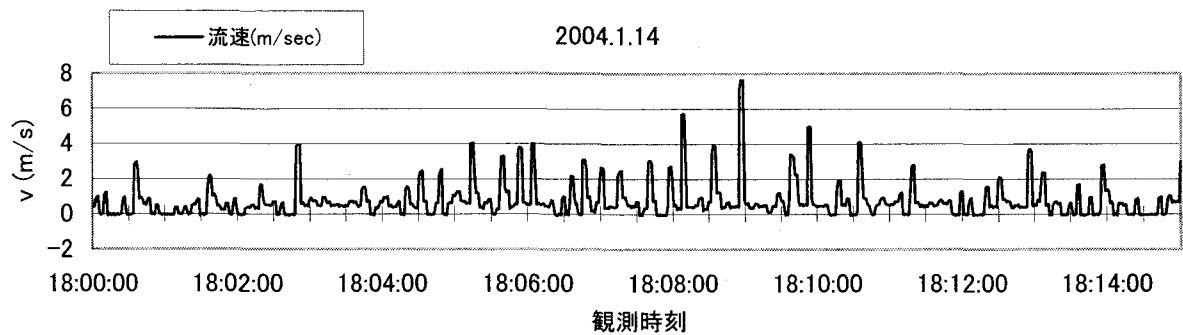


図-13 越流流速の時間変化(2004年1月14日18時)

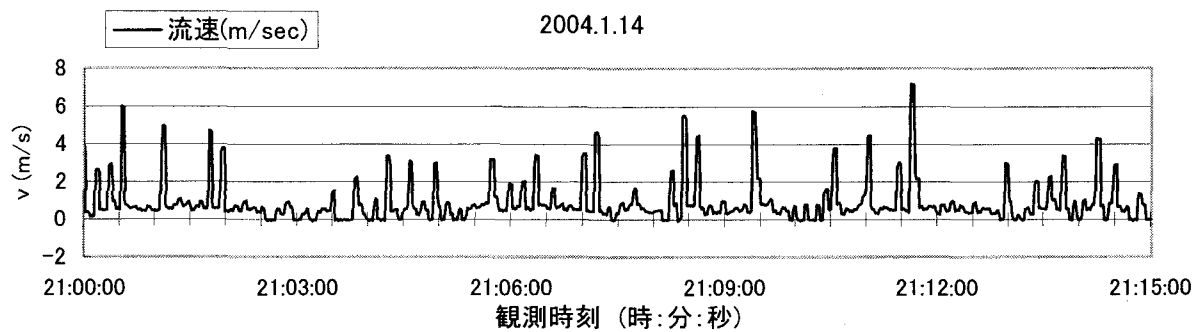


図-14 越流流速の時間変化(2004年1月14日21時)

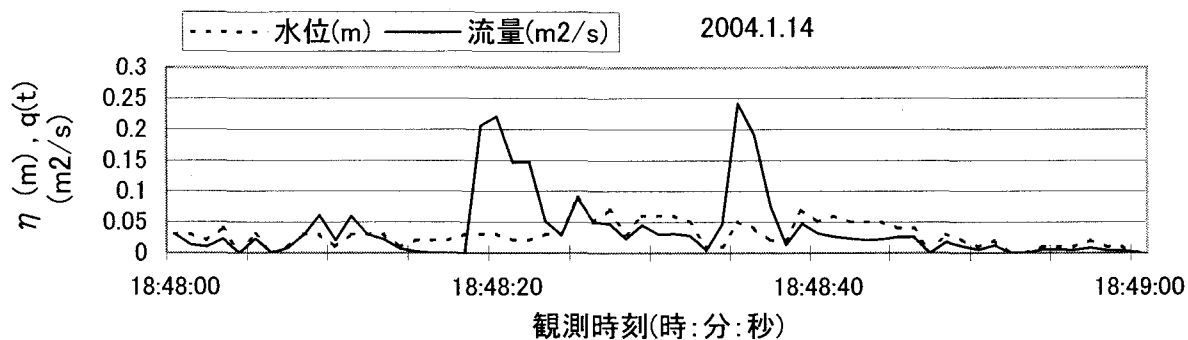


図-15 越流水深と越流量の時間変化(18時48分)

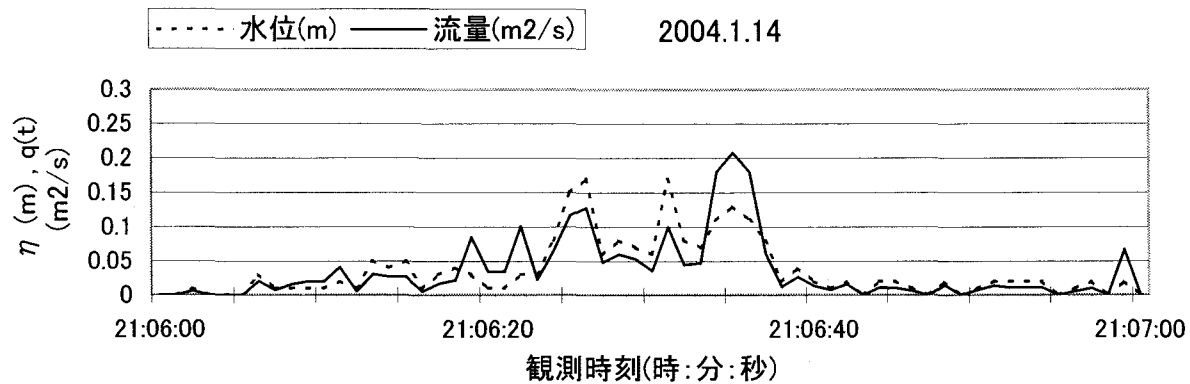


図-16 越流水深と越流量の時間変化(21時06分)

では、越流水深が17cm程度とやや大きくなっている。越流量に関しては、 $0.2\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ を超えることがあり、かなり大きな越流が生じていることが分る。越流流速および越流量共に波浪の周期に対応した5sから10s程度の周期変動が見られるが、図-16に見られるように沖波の波群性によって、越流水深および越流量ともに20sから30s程度の長周期変動が見られた。越流水深が2cm～3cm程度以下で沖側に向かう流速の測定については、殆ど上手く計測できておらず、電波流速計で越波流速を観測する際の課題として残っている。

4. 結論

新潟県親不知海岸にある高架橋波浪対策護岸において、水塊打上げ高および越波量の現地観測を行い、以下の事柄が明らかとなった。

- (1) 水塊打上げ高は、沖波波高よりも相対天端高 h_c/H_0 と波形勾配に依存し、相対天端高が大きいほど、波形勾配が小さいほど相対水塊打上げ高 R_w/H_0 の値は大きくなることが明らかとなった。ただし、この関係は観測を行った時の有義波高2mから3.6m程度の波浪に対して成立するものである。
- (2) 水塊打上げ高は変動が大きく、その標準偏差の値は平均値の25%程度であった。また、この標準偏差の値は、波形勾配に最も依存性が高く、波形勾配が小さいほど大きくなる傾向にあることが分った。しかしながら、水塊の打上げ高は砕波現象に強く依存する現象であるので、様々な波浪条件のもとで観測データを蓄積する必要がある。
- (3) 電波流速計を用いて越波流速を測定したところ、その最大値は6m/sから8m/sにもなることが明らかとなった。ただし、電波流速計を測定位置より20m程度離れた位置に設置していることもあり、低流速時に特に冲向きの負の流速は測定できなかった。これは、水面が滑らかになりBragg散乱強度が小さくなり過ぎたことによると考えられる。
- (4) 空中発射式の超音波式水位計による越流水深と電波流速計による越流流速から越波量を評価したところ、波浪対策護岸の天端高がT.P. 3.1mと低いこともあり、 $0.2\text{m}^3/\text{s}/\text{m}$ 以上となることが明らかとなった。
- (5) 電波流速計では、越波流速の小さい位相での測定精度が鏡面反射に近い状態のなるため多少低下するが、今回の護岸では越波量は高流速時の流量が支配的であるので、このような場合には電波流速計は有効な計測装置であると考えられる。

なお、本研究では電波流速計および超音波水位計を越波の観測に初めて用いたが、その精度の検証のためには別の観測機器による計測や更なるデータの蓄積が必要であり、工学的な結論を得るためにも今後そのような現地観測を実施したいと考えている。

謝辞：本研究で用いた波浪および越波観測データは、日本道路公団北陸支社信越工事事務所によって取得されたものであり、水塊打上げ高および越波量の解析は新潟大学が行ったことを付記し、データ提供に関して感謝いたします。

参考文献

- 1) 泉宮尊司，中野秀紀，石橋邦彦：高架橋波浪対策護岸における越波および水塊打上げ高の確率分布特性，海洋開発論文集，第20巻，pp. 119-124，2004.
- 2) 西村一男，入江功：防波護岸の越波に関する現地観測（第1報），第19回海講論文集，pp. 297-302，1972.
- 3) 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回海講論文集，pp. 113-118，1973.
- 4) 榊山勉，鹿島遼一：消波護岸の越波に関する現地観測と水理実験との比較，海岸工学論文集，第44巻，pp. 736-740，1997.
- 5) 木村克俊，藤池貴史，上久保勝美，安倍隆二，石本敬志：道路護岸における波の打ち上げ特性に関する現地観測，海岸工学論文集，第45巻，pp. 676-680，1998.
- 6) 木村克俊，安田佳乃子，山本泰司，梅沢信敏，清水敏晶，佐藤隆：道路護岸における越波による通行障害とその対策について，海岸工学論文集，第48巻，pp. 756-760，2001.
- 7) 木村克俊，浜口正志，岡田真衣子，清水敏晶：消波護岸における越波飛沫の飛散特性と背後道路への影響，海岸工学論文集，第50巻，pp. 796-800，2003.
- 8) 平石哲也，末松忠敬，楠瀬洋，島元民男，鈴木善光，榊原弘，殿最浩司：緩傾斜護岸の波の打ち上げ高および越波に及ぼす長周期波の影響に関する現地調査：海岸工学論文集，第45巻，pp. 671-675，1998.
- 9) 高山知司，永井紀彦，西田一彦：各種消波工による越波流量の減少効果，港湾技術研究所報告，第21巻，第2号，pp. 151-206，1982.
- 10) 合田良実：浅海域における波浪の砕波変形，港湾技術研究所報告，第14巻，第3号，pp. 59-106，1975.