親不知海岸高架橋における波浪対策消波 ブロックの被災度現地調査と安定数算定式を 用いた設計評価手法の提案

久保田 謙作¹・高橋 祐²・高橋隆男³・南雲 一也⁴・伊藤 正喜⁵

¹正会員 (株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 (〒950-0916 新潟県新潟市中央区米山五丁目1番35号)

E-mail:k.kubota.sb@e-nexco.co.jp

²東日本高速道路(株)新潟支社 信越工事事務所 (〒160-0004 新潟県上越市本町5番9号)

E-mail:y.takahashi.ab@e-nexco.co.jp

³(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 (〒950-0916 新潟県新潟市中央区米山五丁目1番35号)

E-mail:t.takahashi.so@e-nexco.co.jp

⁴(株)ネクスコ・エンジニアリング新潟 (〒950-0916 新潟県新潟市中央区米山五丁目1番35号)

E-mail:k.nagumo.sb@e-nexco.co.jp

⁵(株)開発技術コンサルタント (〒951-8133 新潟県新潟市中央区川岸町三丁目33番地3)

E-mail:itoh_m@decltd.co.jp

消波ブロックの安定性については、海岸構造物を保全するうえで最も重要な要素のひとつであり、これまで水理模型実験など多くの研究が行われ、それにより求められた安定数算定式は設計手法として一般的に用いられるようになっていく。一方、厳しい海象による海岸構造物の被災は留まることはなく、特に、最近の異常気象による被災は大きく、現地に合った波浪対策設計が求められている。本研究では、被災した消波ブロックの詳細な現地調査を行い、既往の安定数算定式から算出された数値との比較評価により適用性を確認するとともに、近傍のナウファスデータを換算して波浪データに用いる手法を示している。これらについては、当海岸と同様な急勾配で岩礁を有する礫海岸での設計検討において大いに参考となるものと考えられる。

Key Words : field investigation, wave-dissipating concrete block, damage level, seawall, stability formula

1. はじめに

北陸自動車道親不知海岸高架橋は、新潟県糸魚川市に位置し、日本海の荒波が直接、下部工に衝突する海岸線に建設されているため、建設当初から下部工に対して緩傾斜護岸工や消波ブロックなどの波浪対策工を実施している。しかし、建設後約10年で緩傾斜護岸工による対策区間については消失し、その後、抜本的な対策として重力式擁壁による埋め立て陸上化を行うとともに、越波抑制のため擁壁工前面に25 t型消波ブロック天端2列による対策工事が行われた。

しかしながら、25 t型消波ブロックは設計以上の高波により被災しブロックの流出や擁壁工前面に侵入した巨礫による摺鉢状の磨耗損傷が発生した。これらのメカニズムについては、著者の研究¹⁾により明らかにされ既存

対策工に40 t型消波ブロック天端2列をさらに被覆するなどの対策を講じている。

一方で、40 t型消波ブロックの安定性については評価されておらず、親不知海岸特有の急勾配で岩礁を有する礫海岸における荒波の影響については予測できていない。

本研究は、実際に被災した25 t型消波ブロックの被害率を詳しく調査し、既往の安定数算定式による計算値と比較検証することにより、その適用性を確認したうえで40 t型消波ブロックの安定性を評価するものである。

2. 安定性の検討フロー

安定性の検討フローは、図-1のとおりである。まず、損傷したブロックの被害率の計測を行い、基本データを

図-1 安定性評価の検討フロー

整理する。この場合、今後の検証に対応するため被害率を被災度に置き換えるものとする。次に、波浪データの解析については、比較的短期間の現地波浪データと国土交通省港湾局によって観測され、港湾空港技術研究所で処理されたナウファスデータ（NOWPHAS沿岸波浪観測値）との相関分析で求めた回帰式による変換値を用いた。これにより、長期間にわたり膨大な現地データを計測することなく分析ができ、事後の検討の場合にも適用可能となる。

次に、既往の安定数算定式に基づきナウファスデータ

図-2 横断面図

による波高階級ごとの被災度（計算値）を算定し、実測被災度と比較検討を行い適用性の確認を行い、最後に、対策した40 t型消波ブロックの安定性について評価する。

3. 現地調査

消波護岸工の横断面図を図-2に示す。現地調査は、潜水士により約3千個の25 t型消波ブロックについて、図-3のとおり19区画の調査区間に分け流出及び破損個数を計測し、工事を行ったT、W、M、Eの4つの工区別に被害率を整理した。これは工区により完成年度が異なり、遭遇波浪に差があることから、被災度解析を正確に行うため工区ごとにまとめたものである。

調査結果を表-1に示す。全体平均被害率は5.4 %であり工区別の最大値はT工事の8.8 %に達し、設置後4年程

図-3 工区別調査位置図

表-1 工区別被害率一覧表

工事区分	T工事	W工事	M工事	E工事	合計
延長 (m)	110.0	307.5	266.0	250.0	933.5
設置個数 (個)	363	1,007	851	815	3,036
被災個数 (個)	32	59	40	33	164
被害率 (%)	8.8	5.9	4.7	4.0	5.4
被災度	0.635	0.425	0.339	0.288	0.389

注) 被災度 $N_o = 0.3 \times N_p / 4.16$ ここに、 N_p : 被害率 (%)

度での被害率としては大変大きいものとなっている。

ここで、被害率 N_p (%)と被災度 N_o の関係について整理する。被災度は、法線方向におけるブロック代表径幅の範囲において被災したブロック個数を表すもので、高橋・半沢ら²⁾によると次式(1)のとおり示している。

$$N_o = (0.2 \sim 0.3) N_p \quad (1)$$

この関係は、比較的大規模な全断面被覆堤を前提とし、被害率1 %において被災度 N_o では0.3程度であることを示している。しかし、当該現地は水深5 m程度と浅い反面、大きな消波ブロックを使用しており、そのまま適用すると過大となるため、ブロック代表径 D_0 あたりの設置個数7,206個に対し被災個数を0.3個とした場合の被害率4.16 %を除した式(2)のとおり補正することとした。

$$N_o = 0.3 N_p / 4.16 \quad (2)$$

4. 波浪データの解析

(1) 波高・波向の相関分析

図-4 親不知海岸と直江津における波高と波向の比較

図-5 親不知海岸と直江津の波の遮へい効果

安定数の算定にあたって、使用する波浪データについては現地計測値が望ましいが、被災経過期間すべてを計測することは現実的に難しいため、2003年11月から2004年3月までの約5ヶ月間に親不知海岸で実測したデータと、親不知海岸に最も近い直江津におけるナウファスデータとの相関分析により適用性を確認した。

まず、図-4のとおり親不知海岸実測データと直江津ナウファスデータを比較した。これをみると、波向によって波高の相関関係に影響あることがわかり、その原因と考えられる能登半島の影響範囲について、図-5のとおり親不知海岸を基準にNNW(337.5度)の方向を境として西側の遮へい域と東側の2区域に分けて相関分析を行った。

その結果、波高については図-6及び図-7に示すとおり、NNWから西側では0.817及び東側では0.901という高い相

図-6 親不知海岸と直江津における波高の相関関係（西側）

図-7 親不知海岸と直江津における波高の相関関係（東側）

関係数を得られ、波向については遮へい域を考慮して区域を分けて分析することで相関性を高めることができた。よって、この回帰式に基づき変換したナウファスデータを親不知海岸の波高データとしてを用いることとした。なお、図-6において、高い波高域で相関が悪くなっている要因については、波高計の設置水深の差や岩礁などの海底地形の違いが考えられる。波高計の設置水深は、親不知海岸で-20 mであるが直江津では-32mと大きな差があり、どちらか一方のみが砕波帯に入ったものと考えられる。

周期の相関については、波高と同様な分析を行い NNWから西側の波での相関係数は0.730、東側では0.846であった。

(2) 遭遇波浪回数と親不知海岸推算波データの算出

親不知海岸における波浪データを算出するためには、波高階級別の波浪回数及び波高・周期データを求める必

図-8 50年間における推算波高別の遭遇波浪回数(親不知海岸)

要がある。これらのデータは、25 t型消波ブロックの設置工事期間を含む2000年から2010年までの11年分のナウファスデータを用い、その出現頻度統計データの代表値を回帰式により変換して求め、また、波浪回数については波向別に適用する回帰式が異なるため、波向別に分類のうえ集計した。この場合、対象とする波高は被災度に大きく影響する3 m以上とした。なお、ナウファスデータの欠測については、11年間の測得率が平均で97.5 %と高いことから問題ないものと考えられる。

図-8は、回帰式により変換した親不知海岸の推算波高について、50年間での遭遇波浪回数を波向別に示したものである。これによると能登半島の影響を受けている NNWから西側の波浪回数は少なく、ほとんどがNNWから東側の波の影響であることがわかった。

(3) 護岸位置における波高の算定

波浪対策護岸工は、図-2のとおり水深5 m程度であるとともに波高計設置水深が-20 mと浅いため、その影響による波高変形を考慮する必要がある。本研究において考慮した要素としては、浅水変形、砕波及び平均水位上昇量とし、いずれも港湾の施設の技術上の基準・同解説³⁾の該当項目のとおり検討した。また、海底勾配については、深浅測量などの現地データを用いることとしたが1/10~1/30と幅広く変化しているため、本検討では最も厳しい1/10を採用した。

5. 被災度の算定

(1) 安定数算定式

既往の安定数算定式については、ファン・デル・メーヤによる評価式や、それにならった高橋・半沢ら²⁾の式があり、高橋・半沢らは水深が浅い場合に砕波する大きな波の影響を C_H (砕波効果係数)で示している。また、安田・間瀬ら⁴⁾は、砕波形態を考慮した式を提案している。本研究では、親不知海岸の特徴である急勾配で岩礁を有する礫海岸であるうえ、浅い護岸位置での検討を行うことを考慮し、砕波の影響を詳しく解析している高橋・半沢らによる期待被災度を考慮した消波ブロックの安定重量(1998)に関する研究²⁾の中で示されている次式(3)及び(4)を用い、現地データとの比較を行う。

$$N_s = C_H [a (N_0 / N^{.05})^{.02} + b] \quad (3)$$

$$C_H = 1.4 / (H_{1/20} / H_{1/3}) \quad (4)$$

ここに、 N_s は安定数、 a 、 b は消波ブロックの種類(形状)や斜面勾配ごとに決まる定数であり、本研究で使用した消波ブロックの諸元が K_D 値8.6、斜面勾配1:1.5であるため $a=2.32$ 、 $b=1.47$ となる。 C_H は砕波の影響を示す係数(砕波効果係数)、 N は波数である。また、高橋・半沢らは、この中で図-9に示す5波高($H_{1/3}$)沖での波高の比率($H_{1/20} / H_{1/3}$)の算定図²⁾を示しているが、本研究は護岸工の検討であるため護岸位置でのデータとした。また、算定図は C_H に大きく影響することが想定されるため、算定図の海底勾配を変化させて被災度を算出し計算値と実測値を比較した。

(2) 海底勾配の影響

図-9 $(H_{1/20} / H_{1/3})$ の算定図

図-10は、工区別の被災度について、海底勾配ごとの計算値と実測値を比較したものであり、計算値の海底勾配については、1/10、1/15及び1/20の3パターン設定した。なお、1/15については、1/10読み取り値と1/20読み取り値の単純平均値にて算出している。この図から1/15及び1/20については実測値に近い値を示し、区画データの最大値から最小値の幅でみても、ほぼ収まる良好な結果が得られた。ここで、海底勾配1/20において、護岸工から5波高沖の水深での被災度と比較すると、ほぼ実測値と重なる結果が得られた。一方、海底勾配1/10における被災度については、すべての工区で実績値より計算値が大幅に大きくなった。この理由を考察すると、実際の海底勾配が水深-30 mから陸側において1/20から1/30であることから一致したものと考えられるが、一方、海底勾配1/10では被災度が大きくすぎる傾向があり、海底勾配1/10における適用については注意する必要がある。

以上のことから、高橋・半沢らの安定数算定式の現地設計への適用性については確認されたが、砕波効果係数に大きく影響する海底勾配の数値の取り方については、いくつかのパターンで被災度計算値の感度分析を行い確認する必要があるものと考えられる。

(3) 40t型消波ブロックによる対策の評価

25 t型消波ブロックにおける被災度について、実測値と計算値との比較により高橋・半沢らの安定数算定式の適用性が確認できたことから、対策を行った40 t型消波ブロックの安定性評価についても同様な手法にて検証した。その結果、耐用年数を50年とした場合の累積被災度は、海底勾配1/20で0.09(被害率2.06%)、1/15で0.14(被害率

図-10 海底勾配別被災度の計算値と実測値の比較

図-11 観測波高別の50年間累計被災度(ブロック質量別)

3.30 %)となり、いずれも安定性が確保できていることが確認できた。図-11は、観測波高別の50年間累計被災度についてブロック質量ごとに表したものであり、1/15と1/20の海底勾配についても比較している。なお、NNWから西側の波は40 t型消波ブロックにほとんど影響を与えないため、NNWから東側のみ分析を行った。

この結果から、40 t型消波ブロックは高い波高域で影響を受けるが、必要質量に満たない25 t型消波ブロックは比較的低い波高域で被災を受けていることがわかった。

6. 結論

本研究では、実測した消波ブロックの被害率を高橋・半沢らの安定数算定式から求めた計算値と比較し、その適用性について解析した。また、波浪データについてはナウファスデータを活用するなど解析手法について提案した。これらの結論は次のとおりである。

- 1) 高橋・半沢らの安定数算定式による被災度計算値を実測値と比較した結果、適用性が確認された。ただし、碎波効果係数 C_H は海底勾配に敏感であるため、いくつかの海底勾配条件で妥当性を評価する必要がある。特に、海底勾配1/10の場合は注意を要する。
- 2) 安定数算定式に必要な波浪データについては、比較的短い期間の現地データとナウファスデータの相関関係を分析し回帰式を求めることで効率的に解析できる。その場合、遮へいの影響を考えた波向に区分することで相関性を高めることが可能である。
- 3) 40 t型消波ブロック対策による安定性については、耐用年数50年で累積被災度が海底勾配1/20で0.09と低く、十分安定していることが確認できた。

海岸構造物の安定性評価の精度を向上させるためには、設計値と現地実測値との比較データの蓄積が必要であり、本研究は、それを実施するための着眼点を示せたものと思われる。さらに、効率的なメンテナンスを図るうえでも寄与するものと考えられる。

参考文献

- 1) 久保田謙作：親不知海岸高架橋の波浪対策護岸の磨耗現象とその対策法，土木学会論文集 B3(海洋開発)，Vol.68, No2, pp.504-509, 2012.
- 2) 高橋重雄，半沢稔，佐藤弘和，五明美智男，下迫健一郎，寺内潔，高山知司，谷本勝利：期待被災度を考慮した消波ブロックの安定重量—消波ブロック被覆堤の設計法の再検討，第1報—，港湾技術研究所報告，第37巻，第1号，pp.3-32, 1998.
- 3) 社団法人日本港湾協会：港湾の施設の技術上の基準・同解説，2007.
- 4) 安田誠之，間瀬肇，高橋真弘，松下紘資，徳永誠之：波形勾配および碎波の影響を考慮した消波ブロック安定数算定式の提案，海洋開発論文集，第25巻，pp.575-580, 2009.

FIELD INVESTIGATION ON THE DAMAGE LEVEL OF WAVE-DISSIPATING CONCRETE BLOCKS IN FRONT OF SEAWALLS ON THE OYASHIRAZU COAST IN NIIGATA PREFECTURE

Kensaku KUBOTA, Yu TAKAHASHI, Takao TAKAHASHI, Kazuya NAGUMO and Masaki ITO

A field investigation has been carried out to evaluate the damage level of wave-dissipating concrete blocks on the Oyashirazu Coast in Niigata Prefecture. Wave heights on the Oyashirazu Coast for 8 years were estimated by correlating the wave heights at the wave observation station off the Naoetsu Port. The damage levels of concrete blocks were estimated with a stability formula for wave dissipating concrete blocks proposed by Takahashi et al. and compared with the field data. When the mean sea bottom slope is assumed to be 1/20, the agreement between them is fairly good. This result is useful for engineers responsible for maintaining and managing coastal structures.