

消波ブロック被覆堤の沈下被災とその対策について

北海道開発局 小樽開発建設部 小樽港湾事務所 第2計画課 林 譽命

1. まえがき

消波ブロック被覆堤は、反射波と波力を低減するために堤体前面に消波ブロックを設置する形式の防波堤であるが、砂地盤上に設置された消波ブロック被覆堤に比較的大きな波が来襲すると、消波ブロックの沈下が生じる場合があることが経験的に知られている。その主な原因は、これまで波浪作用によるのり先洗掘であると考えられ、その対策として消波ブロックの下に割石やシート・マット類を設置するなどの経験的な工法を採用し、一定の効果が得られていた。しかし、前述の対策を行ったにもかかわらず消波ブロックや本体の沈下災害が発生している施設が見受けられたため、それらの被災状況を整理するとともにその対策方法を検討するものである。

2. 砂地盤上での洗掘と吸い出し

直立型の防波堤で発生する大規模な洗掘については、重複波の流速の速い節の部分から砂が腹の部分に運ばれて洗掘が起こる L-type 洗掘として知られており、対策としてはグラベルマットや石かご、洗掘防止マット等をのり先に敷設する方法が知られている。消波ブロック被覆堤は直立型に比べ重複波が形成されにくいことから洗掘対策としても有効とされてきたが、消波ブロック被覆堤の沈下による被災がしばしば発生している。その原因については L-type 洗掘の延長線上で考えられており、直立型と同様な対策工が採用されている。しかし、過去の被災事例の分析及び大型模型実験による最近の研究により、このような消波ブロックの沈下現象は、捨石マウンド下面からの砂地盤表面付近の砂の吸出しが主な原因で生じていることが明らかになってきた。

3. 北海道における最近の被災事例

表-1は北海道における最近の消波ブロック被覆堤の被災事例をまとめたものであり、これらの被災事例の中からY港D防砂堤について詳細を述べる。

表-1 北海道における消波ブロック被覆堤の被災事例

	X港 A護岸	Y港 B防砂堤	Y港 C防波堤	Y港 D防砂堤
堤体水深	-8.0m	-9.0m	-13.8m	-6.0m
底質粒径 d_{50}	0.11mm	0.13~0.15mm	0.10~0.17mm	0.10~0.15mm
設計波	$H_0=6.1\text{m}$, 13.0s	$H_0=8.6\text{m}$, 11.4s	$H_0=8.6\text{m}$, 11.4s	$H_0=8.6\text{m}$, 11.4s
被災時波浪	$H_0=3.54\text{m}$, 17.8s	$H_0=5.90\text{m}$, 9.7s	$H_0=5.90\text{m}$, 9.7s	$H_0=4.87\text{m}$, 9.3s
被災状況	・消波ブロック 2.3m沈下 ・ケーソン 最大45cm沈下	・消波ブロック 1.0m沈下 ・ケーソン 堤頭部80cm沈下 堤幹部30cm沈下 堤頭函の傾斜	・消波ブロック 1.5m沈下 ・ケーソン 60cm沈下	・消波ブロック 1.5m沈下 ・ケーソン 1.6m沈下

D防砂堤は汀線にほぼ平行に配置された延長300mの消波ブロック被覆堤であり、図-1はその被災状況を示したものである。前年度同港B防砂堤堤頭部が沈下被災した経

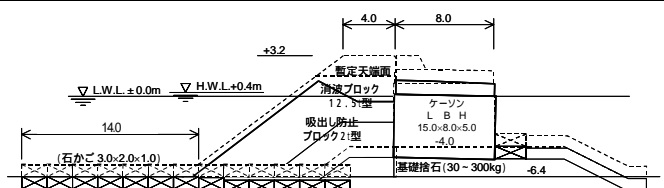


図-1 D防砂堤の被災状況

験から、本防砂堤においては、先端ケーソンと消波ブロック下面に洗掘防止マットが敷設されていた。

写真 - 1 および図 - 2 に示すように、平成 13 年に施工した延長 200m のうち両端部を除くケーソンと消波ブロックが、同年冬期の風浪を受けて沈下した。堤頭部は洗掘防止マットが敷設されていたため、ブロック及びケーソンはほとんど沈下していない。また、反対側の端部ケーソンは、既存防波堤の基礎マウンド上に設置していたためあまり沈下していない。被災時の波浪は、波高、周期とも設計波より小さく、地盤の支持力不足とは考えにくく、地盤が細砂であり消波ブロックも沈下していることから、砂地盤の吸出しによる沈下であったと考えられる。



写真 - 1 D防砂堤の被災状況

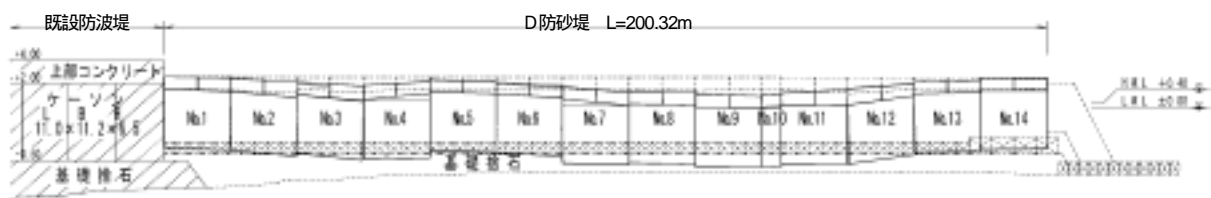


図 - 2 D防砂堤被災状況縦断面図

図 - 3 は沈下量の最も大きなケーソンの天端高の変化と来襲波高(-25m地点での観測値)の関係を示したもので、高波浪来襲時にケーソンの沈下量が累積されている状況がわかる。有義波高が 3m 程度以上で沈下が進み、作用時間が長いほど沈下量が大きいようである。しかし、12月30日に最も大きい波浪が来襲したにも係わらず、ケーソンの沈下は 2cm にとどまり、その後 3月までに有義波高が 3m を越える波浪の来襲を 4 回受けたが、ケーソンはほとんど沈下していない。

過去に実施された水理模型実験においても、波の作用数が増えると吸出し量が小さくなり安定する傾向があり、消波ブロックが沈下した現地の防波堤では、ブロックを補充して復旧したあとは、あまり沈下は見られないことから、吸出しがある程度進むと安定した状態になることが考えられる。

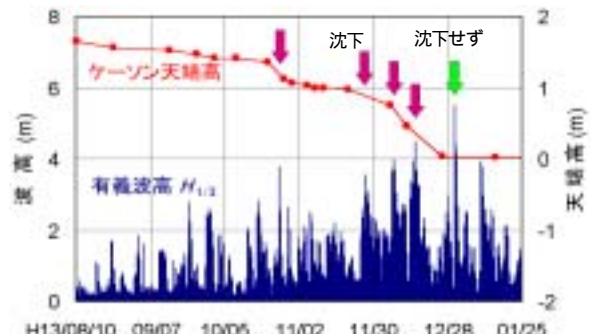


図 - 3 D防砂堤ケーソンの沈下と来襲波高

4 . 数値計算による被災原因の検討

4 . 1 計算手法

本検討では、波・流れ・地盤の相互作用について数値解析により評価を行うことのできる数値波動水路を用いて消波ブロック被覆堤周辺における流体運動を再現し、特に、吸出し現象の発生条件について、基礎マウンド内に発生する流速からアプローチするものである。なお、本検討では、多孔質体の抵抗を損失水頭の形で表した Dupuit-Forchheimer 式を

用いて、捨石やブロックの大きさを反映できる次式を用いることとした。

$$R_x = \gamma_x u \left(\alpha + \beta \sqrt{u^2 + w^2} \right) \quad ; \quad \alpha = \alpha_0 \frac{(1-\gamma_v)^3}{\gamma_v^2} \frac{\nu}{d^2}, \quad \beta = \beta_0 \frac{(1-\gamma_v)}{\gamma_v^3} \frac{1}{d} \quad (1)$$

$$R_z = \gamma_z w \left(\alpha + \beta \sqrt{u^2 + w^2} \right)$$

ここで、 α 、 β は材料による係数、 γ_v は空隙率、 ν は流体の動粘性係数、 d は石の代表径である。

4. 2 数値計算による被災状況の再現

数値波動水路上にY港D防砂堤の断面を設定し、水路左端から波を作用させて、堤体周辺に発生する流れの変化を調べた。被災状況の再現に用いる波浪は顕著な沈下が発生した4回の時化のうち、波高の最も小さい11月26日の観測値に基づき設定した(波高 $H=3.0\text{m}$ 、周期 $T=7.9\text{s}$)。

図-4に(a)押し波時、(b)引き波時の堤体周辺の流速ベクトルを示す。押し波時には、消波ブロック斜面上で碎波し、ブロック内にも比較的早い流速が発生すると同時にブロック内の水位が上昇する。引き波時には消波ブロックや捨石マウンド内部に沖へ向かう流れが発生する。

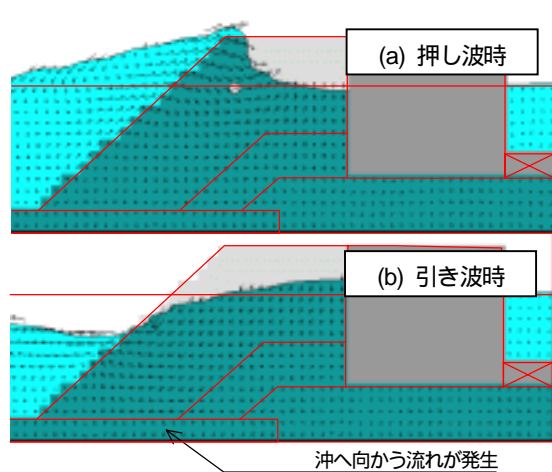


図-4 消波ブロックおよび捨石内部の発生流速

図-5は捨石内部の印の点における水平流速の時系列を示したもので、捨石内部に規則的な往復流が発生していることが分かる。ここで消波ブロック下部の位置(青丸)に着目すると、岸向きのピークが尖っているのに対し、沖向きのピークが平らになっており、沖向き流速の継続時間が長いことが分かる。これは、消波ブロック被覆堤の特徴であり、マウンド下部の砂が沖側に吸出される要因になっている。

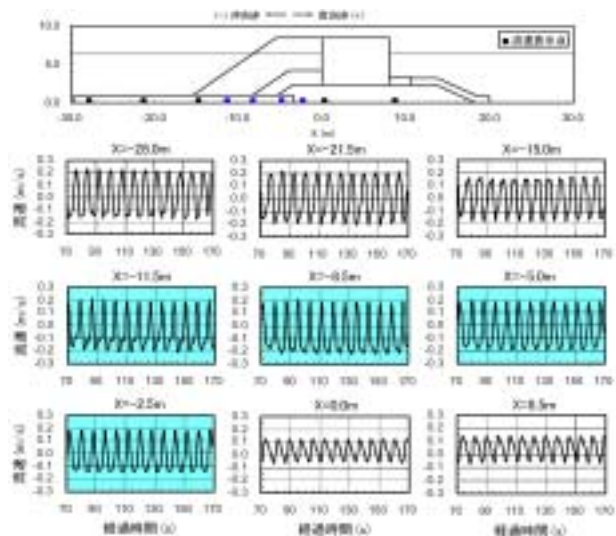


図-5 D防砂堤の捨石マウンド内部の発生流速

5. 吸出し発生限界条件の検討

ここでは、吸出しが起きるかどうかの判定に、漂砂解析において用いられるシールズ数を適用することを試みる。

図-6は波高 $H=3.0\text{m}$ 、周期 $T=7.9\text{s}$ の規則波を作用させた時の捨石内部の流速と、

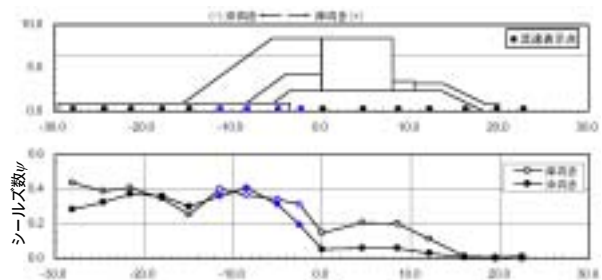


図-6 シールズ数

砂の密度、粒径等から計算したシールズ数を示している。消波ブロック下方のシールズ数は $\approx 0.2 \sim 0.4$ 程度、ケーソン下では $\approx 0.1 \sim 0.2$ 程度となっている。この波浪条件がケーソンに顕著な沈下の発生する限界条件と仮定すれば、吸出し発生限界におけるシールズ数は $\approx 0.2 \sim 0.4$ 程度と考えられる。本検討における吸出し発生限界のシールズ数は $X=-11.5 \sim -2.5\text{m}$ の沖向きシールズ数の最小値を採用して 0.2 とした。

6. 対策工の検討

消波ブロック下部での吸出しはマウンド内で継続時間の長い沖向き流速が発生することで起きているとすると、その対策としてはマウンド内の流れによる砂地盤への影響を小さくすることが最も効果的であると考えられることから、捨石の粒径が発生流速に与える影響について検討する。

図 - 7 は Y 港 D 防砂堤の捨石の代表径とシールズ数の関係を示したものである。計算条件としては設計波である波高 $H=5.9\text{m}$ 、周期 $T=10.9\text{sec}$ とし、中割石の中央質量 95kg に対する代表径 0.33m の他、 0.10m (質量 2.7kg) と 0.05m (質量 0.3kg) の 3 種類で計算を行った。この結果から、シールズ数を 0.2 以下とするためには石の代表径を 0.10m (質量 2.7kg) 以下にする必要がある。

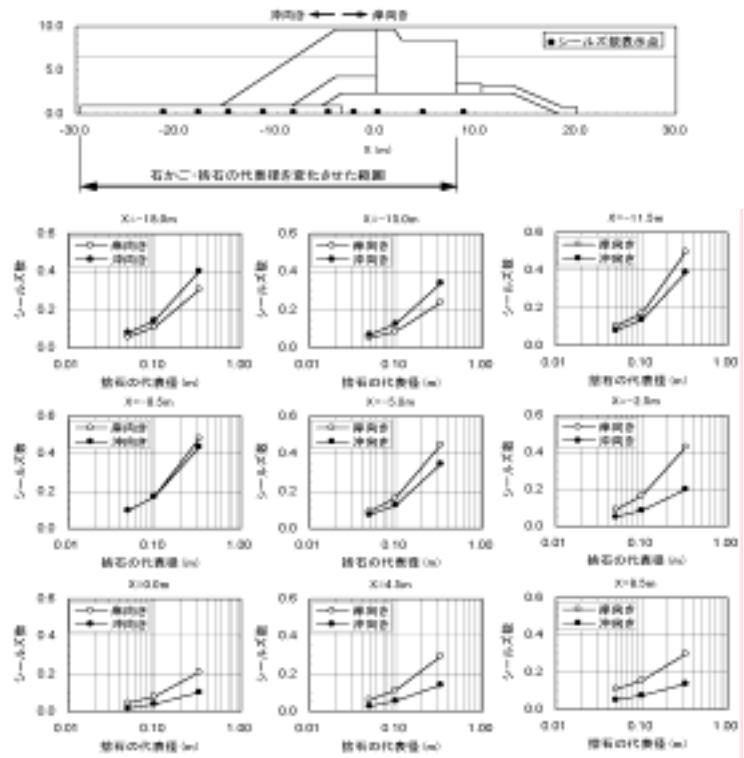


図 - 7 捨石の代表径とシールズ数の関係 (D 防砂堤)

7. まとめ

北海道の港湾における、最近の消波ブロック被覆堤の沈下被災事例をまとめ、その主原因は、従来考えられていた洗掘によるものではなく、捨石マウンド下面からの砂地盤の吸出しであると考えられる。

シールズ数が吸出し発生指標として利用できることを確認した。

吸出し防止の対策工としては、マウンド内の流れによる砂地盤への影響を小さくすることが効果的であると考えられる。

8. 今後の課題

本検討においては吸出し発生判断基準の一つとしてシールズ数に着目したが、吸出し対策が必要か否かは吸出し量を評価することが求められる。また、捨石は単一粒径として計算しているが、実際の捨石は粒径分布をもつため、これを評価することが必要である。