

防波護岸におけるボーリング被害に関する一考察

(独) 土木研究所寒地土木研究所 正会員 ○菅原 吉浩

同上 熊谷 直哉

国土交通省北海道開発局港湾空港部

時田 恵生

1. はじめに

比較的波当たりの強い場所に施工される防波護岸では、背後の裏埋土が吸い出されることによる陥没被害が度々発生しており、特に、裏込石上に施工された防砂シートに起因する被害が多く見られる。防砂シートの損傷原因としては様々あるが、原因の一つとしてボーリングが考えられる¹⁾。ボーリングは、飽和砂に下からの間隙水圧が加わり、この圧力が大きく砂の粒子間応力がゼロとなると、湯が沸騰しているかのように土砂が湧き出す現象である。ボーリングが発生すると裏埋土が液状化し、シートの動揺や液状化した裏埋土がシートの隙間から漏れ出すことにより、背後地盤が陥没すると考えられる。ボーリングが発生する条件については、高橋ら(1996)により示されているが、その適用性についての研究事例は無い。また、水深が浅く捨石マウンドが水面から出ている防波護岸（高マウンド型護岸）に対するボーリングの研究事例も少ない。

このため、本研究では、高マウンド型護岸の基礎捨石内の水圧特性を水理模型実験により確認し、ボーリング発生条件について実際の被災事例も含めて考察した。

2. ボーリング被災事例の概要

北海道の日本海側の A 漁港の防波護岸では、図-1 に示すように舗装を施工するまでの間 D.L.上+1.0m まで暫定埋立を行っていたが、埋立完了から約 1 年後の平成 16 年 12 月に裏込石天端付近の防砂シートが捲り上がり、さらに半年後には裏込石法面上の背後地盤の陥没被害が発生した。その後、裏埋土を掘削し被災原因を調査したところ、防砂シートの損傷が確認された。図-1 から明らかなように H.W.L.上は極めて薄い土被りとなっており、ボーリングが発生しやすい断面である。なお、被災時の来襲波について

は、近隣の沖合波浪観測データより堤体入射波を求めた結果、 $H_{1/3}=3.5\text{m}$ 、 $T_{1/3}=10.7\text{s}$ であった。

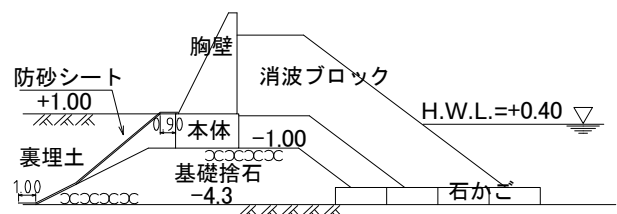


図-1 被災した護岸の構造（暫定断面）

3. 波浪による水圧伝播特性

2 次元断面水路(長さ 27m×幅 0.6m×高さ 1.2m) に勾配 1/100 のモルタル床を製作し、図-2 に示す防波護岸の縮尺 1/30 の模型堤体に規則波を作用させ、基礎捨石内や裏埋土内の間隙水圧の測定を行った。実験波は現地スケールで周期 6~14s の 5 種類、堤体前波高は 1.0m~3.0m までの 5 種類とした。波高と水圧のサンプリング間隔は 200Hz とし、計測時間は安定した水圧波形が 5 波測定可能な 30 秒とした。基礎捨石は碎石を使用し、裏埋土は珪砂 7 号 ($D_{50}=0.158\text{mm}$) を用いた。防砂シートは厚さ 0.5mm の透水性を有するポリエステル製長繊維不織布を用いた。

図-3 は、縦軸を安定した水圧波形 5 波分の最大および最小値をそれぞれ平均した無次元水圧（以下、無次元水圧）、横軸は水平距離 x を波長 L で無次元化したもので、周期 $T=10.0\text{s}$ 、波高 $H=3.0\text{m}$ の場合の結果を示す。水圧は $x/L=0\sim 0.19$ にかけて水圧の変化は少なく、基礎捨石内ではほぼ一様な水圧分布となつて

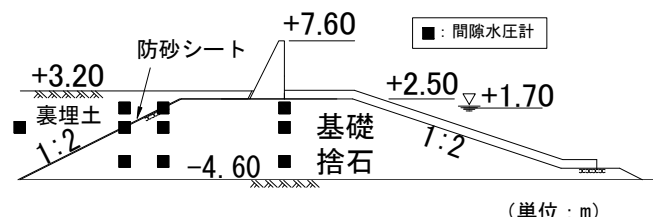


図-2 模型実験断面（現地スケール）

キーワード 吸い出し、護岸、陥没、防砂シート、被災事例

連絡先 〒062-8602 札幌市豊平区平岸 1 条 3 丁目 1 番 34 号 (独) 土木研究所寒地土木研究所 TEL 011-841-1684

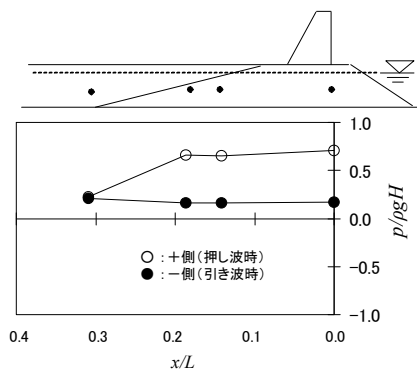


図-3 無次元間隙水圧分布

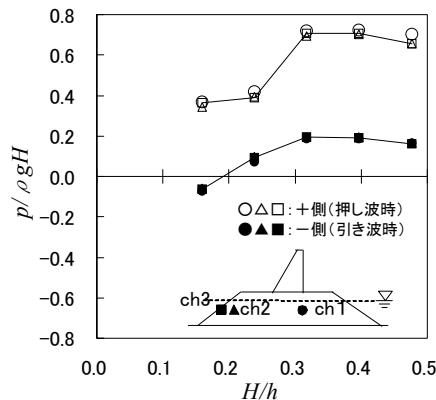


図-4 波高と水圧

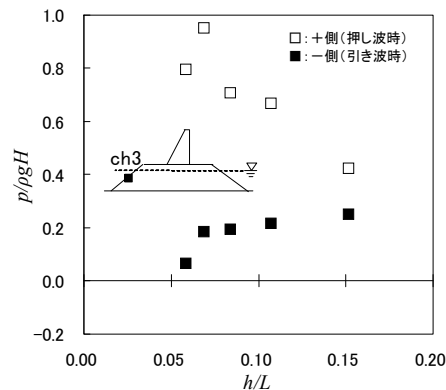


図-5 水深波長比と圧力

いる。図-4 は、周期 10.0s の場合の波高と間隙水圧の関係を示す。H/h の増大に伴い無次元水圧は増加または横ばいであり、波高 H の増大に伴い裏込石内の水圧は増加している。高橋ら(1996)の実験結果では水圧の絶対値は正負ともに同程度となっているが、本実験結果では引き波時の負圧は小さくなっている。これは、図-2 のような捨石天端が水面より高い護岸では、捨石前面斜面上の砕波によるセットアップのため水位が上昇し、負圧が低減するためと考えられる。図-5 は、縦軸を無次元水圧、横軸は水深波長比 h/L としたもので、波高 $H=2.0\text{m}$ の場合の一例を示す。 h/L が小さくなる（周期が長くなる）と無次元水圧は大きくなる傾向が見られる。

4. ボイリング発生条件の適用性

高橋ら(1996)が提案したボイリング発生条件を式(1)に示す。

$$p \geq \gamma_s (h_s - h_w) + \gamma' h_w \quad (1)$$

ここで、 p ：裏込部の間隙水圧(kN/m^2)， γ_s ：土の単位体積重量， γ' ：土の水中単位体積重量， h_s ：裏込石上の土被り厚さ， h_w ：裏込石上の静水面高さを示す。この式(1)と実験におけるボイリングの発生状況を比較したものを図-6 に示す。縦軸は裏埋土と基礎捨石境界の水面付近の実験値である。ボイリングについては目視により観察し、裏埋土が上下に 1 回以上変動した場合をボイリング発生とした。本実験に式(1)を適用すると 12.67kN/m^2 以上（図-6 中の横線）の水圧でボイリングが発生することとなるが、実験で発生が確認されたのは 5 ケース（図中の●）であり、計算値の約 1.5 倍以上の水圧が作用したときにボイリングが発生している。反対に、水圧が計算値を上回ってもボイリングが発生しないケースもあ

る（図中の○）。このように、実験と計算は必ずしも一致しないが、水圧が大きい場合では適用性が高いことから、ボイリングの有無を判断する一つの目安となると考えられる。

次に、2. の被災事例についての検討を行う。被災断面において式(1)では 10.86kN/m^2 以上の圧力でボイリングすることとなる。被災時の裏込部の間隙水圧 p は、図-3 より基礎捨石内の圧力分布はほぼ同様であることから、堤体入射波から求めた合田波圧による堤体前趾の波圧（ 32.4kN/m^2 ）とすると、式(1)の約 3 倍の間隙水圧が作用していたこととなり、本事例はボイリングによる被災であったと考えられる。

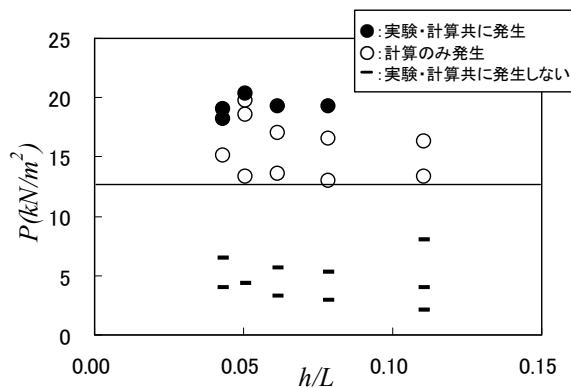


図-6 ボイリング発生条件との比較

5. 主要な結論

ボイリング発生条件と実験を比較した結果、水圧が大きい条件での適用性が高い事が分かった。また、実際の被災事例から、土被りが薄い場合におけるボイリングの事前検討の必要性を示した。

参考文献

- 1) 高橋重雄，鈴木高二朗，徳淵克正，岡村知光，下迫健一郎，善功企，山崎浩之：護岸の吸い出しに関する水理模型実験，港湾技術研究所報告，第 35 巻，第 2 号，pp.3-63，1996。