岡山大学大学院	学生会員	○高田大資
日建工学株式会社	正会員	飯干富広
岡山大学	正会員	吉田圭介
岡山大学	フェロー会員	前野詩朗

1. はじめに

東北地方太平洋沖地震により発生した津波は海岸堤防に甚大な被害を与えた.震災後,海岸堤防を津波が越流する事例を取り扱った研究が進められるようになっているが,知見が乏しいのが現状である.そこで本研究では,写真-1のように裏法面被覆工及び裏法尻保護工に表面粗度を設けることによる裏法尻部での水理特性に着目し,水理模型実験を行うことにより,裏法尻保護工の流体力を明らかにした.

2. 津波越流時の海岸堤防裏法尻保護工に作用する流 体力評価

本研究では,裏法面被覆工形状の違いや裏法尻保護 工の表面粗度の有無による裏法尻部に作用する流体力 特性について検証するため水理模型実験を実施し,そ の特性について評価を行った. 実験に用いた水路は,長さ約16m×幅0.6m×高さ 0.4m,勾配0の可変勾配型循環水路を用いて実施した. 水路上流端より約11mの位置には,長さ1.0m×幅0.6m ×深さ0.16mの分力計格納用のピットを備えている.ま た,模擬津波を発生させるためのゲートを図-2.1に示 す位置に設置した.

海岸堤防模型は、仙台湾南部海岸における海岸堤防 を模した「天端幅B=11.2cm (4.0m),堤体高H=15.5cm (5.4m),表・裏法勾配1:2.0」の模型を図-2.1に示す 位置に設置した.()内は実地換算値であり、縮尺は 1/35である.堤体はアクリル製で、不透過となってい る.裏法面被覆工と法尻保護工(裏法基礎工より下流 約30cm区間)はモルタル製のブロック模型を敷設し た.



裏法面被覆工(階段ブロック)



図-2.2 ブロック模型

1





模型ブロックは、図-2.2に示すものを使用した.() 内は実地換算値であり、縮尺は1/35である.

流体力の計測には防水型4分力計Y116M2(東京計測 社製)を図-2.1に示す水路ピット内中央部に設置した.

水位変動の計測は,容量式波高計CHT6-40(KENEK 社製)を使用した.堤防模型より図−2.1に示す位置に おいて計測を行った.

流速は2次元電磁流速計VMT2-200-04PL(KENEK社 製)を使用した. 図-2.1に示す位置で計測を行った.

実験ケースは表-2.1に示す. 模擬津波の条件は, 図-2.1に示す容量式波高計で計測された水位を津波高 *R* と海岸堤防高さ *H* (=15.5cm) との比で設定し, *R*/*H* =1.1, 1.5, 2.0とした. この際, 水位の基準点は海岸堤防裏法尻基礎工上面を0とした.

通水は津波越流開始時の衝撃的な流体力を計測する ため、堤防模型上流に設置したゲートを引き上げるこ とにより模擬津波を発生させた.

2.2 実験結果の検討

2.2.1 裏法面被覆エ形状の違いによる裏法尻部におけ る流体力特性

図-2.3に津波高 R の水位および流体力の経時的な変化の一例を示す.越流開始直後に全ての流体力で衝撃的な力が作用している.ただし,衝撃的な流体力の作用時間は非常に短いことが特長である.そして,赤枠

で示すように水位変動が一定状態へと推移するのに伴い,流体力もほぼ一定状態へと推移する傾向がある(以降,この一定状態の事を定常状態と定義する).この 傾向は,全ケースで確認された.

図-2.4にCase1(裏法面被覆工:大型滑面ブロック) とCase2(裏法面被覆工:階段ブロック)の裏法尻保護 工の流体力計測ブロック上の流速分布を示す.グラフ の縦軸のゼロ点は流体力計測ブロック上面とした.図 より,裏法面被覆工を階段状にしたことで30~40%程 度小さくなっている.図-3.8に計測ブロック上面から 鉛直方向に8mmの位置で計測された水平流速成分と鉛 直流速成分から描いたCase1とCase2の流速ベクトルを 示す.図より,両ケースとも*R/H*が増加するに伴い, 流速ベクトルが示す下向き角度は大きくなっている. また,両ケースを比較すると,裏法面被覆工が階段状 であるCase2の方がより下向きになることを確認した.

図-2.6にCase1とCase2の定常状態における流体力の 平均値を示す.抗力Dは,裏法面被覆工が滑面状であ るCase1は*R*/*H*が増加するに伴って増加する傾向が顕 著に確認された.一方,裏法面被覆工が階段状である Case2では,*R*/*H*=1.1から1.5にかけてはCase1と同様に 顕著な増加傾向が確認されたが,*R*/*H*=1.5から2.0に かけては増加割合が比較的小さいことがわかる.これ



図-2.8 定常時の流体力(Case3とCase4)

は、図-2.5で示したように、裏法面被覆工を階段状に したことで裏法尻部近傍での流速ベクトルが下向きに 向かっているため、抗力の作用する方向への流速が小 さくなったためではないかと考えられる.

揚力 L は, 裏法面被覆工が滑面状である Case1 では *R*/*H*=2.0の場合のみ下向きに作用している.一方,裏 法面被覆工が階段状である Case2 では, *R*/*H*=1.5の場 合も揚力は L 下向き作用していることがわかる.これ は,図-2.4および図-2.5で示した裏法尻部近傍での流 速分布および流速ベクトルの向きの結果から,裏法面 被覆工を階段状にすることで,裏法尻保護工近傍にお ける流速が低減されること,また,流速ベクトルの下 へ向かう角度が大きくなるため,揚力の作用方向が下 向きになったと考えられる.

モーメント*M*は, 裏法面被覆工が滑面状である Case1に比べて裏法面被覆工が階段状であるCase2は, 揚力*L*が下向きに作用する影響を受け, 滑面ブロック より小さな値となった. また, Case2のR/H=2.0にお けるモーメント*M*は, R/H=1.5の場合よりも小さい 値を示した. これは, R/H=2.0のときに計測された抗 力*D*の値が小さかったことが影響していると考えられ る.

2.2.2 裏法尻保護工表面粗度の有無による法尻部にお ける流体力特性

図-2.7にCase3(裏法尻保護工:小型滑面ブロック) とCase4(裏法尻保護工:突型ブロック)の流体力計測 ブロック上の流速分布を示す.図より,裏法尻保護工 表面に突型粗度を有するCase2の法尻部近傍の流速は, 裏法尻保護工表面に粗度をもたないCase1に比べて30 ~50%程度小さくなっている.これは,表面の突型粗 度の影響によるものと考えられる.

図-2.8にCase3(裏法尻保護工:小型滑面ブロック) とCase4(裏法尻保護工:突型ブロック)の定常状態に おける流体力の平均値を示す.抗力Dは, *R*/*H*=1.1 では同程度の値であるが, *R*/*H*=1.5, 2.0ではCase4の 方が大きな値となった.これは, 図-2.7で示したよう



図-2.7 流体力計測ブロック上の流速分布



に突型粗度近傍の流速が低減されていることを踏まえると,越流してきた流れが法尻保護工表面粗度に作用したためであると考えられる.

場力 Lは、両ケースとも R/H =1.1から1.5にかけて 増加し、R/H =2.0では小さくなっている. Case4(裏 法尻保護工:突型ブロック)のR/H =1.5において揚力 Lが非常に大きな値を示しているが、これは表面粗度 により粗度近傍の流速が低減し、水表面との流速差が 生じた結果、突型粗度上面に負圧が卓越したのではな いかと考えられる.

2.2.3 裏法尻保護工の安定性照査

裏法尻保護工の安定性照査を行う場合には,図-2.9 に示すように、「めくれ」、「滑動」、「抜け出し」 の3つの破壊モデルについて照査が必要となる.ここで は、破壊駆動力と抵抗力の比による破壊指数を求め、 安全性について評価する.本実験では定常状態におけ る時間平均流体力Fと津波越流初期の衝撃値について 検討を行う.

「めくれ」,「滑動」,「抜け出し」のそれぞれに 対する破壊駆動力と抵抗力の比による破壊指数 F_M , F_D , F_L を次式によって求めた.

 $F_M = M_f / M_{SG}$, $F_D = D / \mu W$, $F_L = L/W$ ここに, M_f :転倒モーメント, M_{SG} :抵抗モーメ ント, W:ブロック水中重量, μ :静止摩擦係数であ る.静止摩擦係数 μ は0.65とした.

図-2.11では、各ケースのめくれに対する破壊指数 F_M を示している.破壊指数 F_M が1.0を越えるとめく れを生じることを意味する.越流初期の衝撃値に対す る検討では、R/H = 1.5、2.0のときに、ほとんどのケ ースでめくれが生じる危険性が確認された.一方,定 常状態の平均値に対する検討では, Case1 (裏法面被覆 工:大型滑面ブロック,裏法尻保護工:大型滑面ブロ ック)とCase2(裏法面被覆工:階段ブロック,裏法尻 保護工:大型滑面ブロック)は破壊指数 F_M がマイナ スを示した.これは、揚力Lが下向きに作用したこと が原因であると考えられる.一方, Case3 (裏法面被覆 工:大型滑面ブロック,裏法尻保護工:小型滑面ブロ ック)とCase4(裏法面被覆工:大型滑面ブロック,裏 法尻保護工:突型ブロック)でも破壊指数 F_M がマイ ナスを示しているが、これは、示力線がブロックより も下に存在し、計測された抗力Dが揚力Lに比べてか なり大きいことから、上流端ブロックに先に滑動力が 卓越し、後方に敷設したブロックと接した結果めくれ が生じる危険性が大きくなると考えられる. この点に ついては、次の滑動モデルに対する検討で照査を深め ることとする.

図-2.12では、各ケースの滑動に対する破壊指数 F_D を示している.越流初期の衝撃値に対する検討では、 全てのケースで滑動が生じる危険性が確認され、特に 裏法尻保護工表面粗度を持たせた Case4 ではその危険 性が顕著に現れている.定常状態の時間平均流体力 Fでは、Case2(裏法面被覆工:階段ブロック、裏法尻保 護工:大型滑面ブロック)は全ての津波高 R で破壊指 数 F_D が1.0以下を示す.その他のケースでは、R/H=2.0において、破壊指数 F_D が1.0前後となった.しかし、 裏法尻保護工表面粗度を持たせた Case4 では、R/H=1.5でも滑動の危険性を示している.これは、突起部 分に流れが作用して抗力 Dが非常に大きくなっている ためと考えられる.

図-2.13では、各ケースの抜け出しに対する破壊指数 F_L を示している. 越流初期の衝撃値に対する検討では、 R/H=1.5、2.0のほとんどのケースで抜け出しの 危険性があることが確認された. 一方、定常状態の時間平均流体力 Fでは、法尻保護工表面粗度を持たせた Case4の R/H=1.5以外は安全であった.

3. 結論

1) 裏法面被覆工を階段状にした場合,裏法面被覆工が 滑面状に比べて,裏法尻保護工に作用する抗力・揚力・ モーメントは小さくなることが確認された.また,揚 カについては模擬津波高さが大きくなると作用方向が 下向きとなる場合があり,必ずしも模擬津波高さの増



加に関係して増加していないことが確認された.

2) 裏法面被覆工を階段状にすることで,海岸堤防裏法 尻での越流水の水脈の流線が下向きになることを確認 した.また,津波高が増加するほど下向きになる傾向 が確認された.

3) 裏法尻保護工表面に粗度がある場合,越流した流れ が表面粗度に作用し,粗度がない場合に比べて作用す る抗力・揚力・モーメントは大きくなることが確認さ れた.また,このときの法尻部近傍の流速については, 表面粗度の影響により低減され傾向があることが確認 された.

4) 越流初期の衝撃的な流体力により、「めくれ」、

「滑動」,「抜け出し」が生じる危険性が非常に大き くなることが確認された.このため,法尻ブロック同 士の一体化及び基礎工との一体化などの対策を検討す る必要があることを示した.

参考文献

国土交通省国土政策総合研究所(2012):粘り強く効果を発 揮する海岸堤防の構造検討(第1報・2報)

土木研究センター(2003):護岸ブロックの水理特性試験法 マニュアル(第2版).

林建二郎・大井邦昭・河野茂樹(2013):粘り強い構造の海 岸堤防に用いられる護岸ブロックの安定性に関する基礎的 研究,土木学会論文集B2(海岸工学)Vol. 69, No. 2, pp.946-950.