

堤体越流時における裏法面上の流速分布の実測

新潟大学大学院自然科学研究科 学生会員 ○仮澤 広晃
新潟大学災害・復興科学研究所 正会員 安田 浩保

1 はじめに

大規模な洪水の発生すると、最悪の場合、越流を要因とした堤防の決壊に至り、経済的および人的な被害が生じる。近年の大規模な水害の頻発に対し、国は、長時間の越流に耐える「粘り強い河川堤防」の設計の検討を始めた。

越流による裏法面の侵食を抑制できれば、長時間の越流に耐久性を有する堤防を築造できる。しかし、現状では、越流による裏法面の侵食の機構は未解明である。この解明にあたっては、土砂輸送の観点から、越流時における裏法面上の流況の定量的な評価がまず必要である。これについての研究はいくつか行われ、堤体裏法面上では越流水に作用する重力と底面摩擦がつり合い、等流状態になると説明される¹⁾。しかし、これを十分に裏付ける実測値は存在しない。その要因として、流れの代表的な水量である流速の測定が困難であったことが挙げられる。

本研究では、裏法面上の侵食機構の解明に向け、裏法面上における流れについて調べた。まず、堤体模型を用いた越流実験を行い、非接触型の流速測定手法の1つであるレーザードップラー流速計（以下、LDV）を用い、いくつかの堤体形状における裏法面上の流れの流下方向の流速分布を測定した。また、既往の数値解析において多用される浅水流モデルによる流速値との比較を行った。

2 模型実験

2.1 実験条件

堤体形状ごとに越流水の流速分布を調べるため、表-1に示すN1からN8の計8通りの条件を設定した。模型実験にはSUS製の台形断面の堤体模型を使用した。底面の粗度の影響を調べるため、滑面と粗面の条件を設定した。滑面の条件ではSUSの金属表面を用い、粗面の条件では堤体模型の表面に1.4 mm厚のフェルトを貼り付けた。これらの堤体の模型を幅0.45 m、水路勾配1/300の矩形断面水路に設置した。また、水理条件は上流から流量0.917 L/sの水を供給し、水路上流側の水位を一定とした。

2.2 流速計測

LDVの計測により取得される流速値は、流水中に含まれる微小なトレーサー粒子の移動速度である。これら微小粒子の密度により、2000から6000個/s程度の流速値のサ

表-1 模型実験条件

Number	粗度	法面勾配	堤体高 L_m [cm]
N1	滑面	1/4	10
N2	滑面	1/3	10
N3	粗面	1/4	10
N4	粗面	1/3	10
N5	滑面	1/4	5
N6	滑面	1/3	5
N7	粗面	1/4	5
N8	粗面	1/3	5

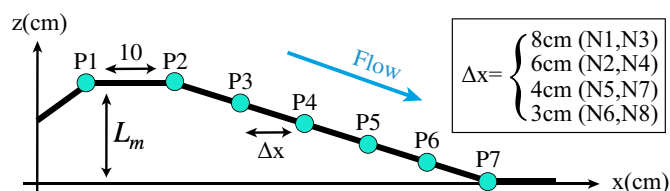


図-1 堤体模型上の流速計測箇所

ンプル群が取得できる。堤体上の流速の計測位置は、流下方向には図-1に示すP1からP7の計7箇所で行い、横断方向には実験水路中央とした。裏法面上（P2からP7）の流速の計測箇所は各実験条件ごとに等間隔となるよう設定した。また、堤体模型の天端幅は実験条件に依らず10 cmである。測定の信頼性を担保するため、各計測箇所水路横断方向に約1 mmずつ位置を調整し、合計3回の計測により流速値を取得した。この際、いずれの計測においても流速値のサンプル数は約10万個とした。

3 実験結果

図-2に実験条件ごとの各計測箇所における流速値を示す。赤丸は各計測における流速値の平均値、青丸は最頻値、緑丸は次元浅水流解析により求めた流速値を示す。浅水流解析では、粗度係数は0.009を仮定し、その他の条件は各実験条件に合わせた。

同図より、粗度の違いにより、裏法面上の流速分布が大きく異なることが分かる。まず、滑面の場合には全ての条件でP2からP7にかけて流速が増大し、裏法尻（P7）で最大となる。勾配による比較では、各計測箇所流速値は概ね等しく、流速分布に対する勾配の影響は小さいことが分か

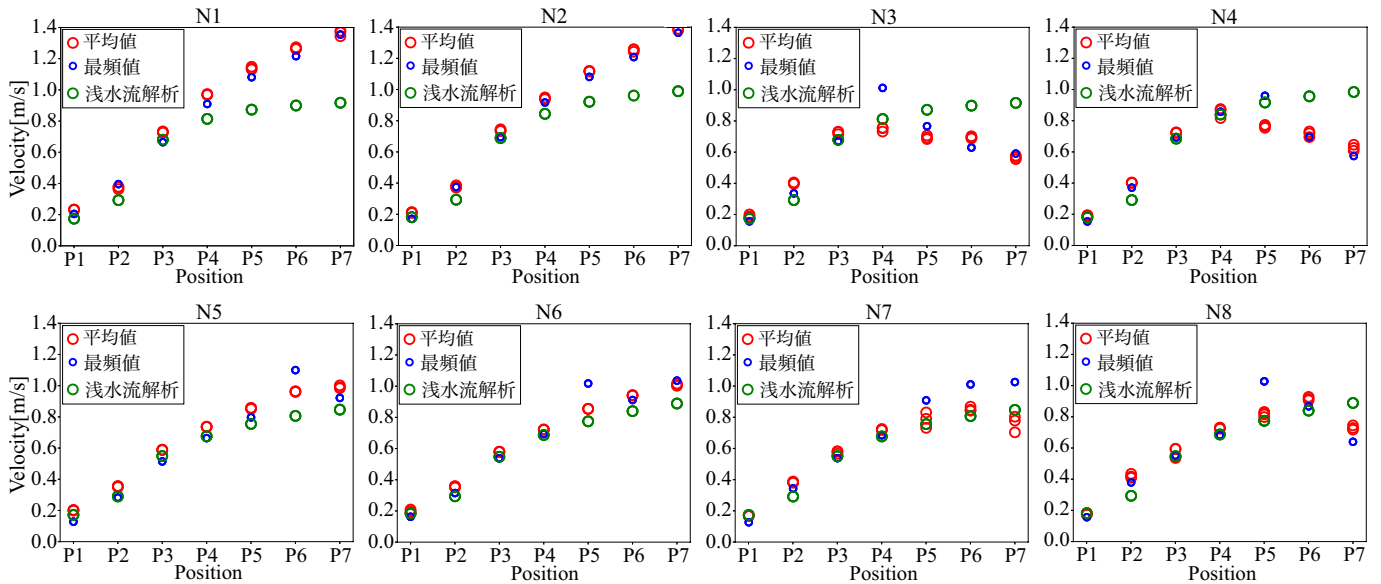


図-2 流速分布

る。また、堤体高の違いについては、P2からの流下距離で見れば同傾向の流速分布をもつことが分かる。一方、粗面の場合では、裏法面上で流速値が最大となる箇所が存在し、それより下流では流速値が減少することが分かった。勾配については1/3の場合には流速の最大値が若干大きくなるが、堤体高の違いに関しては、滑面の場合と同様である。

以上の通り、裏法面上の粗度が流速の空間分布に大きく影響することが分かった。また、裏法面上の流れが必ずしも等流状態とならないことが分かった。現状の越流対策の検討などにおいては、裏法面上の流れを等流と仮定する。侵食機構を正確に把握するならその見直しが必要であろう。

浅水流解析の結果は、裏法面上の上流側や粗面の一部で実測値の流速分布を再現し得るが、特に $L_m=10$ cm の条件では裏法面下流における流速分布の再現性が低下する。また、全ての実験条件でP2における浅水流解析の流速値は、実測値に比べて殊に小さい結果となった。これらの要因として、等流を仮定した摩擦損失モデルによるせん断力の評価が妥当でない²⁾ことや、浅水流解析が裏法面で生じる流れの非静水圧性が考慮できないことが考えられる。

図-3はN3の条件における、実際の堤体模型上を越流する様子である。本研究で行った模型実験では、粗面上の流れにはいずれも図-3にみられるような水面波が確認された。同現象が生じ始める位置は実験条件により異なるも、流速分布において流速値がピークとなる箇所(N3の場合ではP4)と凡そ重なるようである。また、既往研究³⁾によれば、レイノルズ数の増加に伴い断続的に生じるものと考えられている。いずれにしても侵食機構の正確な把握にあたっては等流の仮定の見直しは不可欠であろう。

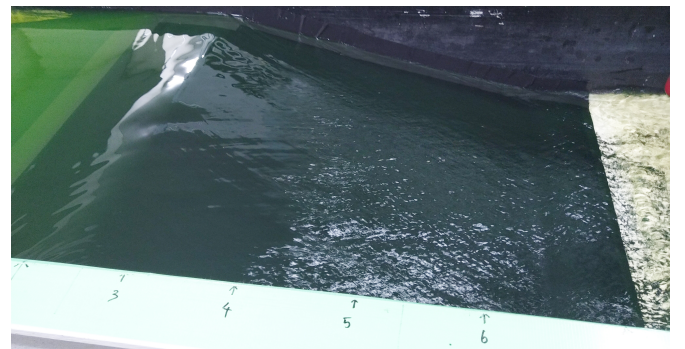


図-3 粗面の堤体上流れに見られる水面波 (N3)

4 おわりに

本研究では、異なる形状と粗度の堤体模型を用い、堤体裏法面上の流れの流下方向の流速を計測した。その結果、越流水の流速は裏法面の粗度によって全く異なる分布となることが分かった。また、その流れは空間分布を有し、等流から乖離した流れとなることを示した。また、粗面の堤体裏法面上にはある位置を境に水面波が発達し、これによる越流水の流速分布の傾向の変化が示唆された。今後、裏法面上の侵食機構の解明に向け、越流侵食に対する河川堤防の強度を規定するせん断力の分布を把握するため、模型実験において流速と流水深を同時に測定する予定である。

参考文献

- 1) 須賀堯三, 橋本 宏, 石川忠晴, 藤田光一, 葛西敏彦, 加藤善明: 越水堤防調査最終報告書-解説編, 土木研究所資料, 第2074号, 1984.
- 2) 大泉尚紀, 安田浩保: 等流仮定の摩擦損失モデルが河床波曲面上の流れで有する適用性の検証, 土木学会関東支部新潟会, 2022.
- 3) 逢澤正行, 篠原 修: 自由落下型と越流型の落水表情についての実験的研究, 土木学会論文集, No.593/II-43, pp.105-115, 1998.