

堤防裏のり尻部における広域洗掘防止工の一提案

東京理科大学大学院理工学研究科土木工学専攻
東京理科大学理工学部土木工学科
株式会社日水コン

学生員 ○ 吉森 佑介
正会員 二瓶 泰雄
正会員 倉上 由貴

1. 序論

近年の異常豪雨に伴う超過洪水の発生は、各地の堤防決壊をもたらし、超過洪水に対する堤防の脆弱性を如実に示す。堤防決壊の要因は、表のり面側の洗掘・河岸侵食や浸透、越流等があるが、このうち越流が決壊の8割を占める¹⁾。越流決壊の基本メカニズムは、三面コンクリート張りのアーマ・レビー（従来形式堤防）については、1) 揚圧力等による天端・裏のり面の被覆工の流出、2) 裏のり尻部での局所洗掘による被覆工の不安定化・流出、が挙げられる。これより、キーポイントは天端や裏のり面の被覆工流出をいかに抑制するかであり、その対策としては、著者らは、堤体と被覆工の間をジオグリッドにより一体化して、耐越流侵食性の高い新形式河川堤防を提案し、その有効性を検証している^{2), 3)}。その一方で、洗掘防止対策も十分強化する必要があるが、その検討は十分できていない。また、堤防裏のり部における局所洗掘現象は、裏のり面の勾配や越流状況などにより変化することが予想されるが、十分な知見が得られておらず、結果として効果的な洗掘防止対策工が確立されていない。本研究では、従来の裏のり尻部に限定した“局所”洗掘工ではなく、低コストに押さえつつ背後地の基礎地盤抑制をも含めた“広域”洗掘防止工を新たに提案する。そのため、水平開水路を用いて、越流時の堤防裏のり尻部における洗掘特性に関する室内実験を行う。また、いくつかの条件下における広域洗掘防止工に関する洗掘実験を行い、その有効性を検証する。最後に、本洗掘防止工を従来・新形式河川堤防に適用し、越流決壊特性を把握する。

2. 研究方法

(1) **広域洗掘防止工の概要**：広域洗掘防止工は、堤防裏のり尻部に敷設する通常の“局所”洗掘工（図中①）に加え、背後地に土留めとして設置する矢板（②）から構成される（図1）。②の土留めは基礎地盤の侵食抑制に加えて、水面形の安定化にも寄与する。すなわち、①の洗掘工下流端付近にて跳水を起こし、射流→常流へと遷移することで、洗掘防止工下流側の基礎地盤の侵食を抑制し、最終的に洗掘防止工①の安定化を図る。これより本対策工は裏のり尻部と背後の基礎地盤全体を安定化できることから“広域”洗掘防止工と称す。

(2) **洗掘実験方法**：堤防裏のり尻部における洗掘特性や広域洗掘防止工の有効性を把握するために、高さ7cmの木製堤体模型の背後に厚さ21cm（堤体高さの3倍）の基礎地盤を小型水平水路（長さ5m、幅0.2m、高さ0.35m）に設置した洗掘実験を行った（図2、縮尺1/70）。木製の箱を土留めとして用いた。ここでは、A) 洗掘工は無く基礎地盤のみのケース（裏のり面勾配条件：2割・1割・5分）、B) 裏のり面は2割勾配として、広域洗掘防止工として洗掘工①を設置し、その長さ L_1 （2, 6.5, 20cm）と土留めまでの距離 L_2 （30, 90cm）を変えたケース、という洗掘実験を行った。越流条件は越流水深3.0cm、流量 $3.21 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ とした。模型縮尺とフルードの相似則より、堤防決壊時間を192sとした。

(3) **越流侵食実験**：広域洗掘防止工の効果を確認するために、従来・新形式河川堤防に広域洗掘防止工を組み合わせた越流侵食実験を行った（図3）。主な方法は倉上ら²⁾と同じであり、基礎地盤厚さを5cm、洗掘防止工から土留めまでの距離を127cmとした。また、越流水深は6.0cmにした。

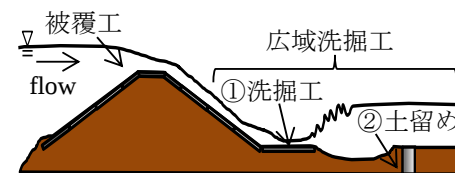


図1 広域洗掘防止工の模式図

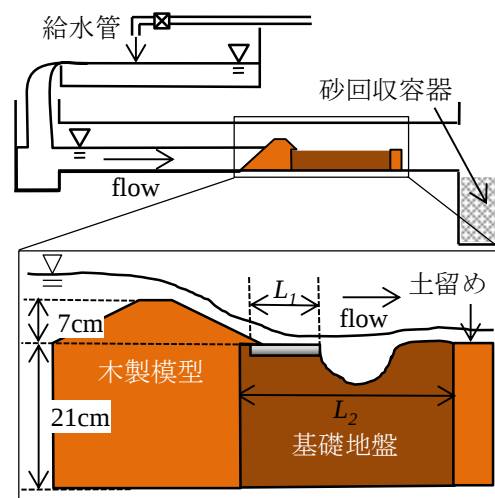


図2 洗掘実験模式図

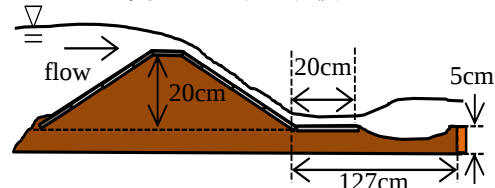


図3 越流侵食実験模式図

キーワード：堤防、越流、洗掘、洗掘防止工、のり尻部

連絡先：〒278-8510 千葉県野田市山崎 2641 TEL：04-7124-1501（内線 4069）FAX：04-7123-9766

3. 実験結果と考察

(1) 洗掘工が無いときの洗掘形状特性：堤防裏のり尻部から背後地における基本的な洗掘特性を把握するために、洗掘工が無いケースにおける洗掘形状を図4に示す。ここでは、越流開始から30s, 150s後における2割, 1割, 5分の裏のり面勾配の結果を表示している。これを見ると、 $t=30s$ の時には、いずれのケースも最大洗掘深は7~9cmに達し、短時間で堤体高さ(=7cm)を越えている。また、最大洗掘深を記録する縦断位置はいずれも7~10cmとなり、裏のり面勾配により洗掘形状に大きな差異は見られない。また、裏のり尻から30cm以降では、侵食深さが負となり、洗掘された土砂が下流側で堆積していることが分かる。次に、 $t=150s$ では、いずれのケースでも洗掘は進行し、特に、1割勾配のケースでは洗掘深が水路底面にまで達している。基本的には裏のり面勾配が急なほど、裏のり尻部での接近流速は増加し洗掘深も大きくなる。ただし、ある勾配を超えると天端のり肩部で剥離が生じ(今回の5分勾配のケース)、裏のり尻部では一種の“水たまり”が形成されるため、裏のり尻部への接近流速がやや低下し、洗掘深も抑えられるものと考えられる。

(2) 広域洗掘防止工の洗掘状況：裏のり尻部の局所洗掘工と下流側の土留めを合わせた広域洗掘防止工の洗掘特性を調べるために、局所洗掘工と土留めまでの距離 $L_2=90cm$ と固定し、局所工の長さ L_1 を0, 2, 6.5, 20cmとした時の洗掘形状を図5に示す。ここでは、想定堤防決壊時間である $t=192s$ の結果を示す。これより、局所工が無い時($L_1=0$)には、洗掘深は12cmまで達し、裏のり尻部でも7cm程度掘れている。一方局所工を設置すると、背後地の洗掘量は大幅に減り、特に裏のり尻部の洗掘量はほぼ0となる。また、局所工長さ L_1 と共に、背後地における洗掘量は減少する。

次に堤体と土留め間の距離 L_2 を変えた時の洗掘状況($t=192s$)と水面形と共に図6に示す。 $L_2=30cm$ では土留め近傍で局所洗掘が進行するが、 $L_2=90cm$ では基礎地盤の洗掘量を抑制できている。これは、相対的に離れた位置に土留めを置くことで、常流を安定化させ、背後地盤上の水深を増加させると共に底面せん断力を減少させ、結果として基礎地盤侵食を抑えているためである。さらに、土留めが無い場合と背後地の基礎地盤全体が掃流されるため(図面省略)、適正な距離 L_2 を保つ広域洗掘防止工の有用性が示唆された。

(3) 局所・広域洗掘工による堤防侵食状況の比較：広域洗掘工が堤防の対越流侵食性に及ぼす効果を検討するために、従来形式堤防に対して局所洗掘工と広域洗掘工を敷設した時の堤体の面積残存率(次々刻々の堤体面積を初期断面で除したものの)時間変化を図7に示す。これより、広域工設置時の方が局所工よりも面積率が大幅に増加しており、広域洗掘防止工が堤体の耐越流侵食性向上策として極めて有用であることが実証された。

参考文献：1)吉川勝秀(編著)，河川堤防学 新しい河川工学，技報堂出版，pp.1-278，2008，2)倉上ら，土木学会論文集 B1(水工学)，Vol.69，No.4，pp.I_1219-I_1224，2013，3)倉上ら，ジオシンセティックス論文集，Vol.28，pp.265-272，2013。

勾配	30s	150s
2割	—	- - -
1割	—	- - -
5分	—	- - -

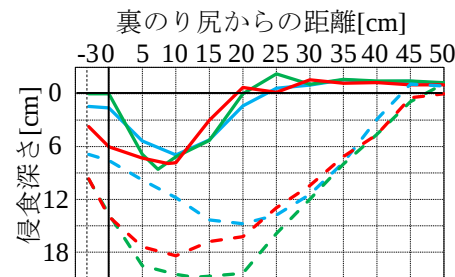


図4 洗掘工が無いケースにおける洗掘形状の時間変化 ($t=30, 150s$)

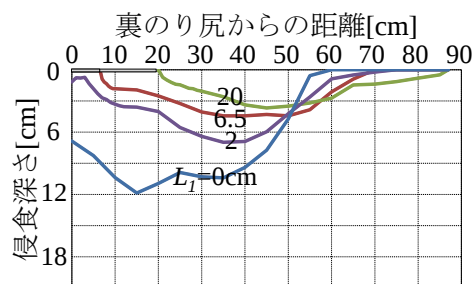


図5 局所洗掘の長さ L_1 を変えた時の侵食形状 ($t=192s$)

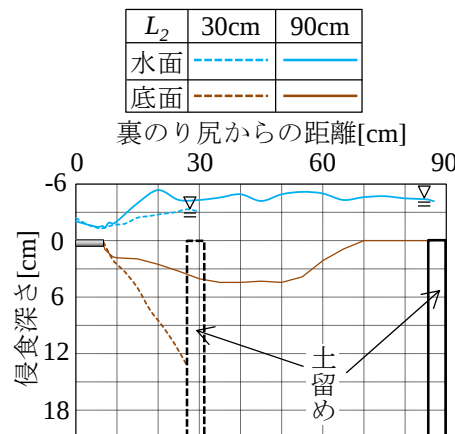


図6 2つの L_2 における背後地の洗掘形状 ($L_1=6.5cm, t=192s$)

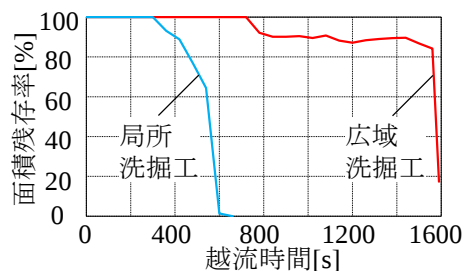


図7 広域・局所洗掘工敷設時における堤体面積残存率の時間変化