

一関遊水地における越流小堤の耐侵食力に関する現地実験

Field Experiment on Erosion-Resistance of Embankment
of Ichinoseki Flood Detention Basin against Overflow.

北川 明*¹・宇多高明*²・福岡捷二*³・竹本典道*⁴・服部 敦*⁵・浜口憲一郎*⁶

By Akira KITAGAWA, Takaaki UDA, Shoji FUKUOKA, Norimichi TAKEMOTO
, Atsushi HATTORI and Kenichiro HAMAGUCHI

Summary

Erosion resistance of a river bank slope with variety of plants was experimentally investigated. The experiment was carried out on a natural embankment of Ichinoseki Flood Detention Basin under rapid overflow condition. It is found that erosion resistance of embankment is governed by not only difference of distribution of plants but also mole holes in the bank.

keyword : Erosion-Resistance, overflow, embankment, plants

1. まえがき

北上川の一関遊水地においては、越流堤に従来型のアスファルト被覆ではなく、耐侵食性、環境・景観を考慮した植生被覆による越流堤が計画されている。植生を越流堤に利用するには、植生により被覆された堤防の越流水に対する耐侵食性を定量的に把握することが必要である。しかし、この種の問題は近年になって集中的に研究が行われるようになったものの、模型実験などでは植生を扱うことによる再現性・不均一性の評価が困難なため十分な研究が行われていないのが現状である。実際の越流堤のり面で生じる現象を直接的に調べるには、河川管理上最も重要な施設である堤防を実験に供する必要がある、その実施は非常に難しい。しかし、東北地方建設局岩手工事事務所管内の一関遊水地近傍の磐井川には新堤背後に旧堤が残存しており、そのり面を利用した実験を行うことが可能な状況であった。本研究ではこの実堤防を用い、植生堤防の耐侵食力を把握するため越流実験を実施したものである。

2. 一関遊水地の概要

北上川の水害常襲地帯である一関平泉地区では、現在遊水地の施工が進められている。一関平泉地区は自然遊水地となっていることから、堤防の安全度や土地利用を考慮し、小堤および本堤の二線堤による河川改修が進められている。現河道沿いには小堤が、右岸側の東北本線沿いには周囲堤が築堤され、平泉・衣川およ

*¹ 正会員 建設省東北地方建設局岩手工事事務所長（〒020 岩手県盛岡市上田4丁目2番2号）

*² 正会員 工博 建設省土木研究所河川研究室長（〒305 茨城県つくば市大字旭1番地）

*³ 正会員 工博 広島大学教授 工学部（〒724 広島県東広島市鏡山1-4-1）

*⁴ 正会員 建設省東北地方建設局岩手工事事務所洪水予報課長

*⁵ 正会員 建設省土木研究所河川研究室研究員

*⁶ 正会員 パシフィックコンサルタンツ株式会社（〒300-33 茨城県つくば市作谷642-1 筑波実験場）

び磐井川地区についても周囲堤と同様の堤防が築堤される。遊水地の規模は図-1に示すように第1遊水地が820ha、第2遊水地が470ha、第3遊水地が160haの計1,450haである。

3. 越流小堤の計画

一関遊水地の小堤は、もともと洪水流量が $4,000\text{m}^3/\text{s}$ （1/10年確率洪水）以上で越流を開始する全面アスファルト被覆の越流堤として計画されていたが、このタイプの越流堤には下記の問題点が指摘された。

①越流堤延長が長くアスファルト被覆では工費が高くなること。

②アスファルト被覆は小堤の変形に対する追従性が悪く、アスファルトの劣化や小堤の不等沈下に対する維持・管理に労力を必要とすること。

③周辺地域が田園地帯であり長大なアスファルト被覆の小堤は環境上好ましくないこと。

④小堤の改築の必要性が生じた場合、アスファルトの撤去が大規模な工事となること。

そこで、洪水初期に越流が生じる蛇籠堤と、遊水地内がある程度湛水してから越流が始まる芝堤とに小堤を区分する部分越流方式が採用された。

蛇籠堤と芝堤の配置と高さについては、越流開始流量が $4000\text{m}^3/\text{s}$ 、洪水調節量 $1900\text{m}^3/\text{s}$ として計画され、芝堤の高さについては1/10確率程度での流入となるよう計画されている。

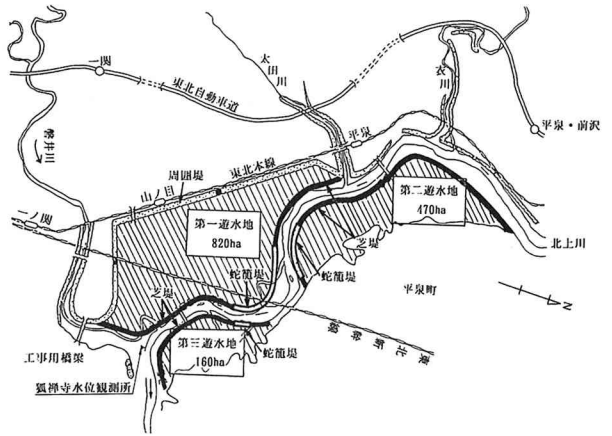
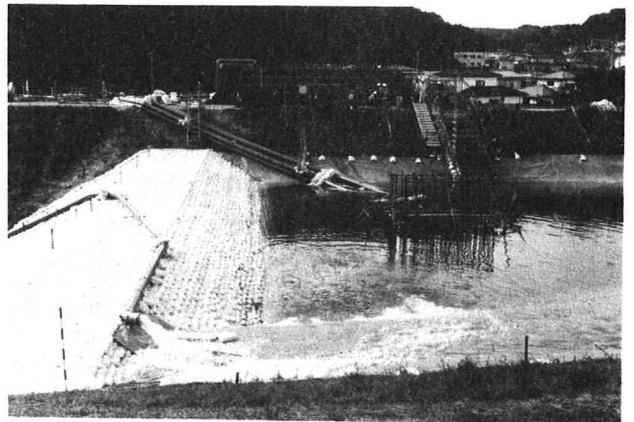


図-1 一関遊水地概要

4. 実験方法および実験条件

4. 1 実験方法

一関遊水地への芝堤からの流入時には、蛇籠堤からの先行越流によりウォータークッションが形成され、のり尻部は防護されるため、のり面の斜面上の流れに対する耐侵食力が重要な検討課題となった。実験施設の概要を写真-1に示す。実験施設は、貯水池、給水施設、流入水路、侵食実験水路そして計測装置から構成されている。貯水池は、磐井川の旧堤と新堤に挟まれた三角形の区域を締め切ることにより造成した。この貯水池に水中ポンプを設置し、旧堤の天端に設置した整流水槽に揚水し、流量測定堰、流入水路を経て旧堤ののり面上に設置した侵食実験水路に通水した。実験対象の堤防延長は約50mであり、そこに9本の実験水路を製作し、実験を行った。



4. 2 堤防状況

試験堤防ののり面勾配は1:2であり、表層の土質構成材料は、主にN値が3～5の礫混じりの中砂で、所々にシルトや粘土が混じっている。また、表層から30cm程度内部には直径30cm程度の粘土塊が存在している。

のり面は、主にチガヤ、カモガヤに覆われているが、部分的にイタドリやエゾノギシギシの群落が見られる。トレンチ掘削にれば地下の根茎状態として、主にチガヤによって覆われていた区域では根茎は地表から

5cmまでは密集しており、隣り合った株の根が重なり合っていた。チガヤの根茎は地表から30cmまで確認されたが、地表から30cmより深い領域ではエゾノギシギシやイタダリの太い根茎の分布が確認された。

4. 3 実験ケース・実験条件

実験に用いる越流ハイドロパターンについては、予め2次元平面流計算を行い、図-2に示すように越流継続時間が6時間と長く、ピーク流量は小さいハイドロ（パターンⅠ）と、継続時間が2時間と短いがピーク流量が大きなハイドロ（パターンⅡ）を代表として選定した。

実験ケースを表-1に示す。ケース1,2は基礎実験であり、実験水路の侵食状況と侵食過程を把握するために行った。ケース3,4はパターンⅠの通水に対し、植生の刈り込み無（ケース3）、有（ケース4）の比較実験である。ケース5,7と6はケース3,4と同様植生の刈り込み有無についての実験であるが、越流ハイドロがパターンⅡである点が異なる。ケース5,6では流速分布と水位の測定を行った後、その後再び通水してのり肩部の侵食状況についても実験を行った。

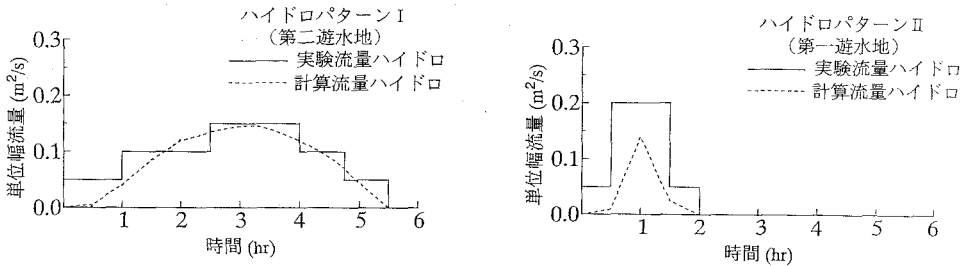


図-2 越流ハイドログラフ（パターンⅠ、Ⅱ）

表-1 実験ケース

実験ケース	植生状態	通水パターン	備考	実験ケース	植生状態	通水パターン	備考
1	× チガヤ, カモガヤ 一部ギシギシ		長時間通水	5	× チガヤ, カモガヤ		パターンⅡ の通水
2	× チガヤ, カモガヤ 一部イタドリ		長時間通水	6	○ チガヤ 一部カモガヤ		パターンⅡ の通水 刈り込み
3	× カモガヤ 一部チガヤ		パターンⅠ の通水	7	× カモガヤ, チガヤ 一部ギシギシ		パターンⅡ の通水
4	○ 上部チガヤ 下部カモガヤ		パターンⅠ の通水 刈り込み	× : 自然状態 ○ : 刈り込み			

5. 実験結果

5. 1 平均流速、平均水深と単位幅流量の関係

越流は、のり面勾配が1:2と急なため射流になり、のり面の凸凹や植生の株によって形成される水路床の凹

凸により水位、水面形が場所的に大きく乱れている。植生の茎、葉、斜面の凸部により流れは、空気が混入し、水しぶきが上がり白濁した空気混入流となった。測定結果の一例として、ケース3 ($q=0.1\text{m}^2/\text{s}$ 、植生の刈り込み無)の水路中央の水位、流速分布を図-3に示す。流速は越流水の流下に伴い植生およびのり面の凹凸により変動するが、平均的にはのり面近傍の流速がほとんど0の領域と、三角形形状の流速分布となる領域に分けられる。水深は、凹凸が小さい場合はほぼ一定である。これらの特徴は、他のケースについても同様であった。次に、縦断方向に平均化した断面平均流速および水深(以下、平均流速および平均水深と呼ぶ)と単位幅流量の関係を図-4,5に示す。流下方向の水深変化は小さいので、水面勾配はのり面勾配とほぼ同一であり、平均流速は、植生の種類、植生の刈り込みの有無、そして水路幅に関係せずに単位幅流量に比例して増加する傾向が見られた。よって、のり面の侵食外力である掃流力(のり面の土粒子に作用する掃流力と植生に作用する掃流力の和)は、平均的には単位幅流量に比例すると考えられる。のり面の粗度係数は植生高により影響を受け、 $q=0.1\text{m}^2/\text{s}$ 以下では $n=0.15$ 程度、 $q=0.1\sim 0.2\text{m}^2/\text{s}$ では $n=0.08$ 程度となった。

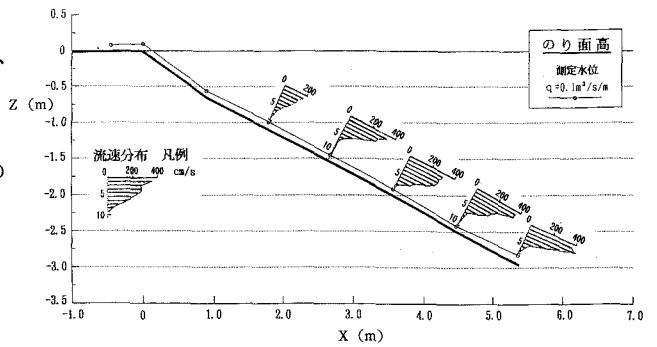


図-3 水路中央部鉛直流速分布(ケース3: $q=0.1\text{m}^2/\text{s}$)

図-3 水路中央部鉛直流速分布(ケース3: $q=0.1\text{m}^2/\text{s}$)

次に、縦断方向に平均化した断面平均流速および水深(以下、平均流速および平均水深と呼ぶ)と単位幅流量の関係を図-4,5に示す。流下方向の水深変化は小さいので、水面勾配はのり面勾配とほぼ同一であり、平均流速は、植生の種類、植生の刈り込みの有無、そして水路幅に関係せずに単位幅流量に比例して増加する傾向が見られた。よって、のり面の侵食外力である掃流力(のり面の土粒子に作用する掃流力と植生に作用する掃流力の和)は、平均的には単位幅流量に比例すると考えられる。のり面の粗度係数は植生高により影響を受け、 $q=0.1\text{m}^2/\text{s}$ 以下では $n=0.15$ 程度、 $q=0.1\sim 0.2\text{m}^2/\text{s}$ では $n=0.08$ 程度となった。

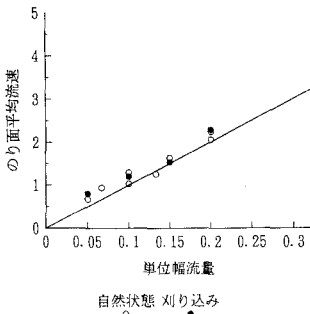


図-4 単位幅流量と平均流速

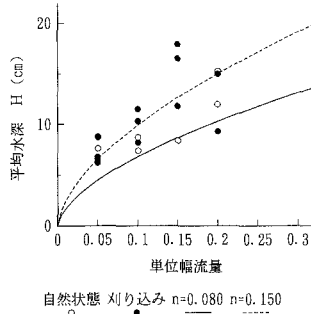


図-5 単位幅流量と越流水深

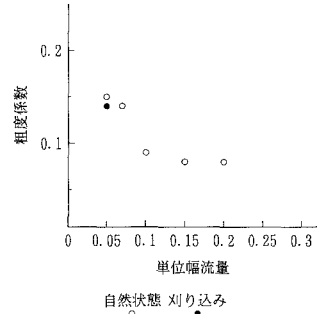


図-6 単位幅流量と粗度係数

5. 2 侵食のパターン

各実験ケースにおいて侵食・斜面崩壊の過程は、のり面状態、流量に関わらず図-7に示すようなパターンで生じている。通水によりモグラ穴や凹部になっている部分にスポット状の侵食域が形成され(ステージ1)、侵食域の拡大とともに深さ20~30cmまで洗掘される(ステージ2)。この段階で根層が浮き出て一部植生が流出する。このように侵食域が拡大している過程でスポット状から窪み状の深い侵食域が形成され、堤体の構成材料に含まれている礫が流送されずに窪み内に溜まっていく(ステージ3)。この窪み内の礫を流送するに十分な掃流力となる流量を通水した時、侵食域は急激に拡大し、崩壊を伴う激しい侵食が生じる(ステージ4)。

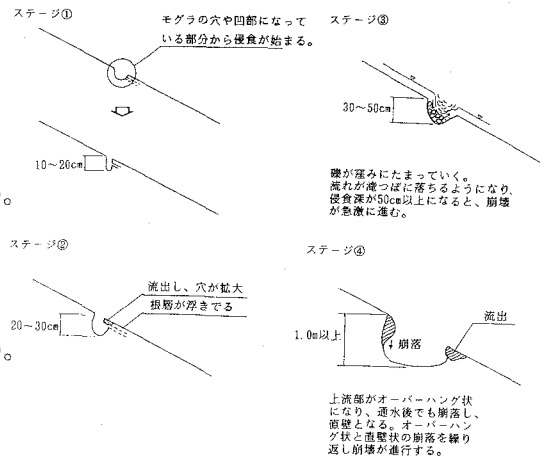


図-7 侵食のパターン

5.3 パターン I の越流ハイドロでの実験 (ケース 3、4)

ケース-3はパターンIの条件で通水し、植生の刈り込みの有無による侵食状況の差異について検討したものである。代表的に図-8にはケース3の植生と侵食面の経時変化、モグラ穴の位置と侵食断面の経時変化を示す。これによると0.1m²/sの通水では侵食が進んでいるのはカモガヤに覆われたのり面のみで、チガヤの優先区域には侵食区域は達していない。0.15m²/sを通水した時、窪みが急速に拡大し1m程度の洗掘が生じ、通水時間とともに洗掘域は上流に拡大している。一方、のり面を多く覆っていたチガヤを刈り込んで通水したケース4では、通水初期の段階で若干侵食が生じるものの、顕著な侵食は生じることがなく、表面の草より根毛による耐侵食効果が大きかった。ケース3,4とも0.15m²/sの通水によりのり面は大きく崩壊した。これは窪みが20~50cm程度侵食され、窪み内の礫が流送されることにより生じていることから、侵食速度が速い侵食パターンに移行する限界は、窪みの深さが20~50cm程度に達するとともに、窪み内の礫を流送できる0.15m²/s以上の単位幅流量になることと考えられる。

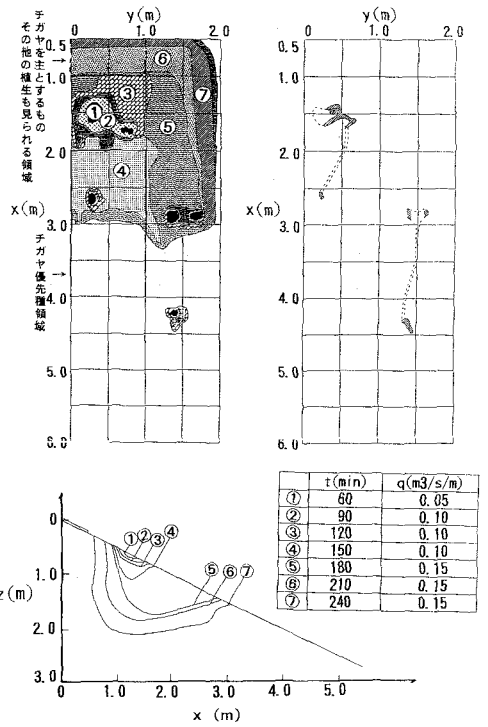


図-8 ケース3 パターンIの通水による侵食状況

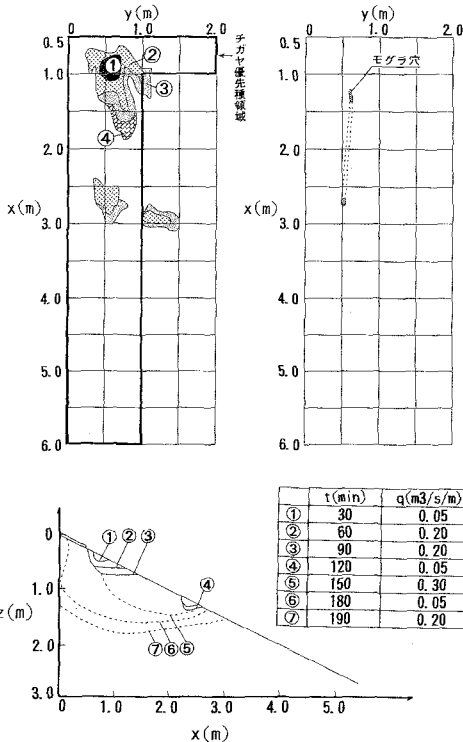


図-9 ケース5 パターンIIの侵食状況

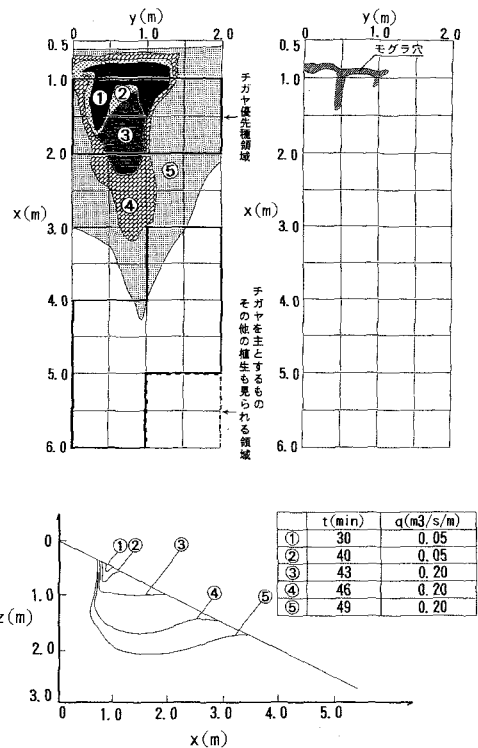


図-10 ケース7 パターンIIの侵食

5. 4 パターンⅡの越流ハイドロでの実験(ケース5、7)

ケース5,7においてはパターンⅡの条件で通水を行い、ハイドロパターンの差による侵食状況の把握を行った。(図-9、-10参照)これによると、ケース5ではパターンⅠの通水に比べ侵食区域、侵食深が少ない結果となった。パターンⅡにおいては通水時間がパターンⅠの1/3程度であり、またパターンⅠのケースにおいても120分の通水では大規模な侵食が生じていないことから、植生斜面の侵食にはピーク流量より通水時間が強く影響していると考えられる。またケース5と7を比較すると、ケース5ではパターンⅡの通水により大規模な侵食は生じていないのに対し、ケース7ではパターンⅡの通水の1/2程度の時間で急激な侵食が生じている。ケース5,7ではのり面上端部から1mの地点にモグラ穴が存在しているが、ケース5はモグラ穴の地点がチガヤであるのに対し、ケース7ではカモガヤが覆っている地点であることが異なっており植生の差異が耐侵食性に大きく影響していると考えられる。

6. まとめ

勾配1:2の堤防ののり面における侵食実験より判明した事項は次のようである。

- ① 越流水の流況は水路床の凹凸によって水面が場所的に著しく乱れる射流となり、凸部では空気を混入した流れとなった。そして水深方向の流速分布は、のり面近傍の流速がほとんど0の領域と三角形の流速分布となる領域に分けられる。さらに、縦断方向に平均した断面平均流速と水深は、のり面を被覆する植生の状況によらず単位幅流量と比例関係にあったことから、のり面に作用する掃流力は単位幅流量にほぼ比例すると考えられる。
- ② 通水初期に現れるスポット状の侵食領域の位置はモグラ穴の位置とほぼ一致し、モグラ穴が侵食に対して弱点箇所となることがわかった。
- ③ のり面の侵食過程は図-7に示す4段階に区分された。
- ④ 植生による耐侵食性の差についてはチガヤよりカモガヤの方が弱く、根の深さが影響していると考えられる。また、エゾノギンギシ・イタドリなどの茎系の植物についてはその周辺部が弱点箇所となっている傾向が見られた。
- ⑤ 崩落を伴う大規模な侵食は、侵食部に現れた礫が流送されること($q \geq 0.15 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量が必要)と侵食深が20~50cmに達することが条件であることがわかった。また、一閑遊水地の越流堤の設計外力となる越流ハイドロパターンⅠ,Ⅱを通水した場合、特にハイドロパターンⅠでは破堤の危険性が高いことがわかった。
- ⑥ のり肩から2.0m以内にモグラ穴がある場合では侵食深の進行が侵食領域の拡大に比べて速く、のり肩から2.0m以遠にモグラ穴がある場合はその逆の傾向となった。前者の場合、天端の破壊につながる可能性が高いためこうした状況について十分な注意が必要である。

本研究では実堤防の耐侵食性について1:2の雑草堤を用いて実験を行ったが、今後植生による越流堤を計画するに当たっては、崩落を伴う侵食形態に達する流速と時間の関係について、堤体土質状態、のり面勾配、植種、モグラ穴等の弱点箇所の影響等を含めて評価できるようにすること、植生の堤体の維持管理と耐侵食力の影響について把握すること、などが必要と考えられる。

参考文献

- 橋本 宏・藤田光一・加藤善明(1984):越水堤防調査最終報告書-解説編-,土木研究所資料,第2074号,57p.
須賀堯三・石川忠晴・葛西敏彦(1982):越水堤防調査中間報告書-資料編-,土木研究所資料,第1761号,433p.
佐々木克也・藤田光一・宇多高明・服部 敦・平館 治(1994):大型不擾乱供試体を用いた堤防・自然河岸の耐侵食強度評価実験,水工学論文集,第38巻,pp.677-682.