

## 第2章 堤防構造の工夫にあたっての基本的考え方・技術的事項の整理

### 2.1 検討対象とした構造・諸元

危機管理型ハード対策「決壊までの時間を少しでも引き延ばす堤防構造を工夫する対策」（以下、堤防構造の工夫と呼ぶ）として、「水防災意識社会 再構築ビジョン」には天端保護工とりのり尻補強工が挙げられている<sup>2)</sup>。これを受けて、本資料の検討は図-1に示す構造を主対象とした。

この構造は、汎用的な資材・施工法での設置を前提として、越水発生から決壊に至る間での越水による堤体の侵食・崩壊の進行を遅らせる機能を河川堤防に付与するものである。その機能は、図-2に示すように無対策の土堤の越水から決壊に至るプロセスを3段階に分けて捉えた場合、その最初と最後の段階において発揮されるものである。

- ・ のり尻補強工：初期段階  
のり尻周辺での侵食・洗掘の発生およびのり面欠損への波及を遅らせる
- ・ 天端保護工：後期段階  
天端の崩落による幅欠損の進行を遅らせる

以下では、これらを「引き延ばし効果」と呼ぶ。中間の段階「のり面崩壊の進行」においては、のり尻補強工と天端被覆工の直接的な効果は期待できない<sup>注)</sup>。

注) のり尻補強工の崩壊・それと連鎖したのり面崩壊の進行の仕方などの影響で中間段階の時間の長短が変わりうる。

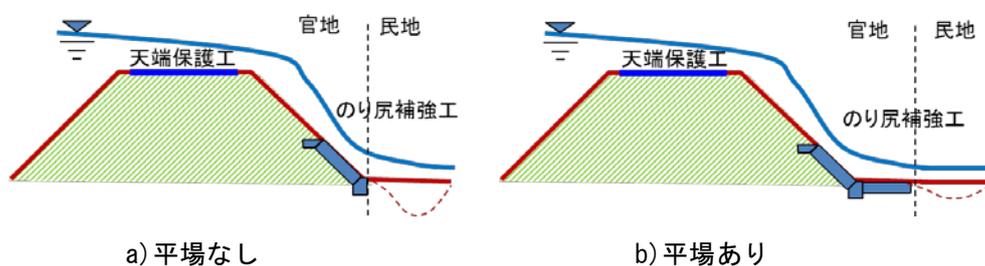


図-1 主対象とした堤防構造の工夫

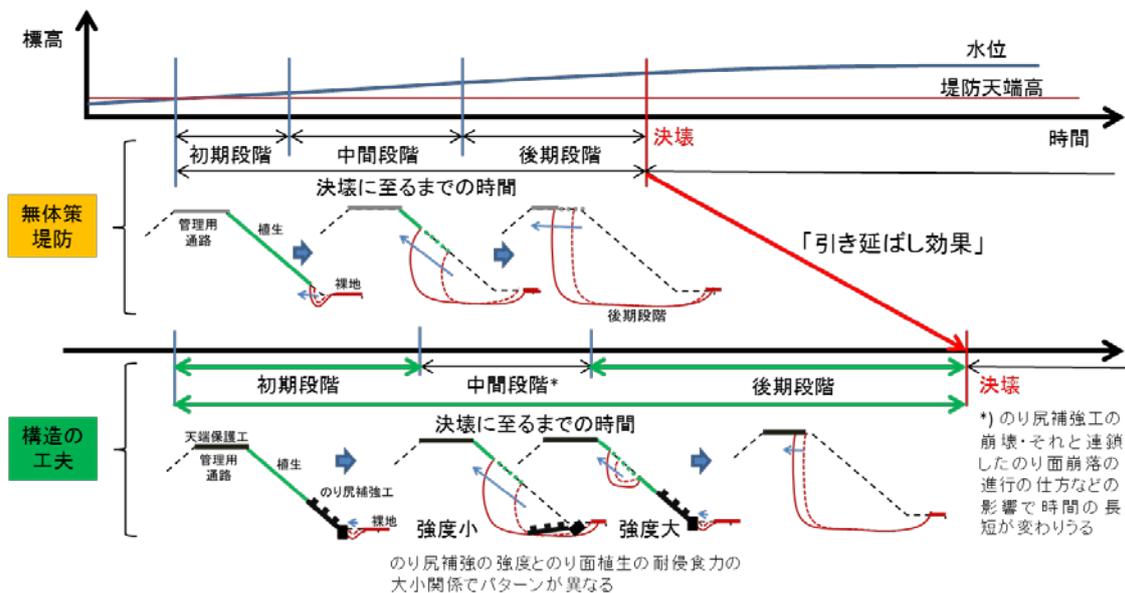


図-2 越水開始から決壊に至るまでのプロセスと堤防構造の工夫による「引き延ばし効果」

水理実験等による検討にあたっては、以下の諸元を主対象とした（以下、構造検討諸元と呼ぶ）。なお、各工法の概略構造を図-3 に示す。

◆天端保護工の構造検討諸元

- ・ 表層：厚さ 5cm の再生密粒度アスファルト
- ・ 路盤：厚さ 15cm の RC-40

◆のり尻補強工の構造検討諸元

- ・ のり覆工：設置幅は 2m 程度
- ・ 基礎工：高さ・幅は 50cm 程度  
基礎工上面は幅 30cm 程度  
根入れは 30cm 程度
- ・ 平場覆工：設置幅は 1.5m 程度

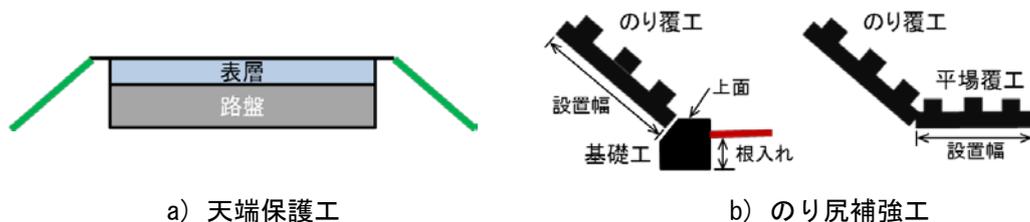


図-3 天端保護工・のり尻補強工の概略構造

## 2.2 構造上の工夫に関する技術的事項の整理

### (1) 天端保護工の「引き延ばし効果」

本資料の対象とした天端保護工の「引き延ばし効果」は、**図-4**に模式的に示すように、天端が欠損していく段階において、表層（アスファルト）がひさし状となり、その状態をしばらく保つことにより、崖状となった崩壊面脚部の洗掘から堤体崩壊の進行を遅らせることで発揮されるものである。ここで崖状とは、越流水が裸地化した崩壊面から剥離して落下するような急斜面となることを指している。

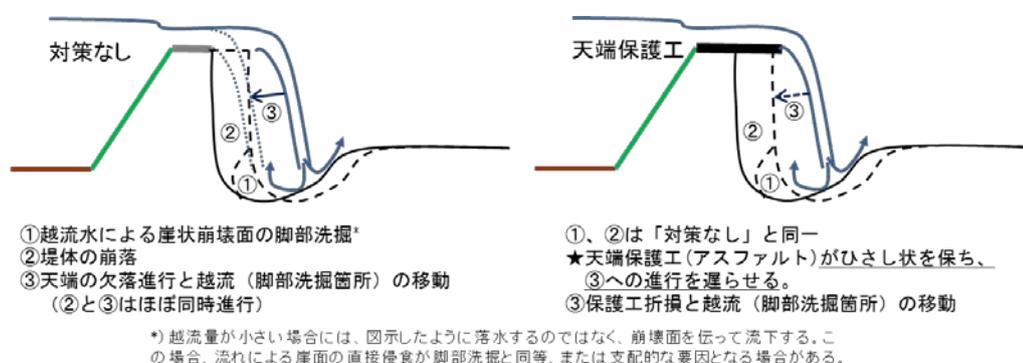


図-4 天端保護工の「引き延ばし効果」

### (2) のり尻補強工の「引き延ばし効果」

のり尻補強工による「引き延ばし効果」が発揮される初期段階から中間段階への移行（**図-2** 参照）は、のり尻補強工の被災の有無にかかわらず、のり面植生の耐侵食力を上回る流速（越流水深）が作用する時点から生じる。したがって、のり尻補強工は、のり面植生の耐侵食力と同等程度の流速（越流水深）まで効果を発揮すれば十分となる（それ以上に補強の強度を増しても、「引き延ばし効果」への寄与は限定的であるため）。

言い換えれば、**図-2**に示すようにのり尻に隣接する堤内地が耕作地など裸地であり、そのためのり尻の耐力がのり面植生の耐侵食力より低い場合<sup>注1)</sup>に、その耐力をのり面と同等以上に補強することが、のり尻の補強ということになる。

本資料では、のり尻補強工の「引き延ばし効果」を下記のように大別している。

- ・ のり尻補強の耐力を向上させることによる引き延ばし（例えば、対策なしでは越流水深10cmで中間段階に即移行したが、補強後は30cmとなった場合。ごく大まかには、越流水深が10cmから30cmとなるまで河川水位が上昇す

るのに要する分だけ時間を引き延ばしたと考えてよい<sup>注2)</sup>

- ・ のり尻補強の耐力を越える外力に達した後、のり尻補強工が崩壊するのに要する時間による引き延ばし（無対策に比べて崩壊に時間を要する場合のみ）

本資料では、前者の耐力向上による「引き延ばし効果」を対象としている<sup>注2)</sup>。

なお本資料では、天端保護工とのり尻補強工とでは、引き延ばし効果の評価の観点異なることに留意されたい。

本資料の対象としたのり尻補強工の「引き延ばし効果」は、**図-5**に模式的に示す構成材別の機能により発揮されるものである。以下にその要点をまとめて示す。

a) 平場なし

- ・ 基礎工の機能

水はね：越流水を水平にはねて地表から高流速域を離す

根入れ：基礎工下まで洗掘が進行するまで間、のり面への崩壊波及を防ぐ

- ・ のり覆工の機能

粗度により流速を低減する

b) 平場あり

- ・ 平場覆工の機能：平場なしと同様の2機能であるが、より強化される

「水叩き」としてより確実に流れを水平に向ける

「根固」として洗掘域を堤体から遠ざける

- ・ のり覆工の機能：平場なしと同一

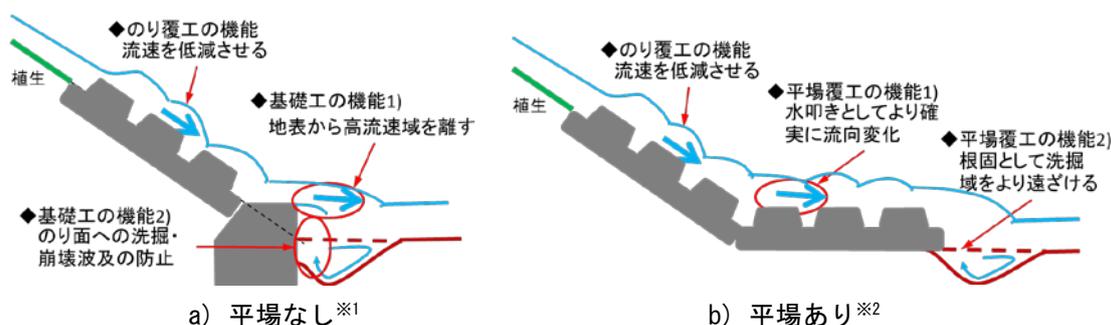


図-5 のり尻補強工の「引き延ばし効果」

※1 水はねと粗度によってのり尻近傍の洗掘を抑制する効果が発揮される。これと根入れの機能が相まって「引き延ばし効果」が発揮される。

※2 接続ブロックのようにのり面から平場まで一体的に覆う構造の場合は、基礎工は不要である。その他、基礎工を設けてそれを挟むようにのり覆工・平場覆工を設置する構造とすることもできる。

注1) より一般的には、のり尻近傍の堤内地が、堤防植生に比較して耐侵食力が大きく劣る状態にあり、そのためのり尻周辺から洗掘が発生し、のり面の崩壊へ進展することが決壊の主因となる蓋然性が高い状態と考えればよい。こうした状態として、前記の裸地である場合のほか、のり尻周辺で浸透流が湧出する場合（パイピング・のり滑りお

よびそれらが発生する直前の不安定な状態も含む) やのり尻部が切り立って段落ち形状となっている場合などが考えられる。

注2) この効果についてより突き詰めて考察するための思考実験として、水路実験のように一定流量かつ一定幅内を流下していく状況を想定する。越流開始直後には、まずのり尻近傍で流量の大きさに見合った局所洗掘が発達する。この段階では洗掘域の下流側の地表面の侵食・低下は軽微である。さらに通水を継続すると、洗掘域の下流側においても徐々に侵食されて、地表面の低下が進行していく。その低下に伴って堤内の氾濫流水位が低下するため、のり尻近傍の局所洗掘も追隨して進行していく。

- ・ 本資料では、局所洗掘の発達段階におけるのり尻補強の効果について、水理実験によって検討している(4.2参照)。
- ・ したがって、効果が十分に発揮されるとされた越流水深に対しても、本資料の実験に比べてさらに長時間継続して通水した場合には、上記の地表面低下の進行を受けてのり尻補強工の被災が生じ得る。この意味で、今回ののり尻補強は、最終的には決壊に至ることを前提としたものであると捉えられる。
- ・ 本資料はこうした前提での検討であるため、越流の継続時間まで考慮して、引き延ばしの時間を正確に見積もるのは困難である。ごく大まかな見積もりが許されるのは、植生が良好に繁茂する、粘着性土であるなどの理由で地表面の低下が著しく遅い場合であり、この場合、注2)を付した前述のように、水位上昇に要する時間として概算しうると考えられる。

### (3) のり尻補強工の副作用：のり覆工の天端側端部が侵食弱点箇所となりうることへの対処の必要性

施工時にのり覆工表面とのり面が同一の高さとなるように仕上げても、その後の経年的な変化を受けてのり面の土や植生がのり覆工表面に乗り上げる、またその逆にのり面が落ち窪んでのり覆工が突き出た状態になる場合が想定される。さらに、植生がのり覆工に密着するように繁茂しない箇所も生じうるであろう。こうした種々の条件下で天端側端部が侵食弱点箇所となると、図-6に示すように端部からのり面崩壊が発生・進行するため、「引き延ばし効果」が低減する副作用が顕在化することが懸念される。

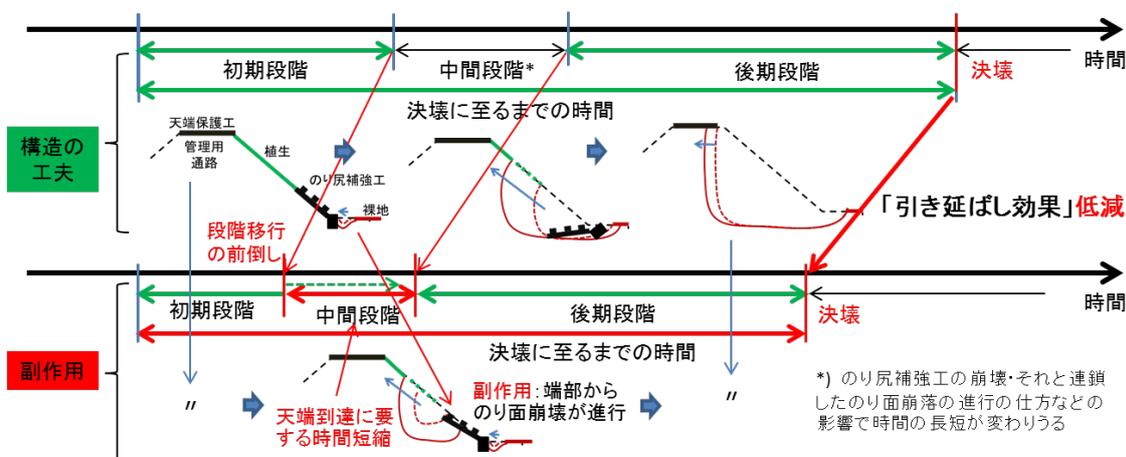
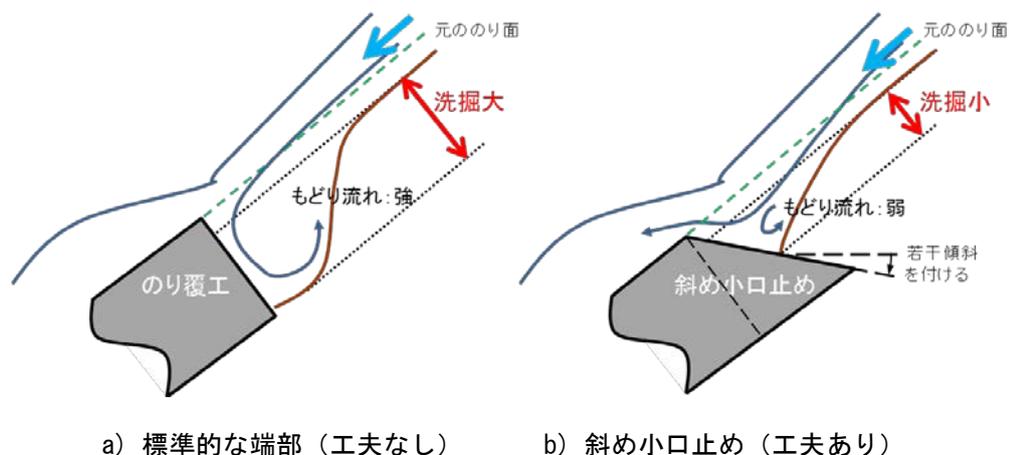


図-6 のり尻補強工の副作用による「引き延ばし効果」の低減

天端側端部が弱点となるのは、植生の耐侵食力の発揮機構に基づく、以下のよう  
 に解釈できる。堤防植生の耐侵食力は、地表近傍の糸状の根・地下茎が洗い  
 出されて地表を覆う層を形成し、これが流れの抵抗となって地表に作用する流速  
 を低減し侵食が抑制されることで発揮される<sup>3)</sup>。その層はごく薄いので、地面に  
 沿う流れは十分に低減されるが、地面に向かう下降流（層を貫く流れ）に対して  
 はそれほどではない。そのため、例えばのり覆工が突き出てその端部が水衝部と  
 なり地面に向かう強い下降流が形成されると、**図-7a)**に示すように植生では侵食  
 が防止できず局所洗掘が進行し、最終的には植生が剥離して裸地となる。この状  
 態に達するとさらに洗掘が進行しやすくなり、端部が弱点箇所となる。

端部においてのり面が窪む、または植生が密着するように繁茂せず裸地が形成  
 される場合であっても、上記のような局所洗掘が生じにくい端部構造とすること  
 が肝要である。そうした構造の工夫の一つとして、本資料では**2.1**の基本的考え  
 方を踏まえて、**図-7b)**に示すように水衝部となってものり面に向かう強い下降流  
 が形成されにくい端部形状（斜め小口止め）とすることの効果について検討を加  
 えることとした。



**図-7** のり覆工の天端側端部での流況と局所洗掘（端部形状の工夫）

なお、小口形状を斜めにすると、図面上では小口面上に三角形の薄い盛り土が  
 形成される。しかし実際には、この三角形先端部の盛り土は欠落して斜め小口面  
 が露出すると想定すべきであろう。本資料の検討（模型実験）では、こうした状  
 態となることを加味して、端部での局所洗掘の進行が抑制されることを確認す  
 ることとした。

さらに、端部を斜め小口止めに変わると、浸透した雨水が小口面で集水されて  
 のり面から湧出しやすくなると考えられる。この場合、斜め小口上の土砂が水を  
 多く含み崩壊する、流失するなど、のり面が欠損することが懸念される。その

対処として、斜め小口面を水平とするのではなく、浸透した雨水がのり覆材の下に設ける碎石層から排水されるように、堤体側に若干傾斜を付けるのが望ましい。

#### (4) 浸透に対する配慮

のり尻補強工の設置後も、設置前と同等以上の浸透に対する堤体の安定性が確保されなければならない。そのための基本的な留意事項として以下が挙げられる(図-8 参照)。

- ① 設置に伴う掘削深は植物の根の侵入、土壌化した深さまでを基本とする
- ② のり覆工の総重量は、掘削で取り除いた土の重量以上とする(重量を減らさないのを基本とする)
- ③ コンクリートブロックなどののり覆材の背面の排水性を確保する(浸潤線の上昇を防ぎ、ブロック等の滑動・浮き上がりに対する安定性および堤体のすべり・パイピングに対する安定性を確保する)

以上を基本として、必要に応じて浸透に対する安定性について、浸透流解析やのり面の安定性解析などにより別途検討することが望ましい。

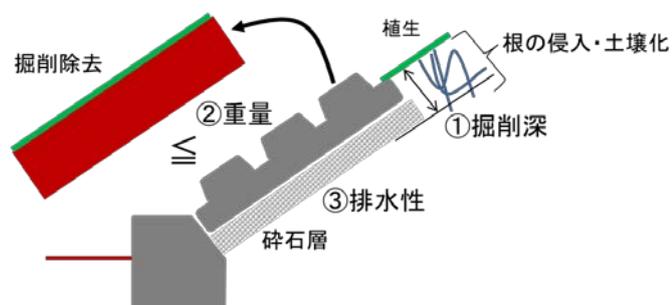


図-8 のり尻補強工の浸透に対する基本的な留意事項

## 2.3 水理実験による検討範囲

- ・ 台形断面の堤防について、のり尻補強工と天端保護工の構造検討諸元の構造を対象に「引き延ばし効果」について検討する。
- ・ さらに、「引き延ばし効果」の向上のための工夫および留意事項について併せて検討する。
- ・ 堤防植生の耐侵食力としては、年2回程度の草刈りを行っている河川堤防の場合、繁茂状況が著しく劣る場合を除けば、流速 2m/s（越流水深で約 20cm 程度（1:2 勾配の場合））程度を下回ることはそれほどないと想定される<sup>3),4)</sup>（既往の植生侵食実験、現地実験などから）。この想定のもと、のり尻補強と天端保護の検討対象とする外力としては、越流水深 20cm を基本として最大 40cm までを対象とした。
- ・ のり尻周辺の地物・地形については以下のとおり。
  - ・ 越流水の流下を阻害する（水衝となる）工作物・樹木などが無い（例えば、のり尻近傍に設けられた壁、樹林、地表面の段上がり）。
  - ・ のり尻から先がほぼ平坦である（落差の大きい地表面の段落ちがない。段差の目安の一つとして、地表から基礎工上面または平場覆工表面までの比高が挙げられる）。
  - ・ 堤脚水路が設置されている場合については、設置に伴う追加的措置など留意事項について検討する。
- ・ のり尻補強工の浸透に対する安定性については、少なくとも 2.2(4) で述べた対処を行うことを前提として、水理実験では取り扱っていない。