

多自然型工法により施工された覆土の流失について

Washout of cover soil from slopes formed by nature-oriented river works

研究第四部 主任研究員 梶本 浩盟
研究第四部 次 長 森 吉尚

近年の「多自然型川づくり」の推進、及び平成9年の河川法改正により「河川環境の整備と保全」が位置づけられたことから、自然に配慮した工法が多く用いられ、その補助工法として特に覆土工法が多く施工されている。

覆土の目的は、コンクリート等の護岸の上に簡易に植生が生育しやすい条件を整えることができ、河川環境の保全を図るとともに、植生の繁茂によって景観や親水性を向上し「川らしさの復元」が期待できることである。

しかし一方で、中には河川の流水により覆土が流失してしまう例が多々見られるようになった。

そこで本稿は、覆土がどの程度の外力を受け流失しているか事例をもとに分析すると共に、実際に現地調査を実施し、覆土流失の有無と各種条件の関係の分析を行い、今後の覆土工法の適用にあたっての留意点を整理した。

キーワード：覆土流失、流速、摩擦速度、施工位置

Because of the ongoing efforts to make rivers as natural or near-natural as possible and the newly set goal of "the improvement and conservation of the river environment" under the River Law as amended in 1997, nature-oriented river works are increasing and various soil washout prevention methods are being used as auxiliary methods of construction.

The purpose of soil cover is to easily create conditions favorable to plant growth on revetments made of concrete or other materials, in order to conserve the river environment, improve the riverscape and make the riverfront more attractive by providing vegetation, thus making the river look more natural. Cover soil, however, is often subject to washout.

This paper analyzes washout cases to investigate the degree of external force acting on cover soil, analyzes the relationship between cover soil washout and various conditions on the basis of field investigation data, and summarizes considerations in covering riverbanks with earth.

Key words : cover soil washout, flow velocity, friction velocity, construction location

1. はじめに

覆土は、植生の早期復元を図るためのものであり、護岸と同様な耐力を有する必要はない。従って、護岸設計の外力以下でも流失することはやむを得ないが、その川で頻繁に起こる出水で容易に流失してしまえば、覆土の目的を果たすことは出来ない。また、植生の生育により、昆虫や小動物などの生物の生息場所としての機能も有しているため、ある程度の出水までは、覆土が流失せずに植生の生育基盤が保持されることが必要である。

そこで本稿は、近年多く施工され流失事例もあるセグメント2における覆土を取り上げ、覆土がどの程度の外力を受け流失しているか、事例をもとに分析を行うとともに、現地調査により覆土流失の有無と各種条件との関係を整理することにより、今後の覆土工法の適用にあたっての留意点を整理した。

2. 覆土の流出とは

本検討における覆土の流失とは、河川の流水により覆土の土砂が失われる現象で以下のように定義することとした。

- (1) 護岸上（コンクリート護岸、籠マット等）の覆土が流失し、護岸が表面に現れたもの。
- (2) 覆土厚が十分あり護岸の露出には至らなかったが、数十 cm～数 m の厚さの覆土が流失したものの。

3. 調査概要

3-1 調査対象

調査対象は、以下のとおりである。

- (1) セグメント2における覆土の流失箇所（17事例）。
- (2) 同時期に同様の工法で覆土が施工され、かつ、近年大きな洪水を受けた阿武隈川。

3-2 調査方法

セグメント2における覆土の流失事例（17事例）を対象に、アンケート調査により覆土流失に関する関係資料を収集すると共に、事例毎に要因に関する事項を整理した。

また、阿武隈川において、覆土が流失した箇所及び流出していない箇所の現地調査・ヒアリング調査を実施し、各種条件との関係を整理した。

4. 覆土の構造

本検討で対象とした事例では、現地発土（非粘性

土が多い）を用い、覆土厚30cm程度とし、覆土施工時には転圧・植栽を行っていない場合が多い
以下に本検討において対象とした覆土の構造を示す。

構造	<ul style="list-style-type: none"> ・法面勾配 2 割（～1.5割） ・覆土厚 30cm ・護岸構造としては、カゴマット、接続ブロック、自然石等と多種多様であったが、概ねカゴマットが多く用いられている。
覆土材料	<ul style="list-style-type: none"> ・工事の発注土（現地材料）を流用
施工方法	<ul style="list-style-type: none"> ・締め固めは実施していない。 ・法面整形はバックフォーによる法面整形のみ。 ・覆土上への植栽は実施していない。

表一 覆土構造

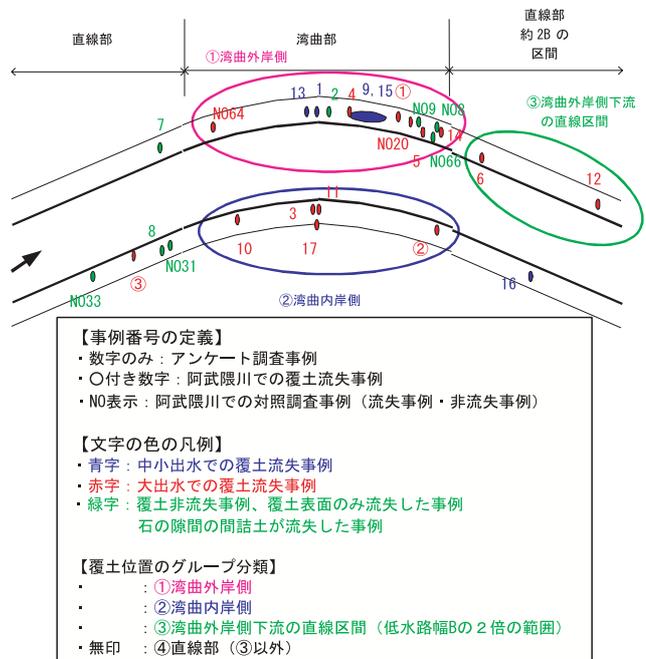
5. 調査結果

5-1 覆土の施工位置—流速・摩擦速度

(1) 施工位置の分類

航空写真や図面から、覆土流失位置をみると、下の模式図に示すように、湾曲外側の中央から出口にかけての覆土流失が最も多い。

特に、中小出水時には、湾曲外岸側で覆土流失事例が最も多くみられた。一方、湾曲内岸側の覆土が流失した事例は、いずれも、高水敷上に水位がのる大出水時だけであった。

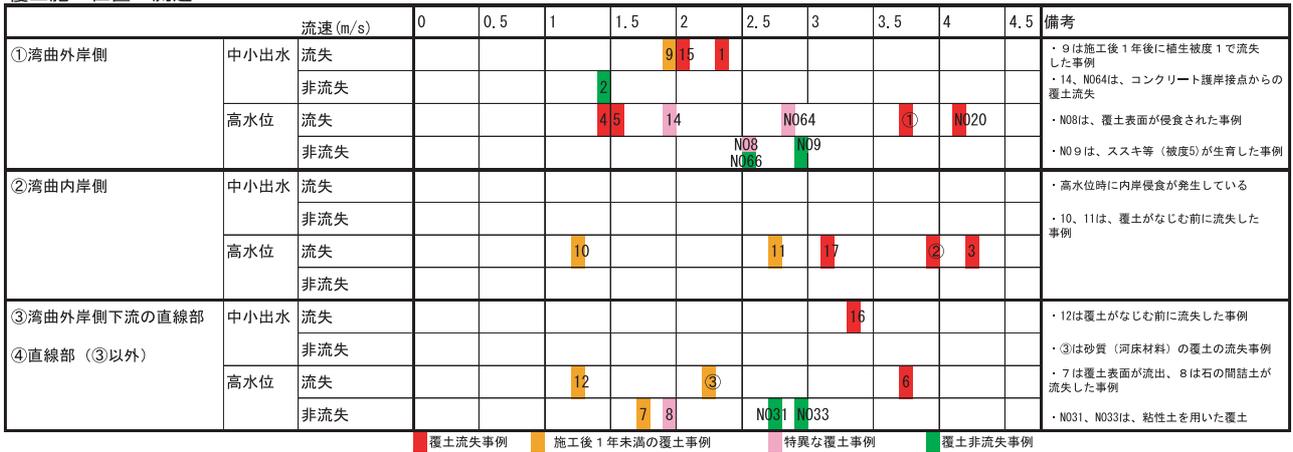


図一 覆土施工位置図

(2) 流速・摩擦速度

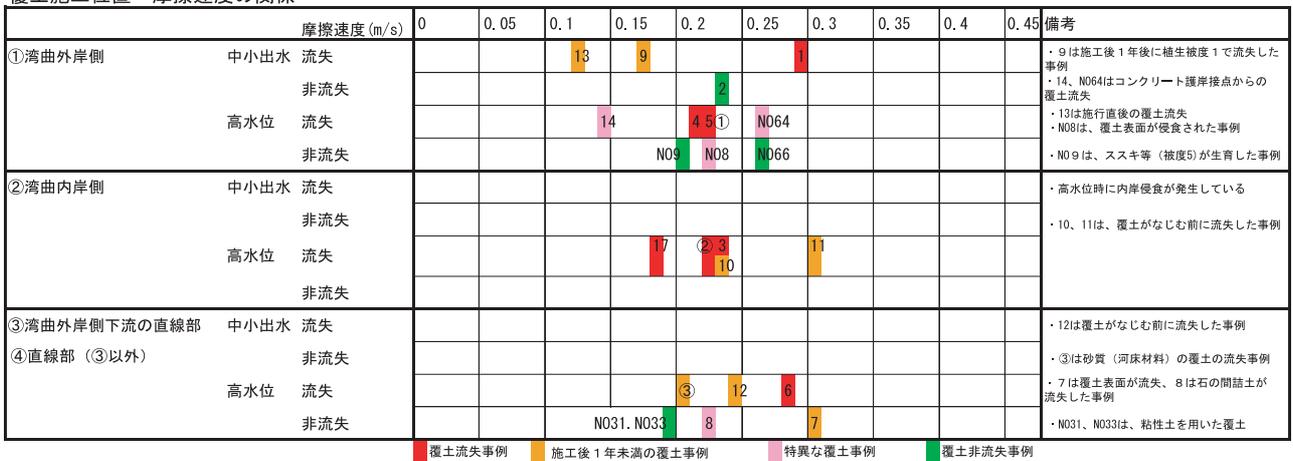
図-2は、各事例について、準2次元不等流計算結果流速と、摩擦速度を整理したものである。

覆土施工位置－流速



■ 覆土流失事例 ■ 施工後1年未満の覆土事例 ■ 特異な覆土事例 ■ 覆土非流失事例

覆土施工位置－摩擦速度の関係

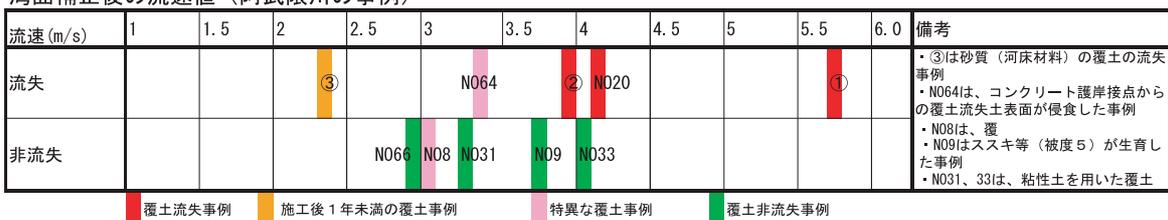


■ 覆土流失事例 ■ 施工後1年未満の覆土事例 ■ 特異な覆土事例 ■ 覆土非流失事例

【事例番号の定義】数字のみ：アンケート調査事例/○付数字：阿武隈川での覆土流失事例/N0表示：阿武隈での対照調査事例（流失事例・非流失事例）

図－2 流速・摩擦速度

湾曲補正後の流速値（阿武隈川の事例）



■ 覆土流失事例 ■ 施工後1年未満の覆土事例 ■ 特異な覆土事例 ■ 覆土非流失事例

図－3 阿武隈川における湾曲補正後流速

図－3は、阿武隈川の湾曲補正後の準2次元不当流計算結果流速を整理したものである。

赤色は覆土流失事例、オレンジ色は施工後1年未満の覆土が流失した事例、ピンク色は特異な覆土流失事例（護岸との接点からの流失など）、緑色は覆土非流失事例である。

湾曲内岸側、直線部では流速3m/s以上に流失事例が分布している。特異な覆土流失事例では、流速3m/s以下に分布していることが見て取れる。

湾曲外岸側では流速1.4～2.4m/sの範囲に分布して

いるが、これは湾曲の補正をしていない準2次元不等流計算結果であり、実際には湾曲の影響によりこれ以上の流速が発生していたと考えられるため、覆土が流失するのは施工後1年以上経過した場所での場合、概ね流速3.0m/s以上である。

一方護岸との接点等、特異な場所からの流失事例や施工1年未満の例では、流速がその半分程度でも流失する場合がある。

摩擦速度との関係については、下記の算定方法により簡易に求めたが、調査箇所が同一河川の同一特性を

持つ区間であったため、摩擦速度が狭いレンジに分布し、明確な違いを見いだすことができなかった。

摩擦速度の算定方法は、

$$u^* = (ghi)^{1/2} \quad (g: 9.8\text{m/s}^2, h: \text{ピーク水位から覆土法尻までの高さ}, i: \text{河床勾配})$$

として求めたものである。

以下に、分析結果をまとめて整理した。

1) 流速

湾曲内岸側及び、直線区間では、非粘性土を盛っただけの覆土が施行数ヶ月後に流失した事例を除けば、低水路の流速が3.1m/s以上で覆土が流失している。なお、湾曲内岸側での覆土侵食は、高水位のみであった。

一方、湾曲外岸側では、中小出水の場合、植生の被度が低い状態の覆土が流失しており、流速約1.9m/s以上で覆土が流失している。高水位時に流失した流速にはばらつきがある。これは、湾曲外岸側においては、湾曲等の影響により流速が増すとともに、出水時に水が直接あたる水衝部では覆土が流失しやすいためと考えられるが、アンケート結果からは、水が直接あたる水衝部を推定するには至らなかった。湾曲外岸側で覆土が流失した流速は、本調査で対象とした事例からは、最小で約1.5m/sであるが、事例数が少ないことと、流速値が低水路断面平均流速であるため、この値を指標にすることは難しい。

また、非粘性土を盛っただけの覆土では、施工後1年未満で流速約1.3m/s以上で覆土が流失している。

現地調査・ヒアリング調査を実施した阿武隈川においては、湾曲の補正を考慮した流速を算出したところ、覆土表面の流失やコンクリート護岸接点からの流失を含めると流速3.0m/s以上で、覆土が流失している。

2) 摩擦速度

摩擦速度について、シバの被度を用いた簡易的な耐侵食性の評価と比較したところ、覆土流失事例については、シバの被度の耐侵食性以上の摩擦速度を受けていた。

一方、流失しなかった事例については、同様の大きな摩擦速度を受けても、覆土流失には至っていない。これは、シバ等の草本植生の被度が高い事例(被度5)、水際にヤナギが繁茂した事例(被度4)、粘性土を覆土材料に用いた事例(シバ等の被度3)であり、植生の種類や被度、覆土材料(粘性土)によって、耐侵食性は高くなったものと考えられる。

特異な覆土流失事例、施工後1年未満の覆土流失事例を除けば、摩擦速度約0.175以上で覆土が流失して

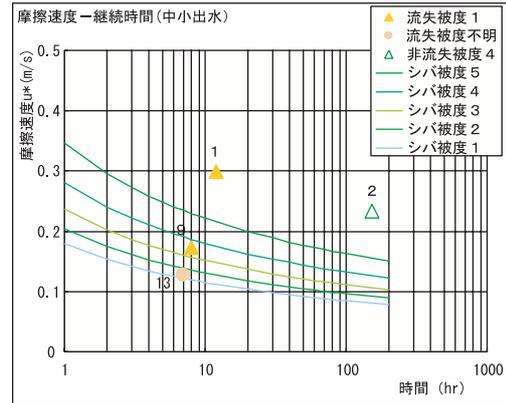


図-4 摩擦速度—継続時間 (湾曲外岸側中小出水)

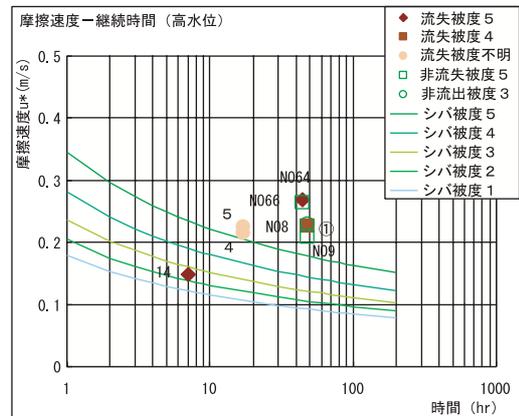


図-5 摩擦速度—継続時間 (湾曲外岸側高水位)

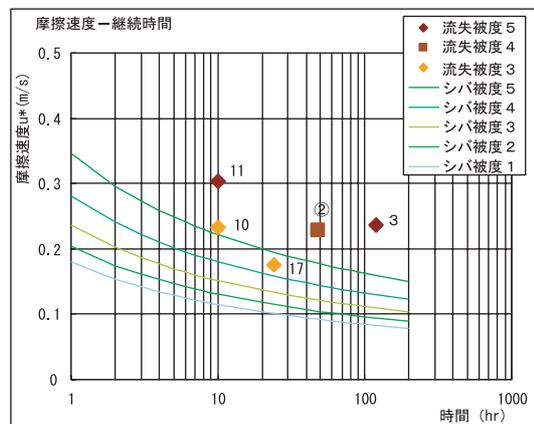


図-6 摩擦速度—継続時間 (湾曲内岸側)

いる。

5-2 流速以外の要因の考察

(1) 護岸との接点

特異な条件が影響したと考えられる事例のひとつは、上流に既設護岸があり、下流部だけに覆土を施工した事例である。

既設護岸と覆土の間に生じる段差により流水が覆土上流端にあたりやすい(下図7(1))、または、覆土をすりつけた場合でも覆土厚が植生の生育に十分でな

い(下図7(2))ためそこが弱点となり、覆土が流出しやすいと考えられる。

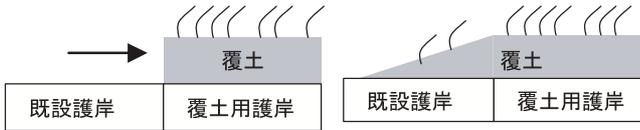


図-7 覆土と既設護岸の関係(1)(2)

○事例(覆土流失事例) $V=2.247\text{m/s}$

既設護岸との接点から、すべての覆土が流失した。



護岸の上の覆土はすべて流失した。

(2) 高水敷からの水みち

高水敷から法面への水みち(エロージョン)が弱点となり覆土流失している事例も見られた。

エロージョンが発生すると、植生の生育が均一でなくなり、そこだけ植生が生育しない事例もある。



高水敷から法面への水みちには植生が生息していない。



水みち(エロージョン)より下流では、法面全体の覆土が流出していた。

○事例(覆土流失事例) $V=3.955\text{m/s}$

高水敷から覆土法面にかけて水みち(エロージョン)ができていた。エロージョンより下流では、法面全体にわたって覆土が流失している。

(3) 前後に比べ大きな流速が発生する箇所

対岸の高水敷、砂州の発達等により水路幅が狭められて、付近の流速と比較して大きな流速が発生する箇所についても覆土が流失しやすいと考えられる。

○事例(覆土流失事例) $V=3.775\text{m/s}$

平面形状は湾曲の外岸側であるとともに、対岸の高水敷、砂州が発達し、直上流と比べると低水路幅が狭くなる箇所となっており、流速が速くなることが考えられる。

また、当該地点下の橋梁(昭和大橋)より下流では、出水時に「うねる」ような水面形が確認されている。当該地点は他の地点と比べ、局所的に特殊な状況(河床勾配がきつい、大流速が生じやすいなど)であることが考えられる。



出水時に「うねる」ような水面形になった。

覆土流出地点

(4) 粘性土を用いた覆土

粘性土を用いた覆土においては、流失が起こりにくい。

○事例(非流失事例) $V=2.999\text{m/s}$

覆土の材料として、粘性土が用いられており、覆土上には、ヨシなどが生育している。



粘性土を用いた覆土

6. 分析結果のまとめ・今後の留意点

覆土は、コンクリート等の護岸表面を土で覆うことで、植生の生育を促し、景観等に配慮するものであり、護岸と同様な耐力を有する必要はないと思われる。従って、護岸設計の外力以下でも流失することはやむを得ないと考える。しかし、せっかく覆土しても施工直後に流失したり、その川で頻繁に起こる出水で流失してしまえば、覆土の目的を果たすことができなくなる。

そこで、今回の分析結果をもとに、「通常の覆土」で流失する条件と、耐えられない場合にはどのような対応があるか、表-2、3に覆土適用にあたっての留意点をまとめた。

7. おわりに

本検討では、覆土が流失する流速及びその他の条件を分析し、また、条件を満たさない場合にはどのような対応があるかについて整理した。しかし、覆土の流失はさまざまな要因が絡み合って流失に至るものと考えられ、今後ともさらなるデータの蓄積とモニタリングを行っていく必要がある。

また、覆土の流失に関して決まった定義はなく、どのような状態になれば機能回復を図る必要があるかについても検討が必要である。

本検討を進めるにあたり、指導、助言を頂いた国土総合政策総合研究所、現地調査協力をして頂いた東北地方整備局福島河川道路事務所などの関係者の方々に多大なご支援とご協力を頂きました。この場をお借りして厚くお礼申し上げます。

〈参考文献〉

- 1) 建設省土木研究所河川部河川研究室：洪水流を受けた時の多自然型河岸防御工・粘性土・植生の挙動（土木研究所資料第3489号）
- 2) 福岡捷二・藤田光一：堤防法面張芝の侵食限界、水工学論文集第34巻（1990）
- 3) 山本晃一：沖積河川学（1994）
- 4) （社）全国防災協会：美しい山河を守る災害復旧基本方針（2002）

表-2 覆土事例分析と覆土適用の留意点 (案) (1/2)

	分析結果	覆土の留意点 (案)
外力	【①流速】 ・阿武隈川の事例では、準2次元不等流計算結果に湾曲の補正係数を乗じた値が3 m/s以上で、施工後数年経過しても、覆土が流失している。ただし、植生の種類・被度（ススキなど背が高く根が張る植生が高い被度で生育）や、覆土材料（粘性土を用いた場合）によっては、流速3 m/s以上でも流失していない事例がある。	<ul style="list-style-type: none"> ・覆土下部の護岸の設計流速が3 m/s以下・覆土法面下端での摩擦速度が0.22m/s以下の場合には、覆土工法の施工が可能。 ・覆土下部の護岸の設計流速が3 m/s以上・覆土法面下端での摩擦速度が0.22m/s以上の場合、シバを張ったり、ヨシ・ヤナギ等、現地に生育する植生の移植を試みる。また、護岸形状を工夫する（自然に隙間に土がつまる護岸） ・自然に隙間に土がつまる護岸形式として、カゴ、自然石（十目地への覆土）、自然石接着金網等が考えられる。また、水制により水際線に土が堆積し植生が生育した事例もある。 ・場合によっては、十分厚い覆土厚とすることで、多少の覆土の流失を許容する。
	【②摩擦速度】 ・阿武隈川の事例では覆土法面下端における摩擦速度0.22m/s以上では、施工後数年経過しても、覆土が流失している。ただし、植生の種類・被度（ススキなど根が張り背の高い植生、ヤナギ）や、覆土材料（粘性土を用いた場合）によっては、0.22m/s以上の摩擦速度を受けても覆土は流失していない事例がある。	
覆土 施行 位置	【③水衝部】 ・砂州等の河道状況から判断して、低水路で水が直接あたる水衝部では、特に覆土は流失しやすいと考えられる。	<ul style="list-style-type: none"> ・今後のモニタリングにより、どの程度の外力で覆土が流失するか把握することが必要である。
	【④湾曲外岸側 (③以外)】 ・湾曲外岸側では、中小出水でも、植生の被度が低い（1～2）場合、覆土が流失した事例がある。（準2次元不等流計算結果の流速1.9～2.4m/s） ・高水位の場合、阿武隈川の事例では、湾曲補正後の流速が3 m/s以上で覆土が流失している。	<ul style="list-style-type: none"> ・①②の覆土の留意点と同様の点に留意する。
	【⑤湾曲内岸側】 ・高水位（高水数にのる水位）時に、湾曲内岸側で覆土が流失した事例がある。事例では、非粘性土が施工後1年以内に流失した事例など特異例を除けば、低水路流速3.1m/s以上で覆土が流失している。	<ul style="list-style-type: none"> ・一般に湾曲の入り口から、湾曲内岸側で流速が速くなるので、湾曲内岸側でも覆土の流失に注意を払う必要がある。
	【⑥直線部】 ・直線部では、中小出水・高水位でも、非粘性土が施工後1年以内に流失した事例など特異例を除けば、流速3.3m/s以上で流失している。	<ul style="list-style-type: none"> ・①②の覆土の留意点と同様の点に留意する。
	【⑦河畔林の生育箇所】 ・対岸に河畔林（死水域）がある箇所では、河積が小さくなり流速が速くなるとともに、覆土施工側に流心がより、覆土が流失しやすくなる可能性がある。	<ul style="list-style-type: none"> ・河畔林（死水域）を考慮した水理計算を行う。
	【⑧覆土の弱点箇所（既設護岸接点・エロージョン）】 ・覆土上流側に既設護岸があったり、覆土にエロージョンが発生した場合には、そこが弱点になり、覆土が流失しやすい。 ・事例では、2 m/sで護岸との接点から覆土がめくられるように流失した事例がある（植生シバ：被度5）。	<ul style="list-style-type: none"> ・既設護岸の規模（延長）が小さい場合には、既設護岸を含めて覆土を試みる。 ・既設護岸との接点付近では、覆土にシート材の設置や植栽等を行い、覆土流失防止を試みる。 ・法面の覆土に水みちが出来ないような工夫する。

表-3 覆土事例分析と覆土適用の留意点 (案) (2 / 2)

	分析結果	覆土の留意点 (案)
覆土材料	【⑨覆土材料】 ・粘性土を用いた覆土は、非粘性土を用いた覆土よりも、流失しにくい。 ・阿武隈川の事例では、粘性土を用いた覆土は、準2次元不等流計算結果に湾曲の補正係数を乗じた値が、3.9m/s (植生ヨシ等：被度3) で流失していないものがある。 ・逆に、河床材料を覆土材料に用いると、容易に流失する。	・現地発生土に、粘性土がある場合には、粘性土を覆土に用いる。 ・現地発生土に、粘性土が無い場合でも、工所用残土等で粘性土が入手出来る場合には、現地発生土と混ぜて、覆土に利用することが望ましい。 ・条件の厳しい所では、極力、粘性土を用いる。
	【⑩表土転用】 ・阿武隈川の事例では、現地発生土 (非粘性土) に施工後ススキ等 (被度5) が生育し、湾曲補正後の流速約3.7m/s であっても覆土が流失していないものがある。 ・表土をうまく転用し、背の高い植生を高い被度で回復させることによって、覆土の耐侵食性が高まることが期待できる。	・現地表土を仮置き保存し、在来植生の復元を図ることができる。 ・特に、ヨシやススキなど背丈が高い植生が生育している箇所の表土を水際近くに転用することで、これらの植生が回復し、出水時に覆土を保護する機能が期待できる。 ・表土に植生が回復するまでの期間は、容易に覆土が流失する可能性があることから、敷藁やネット等で表面を覆うことも合わせて検討する。(当面、施工後1～2年保護できる保護工法) ・表土の転用については、「多自然型川づくり 施工と現場の工夫 ((財) リバーフロント整備センター、1998)」を参照のこと。
プラ ス α の 施 工	【⑪植栽】 ・阿武隈川の事例では、植栽はしていないが、施工後ススキやシバ等が高被度で生育することによって、湾曲後の補正流速が3m/s 以上でも覆土の流失には至っていないものがある。 ・覆土非流失事例として、覆土の水際に挿し木したヤナギが被度4まで回復し、覆土の流失には至っていないものがある。この事例では覆土法下に敷いた砂利 (粒径4cm) は流失している。 ・現地の植生を積極的に回復させることによって、覆土の耐侵食性を高めることが期待できる。	・護岸設置前の準備工事の段階で、周辺植生を確保し、覆土施工後に現地植生を移植することで、早期に植生を回復し、覆土の耐侵食性を高めることが期待できる。 ・特に、ヤナギ、ヨシ等の河岸保護機能を有する植生を、水際部に移植することが望ましい。 ・植生が活着するまでの期間は、容易に覆土が流失する可能性があることから、敷藁やネット等で表面を覆うことも合わせて検討する。(当面、施工後1～2年保護できる保護工法) ・現地の植生の植栽方法については、「多自然型川づくり 施工と現場の工夫 ((財) リバーフロント整備センター、1998)」を参照のこと。
	【⑫間詰土 (カゴマット等への覆土)】 ・カゴマットへの覆土の際、水締めにより土をカゴの隙間に詰め、その上に覆土した事例がある。 ・この場合、表面の覆土が流失しても、カゴ内の土に植生が生育することが期待できる	・カゴマット等の隙間が多い護岸には、カゴの内部 (隙間) に、水締め等により土を充填し、その上に覆土を施す。 ・これにより、表面の覆土が流失しても植生の生育基盤としての機能は確保できる。
施工時期	【⑬施工後まもない覆土の流失】 ・非粘性土を、ただ載せただけの覆土は、施工後1年未満では、容易に流失しやすい。 ・事例では、施行2ヶ月後に流速1.3m/s 程度 (植生ヨシ・イヌタデ等：被度3) で流失したものがある。 ・事例では、覆土の施工数日後に出水を受け、流失したものがある。	・出水期を避けて施工する。 ・植生繊維で出来たシートなど簡易的にできる工法で、覆土保護を試みる。(当面、施工後1～2年保護できる保護工法)。