

第6章 切土工及び法面保護工の設計

関連条項〔基準 11、運用 11〕

6.1 切土工

切土工は、交通に障害が発生しないよう道路を維持し、切土法面が安定するように法面保護工と併せて行う。さらに、切土法面に続く自然斜面の安定を図る必要がある場合には、斜面安定工を実施する。切土工は、地山の不均質性から過去の技術的経験や現場における技術者の判断によるところが大きいため、調査、設計・施工、維持管理の各段階において現場状況を判断し、適切に対応していかなければならない。

6.2 切土部の調査

切土部の詳細調査は、切土法面の詳細設計に必要な現場の地質・土質状況等の情報を得るために実施する。調査に当たっては、「第2章 調査」に従い工事の規模及びその他予備調査結果から得られた内容を踏まえて適切な調査計画を立てて実施する。特に、予備調査の結果から問題の所在が明らかとなった土工箇所については、より詳細な調査を実施する。

なお、調査結果は、切土工及び法面保護工の設計や施工に反映させるように整理し、維持管理等においても参照・利用できるように長期間保管する。

6.3 切土法面の設計

6.3.1 切土法面の設計の基本的考え方

切土法面の設計に当たっては、土質調査、周辺の地形・地質条件、過去の災害履歴及び同種法面の実態等の調査、技術的経験等に基づき総合的な検討を行う。また、施工中に明らかになった条件についても絶えず考慮を加え、より合理的な設計・施工が行われるよう処置していくことを心がける。

6.3.2 切土法面の勾配

一般的な場合においては、表-6.3.1 に示す標準法面勾配を参考として調査結果、用地条件等を総合的に判断して法面勾配を決定することができる。

ただし、表-6.3.1 に示す標準法面勾配は、次の条件に該当する場合は適用できないことがあるので、必要に応じて法面勾配の変更及び法面保護工、法面排水工等による対策を講じる。

- ・地すべり地の場合
- ・崖錐、堆積土、強風化斜面の場合
- ・砂質土等、特に侵食に弱い土質の場合
- ・泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の風化が速い岩の場合
- ・割れ目の多い岩の場合
- ・割れ目が流れ盤となる場合
- ・地下水が多い場合

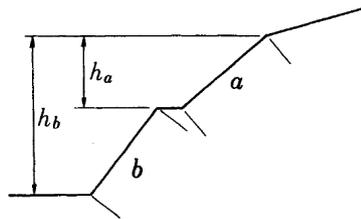
- ・積雪・寒冷地域の場合
- ・地震の被害を受けやすい地盤の場合
- ・長大法面となる場合（切土高が表-6.3.1に示す高さを超える場合）

表-6.3.1 切土に対する標準法面勾配²⁾

地山の土質		切土高 (m)	勾配
硬岩			1 : 0.3 ~ 1 : 0.8
軟岩			1 : 0.5 ~ 1 : 1.2
砂	密実でない粒度分布の悪いもの		1 : 1.5 ~
砂質土	密実なもの	5m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		5~10m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの	5m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5~10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
砂利又は岩塊 混じり砂質土	密実なもの、又は粒度分布の良いもの	10m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.0
		10~15m	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
	密実でないもの、又は粒程度の分布の悪いもの	10m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		10~15m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5
粘性土		10m以下	1 : 0.8 ~ 1 : 1.2
岩塊又は玉石 混じりの粘性土		5m以下	1 : 1.0 ~ 1 : 1.2
		5~10m	1 : 1.2 ~ 1 : 1.5

注1) 上表の標準勾配は地盤条件、切土条件等により適用できない場合があるので本文を参照すること。

注2) 土質構成等により単一勾配としないときの切土高及び勾配の考え方は下図のようにする。



- ・勾配は小段を含めない。
- ・勾配に対する切土高は当該切土法面から上部の全切土高とする。

h_a : a 法面に対する切土高
 h_b : b 法面に対する切土高

- ③シルトは粘性土に入れる。
- ④上表以外の土質は別途考慮する。
- ⑤法面緑化工を計画する場合には表-6.4.5も考慮する。

次に示す条件の場合、法面勾配の検討に当たっては、注意が必要である。

(1) 地すべり地の場合

地すべり地の場合、調査の結果を基に、表-6.7.1を参考に対策を検討する。やむを得ず、切土による改変の検討が必要な場合は、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」を参考にした安定計算によって行い、必要に応じて適切な対策を講じる。詳細は「6.7 地すべり対策」を参照されたい。

(2) 崖錐、崩積土、強風化斜面の場合

崖錐、泥石流堆積地、土石流堆積地、崩壊跡地、強風化斜面等の土砂は、自然のままでも降雨時の水の飽和による強度低下と過剰間隙水圧の発生、地震等により、極めて不安定となり、さらには崩壊に至るものもある。調査の結果、表-6.3.2 ㊸①、㊸①のような崩壊が予想される場合には、次のような検討、対策が必要である。また、このような崩積土、強風化斜面の切土法面勾配の検討に当たっては、「道路土工一切土工・斜面安定工指針 付録2.高速道路における切土法面勾配の実態」を参照のこと。

ア ㊸①（表-6.3.2 参照）のような崩壊が予想される場合

図-6.3.1のように、基盤部分を比較的急勾配（必要に応じてブロック等で保護）としても基岩線付近に広いステップを設け、上からの崩壊土砂がステップ（平場）にとどまりやすくする。崩積土や強風化層部分の切土法面勾配は可能な限り緩くする。

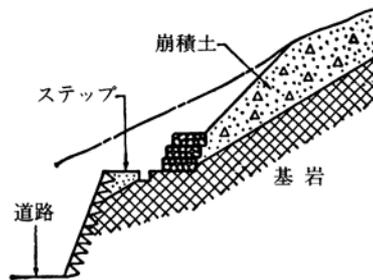


図-6.3.1 崩壊対策模式図²⁾

イ ㊸①（表-6.3.2 参照）のような崩壊が予想される場合

この場合の対策は大規模な排土（小段を含む法面勾配1:1.5~2.0又はそれより緩い。）を行うか、十分な地下排水工を行うか、あるいは抑止工（杭工等）を行うことになる。いずれも工事費を大きく左右する工法であり、設計に当たっては十分な検討が必要である。

この場合の検討は、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」を参考にした安定計算を主体とする。安定計算は現場の状態によって計算条件が異なり、すべり面の位置の推定やそのせん断強さの決定は結果を大きく左右することになる。したがって、計算に入る前に、計算条件の検討を十分に行っておく必要がある。

表-6.3.2 切土法面の崩壊及び斜面崩壊の発生形態（その1）²⁾

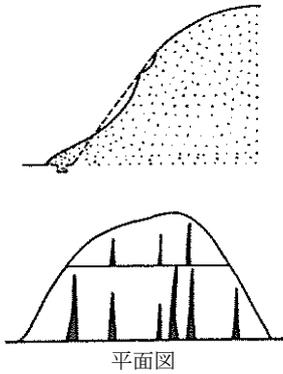
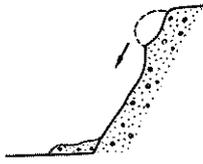
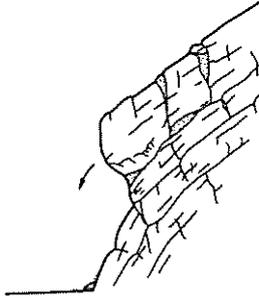
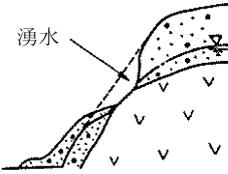
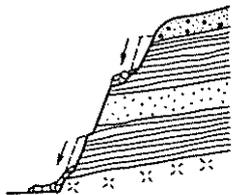
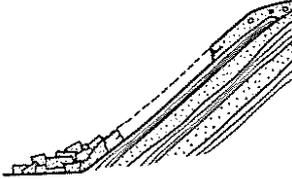
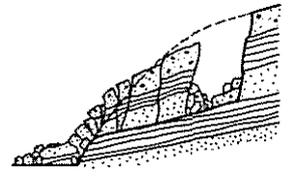
分類	解説	模式図	代表地質	備考
④ 侵食、崩落	① 乾湿、凍結、雨食等により表面がはく離、あるいはガリー（掘れ溝）ができる。放置すると深い崩壊に移行することがある。	(平面図) 	火山灰土、まさ土、細砂、凝灰岩（新第三紀）、風化した粘板岩、表土	切り放しの法面か、活着度の悪い植生工において発生することが多い。
	② 斜面上のオーバーハング状を呈する部分が崩落する。		シラス、段丘砂礫層、崩積土、火山碎屑物	特に斜面で発生しやすいが、切土法面の下部斜面が抜け落ちた場合等にも発生する。
	③ 亀裂や節理に富んだ岩が崩落する。		中・古生層、火成岩	同上。個々に分かれて発生する小規模のものは落石に分類され、大規模なものは岩盤に分類される。
⑤ 表層崩壊	① 表土が滑落する。時には下層の強風化岩層を含んで滑落する。湧水が誘因となることが多い。		砂質土、粘性土、崩積土、花崗岩、凝灰岩、泥岩、粘板岩、安山岩等の強風化層	
	② 岩の表層が風化等に伴って滑落する。		泥岩、凝灰岩、輝緑岩、風化した粘板岩、片岩等	切土法面では急速に風化が進むため、特に注意を要する。

表-6.3.2 切土法面の崩壊及び斜面崩壊の発生形態（その2）²⁾

分類	解説	模式図	代表地質	備考
<p>◎大規模崩壊・すべり性崩壊</p>	<p>③流れ盤構造や、岩盤中の割れ目（節理、小断層、薄層）に沿って岩が滑落する。後者の場合、くさび状の崩壊も多い。</p>		<p>流れ盤構造を有する岩（互層、結晶片岩、粘板岩等）、層理、片理、節理等の発達した岩（粘板岩、結晶片岩、蛇紋岩、花崗岩、流紋岩、安山岩、チャート、石英斑岩等）</p>	
	<p>①軟弱で固結度の低い地層からなる斜面や地質構造的に不安定要因をもつ斜面が地下水位の上昇に伴って大規模に滑落する。</p>	 <p>上層と透水性の異なる下層</p>	<p>砂層、シラス、岩盤や旧すべり面上に崖錐層、崩積土、砂礫、火山灰土等が厚く堆積している場合</p>	<p>地下水が多い場合特にこの型の崩壊が多い。土質や地形条件により大規模な崩壊となる場合がある。</p>
	<p>②流れ盤や断層・破碎帯等の地質構造を有する岩体が大規模に滑落する。岩盤崩壊の一つのタイプである。</p>	 <p>破碎帯</p>	<p>流れ盤構造を有する岩（互層、結晶片岩、粘板岩等）、中生代の堆積岩。花崗岩、石英斑岩等火成岩でも発生する。</p>	
	<p>③受け盤の斜面や割れ目の発達した岩の斜面が前方へ転倒する。岩盤崩壊の一つのタイプである。</p>		<p>中・古生層、第三紀層、火成岩、蛇紋岩</p>	<p>小規模のものは表層崩壊に分類される。</p>

(3) 砂質土等、特に侵食に弱い土質の場合

まさ、シラス、山砂、段丘礫層等は表流水による侵食に弱く、土砂流失が起きることが多い。

シラス等の砂質土は特に侵食に弱いので、法面安定の検討においては、斜面としての力学的安定性のみならず、表流水・雨滴等の水の侵食に対する安定性も考慮しなければならない。したがって、排水等に関し次のように配慮すべきである。

- ① 法肩、法尻排水を十分行う。
- ② 法肩付近からの水の浸透をできるだけ防ぐ。
- ③ 法尻には用地を余分にとって、万一崩壊しても路面に直接影響を与えないようにする。

ここで、表-6.3.3、表-6.3.4にシラス、まさの適正法面勾配を検討した事例を示す。なお、侵食対策は本来法面勾配よりも「6.4.2 法面保護工の選定」で述べる法面保護工や排水工で対処すべきものである。

表-6.3.3 地山シラスの判断分類に基づく切土工の設計施工指針²⁾

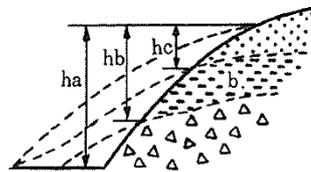
分類	シラス					その他			
	極軟質シラス	軟質シラス	中硬質シラス ^{注1)}		硬質シラス	溶結凝灰岩	軽石層	火山灰質有機質土及び火山灰質粘性土	
指標硬度(mm)	20以下	20~25	25~30		30~33	33以上	—	—	
			植生工が容易	植生工が困難					
湧水がない場合	勾配(割)	1.0~1.5	0.8~1.2	0.8~1.0	0.5~0.8	0.5~0.8	0.5以下	1.0~1.5	1.0~1.5
	法面保護工	法枠、植生工、法枠栗石張り、法枠ブロック空張り、コンクリート張り	法枠、植生工、植生マット、張芝	法枠、植生工、植生マット、張芝	モルタル吹付け	モルタル吹付け	無処理	法枠、栗石張り、法枠ブロック張り、コンクリート張り	張芝、植生マット、種子吹付け
湧水がある場合	勾配(割)	1.0~1.5	1.0~1.2	1.0~1.2	1.0程度	1.0程度	0.5程度	1.0~1.5	1.0~1.5
	法面保護工	法枠、栗石張り、ブロック空張り、コンクリート張り	法枠、栗石張り、ブロック空張り、コンクリート張り	法枠、植生工、植生穴工、植生マット、張芝	法枠、栗石張り、ブロック空張り、コンクリート張り	法枠、栗石張り、ブロック空張り、コンクリート張り	無処理	法枠、栗石張り、ブロック空張り、コンクリート張り	張芝、植生マット、種子吹付け
排水処理の必要 ^{注2)}	あり	あり	あり	あり	あり	あり	なし	あり	あり

注1) シラスは水に侵食されやすく、法面の保護が極めて重要である。指標硬度が27mm以下を植生工が容易、27mm以上を植生工が困難なものと判断し、中硬質シラスを対象としてこの判別から法面保護工を設計するものとする。

注2) 法高(垂直高)が10mを超える場合は、地質条件を考慮して約7mごとに幅1.5~2.0mの小段を設ける。また、後背地からの表流水を法面に流さないように法肩の排水溝を完備するとともに、法面に対して侵食されないように十分な排水施設を設けるものとする。

表-6.3.4 まさ土に対する標準法面勾配²⁾

岩盤区分	地盤の状況					法高と勾配 (m)				
	従来の 岩区分	風化状況		ボーリング グコア 状況	地山での 弾性波速 度(P波) km/s	0	10	20	30	50
		風化状況	風化状況							
まさ状風化岩	D	D _L	土砂軟岩	まさ	砂状	0.4~1.1	1.0	1.2	1.5	
		D _H					1.2	1.5	1.8	
風化花崗岩	C	C _L	極軟岩	まさになくなった岩で、割目の少ないもの及び割目が密集した岩	砂状 細片状	1.1~1.5	0.6	0.8	1.0	1.2
弱風化花崗岩		C _M	軟岩	岩芯まで黄褐色に変質した岩。節理が発達する。	砂状 短棒状	1.5~2.3	0.4	0.6	0.8	1.0
未風化花崗岩		C _H	硬岩	大部分が新鮮な岩塊からなり、塊状に節理が発達する。	棒状	2.3以上	0.3	0.4		0.4
	B									
	A					0.4	0.6			0.6



法高と岩区分
 岩区分 a に対する法高 : ha
 岩区分 b に対する法高 : hb
 岩区分 c に対する法高 : hc

(4) 泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の風化が速い岩の場合

第三紀の泥岩、頁岩、固結度の低い凝灰岩等の軟岩、蛇紋岩、温泉余土等の変質岩は、①もともとせん断強さが小さいため、②切土による応力解放、その後の乾燥湿潤や凍結融解の繰返し作用等の環境要因の影響を受け急速に風化するため、崩壊が発生することが多い。

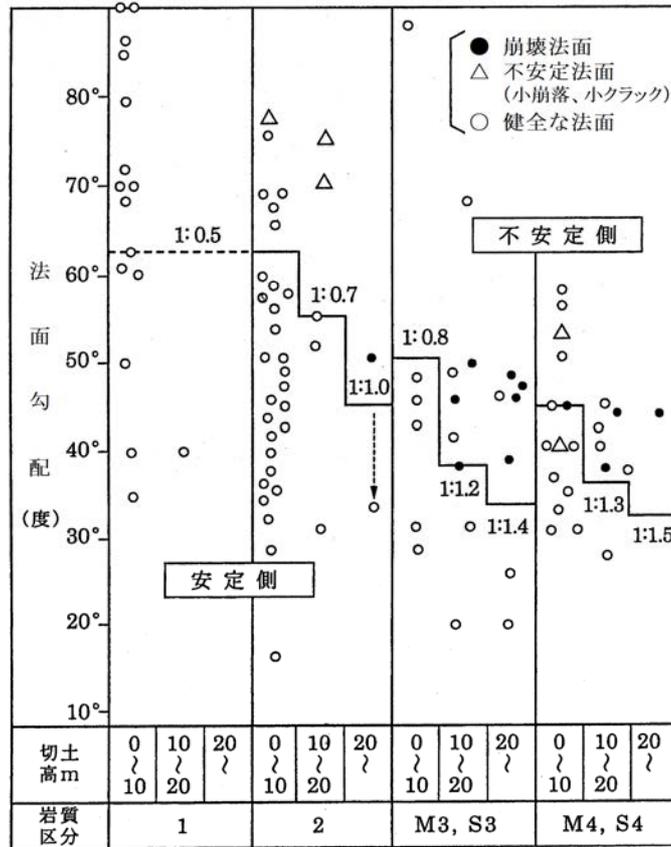
①のケースにおいては、もともと硬岩であった岩石の風化のように、地山は地表面より深くなればなるほど硬くなるということは期待しにくい場合もあり、表-6.3.2 の㉔①のような深く広い範囲に及ぶ崩壊が発生することがある。このような崩壊が予想される場合は、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」に従い、安定解析を実施して対策を講じる。

②のケースにおいては、法面表面から次第に土砂化するため、表-6.3.2 の㉔①、③のような崩壊が発生することが多い。

この種の崩壊は、たとえ掘削時には硬く安定した法面でも切土後時間経過とともに土砂化して、道路開通後に起こることが多く、道路管理者にとって最も注意しなければならない現象の一つである。このため、設計時点から次のいずれかの配慮が必要である。

- ・ 将来、風化が進んでも崩壊しないための安定勾配を確保しておく。又は崩壊しても被害を最小限にとどめるためのステップ及び用地を設けておく。
- ・ 風化をできるだけ抑制するために密閉型の保護工を用いる。

なお、適正法面勾配を決定する場合の参考資料としては、「道路土工一切土工・斜面安定工指針 付録 2. 高速道路における切土法面勾配の実態」や「切土法面の調査・設計から施工まで」等がある。第三紀の泥岩の場合で条件の良いものは平均勾配(法肩と法尻を結ぶ線の勾配)で1:0.8~1.0、比較的悪いものは1:1.2の勾配が多く採用されている。蛇紋岩の場合、条件の良いものと悪いものとに差があるため、10m以上の法面では図-6.3.2に示すように1:0.5~1.2の間の広い範囲での勾配が採用されている。



あまり片理が発達していないもの (塊状)				片理が発達しているもの (片状)			
区分	亀裂間隔	岩の見掛け	ハンマの打撃	区分	亀裂間隔	岩の見掛け	ハンマの打撃
1	50~10cm	カンラン石は全て蛇紋石に変化しているが、まだカンラン石等の組織構造を残し、色は暗褐色が多い。	普通程度の打撃によって、割れ目に沿って割れる。打診によって澄んだ音、時に少し濁った音を出す。	1	50~10cm	片理面間隔は粗で、片理面は密着してはがれにくい。	普通程度の打撃で割れる。割れ目は片理面にあまり関係なく、塊状に割れることが多い。
2	10~2cm 亀裂開口	原組織はほとんど認められない。色は脱色して帯褐色であることが多い。	普通程度の打撃で割れる。打診によって澄んだ音、濁った音を出す。	2	10~2cm		
M3			容易に小片になって割れる。	S3	10~2cm	片理面間隔は3mm~30mmで、はがれやすい。	容易に小片になって割れる。
M4		風化又は破碎によって、礫状部と基質にわかれる。基質粒度は、砂~粘土サイズになっている。	容易に崩れ、一部ハンマの先端が付きささる。岩はもろく指先で容易にこわれる。	S4		片理面は非常に薄く、1~5mm程度粘土質で、水を含むと軟弱になる。	容易に崩れ、一部ハンマの先端が付きささる。岩はもろく指先で容易にこわれる。
5	ほとんど砂分の入らない軟質粘土			5	ほとんど砂分の入らない軟質粘土		
6	ラテライト質土壌			6	ラテライト質土壌		

図-6.3.2 蛇紋岩類の岩質区分と実績法面勾配¹⁸⁾

(5) 割れ目の多い岩の場合

地質的構造運動による破碎によって生じる断層や節理、溶岩の冷却時の収縮によってできた柱状・板状節理等岩盤には多くの割れ目が発達しており、表-6.3.2 の㊸③、㊹②のような崩壊が多い。法面勾配は、割れ目の発達度合、割れ目の面の粗滑と緩み具合、挟在物の性質、面の方向と面どうしの交角及び切土法面の方向との関係を考慮して決定する。弾性波探査結果や亀裂係数から法面勾配を検討する場合は「道路土工一切土工・斜面安定工指針 付録2. 高速道路における切土法面勾配の実態」を参考とし、同時に周辺の既設法面の実績と比較し総合的に判断する。

(6) 割れ目が流れ盤となる場合

割れ目が流れ盤となる場合に、切土は表-6.3.2 の㊸③、㊹②に示すような崩壊を生じやすい。

流れ盤の切土法面の安定性は図-6.3.3 に示すような法面・割れ目の勾配と方向によって影響を受けるので、これらを考慮して法面勾配を決定する。

法面の勾配は、原則として図-6.3.3(a)のように割れ目の見かけの傾斜角 (α') と同じかそれより緩い勾配とすることが望ましい。

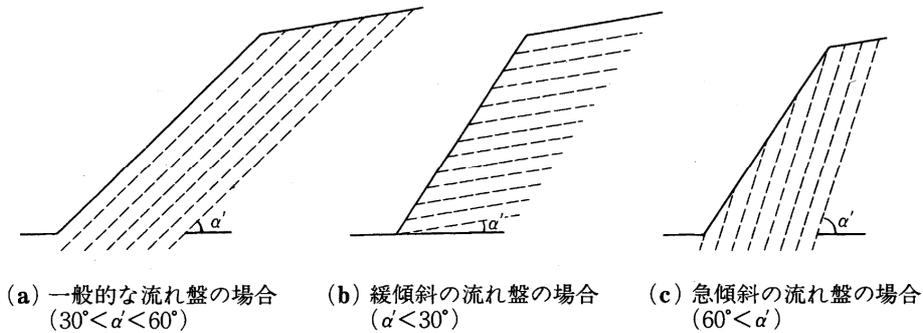


図-6.3.3 流れ盤における割れ目と法面の関係²⁾

ここで α' は次のようにして求められる値である (図-6.3.4 参照)。

$$\tan \alpha' = \cos \theta \cdot \tan \alpha \quad \dots \dots \dots \text{(式 6.3.1)}$$

- ここに
- θ : 割れ目の走向と法面走向の交角 ($\theta = 0^\circ \sim 90^\circ$)
 - α : 割れ目の走向に直角方向の傾斜角、つまり割れ目の真の傾斜角
 - α' : 法面と直交する断面における割れ目の見掛け傾斜角

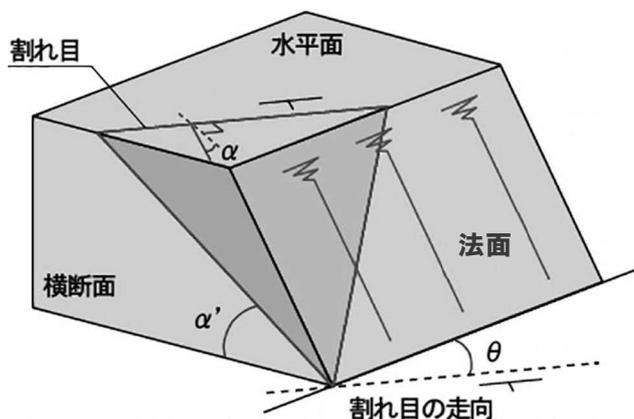


図-6.3.4 割れ目傾斜と法面傾斜との関係

しかし、図-6.3.3(b)のように α' が 30° 以下となるような緩い傾斜の流れ盤の場合は必ずしも1:1.8より緩勾配でなければ不安定というわけではなく、他の要因（例えば割れ目の発達程度等）によって法面勾配を決定することができる。一方、逆に α' が 60° を超えるような急傾斜の流れ盤の場合は、たとえ1:0.6の勾配でも必ずしも安定とはいえないことが多い（図-6.3.3(c)参照）。一般に流れ盤の場合、全直高10m以上の法面では1:0.8より急な勾配は採用しない方が望ましい。なお、割れ目等の傾斜角から適正法面勾配を決定する場合の参考資料としては、「切土法面の調査・設計から施工まで」がある。

(7) 地下水が多い場合

法面の崩壊の大部分は直接、間接に地下水が影響していることが多い。したがって、地質条件を問わず湧水が多い地点や地下水位の高い地点を切土する場合、その法面は不安定な要素をもっており、法面勾配もそれだけ緩くする必要がある。

しかし、地下水の多少を評価する方法が難しいこと、及び評価できたとしても法面勾配に結びつく資料がないことから、現在のところ安定計算の場合に間隙水圧（地下水位から推定）を考慮する程度にとどめられている。しかしながら、地下水は無視できない要因であることを考えると、このような地下水の多い地域の切土は法面勾配の検討に先立って、まず排水工の検討を行う必要がある。排水工については、「8.4 地下排水」、「8.5 法面排水」、「6.7.3 地すべり対策工法」を参照されたい。

(8) 積雪・寒冷地域の場合

豪雪地帯では、融雪時の雪崩と融雪水による法面崩壊が問題となる。また、寒冷地域で崩積土砂、風化岩、軟岩、割れ目の多い岩では、凍結融解による表層はく離や落石が問題となる。

ア 雪崩

一般に雪崩の発生しやすい斜面勾配は1:1.0前後といわれている。しかし、長大な切土法面勾配は1:0.8~1.2が最も多く、雪崩対策のために法面勾配を緩くすることは特殊な場合を除いてほとんど行われていない。この場合、法面中腹に小段を設ける、小段幅を広くとる、雪崩防護柵を設置する等の対処をするのが普通である。

イ 融雪時の崩壊

融雪時における表流水の流量は豪雨時の流量に劣らない。しかもこの場合、地山はほぼ飽和していることが多く、特に、飽和すると強度が低下するシルト分の多い土砂（崩積土、火山泥流、火山灰土、山砂等）における切土法面は標準より緩い勾配で設計するか、表面排水・地下排水を十分検討しておく必要がある。

ウ 凍結融解によるはく離・落石

凍結融解によって起こる表層はく離や落石のために法面勾配をわざわざ緩くすることは一般に少なく、「6.4 法面保護工」で述べる法面保護工で対処される。しかし、あらかじめ法面勾配を緩くしておけば、保護工にも負担がかからず維持管理上も有利である。北海道等の積雪寒冷地では、法面を緩くして植生工にすることにより、すべり力を小さくさせるとともに、法面の雪崩の緩和や凍結融解を防ぐ効果を期待した事例もある。

(9) 地震の被害を受けやすい地盤の場合

地震時に被害を受けやすい切土法面及び斜面の特徴が、過去の地震時の崩壊事例の収集・分析の結果から以下のように判明している。

① 地震時に発生した斜面災害では落石の発生件数が大きな比重を占める。尾根型地形で、か

つ、亀裂の多い岩盤法面・斜面やオーバーハング部が崩壊しやすい。また、山腹斜面上の浮石・転石が移動する例も多い。落石の規模は、小さいものから岩盤崩壊まで広範囲にわたる傾向にある。

- ② 表層部の風化土層の崩壊や表層崩壊等が発生しやすい。ただし、その規模は崩壊深が小さく、崩壊面積も小さいことが多い。
- ③ 地震時の崩壊は法肩等の遷急線を含むものや稜線近くから発生するものが多い。特に、切土法面や台地辺縁部の斜面等上部に遷急線を持つ法面・斜面では、崩壊範囲が遷急線を挟んでいる場合が多い。また、その中でも、遷急線や法肩での勾配変化の大きな法面・斜面が、特に崩壊しやすい傾向にある（図-6.3.5(a)参照）。
- ④ 横断方向に突出部を有する法面・斜面や勾配が 45° 以上の急勾配の法面・斜面が崩壊しやすい（図-6.3.5(b)参照）。また、平面形についても同様に尾根型地形が崩壊しやすい（図-6.3.5(c)参照）。

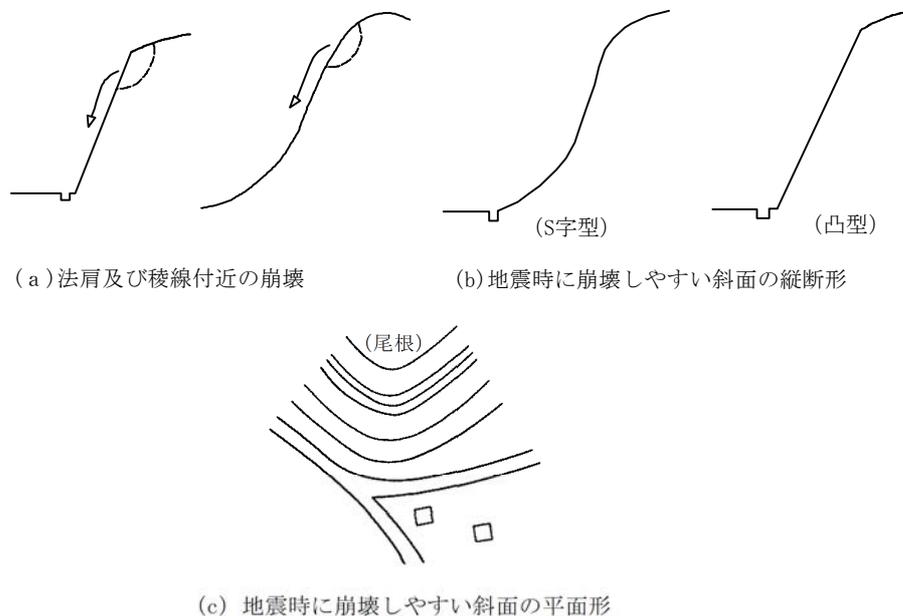


図-6.3.5 地震時に崩壊しやすい斜面の形状²⁾

- ⑤ 斜面の下端から崩壊土砂の先端までの距離を崩土の到達距離とし、斜面の下端から崩壊地の下端までの高低差を崩壊高とすると、崩土の到達距離と崩壊高の比は、降雨による崩壊より地震による崩壊の方が小さい傾向がある。
- ⑥ 大規模崩壊・地すべり性崩壊は、落石及び表層はく離・表層崩壊と比較して発生件数はかなり少ないが、旧谷地形の埋設部に発生することがある。その場合は、昭和59年の長野県西部地震の例のように激甚な被害をもたらす。

地震時の切土法面・斜面の崩壊の予測を行う場合は、上記のような崩壊斜面の特性から斜面の崩壊要因を抽出して作成した、点数制による崩壊危険度判定手法が提案されているので参照されたい。

斜面・切土法面の地震対策について考える場合、地震対策工を独立なものとして考えるのではなく、地震以外の原因によって生じる崩壊、地すべりに対する対策と一体として考えているのが現状である。これは降雨に対する対策がある程度地震対策にもなると考えられるためである。

(10)長大法面となる場合

長大法面は万一崩壊した場合大災害となる。また、切土が進行してからの変更（切直し）は経済的にも施工性からも不利な面が多いため、事前に路線の小シフトで切土の改変量を減らすことや、余裕のある設計を行うことが望ましい。したがって、詳細な調査と十分な設計検討を行い、行き届いた安全管理体制の下に施工しなければならない。

長大法面では、それぞれの条件に応じた法面勾配を決定するが、この条件を検討する場合、次のような点に注意を要する。

- ① 膨張性岩や風化の速い岩の場合は、切土後の応力開放による二次的強度低下や急速な風化による脆弱化を考慮した法面勾配を確保しておく必要がある。
- ② 山の鞍部を切土する場合、鞍部は断層破碎帯となっていることが多い。この場合、一般の地山のように深く切土しても必ずしも硬い岩が現れるとは限らない。ボーリングや弾性波探査の結果、破碎帯が存在し、深部まで岩質が脆弱な場合、その破碎の度合や方向に応じて法面勾配を検討する必要がある。
- ③ 受け盤斜面は安定性が高いと考えられているが、急傾斜受け盤で地層の走向が路線と平行に近い場合、掘削高さが高くなると転倒崩壊（トップリング）が発生することがあるので、法面下部の勾配や形状に注意が必要である。
- ④ 図-6.3.6のような急傾斜地の切土の場合、まず地山を土砂、軟岩、硬岩に区分し、それに応じた勾配で切土するのが一般的である。しかし、斜面が急傾斜のため図-6.3.6の標準勾配案のようにスライスカット（薄い切土）が斜面上部まで達し、思わぬ長大法面が出現することになる。景観や用地等の条件から、法面の面積を狭くした場合には図の急勾配案のような抑止工法、あるいはそれに準じた構造物によって保護した急勾配の法面とすることが考えられる。この場合、抑止工上部の自然斜面が安定していることが条件となる。また、抑止工にかかる外力や根入れ地盤の支持力を決定する場合、十分な検討を行う必要がある。
- ⑤ 長大切土法面の小段は、「6.3.4 切土法面の小段」を参照。

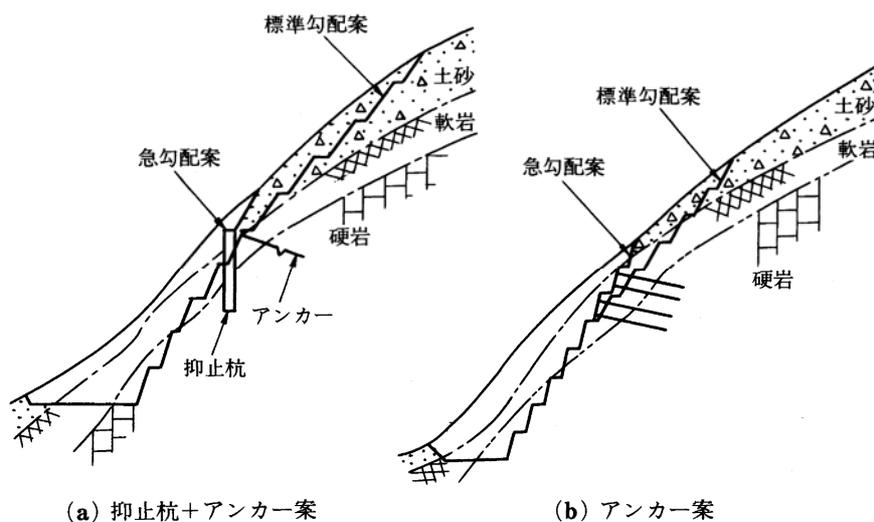


図-6.3.6 急傾斜地の切土²⁾

(11) その他の場合

上記のほか、用地等からの制約がある場合、万一崩壊すると隣接物に重大な損害を与える場合、復旧に長期間を要し道路機能を著しく阻害する場合に、また法面の維持管理面からも法面勾配を検討する必要がある。

なお、近年では法面の草刈りに無線遠隔操作草刈機を導入している事例が見られ、導入する場合は機械の能力に応じた法面の形状や勾配を検討することが望ましい。検討に当たっての基本的な考え方や留意点については、「自動走行農機等に対応した農地整備の手引き」等を参照のこと。

6.3.3 切土法面形状

切土法面の形状には一般に次のようなものがあり、地質・土質が深さ方向、縦横断方向ともにほぼ等しい場合には一般に①を採用する。

- ① 単一勾配の法面
- ② 勾配を土質及び岩質により変化させた法面

地質、土質が異なっても、最も緩い勾配を必要とする土質に合わせれば、**図-6.3.7(a)**のように単一法面勾配としてもよい。

通常の場合、地山は地表面から深くなるほど硬くなり、法面勾配はそれに応じて急にしても安定なものである。この場合②を採用することになるが、勾配の変換点には小段を設けるのが一般的であり、安定性、施工性の面からも得策である（「6.3.4 切土法面の小段」参照）。切土法肩付近は、植生も定着しにくく、また一般に緩い土砂、風化岩が分布しているため侵食も受けやすく崩壊しやすい。そこで、法肩の崩壊を極力防止するとともに景観をよくする目的でラウンディングが行われる（**図-6.3.8**参照）。同様のことは小段の肩についても考えられるが、小段の幅員確保の面から困難な場合が多い。

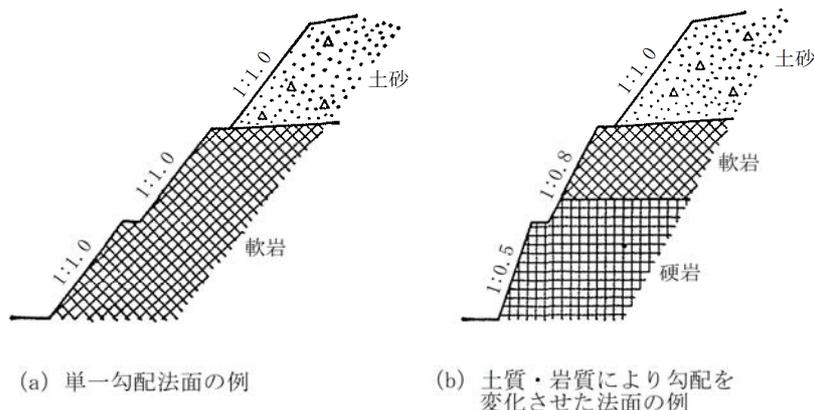


図-6.3.7 地山状態と法面形状の説明図²⁾

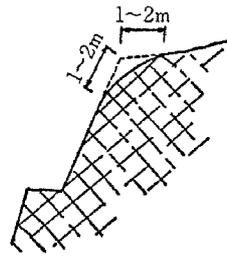


図-6.3.8 法肩のラウンディングの概念図²⁾

6.3.4 切土法面の小段

小段は、法面排水と維持管理時の点検作業を考慮して設けるものであるが、以下の利点と欠点を持ち合わせているため、小段を設置する場合は点検・補修の難易、法面勾配、切土高、法面を構成する土質、経済性等の諸条件を考慮して決定すべきである。

① 利点

- ・ 連続した長大法面の下部では表流水の流量・流速が増加し、洗掘力が大きくなる。そこで法面の途中にほぼ水平な小段をつけることによって流速を低下させることができ、また小段に排水溝を設けて、水を法面の外へ排水させれば法面下部に表流水が集中することを防ぐこともできる。
- ・ 点検用の通路及び補修のための足場として便利である。

② 欠点

- ・ 表流水が小段面から切土法面内に浸透しやすくなり、法面の安定を低下させる。
- ・ シラス、まさ、その他侵食に弱い土質からなる場合小段に水が集まり、その下部の法面に水が集中して流れ、ガリー侵食（掘れ溝）を急速に早めることがある。

(1) 小段の勾配

小段の横断勾配は、図-6.3.9のように5～10%程度つけるのが普通である。

ただし、図-6.3.9(a)、(b)は小段に排水施設を設置しない場合で、維持管理上の問題の少ない小規模な法面で用いられる。

一方、法面のはく離が多いと推定される場合や小段の肩が侵食を受けやすい場合は、図-6.3.9(c)、(d)のような逆勾配とする。なお、図-6.3.9(c)の小段の表面はできる限りコンクリートで覆うほうが望ましい。この場合、流水の処理には「8.5 法面排水」に述べる注意が必要である。

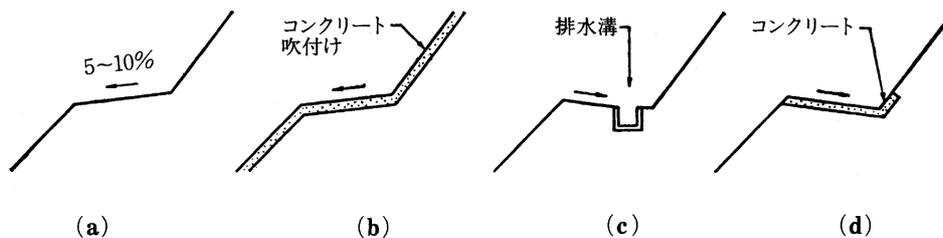


図-6.3.9 小段の横断勾配²⁾

(2) 小段の位置及び幅

切土法面では、土質・岩質・法面の規模に応じて、高さ5～10mごとに1～2mの幅の小段を設けるのがよい。ただし、切土高が低い場合には、小段を設けることにより逆に排水上の弱点をつくるのが考えられるので、硬岩、シラス、まさ等では小段を設けない例もある。なお、落石防護柵等を設ける場合や長大法面の場合は小段幅を広くとることが望ましい。

小段の位置は同一土質からなる法面では、機械的に等間隔とすることができるが、土質が異なる場合には湧水を考慮して図-6.3.10のように土砂と岩、透水層と不透水層との境界等になるべく合わせて設置することが望ましい。

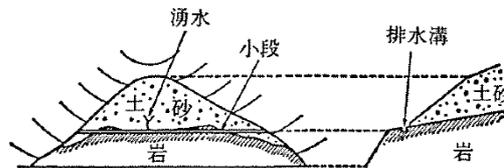


図-6.3.10 小段の位置²⁾

(3) 長大法面の小段

長大法面の場合、小段を高さ20～30mごとに広くし（幅3～4m程度）管理段階における点検、補修用のステップとすることが望ましい。これは、落石やはく離した土砂を留める役目として効果的である。また、管理用のはしご、階段等も当初から考慮することが望ましい。

6.3.5 切土法面の安定計算

安定計算を行う場合は、土地改良事業計画設計基準・計画「農地地すべり防止対策」に従う。

切土法面の設計のための安定計算は、一般に地すべり地や崩壊跡地等における切土を除いて行わないが、施工中あるいは工事完了後に変状の生じた法面の復旧対策工の設計の検討に用いることがある。この場合、対象箇所横断図を用い、不安定箇所のすべり面を推定し、すべりに対する安定計算を行う。

なお、法面勾配の設計に際し、安定解析が必要なケースについては、「6.3.2 切土法面の勾配」を参照されたい。

6.4 法面保護工

6.4.1 法面保護工の種類と目的

法面保護工は法面緑化工と構造物工に大きく分けられ、さらに法面緑化工は、植生工と、植生工の施工を補助するための構造物を設置する緑化基礎工に分けられる。法面保護工の主な工種と目的を表-6.4.1に示す。これらの詳細については、「6.4.3 法面緑化工」及び「6.4.4 構造物工」を参照されたい。

法面緑化工は、法面に植物を繁茂させることによって、雨水による侵食の防止、地表面の温度変化の緩和、寒冷地の土砂法面での凍上による法面崩壊の抑制を図るものである。さらに、周辺の自然環境と調和のとれた植生を成立させることで自然環境の保全を図ることや、植物による修景を目的として行うものである。また、植物によるCO₂の吸収・固定が地球温暖化対策としての効果も期待できる。

法面緑化工には、植物を法面に導入する植生工と、植物の生育を補助する金網や法枠等の緑化基礎工がある。植生工による法面の崩壊防止に関しては、植物の根系は比較的表層にとどまるため、深い場所のすべりを直接防止する効果はない。また、高架や橋梁のような構造物の下等の光や雨水の供給が少ない場所や、土壌の乏しい岩盤法面あるいは強酸性土壌の法面等では、適切な植物の選定及び植生基礎盤の造成（強酸性対策等）を行わなければ植物の生育は困難である。さらに、植生工は法面が安定していることが前提条件であり、侵食や表層崩壊が起りやすい土質や法面勾配、湧水等の不安定な要素が認められる場合には、緑化基礎工や排水工の併用を検討するか、構造物のみによる法面保護工を適用する必要がある。

表-6.4.1 法面保護工の主な工種と目的²⁾

分類	工種		目的	
法面緑化工 (植生工)	播種	種子散布工 客土吹付工 植生基材吹付工(厚層基材吹付工) 植生シート工 植生マット工	侵食防止、凍上崩落抑制、植生による早期全面被覆	
		工	植生筋工	盛土で植生を筋状に成立させることによる侵食防止、植物の侵入・定着の促進
			植生土のう工 植生基材注入工	植生基盤の設置による植物の早期生育 厚い生育基盤の長期間安定を確保
	植栽	張芝工	芝の全面貼り付けによる侵食防止、凍上崩落抑制、早期全面被覆	
		筋芝工	盛土で芝の筋状張り付けによる侵食防止、植物の侵入・定着の促進	
		植栽工	樹木や草花による良好な景観の形成	
		苗木設置吹付工	早期全面被覆と樹木等の生育による良好な景観の形成	
	構造物工		金網張工 繊維ネット張工	生育基盤の保持や流下水による法面表層部のはく落の防止
			柵工 じゃかご工	法面表層部の侵食や湧水による土砂流出の抑制
			プレキャスト枠工	中詰の保持と侵食防止
		モルタル・コンクリート吹付工 石張工 ブロック張工	風化・侵食、表流水の浸透防止	
		コンクリート張工 吹付枠工 現場打ちコンクリート枠工	法面表層部の崩落防止、多少の土圧を受けるおそれのある箇所土留め、岩盤はく落防止	
		石積、ブロック積擁壁工 かご工 井桁組擁壁工 コンクリート擁壁工 連続長繊維補強土工	ある程度の土圧に対抗して崩壊を防止	
		地山補強土工 グラウンドアンカー工 杭工	すべり土塊の滑動力に対抗して崩壊を防止	

注) 構造物工を植生工の施工を補助する目的で用いる場合は緑化基礎工と定義される。緑化基礎工は植生工が単独で施工できない場合に用いるもので、植生工と緑化基礎工の組合せの例に関しては表-6.4.3を参照されたい。

構造物工には、法面の風化や侵食あるいは表層崩壊の防止を目的としたもの、さらには深層部に至る崩壊の防止を目的としたもの等があり、一部の構造物工は植生工のための基盤の安定を図ることを目的に、緑化基礎工として用いられることもある。(表-6.4.3参照)。

構造物工のうち、擁壁工、地山補強土工、杭工、グラウンドアンカー工等は、ある程度の土圧やすべり土塊の滑動に対する抑止力を有するが、これらを除く他の法面保護工は、始めから土圧や滑動力が働くような不安定な箇所に設置するものではない。したがって、将来の状況変化によって土圧や滑動力が生じた場合には、別途対策を講ずることが必要である。また、構造物工の中には、適用を誤ると後になって構造物自体が変形して支障を生じやすいものがあるので注意する。

また、法面に湧水がある場合は、法面の洗掘を防止して安定を図るため、法面保護工に加えて法面排水工を併用する必要がある。さらに、法面が侵食を受けやすい土砂からなる場合や、長大法面のように降雨時に流下する水が下部で相当な量になるような場合には、表流水による侵食を防ぐための排水溝を法肩や小段に設けて流下水を処理しなければならない。

6.4.2 法面保護工の選定

(1) 基本的な考え方

法面保護工の選定に当たっては、法面の長期的な安定確保を第一に考え、自然環境の保全、修景についても考慮する。法面の岩質、土質、土壌硬度、pH等の地質・土質条件、湧水や集水の状況、気温や降水量等の立地条件や植生等の周辺環境について把握し、法面の規模や法面勾配等を考慮するとともに、経済性、施工性、施工後の維持管理のことまで考慮して選定する。

一般的な選定の目安としては、適用する法面勾配が安定勾配よりかなり緩い場合には、岩質・土質に適合した植生工を選定する。安定勾配を確保できる場合でも、例えば土砂法面で湧水が懸念される場合や、侵食しやすい法面等には、簡易な法枠工等の緑化基礎工と植生工の組合せによる法面保護工を必要に応じて選定する。安定勾配より急な法面勾配を採用する場合には、土圧やすべり土塊の滑動力に対抗できる擁壁工、地山補強土工、杭工、グラウンドアンカー工等の抑止力が期待できる構造物工を選定した上で可能ならば植生工の併用を検討する。なお、ここでいう安定勾配とは、盛土・切土法面の標準法面勾配の平均値を一つの目安としている。

(2) 選定に当たっての注意事項

法面保護工の選定に当たって注意すべき事項を列挙すると次のとおりである。

ア 植物の生育に適した法面勾配

目標とする植物群落の形態や植物の導入方法にもよるが、法面勾配が軟岩や粘性土で1:1.0～1.2、砂や砂質土で1:1.5より緩い場合は、一般には安定勾配とされ植生工のみで対応可能であるが、湧水や侵食が懸念される場合には簡易な法枠工や柵工との併用が必要である。安定勾配が確保できない場合や、表層の不安定化が懸念される場合には地山補強土工等との併用が必要になる。岩盤以外の法面で1:0.8より急な場合は、植生工と緑化基礎工の併用では法面の侵食や崩壊を防止することは困難であることが多いので、まず構造物工の適用を検討し、可能ならば植生工の併用について検討すべきである。

イ 砂質土等の侵食されやすい土砂からなる法面

切込み砕石、砂等からなる盛土法面は一般に植生による保護が困難であり、必要に応じ図-6.4.1のように法面を侵食に強い粘土{C}、細粒分まじり礫{GF}等で被覆する必要がある。このような被覆土を土羽土と呼んでいる。土羽土の厚さは一般に法面に垂直に30cm（芝（地被植物）が生育するのに必要な最小厚さ）以上が必要とされているが、路体の施工機種で水平薄層転圧の可能な2～3mが望ましい。なお、道路敷の表土を集積、仮置きして土羽土に使用することも行われている。

この場合、路体内の浸透水を容易に排水し得るような設計上の配置（例えば図-6.4.1）を行う。また、沿道との境界に背の低い重力式擁壁を腰留め擁壁として利用することもあるが、腰留め擁壁が浸透水の排水を阻害し盛土内の水位を上昇させないように、擁壁背面の排水には十分注意が必要である。

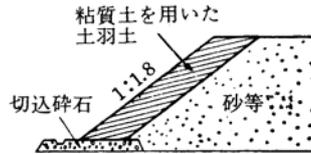


図-6.4.1 盛土法面の被覆及び排水

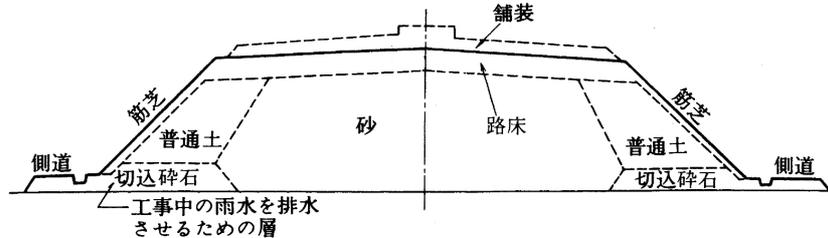


図-6.4.2 粒度配合の悪い砂による盛土の一例

また、粒度配合の悪い砂を盛土材料として用いる場合は、トラフィカビリティの確保が困難な場合もあるので、法面保護と運搬路を兼ねて図-6.4.2のような構造にすることもある。

これに対し、砂質土等の侵食されやすい切土法面では、一般に植生工のみを適用する場合が多い。しかし、湧水や表流水による侵食の防止が必要な場合には、法枠工や柵工等の緑化基礎工と植生工を併用する。湧水の処理はその程度に応じて、かご工、中詰めに栗石を用いた法枠工、柵工等を用いるが、地下排水溝を枝状に配置しておくとならば法面保護工の背面の侵食防止に効果的である。また、湧水の多少に関わらず法肩部及び各小段に排水施設を設けることが望ましい。

ウ 湧水が多い法面

湧水が多い法面では、地下排水溝や水平排水孔等の地下排水施設を積極的に導入するとともに、法面保護工としては井桁組擁壁、ふとんかご、じゃかご、中詰めに栗石を用いた法枠等の開放型の保護工を適用するのがよい。

エ 小規模な落石のおそれのある岩盤法面

落石のおそれのある法面のうち、礫混じり土砂や風化した軟岩等では小規模な落石が発生するので、植生工と併用して浮石を押さえる落石防止網や、路面への落石を防止する落石防護柵を設置する。割れ目が多く、湧水のない軟岩の場合、自然景観とは馴染まないが、モルタル・コンクリート吹付工が適している。その施工に当たっては、背面に流下水が生じないようにする必要がある。亀裂の多い硬岩からなる法面のはく離型落石に対しては落石予防工で抑え、法面上部が急峻な場合は落石防護工も併せて行うことが望ましい。

オ 寒冷地域の法面

寒冷地域において、シルト分の多い土質の法面では、凍上や凍結融解作用によって植生がはく離したり滑落したりすることが多い。このようなおそれのある場合は、法面勾配をできるだけ緩くしたり、法面排水工を行ったりすることが望ましい。

カ 硬い土からなる法面

密実な砂質土（山中式土壤硬度計による土壤硬度が27mmを超えるもの）、硬い粘性土（土壤硬度が23mmを超えるもの）及び泥岩（土丹）のような硬い法面に対して植物を導入する場

合は、導入植物に適した土壌養分を有する材料で安定した植生基盤を造成できる法面緑化工を採用する。

キ 土壌酸度が問題となる法面

法面の土壌の pH が当初から 4 以下である場合や、湖沼の底泥が隆起した古い地層等で、切土によって急に空気にさらされると短時間で極めて強い酸性に変わるような場所は、そのままでは植物の生育が困難である。そこで、植生工の基盤材にゼオライト、セメントや石灰等を混入して吸着や中和を図るか、さらに、法面の基岩に起因する強酸性水が植生基盤に滲出しないように排水対策やソイルセメント（半透水性）による遮水対策等を行った上で植生工を施工する必要がある。場合によっては植生工を行わずにブロック張工等の密閉型の構造物工を採用する。

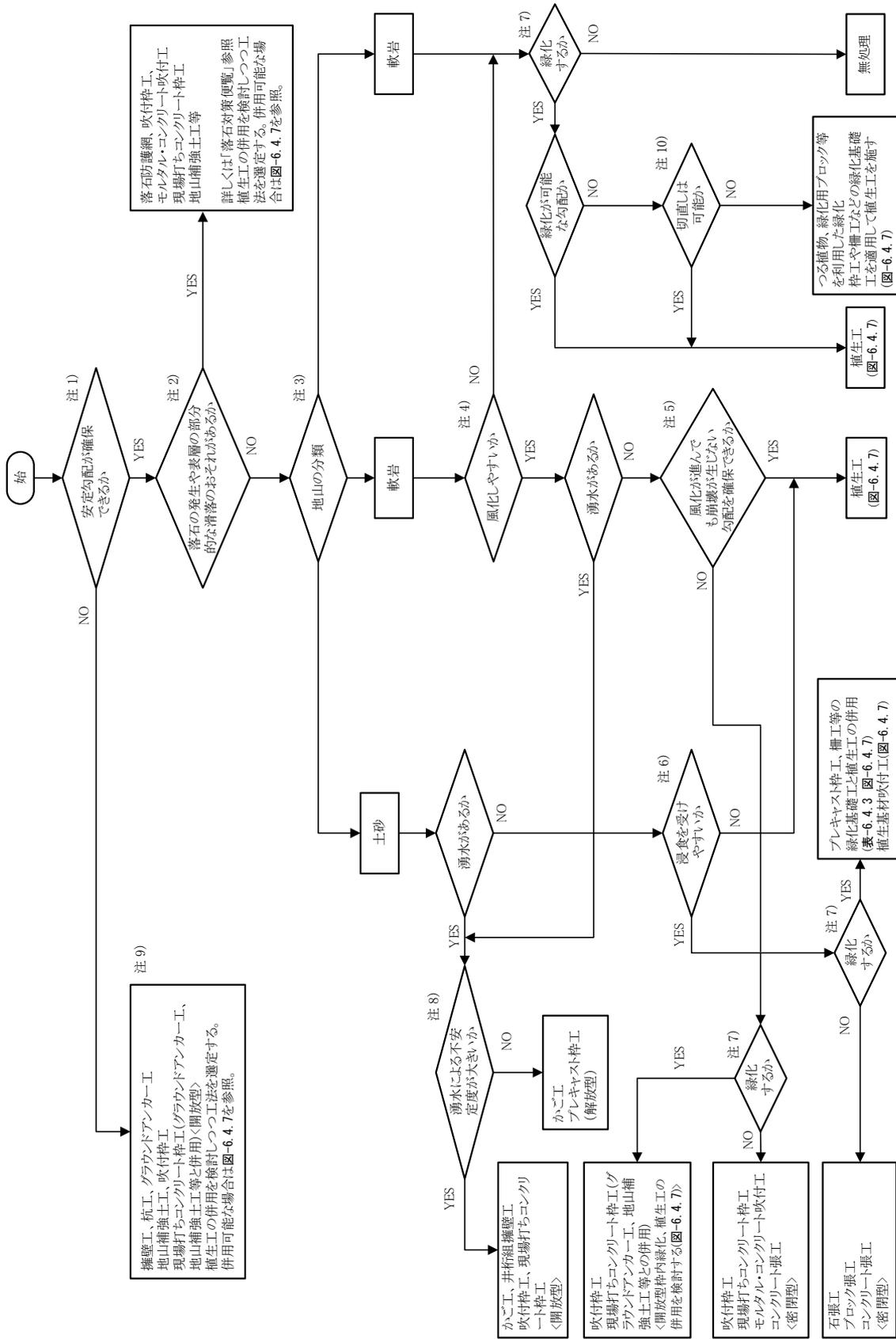
ク 土質や湧水の状況が一様でない法面

連続する一つの法面でも土質や湧水の状況が必ずしも一様でない場合が多いので、それぞれの条件に適合した工種を選定しなければならない。その際には、排水工等の地山の処理をした上で、景観に配慮してなるべく類似した工法を採用するのが望ましい。

(3) 一般的な選定の考え方

法面保護工の選定に当たっては、以上述べてきたような基本的な考え方と注意事項に従うものとする。参考となる切土法面における法面保護工の選定フローを図-6.4.3、盛土法面における法面保護工の選定フローを図-6.4.4 に示す。

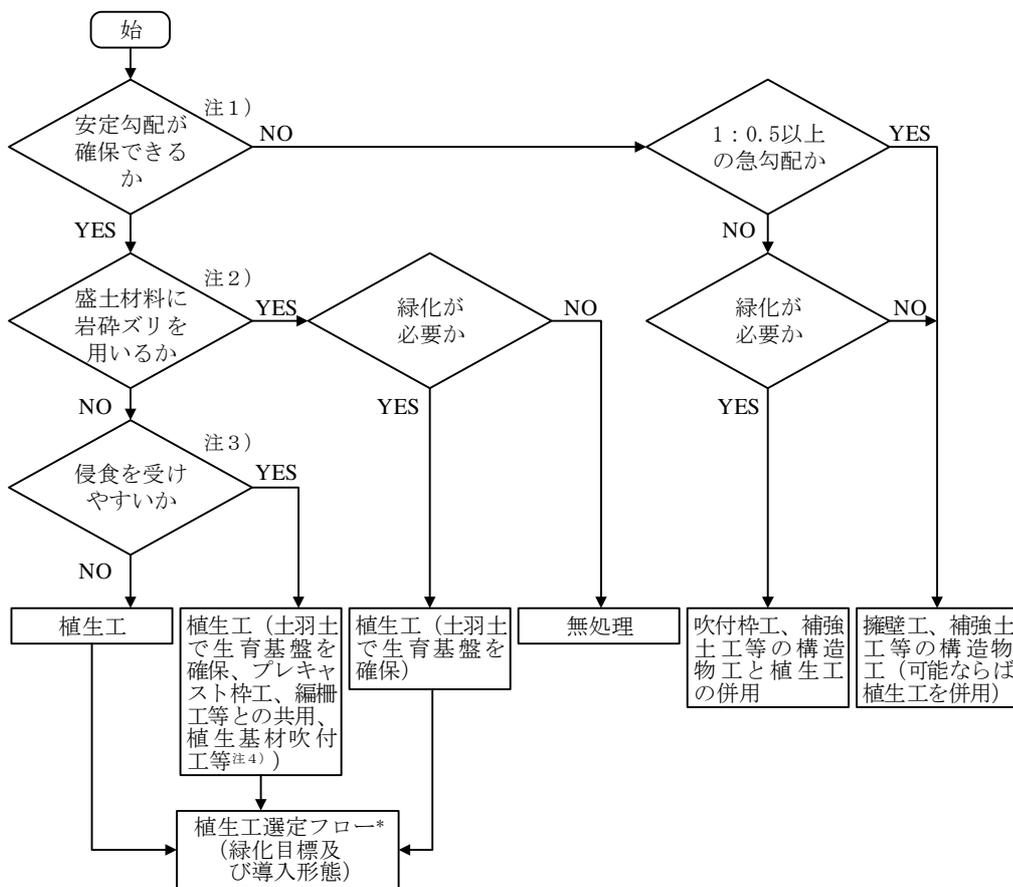
また、崩壊形態別の法面保護工は、幾つか考えられるが、そのうちの一例を表-6.4.2 に示す。



※：法面緑化工の施工可能性を法面勾配から判断する際には、表-6.4.5や表-6.4.8を参照すること。

図-6.4.3 切土法面における法面保護工の選定フロー②
(図中の注の説明は次ページ参照)

- 注 1) 地山の土質に応じた安定勾配としては、表-6.3.1 に示した地山の土質に対する標準法面勾配の平均値程度を目安とする。また、安定勾配が確保できない場合の対策として、可能な場合は切直しを行う。
- 注 2) 落石のおそれの有無は「6.6 落石対策」及び「落石対策便覧」を参考にして判断する。
- 注 3) 地山の分類は、「道路土工要綱共通編 1-4 地盤調査 9」) 岩及び土砂の分類」に従うものとする。
- 注 4) 第三紀の泥岩、頁岩、固結度の低い凝灰岩、蛇紋岩等は切土による除荷・応力解放、その後の乾燥湿潤の繰返しや凍結融解の繰返し作用等によって風化しやすい。
- 注 5) 風化が進んでも崩壊が生じない勾配としては、密実でない土砂の標準法面勾配の平均値程度を目安とする。
- 注 6) シラス、まさ、山砂、段丘礫層等、主として砂質土からなる土砂は表流水による侵食には特に弱い。
- 注 7) 自然環境への影響緩和、周辺景観との調和、目標植生の永続性等を勘案して判断する。
- 注 8) 主として安定度の大小によって判断し、安定度が特に低い場合にかご工、井桁組擁壁工、吹付砕工、現場打コンクリート砕工を用いる。
- 注 9) 構造物工による保護工が施工された法面において、環境・景観対策上必要な場合には緑化工を施す。
- 注 10) ここでいう切直しとは、緑化のための切直しを意味する。
- 注 11) 降雨等の侵食に耐える工法を選定する。



*植生工選定フローは、「道路土工一切土工・斜面安定工指針」を参照する。

- 注 1) 盛土法面の安定勾配としては、表-5.1.1 に示した盛土材料及び盛土高に対する標準法面勾配の平均値程度を目安とする。
- 注 2) ここでいう岩砕ズリとは主に風化による脆弱化が発生しにくいような堅固なものとし、それ以外は一般的な土質に準じる。
- 注 3) 侵食を受けやすい盛土材料としては、砂や砂質土等が挙げられる。
- 注 4) 降雨等の侵食に耐える工法を選択する。

図-6.4.4 盛土法面における法面保護工選定フロー

表-6.4.2 切土法面及び斜面崩壊の崩壊形態と工法対策の例 (その1) 2)

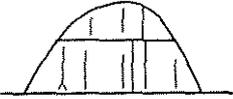
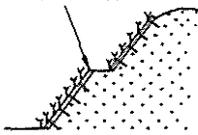
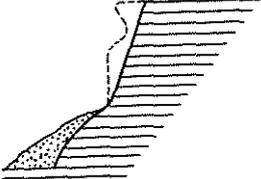
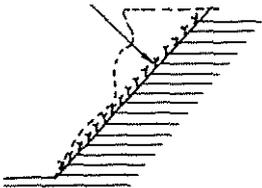
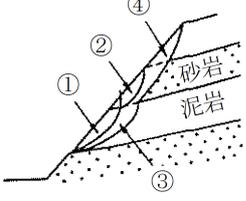
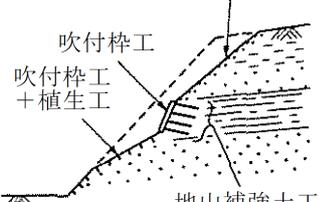
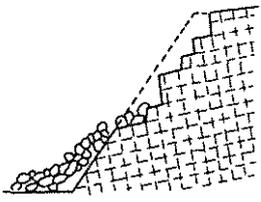
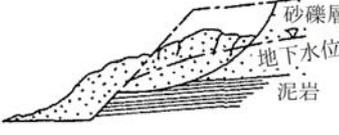
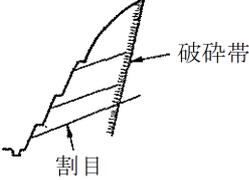
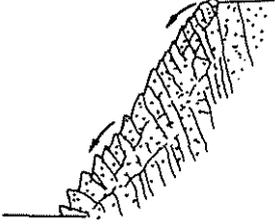
分類	解説	崩壊形態	対策工法事例
侵食、崩落	①乾湿、凍結、降雨等により表面がはく離、あるいはガリー(掘れ溝)ができる。放置すると深い崩壊に移行することがある。	 <p>表流水によるガリー侵食</p>	<p>プレキャスト枠工</p>  <p>ネット張工+植生工又は プレキャスト枠工+植生工</p>
	②斜面上のオーバーハング状を呈する部分が崩落する。		<p>植生工</p>  <p>切直し+植生工</p>
	③亀裂や節理に富んだ岩が崩落する。	 <p>浮石型落石</p>	<p>浮石除去</p> <p>モルタル吹付工</p>  <p>地山補強土工</p> <p>モルタル吹付工(浮石除去) +地山補強土工</p>
表層崩壊	①表土が滑落する時には下層の強風化岩層を含んで崩壊する。湧水が誘因となることが多い。	 <p>湧水のパイピングによる崩壊</p>	<p>プレキャスト枠工</p>  <p>湧水</p> <p>横ボーリング工</p> <p>切直し+プレキャスト枠工(栗石詰)+横ボーリング工</p>
	②岩の表層が風化等に伴って崩壊する。	 <p>風化等の進行に伴う表層崩壊</p>	<p>モルタル吹付工</p> <p>吹付枠工</p> <p>吹付枠工+植生工</p>  <p>地山補強土工</p> <p>勾配の異なる切土+吹付枠工+地山補強土工+植生工+モルタル吹付工</p>

表-6.4.2 切土法面及び斜面崩壊の崩壊形態と工法対策の例 (その2)²⁾

分類	解説	崩壊形態	対策工法事例
大規模崩壊・すべり性崩壊	<p>③流れ盤構造や、岩盤中の割れ目（節理、小断層、薄層）に沿って岩が崩壊する。後者の場合、くさび状の崩壊も多い。</p>	 <p>岩の割れ目に沿った崩壊</p>	<p>不安定な岩塊の除去 モルタル吹付工 地山補強土工 モルタル吹付工+地山補強土工</p>
	<p>①軟弱で固結度の低い地層からなる斜面や地質構造的に不安定要因をもつ斜面が地下水位の上昇に伴って大規模に崩壊する。</p>	 <p>透水性における不連続面上すべり</p>	<p>植生工 砂礫層 地下水位 泥岩 砂岩 横ボーリング工 杭工 切直し+杭工・横ボーリング工+植生工</p>
	<p>②流れ盤や断層・破碎帯等の地質構造を有する岩体が大規模に崩壊する。</p>	 <p>破碎帯 割目</p>	<p>吹付砕工 地山補強土工 コンクリート巻立 グラウンドアンカー工 杭工 杭工+吹付杭工+グラウンドアンカー工+地山補強土工+コンクリート巻立</p>
<p>③受け盤の斜面や割れ目の発達した岩の斜面が前方へ転倒・崩壊する。</p>	 <p>受け盤の転倒・崩壊 (Toppling)</p>	<p>吹付砕工 地山補強土工 グラウンドアンカー工 吹付砕工+地山補強土工+グラウンドアンカー工</p>	

6.4.3 法面緑化工

6.4.3.1 法面緑化工の目的と留意点

法面緑化工は、法面に植物を繁茂させて表層部を根で緊縛して表流水による侵食や風化を防止するとともに、地表面の温度変化を緩和する効果が期待できる法面保護工である。また、寒冷地の土砂法面では凍上による表層崩壊を抑制する効果が、ある程度は期待できる。さらに、周辺の自然環境と調和のとれた植生を成立させることによる自然環境の保全や、木本類によるCO₂の吸収・固定、好まれる植物を生育させることによる望ましい道路景観の形成が可能である。

法面の植生においては、在来種の保護、外来種による生態系の破壊に対して考慮することも必要である。また、法面緑化工は植物を扱う技術であり、目標とする効果が発揮されるまでには通常長期間を要する。加えて、施工後の降水量や気温の変動等によって成果に差が生じやすい。設計、施工及び成績の判定に際してはこれらのことに留意する必要がある。

6.4.3.2 法面緑化工の構成と調査

(1) 法面緑化工の構成

法面緑化工は、植物を法面に導入する植生工と、植生工の施工が可能となるように構造物等で植物の良好な生育環境を整備する緑化基礎工で構成される（図-6.4.5）。

法面緑化工のうち植生工には、播種工と植栽工、それら二つの特徴を併せ持つ苗木設置吹付工等がある。最近では自然環境の保全に一層配慮した工法として森林表土利用工や自然侵入促進工が開発されており、これらについては「6.4.3.6 植生工におけるその他の技術の活用」で詳しく説明する。

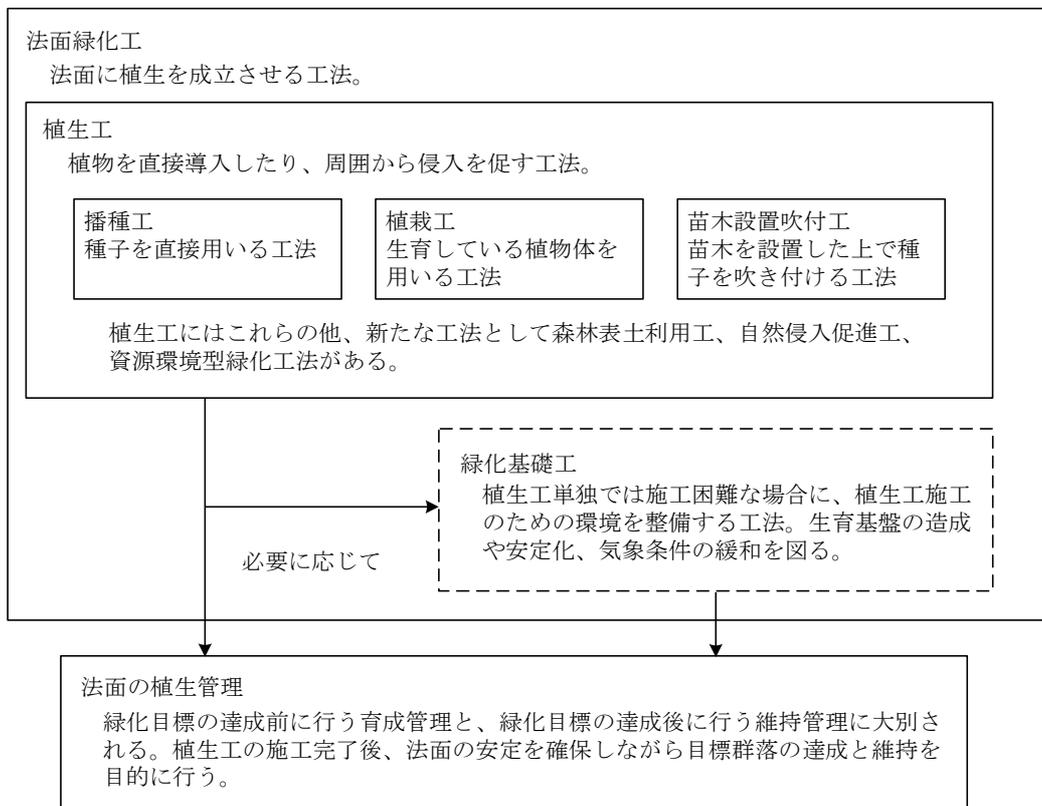


図-6.4.5 法面緑化工の構成²⁾

ア 植生工の目的と前提条件

植生工は、法面全体を植物で被覆し、表流水による侵食防止や凍上による表層崩壊の緩和等を期待して行うものである。さらに、植生工はそれらの効果に加えて自然環境の保全や修景の効果を期待している。

植生工は植物を材料とすることから、生育基盤の状況、植物の適用範囲、施工方法、施工時期等の各種条件を満足させなければならず、そのためには、地域環境及び周辺植生の調査並びに切土造成時点での法面の調査が必要である。以下に、植生工の前提条件について示す。

- ① 法面の状態：植物の生育基盤が侵食・崩壊に対して安定していること。
- ② 植物の適用範囲：選定した植物が法面の地質、勾配等と気象条件に適合していること。
- ③ 植物材料の性質：植物材料が、施工対象地域の環境条件に適合していること。
- ④ 目標との適合：緑化の目標に適合した植物の種類が選定されていること。
- ⑤ 施工方法：植物が定着し十分繁茂するまで侵食を受けず、植生が永続して成立することができる工法であること。
- ⑥ 施工時期：植物が生育し、法面が侵食を受けない程度に成長することができる時期と期間が確保できること。

以上の前提条件が満たされない法面で植生工を必要とする場合には、緑化基礎工の併用や、永続的な植生の成立を可能にする植生管理方法の適用等を検討する。

イ 緑化基礎工の目的

緑化基礎工は、植生工を施工する場合に植生工単独では施工が困難な場合に採用する構造土工であり、ネットや吹付枠等を用いて植物の生育環境を整備するものである。緑化目標及び選定する植生工の種類や、法面勾配からその必要性や種類及び構造を検討する。

緑化基礎工の目的は次の三つに分けることができ、それぞれの目的や現場の状況に応じて各工法の組合せも考えて選定する。

(ア) 生育基盤の安定化

生育基盤の侵食、崩壊を防止する。(ここでいう生育基盤とは、法面とその表面に造成する植生基盤の総称である)

(イ) 生育基盤の改善

植物にとって好ましい生育基盤を造成する。

(ウ) 厳しい気象条件の緩和

風、雨、日照、温度等、植物の発芽、生育に支障を与える要因を緩和する。

緑化基礎工の主な種類と特徴、適用上の留意点及び併用する植生工の例を表-6.4.3 に示す。

表-6.4.3 主な緑化基礎工の特徴と留意点及び併用する植生工の例²⁾

種類		特徴	留意点	併用する植生工の例
法 枠 工	吹付枠工 現場打ちコンクリート枠工	法面の浅部で発生する崩壊に対し、形状、規模に対応できる構造とすることが可能である。 法面の凹凸に対応できる。	膨張性又は収縮性のある岩、あるいは、凍結深が深くなる土砂法面への適用時は十分に検討する必要がある。	植生土のう土、客土吹付工、植生基材吹付工（厚層基材吹付工）
	プレキャスト枠工	植物の生育基盤となる土砂や植生土のうを法面に固定保持することができる。	法面に発生する土圧には対応できないので、はらみ出し、凍上等を生じる場合は避ける。 勾配1:1.0よりも緩い法面で枠が洗掘等で沈下しない箇所に適用する。	
柵工		崩落土砂の部分固定や表流水勢の緩和あるいは落石、雪崩を緩和できる。	将来的な機能確保のため木本類の導入（播種工、植栽工）を併用することが望ましい。	植生シート工、植生マット工、植栽工、客土吹付工、植生基材吹付工（厚層基材吹付工）
ネ ット 張 工	金網張工	法表面の表流水、凍上等によるはく落防止及び生育基盤の保持、落石防止に効果がある。	網目が小さすぎたり、機能が長期間持続したりするものは、木本類の成長に支障となる場合もある。	客土吹付工、植生基材吹付工（厚層基材吹付工）
	繊維ネット張工	法表面の表流水によるはく落防止や造成基盤の保持に効果がある。	剛性がないので、凍上や落石への対応が難しい。	
防風工		網目の細かいネット張工やフェンス工等は、幼芽、稚樹の乾燥や風衝の緩和に効果がある。	風向、風力、効果の程度や範囲を見極める。	
連続長繊維補強土工		連続長繊維を混入した補強土塊の抑止力による地山の安定と、厚い生育基盤の形成が可能である。	湧水や補強土背面の流下水の処理を目的として、排水材をあらかじめ設置する。	植生基材吹付工（厚層基材吹付工）

(2) 植生工の設計・施工のための調査

法面緑化工は植物を材料として取り扱うので、施工場所の立地条件が工事の成否に大きく影響する。このため、調査結果を法面緑化工の設計・施工に活用していく上での留意事項を表-6.4.4に示す。

表-6.4.4 調査結果の法面緑化工への活用²⁾

調査項目	調査結果活用上の留意事項
周辺環境と周辺植生の調査	<ul style="list-style-type: none"> ・自然公園、風致地域、山林、原野：周辺の自然環境と調和する、野生動植物の生息・生育に悪影響を及ぼさない植物種を選定する。造成対象地が野生動物の移動経路として利用されている場合には、植生による連続性の確保についても検討する。 ・都市、集落：沿道環境と調和する植物種を選定する。
表土、既存樹木の調査	<ul style="list-style-type: none"> ・表土：利用可能性について現地調査により把握し、植生基材としての利用方法を検討する。また、採取後の仮置き必要性を検討し、必要な場合には確保する。 ・既存樹木：樹種や活力度、健全度（病虫害、腐朽等）を調査し、移植可能性や移植価値を検討する。また、移植に当たっての仮植が必要な場合には仮植地の検討を行う。
気象の調査	<ul style="list-style-type: none"> ・降水：年間降水量及び施工時期の降雨条件に適応した植生工を選定する。年降水量1,000mm以下の場合には、基盤、植物及び施工時期等における具体的な乾燥対策を講じる。なお、1,200mm以下となる場合には、対策を検討することが望ましい。 ・気温：最高気温が30℃以上となる時期の施工は避け、日平均気温10℃以上が2か月以上続くこと等を目安に施工時期を設定する。 ・積雪：現地の特性に応じた植物と施工法を選定する。
植物材料の市場調査	<ul style="list-style-type: none"> ・種子：施工時点で入手可能な種、数量等について調査を行い、植生工設計時の工法や配合等を検討する際の資料とする。 ・苗木：施工時点で入手可能な種、数量、大きさ等について調査を行い、植生工設計時の工法や配植等を検討する際の資料とする。
造成時点の法面調査	<ul style="list-style-type: none"> ・法面勾配については、表-6.4.5を参考に使用植物を選定し、切土の場合は1:1.0、盛土の場合は1:1.5より急勾配を目安に緑化基礎工との併用を検討する。 ・土壌硬度については、表-6.4.6を参考に使用する植物と施工法を検討する。 ・盛土の土壌透水性に関しては、最終減水能の値が36mm/h(0.01mm/sec)以下の場合、耕耘及び土壌改良資材の混入や良質の客土を行った上で、使用する植物と施工法を検討する。 ・土壌酸度はpH4～8以外では吸着や中和処理、排水又は遮水対策の検討を行った上で、使用する植物との施工法を検討する。 ・岩盤法面では、亀裂の間隔や間隙の大きさ等から、使用する植物を選定し、流亡しにくい植生基材の使用を検討する。 ・地下水が集中する箇所や湧水がある箇所については、地表面あるいは地下排水溝を設置する。

表-6.4.5 法面勾配と目標とする^{注1)}植物群落の目安²⁾

勾配	植物の生育状態
1:1.4より緩勾配 (35°未満)	<p>高木が優占する植物群落の成立が、1:1.7より緩勾配であれば可能であり、1:1.7～1.4では法面の土質や^{注2)}周辺環境の状況によっては可能である。周辺からの在来種の侵入が容易である。</p> <p>植物の生育が良好で、植生被覆が完成すれば表面侵食はほとんどなくなる。</p>
1:1.4～1.1 (35～45°)	<p>中・低木が優占し、草本が下層を覆う植物群落の造成が可能である。</p>
1:1～1:0.8 (45～50°)	<p>低木や草本からなる群落高の低い植物群落の造成が可能である。</p>
1:0.8より急 (50°以上)	<p>法面の安定度が高い場合、又は構造物で安定を確保した場合のみ植生工の適用が可能である。全面緑化の場合の限界勾配は、一般に1:0.5(60°)程度である。</p>

注1) 植物群落：森林や草原等の一定の相観（外形）と種類構成を持つ植物の集合体をいう。植生を区分する際の単位であり、本指針では緑化の目標を相観によって区分する草地型、低木林型といった群落タイプにより表している。

注2) 強風が吹くようなことがないといった条件や、周辺植生からの高木種の種子散布の状況にもよる。

表-6.4.6 土壌硬度からみた植物の生育状態予測²⁾

土壌硬度	植物の生育状態
10mm 未満	・乾燥のため発芽不良になる。
粘性土 10～23mm 砂質土 10～27mm	・根系の伸長は良好となる（草本類では肥沃な土である場合）。 ・樹木の植栽に適する。
粘性土 23～30mm 砂質土 27～30mm	・木本類の一部のものを除いて、根系の伸長が妨げられる。
30mm 以上	・根系の伸長はほとんど不可能である。
軟岩・硬岩	・岩に亀裂がある場合には、木本類の根系の伸長は可能である。

6.4.3.3 緑化目標の設定

法面緑化工の目的は、侵食や表層崩壊を防止するとともに、周辺環境との調和を図ることである。そのことを考慮して、緑化目標は法面緑化工の設計前に設定する。緑化目標は、草本類による全面被覆といった短期に達成される目標から、樹林の形成といった比較的長期を要する目標までである。どの時点でどのような植物群落の形成を目指すのかを法面勾配、周辺環境や気象条件、目標達成までの期間とその間に実施する植生管理の点を勘案して決定する。

緑化目標の群落型としては、群落の相観（外形）から高木林型、低木林型、草地型の3タイプが挙げられ、その他に造園修景が目的の特殊型が挙げられる。高木林型は、法面の周辺が樹林であり、法面勾配が緩い場合等に適している。盛土法面においては、法面形状の工夫により高木林型の形成が可能な場合が多い。低木林型は、周辺が樹林で法面勾配が急な場合や、沿岸部等、強風が頻繁に発生する場所に適している。草地型は、初期緑化目標として設定するほか、周辺が草地や農地、住宅地の場所に適している。特殊型は、法面においても修景空間を創り出すことが必要な場所で設定する（表-6.4.7）。

表-6.4.7 緑化目標の群落の例²⁾

緑化目標の群落型	特徴	適用箇所の条件
高木林型	高木が優占する群落	・周辺が樹林地で、法面勾配が緩く、厚い土壌の形成が見込める場所 ・自然公園内等
低木林型	低木が優占する群落	・周辺が樹林地で、急傾斜地等土壌が薄くしか形成されない場所 ・沿岸部等強い風が頻繁に吹く場所 ・周辺が農地等
草地型	草本が優占する群落	・周辺が草地 ・周辺が農地 ・周辺が住宅地等
特殊型	造園修景を目的とした植生	・都市部等の、法面においても修景空間を創り出すことが必要な場所

6.4.3.4 植生工の種類と特徴

植生工には使用する植物や、地形、地質、気象等に応じた工法があり、その選定を誤ると目的、目標が達せられないため、設計の時点でよく検討する必要がある。基本的には、使用植物の発芽条件と生育条件を満たす植生基盤が造成可能な工法を設定することとなるが、植生基盤の種類と造成する厚さは、使用植物の肥料要求度や種子の発芽特性、法面の土質や勾配によって決定される。また、吹付工を行う場合は、植物が定着するまでの期間、降雨等によって流亡しない基盤でなければならない。

各種植生工の概要を以下に示し、その種類と特徴を表-6.4.8に示す。

(1) 播種工

播種工は、植物材料に種子を使用する工法であり、材料を専用の機械で法面に吹き付ける種子散布工、客土吹付工や植生基材吹付工（厚層基材吹付工）と、人力で種子の付いた繊維等を法面に貼り付ける植生シート工や植生マット工等がある。植物材料の観点からは、草本類のみを使用する場合と、草本類と木本類を混播する場合、木本類のみを使用する場合に区分できる。最近では、自然環境の保全と周辺景観との調和を目的として、在来種の利用や木本類の種子を混播することが多い。

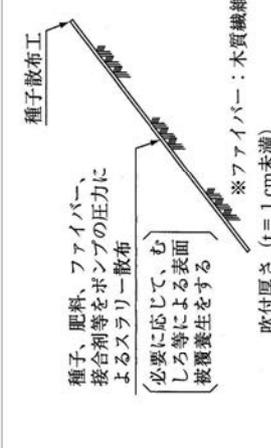
(2) 植栽工

植栽工には芝等の草本類を用いるものと、木本類を用いるもの、その両方を用いるものがある。木本類を使用する場合は一般に苗木を使用する。急勾配法面の場合には、植生基盤の整備を要するので緑化基礎工を併用する。

(3) 苗木設置吹付工

苗木設置吹付工は、植生基材吹付工と植栽工の組合せであり、植生基材吹付工の施工に先立ってあらかじめコンテナ（ポット）苗木を法面に固定し、その上から植生基材吹付工を施工する。植栽工が持つ樹木の早期成長による周辺環境との調和や修景効果と、播種工が持つ全面被覆による侵食防止効果の両方が期待できる。

表-6.4.8 植生工の種類と特徴(その1)²⁾

工種	播種工		
	種子散布工	客土吹付工	植生基材吹付工(厚層基材吹付工)
施工方法	主にトラック搭載型のハイドロシーダーと呼ばれる吹付機械を使用して、多量の用水を加えた低粘度スラリー状の材料を厚さ1cm未満に散布する。	主にポンプを用いて高粘度スラリー状の材料を厚さ1～3cmに吹き付ける。	ポンプ又はモルタルガンを用いて材料を厚さ3～10cmに吹き付ける。
材料	基材	木質繊維(ファイバー)	現地発生土砂、砂質土、パーク堆肥、ピートモス等
	侵食防止材又は接合材	粘着材、被膜材、高分子系樹脂	高分子系樹脂、セメント、合成繊維等
料	種子	草本類	草本類、木本類
	肥料	高度化成肥料	緩効性肥料(山型) ^{注1)} 、PK化成肥料 ^{注1)} 、高度化成肥料(草本導入時)
補助材料	むしろ、繊維網(積雪寒冷地で使用)	繊維網、金網等	繊維網、金網、吹付枠、連続長繊維補強土工等
適用条件	耐降雨強度	10mm/hr程度	10～100mm/hr程度(植生基材や接合材の種類と使用量により異なる。)
	期間	1～2か月程度(この期間は、導入した植物が発芽・生育するまでを想定している。)	1年～10年程度(植生基材や接合材の種類と使用量により異なる。)
	地質	土砂(土壌硬度23mm以下)で用いる。	同左、及び岩等に用いる。
	勾配	1:1.0より緩勾配 ^{注2)}	1:0.5(木本類を用いる場合は1:0.6)より緩勾配 ^{注2)}
備考	<ul style="list-style-type: none"> 主に盛土法面で用いる。 一般には、材料に色粉を混入して、均一な散布の目安とする。 除伐・追肥が必要な場合がある。 緑化目標が草地型の場合では、定期的な草刈りが必要となる。 乾燥対策として表面被覆養生が必要な場合では、むしろ張り等を併用することがある。 	<ul style="list-style-type: none"> 吹付厚は、緑化目標や適用条件により設定する。 緑化目標により、遷移を進めるための除伐や追肥等が必要となる場合がある。 種子の代わりに森林表土を用いる表土利用工や、伐採木や根根材等の建設副産物を有効利用することが可能である。 	
断面図の例	 <p>種子散布工 種子、肥料、ファイバー、接合剤等をポンプの圧力によるスラリー散布 必要に応じて、むしろ等による表面被覆養生をする ※ファイバー: 木質繊維 吹付厚さ(t=1cm未満)</p>	植生基材吹付工(厚層基材吹付工) パーク堆肥、砂質土、肥料や種子等を吹付・締固め 菱形金網 アンカーピン 吹付厚さ(t=3～10cm)	

注1) 山型肥料とはN:P:Kの配合がN<P>Kとなっているもの、PK化成肥料はNがほとんどないものをいう。

注2) 地質、気象、使用植物、侵食防止材等により適用範囲は多少の差異が生じる。

表-6.4.8 植生工の種類と特徴 (その2)²⁾

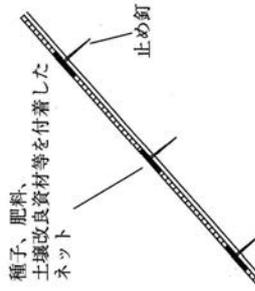
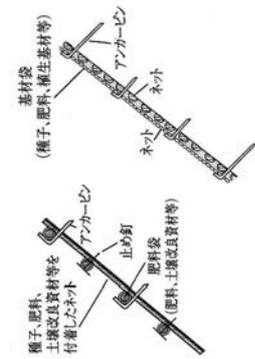
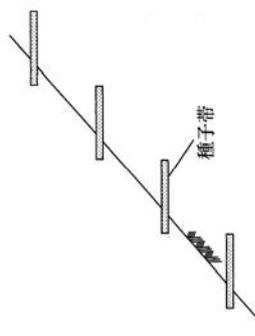
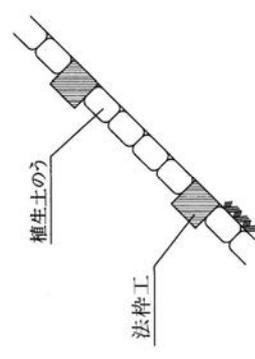
工 種		播 種 工			
		植生シート工	植生マット工	植生筋工	植生土のう工
施工方法	全面に張り付け、目ぐし等で固定する。	全面に張り付け、目ぐし等 を装着したシート状のもの	法面全体に展開し、アンカーピン、止め釘等で固定する。 ・種子や肥料等を直接つけたネット(合成繊維、ヤシ繊維等)に面隔をもたせて肥料袋を装着させたもの。 ・ネット(合成繊維、ヤシ繊維等)に種子、肥料、植生基材等を封入した基材袋を面隔をできるだけ空けずに装着した厚みのあるマット状のもの	種子帯を土羽打ちを行いながら施工	植生土のう又は植生袋を固定する。
	種子、肥料等を装着したシート状のもの	種子、肥料等を装着したシート状のもの	種子、肥料等を装着したシート状のもの	種子、肥料等を装着した繊維帯	繊維袋に土又は改良土、種子等を詰めたもの
材 料	植 物	外来、在来草本類の種子	木本類の種子 外来、在来草本類の種子	外来、在来草本類の種子	木本類の種子 外来、在来草本類の種子
	肥 料	化成肥料	化成肥料	化成肥料	堆肥、PK化成肥料、緩効性肥料
補助材料	目ぐし、止め釘、播土又は目土	目ぐし、アンカーピン、止め釘	目ぐし、アンカーピン、止め釘		目ぐし、アンカーピン
	併 用 工				溝切工、法枠工
適用条件	耐侵食性	高い	高い	低い	高い
	地 質	粘性土(土壌硬度23mm以下) 砂質土(土壌硬度27mm以下)	同左、及び硬質土砂、岩(植生基材入りのもの)	粘性土(土壌硬度23mm以下) 砂質土(土壌硬度27mm以下)	肥料分の少ない土砂、又は硬質土砂、岩
備 考	勾 配	1:1.5より緩勾配	1:0.8より緩勾配	1:1.5より緩勾配	1:0.8より緩勾配
		・盛土に適用する。 ・シートを法面に密着させる必要がある。 ・肥料分の少ない土質では追肥管理を要する場合があります。	・マツトを法面にできるだけ密着させる必要がある。	・小面積の盛土に適用する。 ・砂質土には不適する。	・勾配が1:0.8より急なところでは落下することがある。 ・草木種子を使用する場合には保肥性の優れた土を用いる。
断面図の例					

表-6.4.8 植生工の種類と特徴 (その3)²⁾

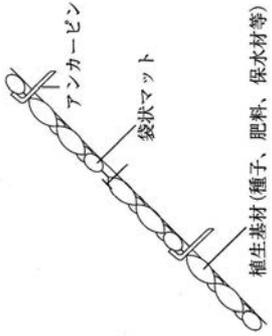
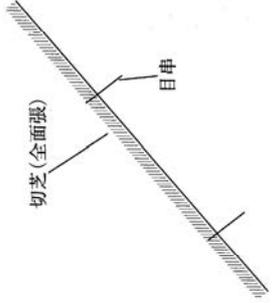
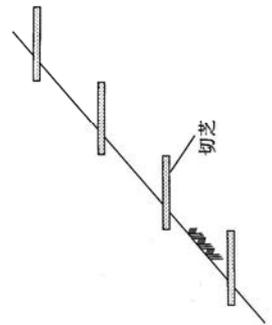
工 種	播 種 工		植 栽 工	
	植生基材注入工	張芝工	筋芝工	
施工方法	布製の袋を法面全体に展開して法肩部をアンカーピンで固定し、植生基材を専用機械を用いて注入したのち、袋体が法面に密着するように全体をアンカーピンで固定する。	全面に張り付ける。	切芝を一定間隔で張り付ける。	
材 料	種子、肥料、植生基材等を現場で注入した袋 木本類の種子 外来、在来草本類の種子 緩効性肥料 (山型)、PK 化成肥料 化成肥料 (草本適用) アンカーピン	切芝 (ノシバ) ロール芝 (外来草本、ノシバ) 化成肥料、緩効性肥料	切芝 (ノシバ) 化成肥料、緩効性肥料	
補助材料		目ぐし、播土、目土		
併用工				
耐侵食性	高い	比較的高い	低い	
地 質	硬質土砂、礫質土、及び岩	粘性土 (土壌硬度 23mm 以下) 砂質土 (土壌硬度 27mm 以下)	粘性土 (土壌硬度 23mm 以下) 砂質土 (土壌硬度 27mm 以下)	
適 用 条 件	1 : 0.8 より緩勾配	1 : 1.0 より緩勾配	1 : 1.5 より緩勾配	
備 考	<ul style="list-style-type: none"> 布製の袋に基材を注入した後、法面にできるだけ密着させる必要がある。 客土注入工、客土注入マット工ともいう。 	<ul style="list-style-type: none"> 小面積で造園的効果が必要である場合に使用する。 	<ul style="list-style-type: none"> 小面積の盛土に適用する。 砂質土には不適である。 	
断面図の例				

表-6.4.8 植生工の種類と特徴（その4）²⁾

工 種	植 栽 工		
	樹木植栽工 (植穴利用)	樹木植栽工 (編柵利用)	苗木設置吹付工
施工方法	法面に植穴を掘削し、樹木を植える。必要に応じて土壌改良を施した土壌等で埋め戻す。	編柵を設けて客土して、樹木を植える。	コンテナ (ポット) 苗木を法面に固定し、その上から植生基材吹付工法を施工する。
形 態	盛土材が植物にとって不良な場合、表土利用や土壌改良資材 (バーク堆肥、パーライト等) を混入する。	客土 (表土利用や土壌改良資材の混入)	人工土壌又は有機基材等 (土、木質繊維、バーク堆肥、ピートモス等)、及び侵食防止材 (高分子系樹脂、セメント、繊維資材等)
植 物	成木、苗木	成木、苗木	苗木 草本種子
肥 料	緩効性の化成肥料	緩効性の化成肥料	緩効性の化成肥料
補助材料	支柱、マルチング	支柱、マルチング	金網
併 用 工	種子散布工	種子散布工	
耐侵食性	低い (種子散布工の併用により向上)	低い (種子散布工の併用により向上)	高い
適 用 条 件	地 質	粘性土 (土壌硬度 23mm 以下) 砂質土 (土壌硬度 27mm 以下)	粘性土 (土壌硬度 23mm 以下) 砂質土 (土壌硬度 27mm 以下)
	勾 配	1 : 1.5 より緩勾配	1 : 1.2 より緩勾配
備 考	<ul style="list-style-type: none"> 法肩や法尻等の境界では、樹木の成長による交通視距の障害を防止するための維持管理が増大しないような配植とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 法肩や法尻等の境界では、樹木の成長による交通視距の障害を防止するための維持管理が増大しないような配植とする。 	<ul style="list-style-type: none"> 法肩や法尻等の境界では、樹木の成長による交通視距の障害を防止するための維持管理が増大しないような配植をする。 植生基材は苗木の根鉢が覆われるまで吹き付ける。 乾燥や貧栄養状態に耐性のある樹種を中心に選定する。
断面図の例			