

令和4 年度版

森林作業道作設指針の解説

林 野 庁

令和4 年度版 森林作業道作設指針の解説

目 次

I 基本方針	1
II 解説	1
第1 趣旨	1
1 指針の目的	1
2 森林作業道	1
①土質区分	3
②地形の整理	6
③情報の整理	8
④災害発生後の対応	8
第2 個別の留意事項	9
1 傾斜に応じた幅員と作業システム	9
(1) 傾斜別林業機械等別の幅員	9
① 傾斜25°以下	9
(i) 25°以下の例	9
② 傾斜25～35°	10
(i) 25°～35°の例	11
(ii) 丸太組工の留意点	11
③ 傾斜35°以上	12
(i) 35°以上の例	12
(ii) 急傾斜地における作設作業の留意点	13
(2) 幅員設定における留意事項	14
2 縦断勾配	14
(1) 縦断勾配の基本	14
(2) 縦断勾配設定における留意事項	14
(3) 曲線部及び曲線部の前後の区間の縦断勾配	15
①注意する土質	15
②急勾配箇所の日常管理	15
③通行量の多い箇所等の注意	17
3 排水施設	18
①路網全体としての排水計画	19
②滞水しやすい箇所と土の強度	20
③外カーブの進入口	23
④外カーブにおける排水上の留意点	24
⑤土の透水性	24

⑥地震後の排水計画	25
⑦片勾配	25
⑧設置間隔.....	27
⑨侵食を受けやすい土質	28
⑩維持管理.....	28
⑪流末の保護.....	30
4 切土・盛土.....	30
(1) 切土.....	31
①土質別の切土の特徴.....	31
②土質と切土勾配.....	40
③凍上現象について	40
④滞留水の抑制	41
(2) 盛土.....	42
①盛土材の強度	43
②締固め	43
③道路新設時の締固めの一例	46
④粒度分布.....	47
⑤内部摩擦角と粘着力.....	47
⑥トラフィカビリティ	49
⑦CBR	51
⑧土質別の盛土の注意点	53
⑨路肩の強化.....	54
⑨-1 作業状態別の支持力.....	54
⑨-2 作業状態別の荷重	56
⑨-3 主な林業機械別の盛土の安定	57
⑩経年変化.....	57
5 曲線部	59
6 構造物等.....	59
①丸太組工に対する荷重の影響の一例.....	59
7 伐開.....	61
①実生による植生回復への期待	62
②表土を利用した植生回復.....	62
第3 周辺環境への配慮.....	62
①公道への土砂流出防止対策	63
②溪流への土砂流出防止対策	63
③土石の転落防止.....	64

④地盤改良材を利用した盛土の強化	64
第4 管理	64
①ゲート	64
②供用後の管理	67

I 基本方針

本解説は、森林作業道作設指針を具体的事例や科学的分析に基づく資料により補足説明する目的で作成したものである。森林作業道作設指針の項目に沿って、林野庁で実施した調査結果を参考情報として掲載する形式としている。

森林作業道は、利用実態や走行する林業機械等が様々であり、一概に規格・構造を定めることが困難であるが、作設に当たっては本資料も活用いただき、各地域に適した耐久性のある森林作業道を作設されたい。

なお、集材路や土場を作設する際も本解説を参考とされたい。

II 解説

第1 趣旨

1 指針の目的

本指針は、森林作業道を作設する上で考慮すべき最低限の事項を目安として示すものである。ただし、森林作業道の作設に当たり重要な因子となる地形、地質、土質、気象条件等は地域ごとに異なることから、森林作業道は地域ごとの条件を踏まえたきめ細やかな配慮の下に構築されるべきである。このため、本指針は、森林作業道の作設技術者が地域の条件に適合した森林作業道を作設していくための基礎となる情報として定めるものとする。

森林作業道の作設に当たっては、それぞれの地域の地形、地質、土質、気象条件等を十分に踏まえ、本指針によるほか、近傍の施工事例を参考とするとともに、地域において作設作業に十分な経験を有する者から技術的な指導を受けることが望ましい。

本指針の内容については、作設技術者、森林所有者、施業の発注者、森林施業プランナーその他の森林作業道の作設に関わる関係者が熟知すべきものである。

また、今後、地域における取組を通じて新たな技術的知見の蓄積も期待されることから、これらの知見の普及を図るため、本指針についても必要な検討を重ねながら随時見直していくものとする。

2 森林作業道

森林作業道とは、間伐等による木材の集材及び搬出並びに主伐後の再造林等の森林整備に継続的に用いられる道である。森林作業道は目標とする森林づくりのための基盤であるため、対象区域で行う森林施業を見据え、安全な箇所に、作設費用を抑えて経済性を確保しつつ、繰り返しの使用に耐えるよう丈夫に作設する必要がある。

特に、主伐時に森林作業道を作設する場合は、造林、保育等の森林施業による次世代の森林づくりのため、継続的に利用できるように考慮しなければならない。

このほか、基本的な考え方は以下のとおりである。なお、各事項の詳細については

第2以降に記載する。

- (1) 路体については、堅固に締め固めた土構造によることを基本とする。
- (2) 線形については、土工量の抑制及び分散排水により路面侵食や土砂の流出等を防止するため地形に沿わせた屈曲線形及び波形勾配とする。なお、地形、地質、土質、気象条件、地表水の局所的な流入などの水系、地盤の深さなどの地下構造等について、資料及び現地踏査により確認し、無理のない線形とする。
- (3) 林道又は公道との接続地点及び地形を考慮した接続方法を適切に決定するものとする。
- (4) 作設箇所については、原則として 35° 未満とし、人家、施設、水源地等の保全対象が周囲にない箇所を基本とし、特に保全対象に直接被害を与える箇所は避け、迂回方法を適切に決定するものとする。なお、以下の点に留意するものとする。
 - ① 急傾斜地の0次谷を含む谷地形や破碎帯など一般的に崩壊しやすい箇所を通過しなければならない場合は、通過する区間を極力短くするものとする。
 - ② 溪流沿いからは離し、濁水や土砂が溪流へ直接流れ込まないようにするものとする。
- (5) 作設箇所について、やむを得ず傾斜 35° 以上の箇所、保全対象が周囲に存在する箇所、一般的に崩壊しやすい箇所又は溪流沿いの箇所を通過する場合は、地形、地質、土質、気象条件、保全対象等との位置関係等の条件から適切な構造物を設置するものとする。ただし、当該構造物の設置により経済性を失う場合又は環境面及び安全面での対応が困難な場合は、林道とタワーヤード等の組合せによる架線集材を行うものとする。
- (6) 幅員の拡大、ヘアピンカーブの設置等により、潰れ地の規模が拡大するため、森林施業の効率化だけではなく小規模森林所有者への影響にも配慮するものとする。
- (7) 路線については、伐木造材、集材、造林、保育等の作業に使用する林業機械等の種類、組合せ等に適合し、森林内での作業の効率性を高めるとともに、環境への影響に配慮した必要最低限の路網密度となるよう配置するものとする。
- (8) 造材、積込み、造林資材の荷卸、待避、駐車のためのスペース等の作業を安全かつ効率的に行うための土場等の平地や空間を適切に配置するものとする。
- (9) 希少な野生生物の生育又は生息が確認された場合は、路線計画や作設作業時期の変更等の必要な対策を検討し実施するものとする。
- (10) 間伐等の森林施業や森林作業道の作設に当たって森林法（昭和26年法律第249号。以下「法」という。）に基づく許可や届出（※）が必要となる場合がある。森林作業道の作設を円滑に実施するため、事業実施者は、あらかじめ都道府県や市町村の林務担当部局等に問い合わせ、必要な手続を確認するものとする。
※許可や届出の例

- ・ 林地開発許可（法第 10 条の 2）
- ・ 伐採及び伐採後の造林の届出（法第 10 条の 8）
- ・ 保安林における立木の伐採の許可（法第 34 条第 1 項）
- ・ 保安林における作業許可（法第 34 条第 2 項）

【解説】

①土質区分

森林作業道は土構造によることを基本しているため、作設にあたっては「土」の基本的な性質を理解しておく必要がある。土とは、岩石や火山噴出物が破碎、風化したものと定義される。土は、砂と粘土に代表される。一方、表土と一般にいわれているものは、土が有機物の分解などを通じて土壌化作用で変質したものである。

森林作業道の作設で用いる土は、礫、砂、粘土の混合したものであり、その土の性質は、それぞれの構成している成分の割合、密度、含水比により大きく変化する。したがって、森林作業道を作設するにあたっては、現場で用いる土の状態を見極め、転圧や切土を行う際に土の状態をよく観察する必要がある。なお、土の性質はその土を構成する要素のほか、地形との組合せにより様々な性質を示すことに注意する必要がある。

岩石が多く現れる場合は、切土や盛土材は、その岩石が持つ基本的な性質を引き継ぐことから、施工地でみられる岩石の種類、特徴をしっかりと確認しておく必要がある。その性質は、岩石の成因に由来する場合が多い。岩石の区分は、成因別に次のように区分される。

火成岩 マグマが冷えて固まった岩石

堆積岩 既存の岩石が風化・侵食されてできた礫・砂・泥、また火山灰や生物遺骸などの粒子（堆積物）が、海底・湖底などの水底または地表に堆積し、続成作用を受けてできた岩石。

変成岩 既存の岩石が変成作用を受けた岩石。変成岩の原岩は火成岩、堆積岩など種類は問わず、変成岩がさらに変成作用を受ける場合もある。

本解説においては、森林作業道の路体を構築する上での留意点を明確にするため、土質の成り立ちがわかるように、次のように礫分を含む土質を区分した。なお、厳密に区分すると「礫質」と「礫混ざり」では異なるが、森林作業道の作設においては、石分(75mm 以上)、礫分(2～75mm 未満)、砂分以下のもの(2mm 未満)が混ざり合い、単一な粒度で路体が構成されることはないことから、用語の簡略化を図るため「礫質」と「礫混ざり」は「礫質」で統一した。

本解説における礫質土の区分

区分	内容	日本統一土質分類法 における簡易分類名																	
火成岩質礫質土	マグマが冷えて固まった岩石を主体とする土質	<table><tr><th>簡易 分類名</th><th colspan="3">土質名</th></tr><tr><td rowspan="5">礫</td><td colspan="3">礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫</td></tr><tr><td>シルト 粘土 有機質土 火山灰</td><td rowspan="2">混り</td><td rowspan="2">礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫</td></tr><tr><td></td></tr><tr><td>礫質土</td><td>シルト 粘土 有機質土 火山灰</td><td rowspan="2">質</td><td rowspan="2">礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫</td></tr><tr><td></td></tr></table>	簡易 分類名	土質名			礫	礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫			シルト 粘土 有機質土 火山灰	混り	礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫		礫質土	シルト 粘土 有機質土 火山灰	質	礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫	
簡易 分類名	土質名																		
礫	礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫																		
	シルト 粘土 有機質土 火山灰		混り	礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫															
	礫質土	シルト 粘土 有機質土 火山灰	質	礫 粗礫 中礫 細礫 砂礫															
火山灰質礫質土	堆積岩のうち火山灰に由来する岩石を主体とする土質																		
堆積岩質礫質土	堆積岩のうち礫、砂、泥、生物の遺骸に由来する岩石を主体とする土質																		
変性岩質礫質土	変性岩を主体とする土質																		

成因による土の分類

成因	種類	特徴
風化残積土	まさ土 その他の山土	まさ土は、花崗岩の風化した残積土。西日本に広く分布する。砂質で粘性に乏しく、保水性がなく緑化が困難。表層での崩壊が多い。
運搬土	崖錐など	急斜面上の風化岩屑が崖下に落下して形成された堆積地形。角礫その他の大小の粒径が共存する崩土からなる。
堆積土	洪積層 沖積層	洪積層は丘陵地帯に分布する。比較的安定している。 沖積層は、平野部で水中堆積からできた固結が不十分な地質。
火山性堆積土	関東ローム しらす	関東地方に広く分布する、火山降下堆積物。粒子の細かい火山灰の堆積物で、こね返すと泥濘化する。 鹿児島県を中心とした南九州に広く分布する、火砕流堆積物。粒径は細砂からシルトの範囲で、粘着性はない。侵食に弱い。
植積土	泥炭 黒ボク	主として北海道に分布。植物の分解途上のもので、繊維質を含み、圧縮性大。火山灰や軽石を母材とする土。腐植に富み黒色で、ローム層上位の表土、黒土。

出典：森林総合研究所 森林作業道作設の手引き

掘削の難易による土の分類

名称	説明	適用	日本統一土質分類法による土の簡易分類との対比
礫まじり土	礫の混入があつて掘削時の能率が低下するもの。	礫の多い砂 礫の多い砂質土 礫の多い粘性土	礫[G] 礫質土{GF}
砂	バケットに山盛り形状になりにくいもの。	海岸砂丘の砂、まさ土	砂[S]
普通土	掘削が容易で、バケットなどに山盛り形状にしやす空隙の少ないもの。	砂質土、まさ土 粒度分布の良い砂 条件の良いローム	砂[S] 砂質土{SF} シルト[M]
粘性土	バケットに付着しやすく空隙の多い状態になりやすいもの、トラフィカビリティが問題となりやすいもの。	ローム 粘性土	シルト[M] 粘性土{C}
高含水比粘性土	バケットなどに付着しやすく特にトラフィカビリティが悪いもの。	条件の悪いローム 条件の悪い粘性土 火山灰質粘性土	シルト[M] 粘性土{C} 火山灰質粘性土{V} 有機質土{O}
有機質土	多くの有機質を含み、バケットなどに付着しやすく特にトラフィカビリティが著しく悪いもの。	黒ボク 泥炭	高有機質土{Pt}

トラフィカビリティ: 建設機械の走行性、作業性の良否を示す地表面の能力。コーン指数で示すことが多い。

出典: 日本道路協会 道路土工要綱(平成21年度版)P85に一部追記

岩石の成因別の区分

大分類	成因	産状	種類	森林作業道用語
岩石	火成岩	火山岩	流紋岩、安山岩、玄武岩、石英粗面岩	火成岩質礫質土
		半深成岩	石英斑岩、ひん岩、輝緑岩、花こう斑岩、粗粒玄武岩	
		深成岩	花こう岩、せん緑岩、はんれい岩	
	堆積岩	火山砕せつ	未固結 火山灰→火山礫	火山灰質礫質土
			固結 凝灰岩→集塊岩	
		水成砕せつ	未固結 泥、砂、礫	堆積岩質礫質土
			中間 泥岩、砂岩、礫岩、角礫岩	
		変成岩	固結 頁岩、硬砂岩	変成岩質礫質土
		広域変成作用	粘板岩、千枚岩、結晶片岩、片麻岩、蛇紋岩	
		圧砕変成作用	圧砕岩	

土工上注意を要する岩石(上表中赤字の岩)

流紋岩	流紋岩や石英面岩は一般に比重が軽く、扁平に割れる傾向を示す。風化物は細片状又は長石の多いものは粘土状態となる。
安山岩	安山岩や玄武岩は柱状又は板状の節理が発達し、切土の場合のり面の安定を損なうことがあるので注意を要する。また、風化すると粘土化し、土工上問題となることが多い。安山岩が変質した変朽安山岩は地山の状態では硬いが、いったん土工によって乱され、土砂化すると著しく性質は悪化し、トラフィカビリティーや盛土の安定に支障をきたすことが多い。
玄武岩	
ひん岩	ひん岩は岩脈として存在することが多く、一般に風化して暗緑色を示すことが多い。切取によってひん岩脈が弱層になって崩壊を起こすことがある。
花こう岩	花こう岩類は、風化して砂状(まさ土)になっている場合があり、また風化は一般に深部にまで及んでいる。一般にまさ土は締固めの効果がよく、盛土材として良好である場合が多いが、砂粒で雲母の多いまさ土は盛土材として不適な場合がある。切土の場合、まさ土は貧栄養であり、根が下方に張らない、侵食を起こしやすい等の理由から植生の侵入が困難なことがある。
火山灰	関東ロームやしらす等の火山灰は土工によって原岩組織を破壊すると著しく強度が低下する。切土のり面においても高さ10m程度までは直に切っても自立し、一見安定しているようにみえるが、乾裂による柱状の割れ目や流水による侵食等で安定を損なうことが多い。
凝灰岩	凝灰岩及び凝灰質岩石は固結が不十分な場合には表層剥離が起こりやすい。また、掘削時の新鮮な時は硬いが、土工による土地の悪化が著しく、また時には多量の膨潤粘性土を含んでおり切取によって地表に露出すると応力開放や含水によって粘土化し、大きな崩壊や地すべりを起こすことがある。凝灰質岩石を手軽に見分けるには、一般に凝灰質岩石は比重が軽いことから、手で持って軽いものは凝灰質とみてよい。
泥岩	泥岩は固結度も低く、強度も弱いことから、雨水と流水による侵食抵抗も弱く崩壊しやすい。また、切取によって表層剥離を起こしやすい。また、土工によって急速に細粒化しやすく、土性が悪化しトラフィカビリティーや盛土の安定性に支障をきたすことが多い。泥岩砂岩のように硬軟互層の場合は軟岩部の風化が進行し、軟岩部の崩壊が硬岩部を伴って大きく崩壊することがある。また、泥岩は泥岩砂岩互層地域は地すべり地が多いので、十分留意する必要がある。
礫岩	礫岩、特に第三紀以降の礫岩は礫とマトリックス(基質)との硬軟の差が著しく、食性(侵食の対する抵抗)が悪く、ガリ侵食や落石を起こしやすい。
粘板岩	粘板岩は層理や節理が発達し、特に断層や破砕帯の周辺では細片状に破砕され風化が進んで粘土状になっている場合が多い。このような箇所では割目や断層に沿ってすべりを起こしやすいので切り取りには注意が必要である。
片岩	片岩は異方性が高く、扁平に割れやすい性質を有し、特に黒色片岩や一部の緑色片岩は絹雲母や石墨、滑石等の滑材を含み、風化によって崩壊や岩盤地すべりを起こす傾向が強い。
蛇紋岩	蛇紋岩は吸水膨張する性質があり、切土による応力開放や浸水によって強度が低下したり、トンネルや擁壁においては高い土圧によって破壊することがある。蛇紋岩に限らず、緑色岩(特に輝緑凝灰岩)は蛇紋岩化作用によって一部蛇紋岩に変質している場合がある。

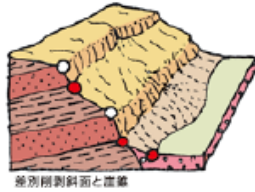
出典:日本道路協会 道路土工要綱(平成21年度版)P355～P358

「参照 P40②土質と切土勾配、P43②締固め、P53⑧土質別の盛土の注意点」

②地形の整理

予め地域の地形を把握しておくことは、耐久性のある森林作業道を作設していく上で不可欠である。地形を把握するためには、現地踏査、既存資料の収集、地形図の読図が必要である。わが国の地形は複雑であり、各地域でみられる地形・地質は、それぞれ特徴があることから、自分の施工地の地形・地質が何に区分されているのか、よく把握しておく必要がある。森林作業道を作設する上で注意する地形について代表的なものを示したが、地形区分は「成り立ち」「生い立ち」を理解することが大切である。

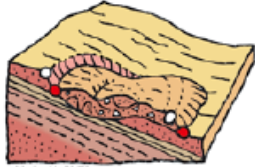
【崖錐】



差別傾斜面と崖錐



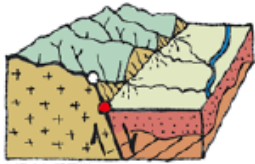
【地すべり】



地すべり地形



【断層】
(縦ずれ)



縦ずれ断層



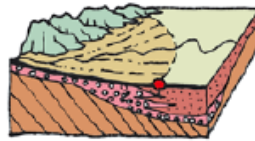
(横ずれ)



横ずれ断層



【扇状地】



扇状地・沖積扇



(建設系技術者のための地形図読図入門 第1巻より)

回避すべき地形

- ・^{がしやすい}崖錐：断崖絶壁のように切り立った急な山腹の下に、30° くらいの緩やかさで、上から落ちてきた岩の風化物などの堆積したところ。切土を行うと常に土砂が動くことから、土工事を行う場合、土砂の固定が困難な地形である。
- ・地すべり：地層界への地下水の影響、温泉などによる基盤岩層の変質、地質構造線が要因になることが多い。
- ・断層：地層や岩石の割れ目にそって、両側の地層や岩石がずれている部分をいう。断層運動により、地層あるいは岩石が粉々に砕かれた部分が一定の幅をもち、一定の方向に延びている場合、その部分を破砕帯という。幅数 cm の場合から数百 m の場合まである。大規模な断層には大規模な破砕帯を伴う場合が多く、このため、何々断層といわず何々破砕帯ということもある。破砕帯の岩石は強度が低いため、切土時にのり面の崩落が発生しやすい。
- ・^{せん}扇状地：沢が谷から急に広い平地のようなところに出た場合、沢が運んできた土砂が平地におおぎ状に吐き出されて堆積したところをいう。

③情報の整理

地形・地質等の情報は、インターネットを利用して取得できる。これらの情報を現地踏査に入る前の、図上計画及び現地踏査時の基礎資料とする。

- ・ 地図情報☞国土交通省国土地理院 <https://www.gsi.go.jp/tizu-kutyu.html>
- ・ 地形・地質☞国土交通省土地分類調査 <https://nlftp.mlit.go.jp/kokjo/inspect/inspect.html>
☞国立研究開発法人産業技術総合研究所
https://www.aist.go.jp/aist_j/researcher/repository/index.html

- ・ 気象統計☞国土交通省気象庁 <https://www.data.jma.go.jp/obd/stats/etrn/index.php>

- ・ 災害履歴等☞国立研究開発法人 防災科学技術研究所 <https://www.bosai.go.jp>

なお、1/5000 の森林基本図は、都道府県の林務担当部局で複写サービスを受けることができる。予め、該当地の地番まで含む住所を用意しておく。また、森林 GIS をインターネットにより公開している自治体もある。

④災害発生後の対応

震度 5 程度の地震を経験した地域では、地震発生時に山腹崩壊やのり面崩落が発生していなくても、そのときに発生した亀裂によって豪雨時に崩壊が発生しやすいことが事例として報告されている。(小山 敢、藤田 亮：鳥取県西部地震の影響が残る地域で発生した豪雨災害の特徴、林道 NO. 443 号、2008)

平成 12 年 10 月 6 日に発生した鳥取県西部地震(マグニチュード 7.3)により琴浦町は震度 5 弱にみまわれた。崩壊は張り出した尾根部において発生が多く、崩壊に至らなかったものの亀裂が形成された箇所が多かった。このとき発生した亀裂は、平成 19 年 9 月 4 日の豪雨時に崩壊につながったことが報告されている。

地震直後に崩壊が発生していなくても、亀裂が発生している場合があることから、地震後には林内及び森林作業道のクラックの有無について確認しておく必要がある。「参照 P25⑥地震後の排水計画」

似通った事例として風倒被害が発生した場合でも、数年後の豪雨により崩壊が発生した事例もある。(竹下 敬司、金 錫権：風倒木根系による土層攪乱と斜面崩壊、日本林学会論文集 105、1994)



沢沿いに作設すると、写真のように、出水時に森林作業道に水が流入し、路体が流失することがあるため、注意が必要である。

沢沿いに作設したことで森林作業道が流れてしまった事例

第2 個別の留意事項

1 傾斜に応じた幅員と作業システム

森林作業道については、土工量の縮減を通じて作設費用を抑制するとともに、土壌のかく乱を極力避けるため、地形に合わせた作業システムに対応する必要最小限の規格とする。ただし、林業機械等を用いた伐採、集材、造材等の作業の安全性及び作業性の確保の観点から、当該作業を行う区間に限って、必要最小限の余裕を付加することができる。付加する幅は、9～13トンクラスの機械（バケット容量0.45m³クラス）にあつては、0.5m程度とする。

作業システムに最も影響を与えるのは林地の傾斜であることから、おおよその傾斜区分ごとに、主に想定される作業システムを現行の林業機械等のベースマシンのクラス別に示し、これに対応する森林作業道の幅員を示す。

(1) 傾斜別林業機械等別の幅員

① 傾斜25°以下

比較的傾斜が緩やかであるため、切土又は盛土の移動土量を抑え、土構造を基本とする。

6～8トンクラスの機械（バケット容量0.2m³～0.25m³クラス）及び9～13トンクラスの機械（バケット容量0.45m³クラス）をベースマシンとした作業システムの場合は、幅員3.0mとする。

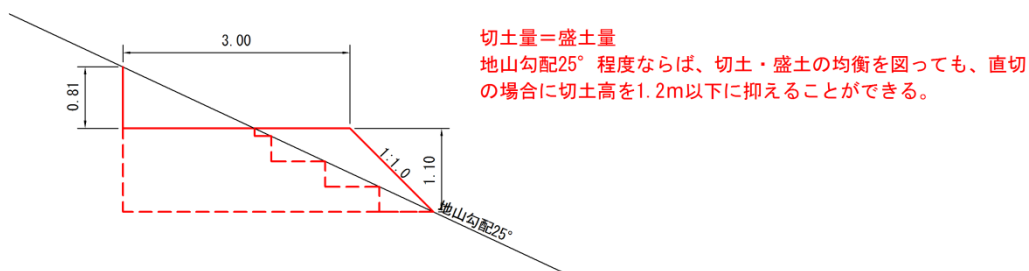
【解説】

(i) 25°以下の例

緩傾斜で施工する場合は、切土高が低くなりやすいため、腐植の発達する腐植層のほかに根系の発達するA₀層やA層が路面となりやすい。根系が発達しているような土層の部分は有機物の量が多く、十分な支持力が期待できない。また、火山灰質粘性土の箇所では路面が泥濘化（どろどろになること）しやすい。

このため、やや深い層までの掘削を行い根系の発達していない層の土と入れ替えることにより有機物を含まない路体としたり、滞水するような場合は敷砂利の施工を検討する。

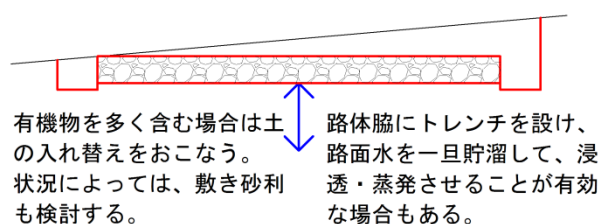
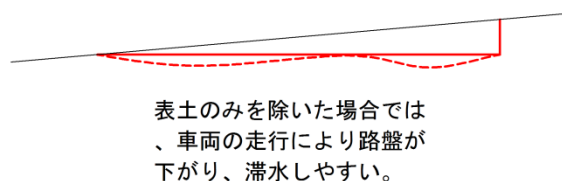
緩傾斜地の場合は、表土を浅く掘削するだけで、クローラ型の車両が走行可能となるものは作設できるが、このような形状のものでは、車両の走行により轍^{わだち}部が滞水しやすい。路面水が滞留する場合には、路面水を一旦貯溜して浸透・蒸発させるために路体脇にトレンチ（溝）を設けることが有効な場合がある。「参照 P43②締固め」



黒ボクが発達している箇所の路面の状況

「参照 P19①路網全体としての排水計画」

緩傾斜地の場合は有機質を多く含む表土部分の施工となりやすいため十分な支持力が期待できない路面となりやすい。このため写真のように排水が困難な両カットとなりやすく、1箇所へ雨水が集中しやすい。このような場合では、路面水を一旦貯溜して浸透・蒸発させるために路体脇にトレンチを設けることが有効な場合がある。



緩傾斜地における横断面形の一例

② 傾斜25～35°

中～急傾斜地であるため、切土又は盛土による移動土量がやや大きくなる。

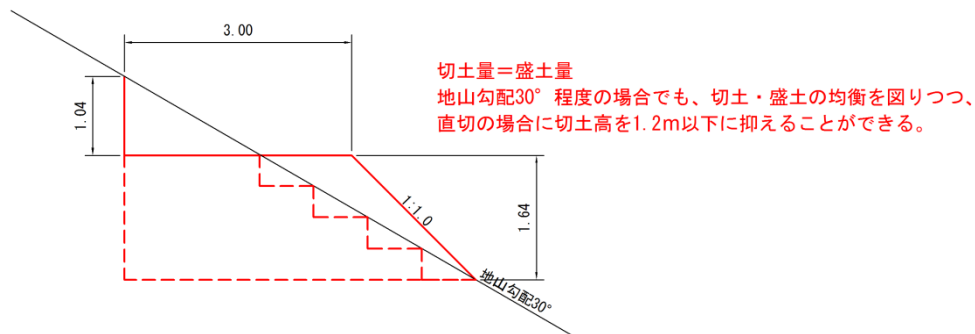
ア 6～8トンクラスの機械（バケット容量0.2m³～0.25m³クラス）をベースマシンとした作業システムの場合は、幅員3.0mとする。

イ 3～4トンクラスの機械（バケット容量0.2m³クラス以下）をベースマシンとした作業システム及び2トン積トラックが走行する場合は、幅2.5mとする。

【解説】

(i) 25° ～35° の例

中～急傾斜で施工する場合は、丸太組等の構造物を設けなくても、切土・盛土によって構築が可能である。ただし、透水性の悪い土質で盛土を行うと、盛土表面の侵食が発生しやすくなる。雨水の流下長を短くするために、やや山手側の切土断面を大きくしたり、丸太組工やふとんかご等の簡易構造物の設置を検討する。「参照 P43②締固め」



(ii) 丸太組工の留意点

丸太組は時間の経過とともに腐朽・劣化によって部材の強度が低下するものである。このため、丸太組を施工する場合には、以下のことを踏まえた維持管理の方法を検討する。

- 1) 通行の安全確認ができるよう丸太の腐朽・劣化の状況が確認できる使用形態とすること
- 2) 丸太が腐朽・劣化し使用に耐えられない場合は、容易に付け替えや補強ができるよう積み上げ段数を低くすること



丸太組工の壁面背部は、土砂の抜け落ちに注意して施工しなければならない。一旦、土砂が流亡をはじめると、路体にまで影響を及ぼし、路体流出につながる。

背面から土砂が流亡した一例



丸太の密着性、盛土材の粒度を考慮して、雨水等による土砂の流亡が生じないように、石礫を利用するなどして流亡防止に留意し、丁寧に施工する。

丸太組工前面に石礫を利用した一例

「参照 P54⑨路肩の強化、P59①丸太組工に対する荷重の影響の一例」

③ 傾斜 35° 以上

急傾斜地であるため、丸太組等の構造物を計画しないと作設が困難である。

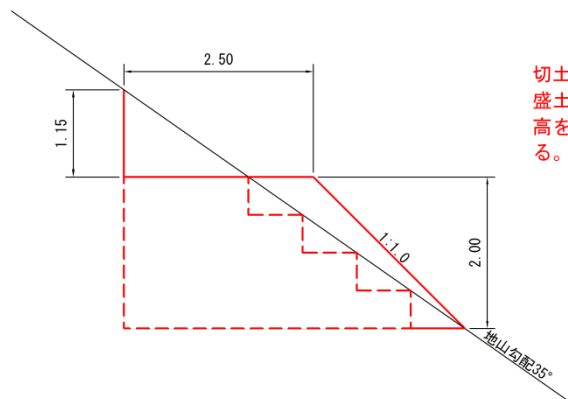
経済性を失う場合又は環境面及び安全面での対応が困難な場合は、林道とタワーヤード等の組合せによる架線集材を行うものとする。

なお、森林作業道の作設を選択する場合には、3～4トンクラス（バケット容量 0.2 m³クラス以下）をベースマシンとした作業システム及び2トン積トラックの走行に限られるものと想定され、幅員 2.5 mとする。

【解説】

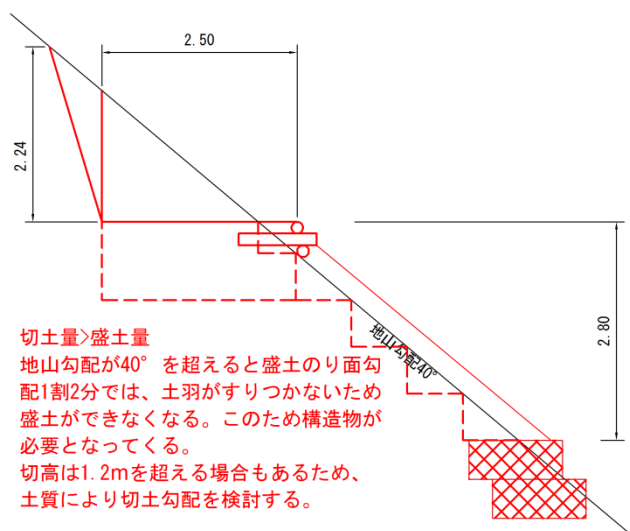
(i) 35° 以上の例

急傾斜地で盛土を施工する場合は、盛土厚が薄く、盛土高が高くなるため、丸太組工やふとんかご等の簡易構造物の設置を検討する。「参照 P43②締固め」



切土量>盛土量

盛土のり面勾配を1割とすると、地山勾配35°の場合では、盛土高を2.0m以内に抑えるためには、山側に少し切り込むこととなる。

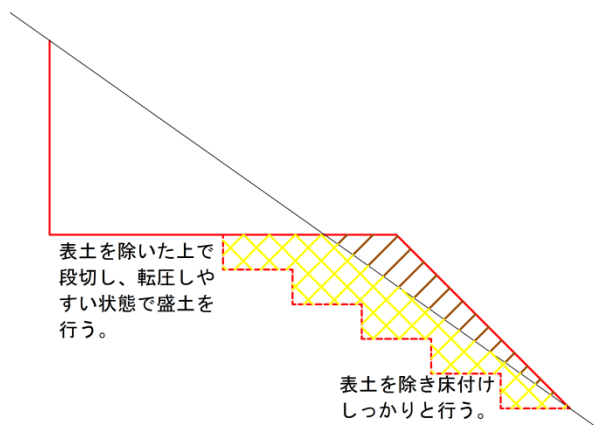


(ii) 急傾斜地における作設作業の留意点

急勾配箇所では盛土を施工する場合は、盛土厚が薄くなるため盛土の締固めが不足しやすい。このような箇所では盛土を行う場合は、表土を除き、段切を行いかつ盛土土羽尻部の床均しをしっかりと行う。



締固め不足による盛土の沈下「参照 P43②締固め」



地山勾配が 35° を超えると1割の盛土勾配としても、^{すり}摺付の関係から、盛土厚が薄くなり、締固めが不足しやすい。このため、床付部をしっかりと確保したうえで、段切により転圧しやすい状態で施工する必要がある。

(2) 幅員設定における留意事項

森林作業道の幅員については、必要最小限の規格で設定するものであることを踏まえ、走行する林業機械及びトラックの規格に応じて安全性に配慮しつつ、林地の保護等のため必要な場合には2.0m程度の幅員設定も含め、検討するものとする。

2 縦断勾配

(1) 縦断勾配の基本

縦断勾配については、集材又は苗木等の運搬作業を行う林業機械等が木材等を積載し、安全に上り走行及び下り走行ができるとともに、波形勾配による分散排水が行えることを基本として計画する。

このため、集材又は苗木等の運搬作業を行う林業機械等の自重、木材等積載時の荷重バランス、エンジン出力等のほか、路面の固さ、土質による滑りやすさ、勾配が急になるほど波形勾配を設けにくく路面侵食も起きやすくなること等を考慮して計画するものとする。

縦断勾配、地形、地質、土質、気象条件等から、路面侵食の発生、林業機械等の走行に危険が予想される場合は、コンクリート路面工等を施すとともに、周辺が水分を含むと滑りやすい粘土質の赤土等である場合又はコケ等の付着、積雪寒冷地における路面の凍結等が予想される場合は、コンクリート路面工等の表面に箒掃きによる滑止めを施すなどの工夫をするものとする。

(2) 縦断勾配設定における留意事項

縦断勾配については、岩や良く締まった礫質土であるなど現地条件が良い場合にあっては概ね 10° （18%）以下とし、土地の制約等からやむを得ない場合にあっては短区間に限り概ね 14° （25%）程度とし、敷砂利等の簡易な路盤工により侵食を抑えるものとする。

他方、火山灰、軽石、スコリア、マサ土、粘性土の土質、崖すい地帯など現地条件が悪い場合には、路面等の侵食、路体崩壊の発生防止及び走行の安全性を考慮して、縦断勾配を上記より緩勾配とする。

また、2トン積トラックの走行を想定する森林作業道においても、自動車は林業機械に比べて走行速度が速いこと、制動距離が長いこと等を考慮し、走行の安全性の観点から縦断勾配を緩勾配とする。

なお、森林施業を行う区域内のみでは、路面侵食の防止措置を要する区間が長くなる、2トン積トラックの安全な走行が確保できなくなる等の場合には、縦断勾配を緩勾配とするため、当該区域に隣接する森林の所有者等との調整を行った上で経由区間を設けるよう努めるものとする。

(3) 曲線部及び曲線部の前後の区間の縦断勾配

急勾配区間と曲線部の組合せは極力避けるものとし、やむを得ない場合は、曲線部を拡幅するなど通行の安全を確保するものとする。また、木材等を積載した林業機械等の下り走行時の走行の安全を確保する観点から、S字カーブを連続して設けないようにし、カーブ間に直線部を設けるものとする。

ただし、地形、地質、土質、気象条件からそのような組合せを確保できない場合は、当該箇所での減速を義務付けるなど運転者の注意を喚起するものとする。

【解説】

①注意する土質

粘土質の土質は、もともと水分が高いため、切土を行った際に触てみると、手に水分が残る感じがする。礫質土は、粘性土と比較すると水分が低いが、クローラにより細かく破碎されるような泥岩や砂岩の場合は、雨天時に施工すると泥濘化したり路面の透水性が低くなったりする場合があることから、施工中のクローラによる礫の破碎状況を観察することが重要である。このような性質の礫は、礫の表面に爪で傷をつけられる程度の軟らかさのものである。



砂岩や泥岩が破碎されると、細かな礫・砂となり、粒径の大きな礫と礫の間が埋められ、粒度分布がよくなることから支持力の高い路面となる。一方、細かな岩屑や粘性土で路面が緻密な状態となるため、透水性が低下し、侵食を受けやすくなるため、横断排水施設の設置間隔に注意する必要がある。

クローラにより破碎された砂岩が混ざった路面

「参照 P24⑤土の透水性、P28⑨侵食を受けやすい土質」

また、コケなどの付着が予想されるような箇所とは、日光の当たりづらい北斜面や日影となりやすい川手側の路肩である。特に透水性の悪い路肩では、コケが発生しやすい。

②急勾配箇所の日常管理

森林作業道は事業地への到達を考えて、やむを得ず急な縦断勾配を採用する場合がある。急な縦断勾配では、路面水の流速が早くなることから、緩勾配の箇所と比較すると侵食を受けやすい条件下にある。したがって、路面水を短距離で排水するほか、継続的に施業を実施しない場合は、

枝条材を利用して路面を被覆することで路面侵食の防止が図られる場合がある。ただし、枝条材で路面を覆った場合は、捕捉された土砂の影響により排水不良となりやすい場合もあるため、路面の状態をよく確認する必要がある。



急勾配であるが侵食の発生していない路面

急な縦断勾配の箇所では、路面水を短距離で排除することのほか、供用しない時期は左の写真のように路面を枝条材などで被覆することにより、土砂の移動を防止したり、雨滴衝撃が緩和される場合がある。



スギの葉による侵食抑止効果がみられた路面

スギの場合、落枝が自然に発生し、落葉はバラバラになりにくいいため、路面堆積したそれらの効果により侵食が抑止されている場合がある。一方、ヒノキの落葉は鱗片状になるため、侵食抑止効果はスギと比べると低い。



丸太により路面を保護している事例

③通行量の多い箇所等の注意

縦断勾配が緩い箇所であっても、水が集まりやすい谷地形の場所や、林業機械等の通行量が多く、^{わだち}轍等がしやすい取付口付近などでは、路面洗掘が起こりやすくなることから、排水施設の配置に留意したり、締固めを入念に行う必要がある。

「参照 P19①路網全体としての排水計画」



路面洗掘の事例

3 排水施設

森林作業道を安定した状態で維持し、継続的に利用できるようにするためには、適切な排水処理を行うことが重要である。

土構造を基本とする森林作業道では、原則として路面の横断勾配を水平にした上で、縦断勾配を可能な限り緩やかにし、かつ、波形勾配を利用することにより、こまめな分散排水を行うものとする。ただし、これによることが困難な場合又は地下水の湧出、地形的な条件による地表水の局所的な流入若しくは滞水がある場合は、状況に適した排水施設を設置するものとする。

このほか、以下の点に留意するものとする。

- (1) 排水施設については、路面の縦断勾配、当該区間の延長及び区間に係る集水区域の広がり、溪流横断の有無等を考慮して、路面水がまとまった流量とならない間隔で設置するものとする。
- (2) 横断排水施設やカーブを利用して分散排水するものとする。
排水が集中するような場合は、安全に排水できる箇所（安定した尾根部や常水のある沢等）をあらかじめ決めておくものとし、排水先に適した箇所がない場所では、側溝等により導水するものとする。
- (3) 排水溝を設置する場合は、維持管理を考慮し、原則として開きよとする。
- (4) 小溪流の横断については、原則として洗い越し施工とし、丸太や岩石、コンクリートを用いるものとする。洗い越しについては、路面に比べ低い通水面を設けることで、流水の路面への流出を避けるようにする。通水面については、一箇所に流水が集中して流速が高まることのないよう水が薄く流れるように設計し、洗い越しの侵食を防止するものとする。
- (5) 洗い越しの上流部及び下流部に流速を抑えるための水溜を設けるダム工については、渦や落差による侵食を引き起こさないように留意しながら、現場の状況、施工地の降雨量及び降雨特性等を勘案の上、設置するものとする。
- (6) 丸太を利用した開きよやゴム板などを利用した横断排水施設を設置する場合は、走行する林業機械等の重量や足回りを考慮するものとする。
- (7) 曲線部に雨水が流入しないよう曲線部上部入口手前で排水するものとする。
- (8) 地下水の湧出、地形的な条件による地表水の局所的な流入又は滞水がある場合は、大雨時の状況も想定した上で、適切な形状及び間隔で側溝や横断排水施設を設置し排水するものとする。
- (9) コンクリート路面工等を設ける場合は、地山とコンクリート路面工等の境界における侵食と路面水の長い区間の流下を避けるため、横断排水施設を設置するものとする。
- (10) 横断排水施設の排水先には、路体の決壊を防止するため、岩や石で水たたきを設置する、植生マットで覆う等の処理を行うものとする。

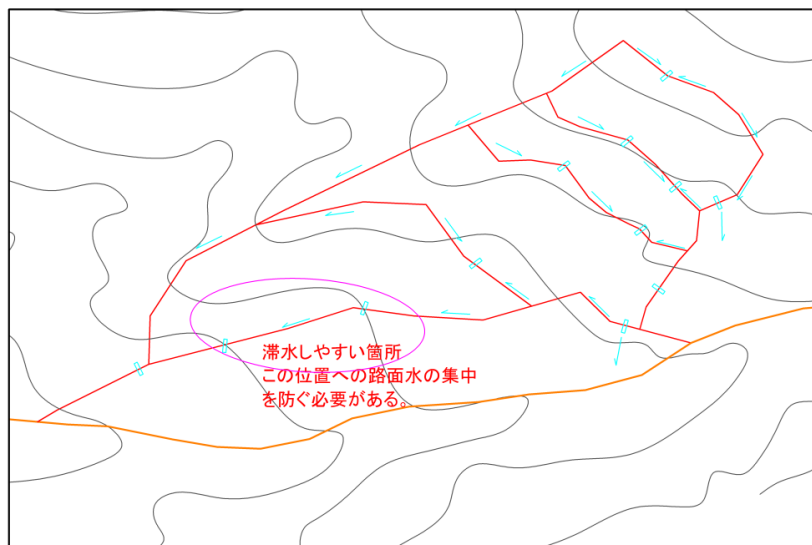
- (11) 水平区間など危険のない場所で、横断勾配の谷側をわずかに低くする排水方法を採用する場合は、必要に応じて丸太等による路肩侵食保護工や、植生マット等による盛土のり面の保護措置をとるものとする。なお、木材等の積載時の下り走行におけるブレーキの故障及び雨天又は凍結時のスリップによる転落事故を防止するため、カーブの谷側を低くすることは避けるものとする。

【解説】

①路網全体としての排水計画

森林作業道は事業地内を 100m/ha を超える路網密度で作設する場合は、斜面上部の路線で排水したものが、下方の路線に集中して流れ込む場合がある。常水のある沢に導水する場合は、下方の路線に流れ込むことはないが、細かく横断排水施設を設けた場合には、下方の路線に雨水が集中し、路体が泥濘化する場合があるため、路網全体の排水の流れを把握し、分散排水ができるよう計画する必要がある。「参照 P9 (i) 25° 以下の例」

なお、350m/ha 以上の集材路開設は、集材方法、集材距離および配置形態の面からみて効果が小さいと考えられることが示されている。(生駒 直、齋藤 仁志、立川 史郎：車両系皆伐作業における集材路の実態把握、森林利用学会誌 37(1)、2022)



路面水の1箇所集中の検討例

例では全体が集水地形であるため、細かく排水しなければ、1箇所に滞水しやすい。



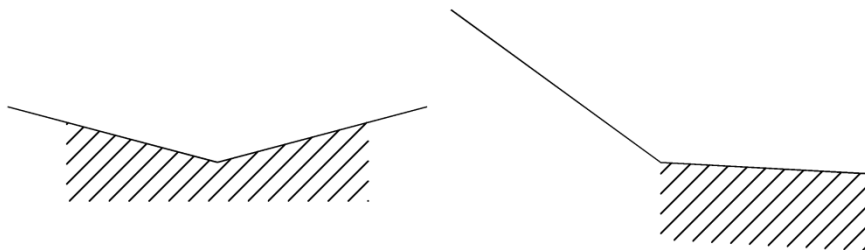
路網の最下部に路面水が集中した状況である。地形がゆるい場合は、側溝を設けて、路面部に雨水が流入しないようにする必要がある。側溝を併設する場合には、その最終処理先を作設前に決定しておく必要がある。



地形が平坦な場合は、路面水を横断排水しようとしても、滞留しやすい。路面上に水が滞留すると盛土の安定が損なわれるため、写真のようにトレンチを掘り、横断排水する水を一旦滞留させて、縦断勾配を利用して、徐々に排水することも対策の1つである。

②滞水しやすい箇所と土の強度

沢部において縦断勾配をV型にした場合や、勾配変化点が透水性の悪い土質の場合は、盛土材の含水比が常に高い状態となりやすいことから、排水溝を設けるなどして、盛土内部の滞水を防ぐ必要がある。「参照 P41④滞留水の抑制、P28⑩維持管理」



土砂の堆積や雨水の滞留が発生しやすいため、路盤の盛土内部の浸透水の積極的な排水が大切である。

箇所によるCBRの違い

種別	地区名	滞水箇所 (CBR値:%)	非滞水箇所 (CBR値:%)	備考
敷砂利	静岡県浜松市	－	48.4	林道
締固め後の路床	北海道旭川市	－	16.2	火山灰質粘性土
火山灰質粘性土	北海道旭川市	3.2	7.0	
火山灰質粘性土	青森県十和田市	1.3	8.0	
火山灰質粘性土	山形県酒田市	2.6	8.5	
火山灰質粘性土	新潟県魚沼市	0.1	6.5	
火山灰質粘性土+火山岩	北海道名寄市	1.0	7.1	
火山灰質粘性土+火山岩	北海道下川町	1.9	11.8	
火山灰質粘性土+火山岩	熊本県芦北町	6.9	22.9	
火山灰質粘性土+貫入岩	福島県いわき市	6.0	16.7	
火山灰質粘性土(黒ボク)	岩手県盛岡市	1.0	6.8	
火山灰質粘性土(関東ローム)	群馬県沼田市	3.2	8.8	
火山灰質粘性土(関東ローム)+砂岩	東京都多摩地区	2.6	20.1	
火成岩質礫質土(流紋岩)	岐阜県東白川村	3.7	20.1	
火成岩質礫質土(流紋岩)	福井県大野市	2.8	13.1	
火成岩質礫質土(玄武岩)	滋賀県長浜市	7.9	17.6	
火成岩質礫質土(流紋岩)	島根県津和野町	4.7	15.1	
火山灰質礫質土	岡山県新見市	2.0	14.3	
火山灰質礫質土	秋田県能代市	3.7	9.9	
堆積岩質礫質土(砂岩)	埼玉県秩父市	8.0	22.9	
堆積岩質礫質土(砂岩)	富山県富山市	2.1	15.5	
堆積岩質礫質土(砂岩)	静岡県浜松市	6.8	34.7	
堆積岩質礫質土(砂岩)	長野県中信地区	4.1	29.4	
堆積岩質礫質土(砂岩)	和歌山県日高川町	8.3	20.1	
堆積岩質礫質土(砂岩)	高知県土佐清水市	6.2	29.2	
堆積岩質礫質土(砂岩)	宮崎県木城町	12.8	24.7	
変成岩質礫質土(緑色片岩)	長野県伊那市	16.2	34.1	
変成岩質礫質土(緑色片岩)	愛媛県久万高原町	3.6	16.5	
まさ土(粘性)	愛知県豊田市	0.2	3.2	
まさ土(硬質)	兵庫県朝来市	16.4	24.4	
まさ土(砂質)	鳥取県日野町	10.6	20.0	
まさ土(粘性)	佐賀県佐賀市	1.8	19.0	

滞水箇所と非滞水箇所では、同じ土質でも路面支持力に大きな違いが生じる(上表)。路面に足跡が残るような路面では、十分な支持力が期待できない。このように土砂が堆積しているような箇所では、締固めは困難であることから、路面の入れ替えや石礫が入手できる場合は、路面への敷き並べを検討する。



路面に堆積した軟弱な土砂

まさ土のように地表に露出すると風化が進みやすい土質では、土砂の流下・堆積が生じ、路体の強度が低下しやすい。切土のり面からの崩土は、速やかに敷き均して、土砂の堆積の集中を防ぐ必要がある。



排水施設への現地発生材の利用例

現地で石礫が入手できる場合は、集水部分に石礫を集めて、路体強度の低下を防ぐとよい。写真は流水部だけであるが、この前後の路体も痛みやすいため、石礫を敷設しておくとい。



路面への現地発生材の利用例

堆積岩質礫質土の箇所であるが、一旦掘削した礫は細かく破碎され、手で割ることもできるものである。雨天時は細かく破碎された泥岩質のものにより泥濘化するため、近傍の事業地から堅硬な礫を敷き詰め、路面を強化した事例である。



購入した割栗石の利用例



滞水の発生状況の例

③外カーブの進入口

外カーブの場合、道路横断勾配が水平であっても、縦断勾配の関係から、雨水の流下方向が変化せずに流れやすい。このため盛土箇所では、外カーブの開始位置に簡易な横断排水施設を計画する。



外カーブの流水の一例

路面水はカーブ中に流れこまないでカーブの入り口部で流下しやすい。このため、当初から横断排水施設を設置し、流末部を保護する必要がある。写真のように、やむを得ず盛土に路面水が流下する場合は、盛土のり面に土のう等を利用した侵食防止施設を設けて、のり面を保護する。



外カーブに流れ込んだ水による路肩崩壊の例

④外カーブにおける排水上の留意点

外カーブにおける排水は尾根部における排水となることから、川手側に勾配を付ける場合がある。冬期に路面が凍結するような地域においては、川手側の片勾配は車両の転落につながるおそれがあることから、導水は縦断勾配と横断排水施設により対応する。

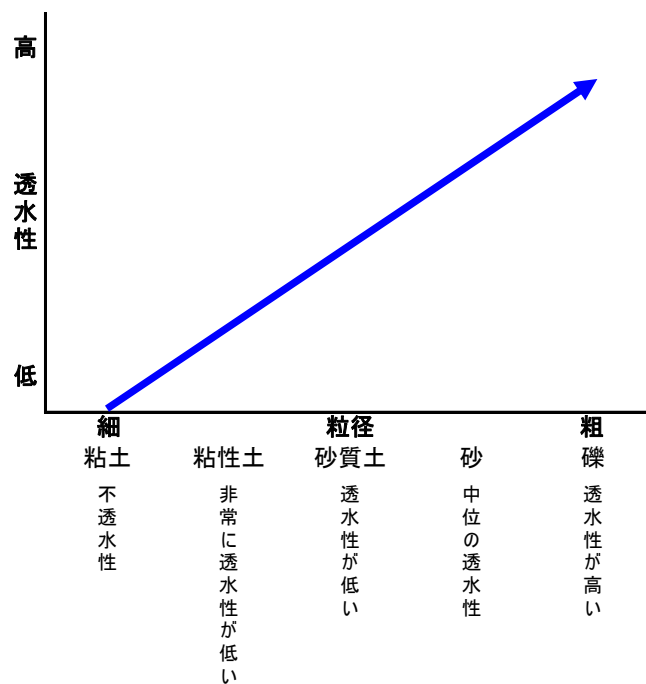
⑤土の透水性

路盤及び盛土のり面における侵食の発生は、路盤材及び盛土材の透水性の大小により変化する。路盤材、盛土材ともに、均一の土質で造成されることは少ないが、土質別の透水性の概略は次のとおりである。「参照 P15①注意する土質、P28⑨侵食を受けやすい土質」



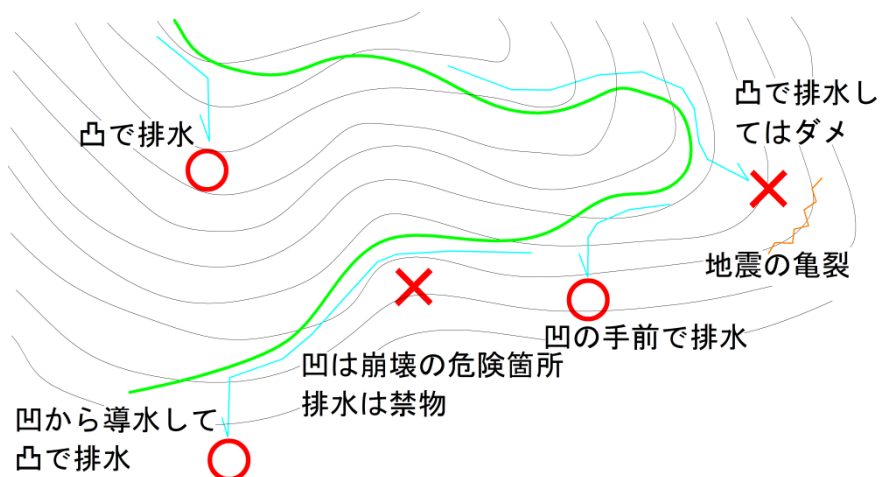
侵食を受けやすい土質の場合は、僅かな流路延長であっても、侵食が発生する。このような箇所では、短い間隔で路面水を処理し、しっかりと流末まで導水することが必要である。また、盛土部は、のり面の長さを短くしたり、路肩部を高盛土にすることを検討する。

容易に侵食される粘性土とまさ土の混合土の状態



⑥地震後の排水計画

震度 5 弱以上の地震が近年生じた地域では、森林作業道で推奨されている凸地形への排水について、現地確認により亀裂の有無をよく把握してから実施する。「参照 P8④災害発生後の対応」



(小山 敢、藤田 亮：鳥取県西部地震の影響が残る地域で発生した豪雨災害の特徴、林道 N0443、2008)

⑦片勾配

縦断勾配が急な場合は、路面の侵食が発生しやすく、一度路面の侵食が発生すると、雨水が 1 箇所に集中し、路肩欠損につながりやすい。このため、直線区間では、川手側に勾配をつけて、路面全体で雨水を排水し、1 箇所に水が集中しないようにする。

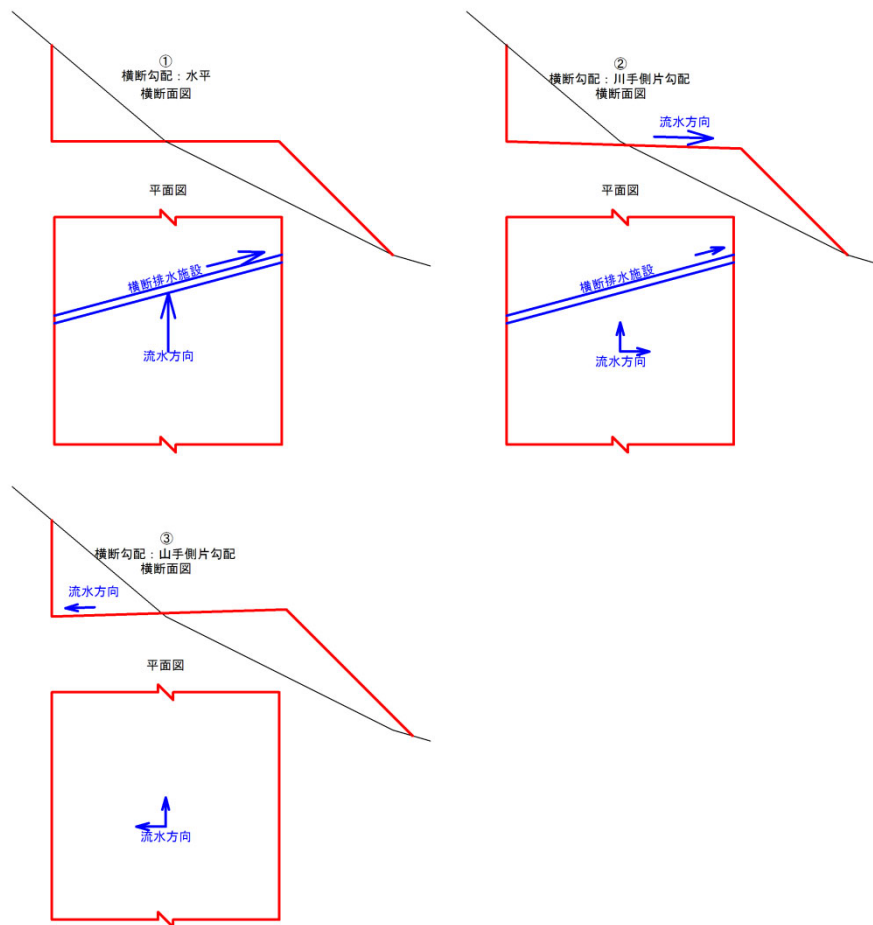


川手側に勾配をつけた例

横断勾配は排水のために設けるものであることから、平面線形、縦断勾配、集水面積、地域の雨量を考えて決定する必要がある。また、冬期に路面が凍結するような地域では、川手側の片勾配や洗越工は、凍結によるスリップの可能性が高く、車両の安全な走行が確保できないことから、冬期の施業の有無も考慮して排水計画を立てる必要がある。

横断勾配の種別による利点と欠点

横断勾配の種別	利点	欠点	備考
①水平	施工が容易である。 車両の安全な走行に問題ない。	横断排水施設へ路面水が集中する。 縦断勾配が緩い場合、路面に滞水しやすい。	
②川手側片勾配	流水方向は川手側が主体となり、縦断勾配によっては、一部路面上を流下するため、1箇所への路面水の集中を抑制できる。 沢部における排水が容易である。	曲線では逆勾配となるため、材の積載時に車両が転倒しやすいことから、直線区間のみに採用できる。 冬期に路面が凍結する地域では、スリップしやすい。	接地圧の低いクローラタイプよりも、接地圧の高いホイールタイプを利用する場合に適している。
③山手側片勾配	流水方向は山手側が主体となり、縦断勾配によっては、一部路面上を流下するため、1箇所への路面水の集中を抑制できる。	長い区間を設けると山手側が侵食を受けやすい。 過度に片勾配をつけると、材の積載時に車両が転倒しやすい。 冬期に路面が凍結する地域では、スリップしやすい。	接地圧の低いクローラタイプよりも、接地圧の高いホイールタイプを利用する場合に適している。



横断勾配の種別

⑧設置間隔

横断溝の設置間隔を短くしても、路面水を横断溝の溝部に流れ込ませ流末まで誘導しなければ排水施設以外の箇所を路面水が流れるため、盛土のり面や路肩に侵食が発生しやすくなる。導水を的確に行うためには、路肩部に丸太や土のうを設置して盛土のり面に路面水が直接流れ込まないように横断溝に導水したり、路面の横断勾配をつけないように施工して、路面に平均に水が流れるようにする必要がある。土質によっては侵食が一度発生すると、加速度的に進む場合があることから、侵食防止策を早期に行う必要がある。



設置間隔 10m 程度であるが、盛土のり面に侵食が発生した事例

⑨侵食を受けやすい土質

まさ土、山砂、しらす等の砂又は砂質系の材料は、一般に粘着性に乏しいため侵食が発生しやすい。また、透水性が低い粘性土、粘土の場合は、路面の雨水浸透が少ないため、侵食が発生しやすい。まさ土の場合は、まさ土単体であると透水性は高いが、粘性土が混ざると透水性が低下し、侵食を受けやすい。「参照 P15①注意する土質、P24⑤土の透水性」



山側が深く侵食を受けた事例(まさ土)

⑩維持管理

間伐等が完了し、しばらく森林作業道を使用しない場合は、流水による路面侵食を防止するために、素掘りの横断溝を設けて、短距離で路面水を排除しておく例がみられる。「参照 P20②滞水しやすい箇所と土の強度、P41④滞留水の抑制」

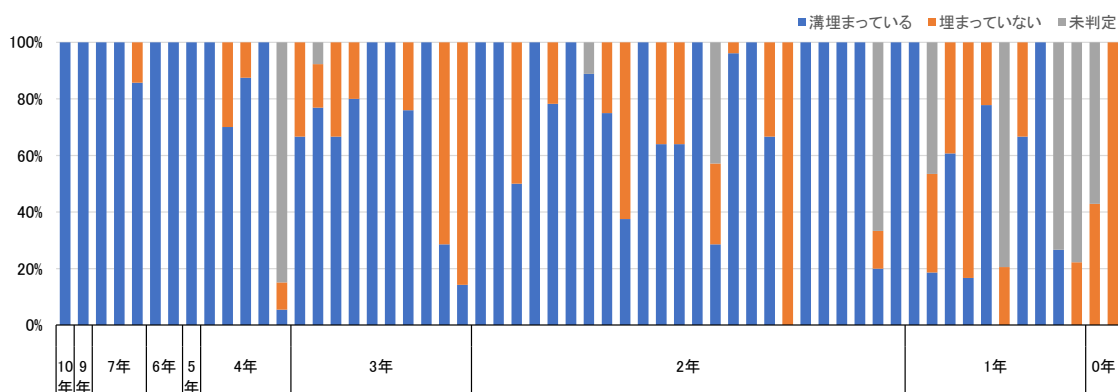


素掘りによる横断溝



路面水が集中しやすい箇所は路面が軟弱となりやすい。写真の現場では、集中しやすい箇所への路面水の流入量を低下させるため、素掘りの横断溝を集中箇所の手前に設置している。運材時は車両の走行の妨げとなるため設けないが、その後の維持管理を考えて工夫した一例である。

集水箇所手前に設置された横断溝



横断溝の土砂堆積状況と経過年数の一例

作設後の経過年数が多い路線で、土砂で埋まっている横断溝が多い傾向が見られた。特に作設後4年以上経過した路線では、横断溝の60～100%で土砂堆積が確認されている。

⑪ 流末の保護

横断排水施設の吐け口側は、流末を処理する必要がある。流末処理を誤ると盛土部や林地の侵食が発生する。また、やむなく盛土箇所に横断排水施設を設ける場合は、盛土部には必ず導水するための施設を設ける必要がある。流末処理には、現地で発生した石礫のほかに、土のう、根株、丸太の利用例がある。



盛土部に導水施設を設けない場合、盛土のり面が侵食を受けていく。土のうを利用するなどして、盛土部分の侵食防止施設を設けなければ、侵食が拡大し路体が欠損する場合がある。



丸太利用の洗越工の流末部であるが、流末部の水叩き工が設置されていないため、内部の土砂流出が始まっている。土砂の抜け落ちが内容に現地発生材の石礫を利用したり、入手できない場合は丸太を利用するなどして土砂の抜け落ちの防止及び洗掘を防止する必要がある。

4 切土・盛土

森林作業道は、締固めを十分に行った堅固な土構造による路体とすることを基本とする。

締固めの効果は、

- ・ 荷重が載ったときの沈下を少なくすること
- ・ 雨水の浸透を防ぎ土地の軟化や膨張を防ぐこと

- ・ 土粒子のかみ合わせを高め、土構造物に強さを与えること

などにあることを十分理解し、林業機械等が安全に通行できる路体支持力が得られるよう施工するものとする。

また、切土又は盛土の量を抑えるために、幅員や土場等の広さは作業の安全を確保できる必要最小限のものとし、切土又は盛土の量を調整するなど原則として残土処理が発生しないようにするものとする。やむを得ず残土が発生しそれを処理する場合には、宅地造成及び特定盛土等規制法（昭和 36 年法律第 191 号）をはじめとする各種法令に則して適切に処分するものとする。

(1) 切土

切土については、事業現場の地山の地形、地質、土質、気象条件、林業機械等の作業に必要となる空間などを考慮しつつ、発生土量の抑制と切土のり面の安定が図られるよう適切に行うものとする。

切土高は傾斜が急になるほど高くなるが、ヘアピンカーブの入口など局所的に 1. 5 m を超えざるを得ない場合を除き、切土のり面の安定や機械の旋回を考慮し 1. 5 m 程度以内とすることとし、高い切土が連続しないようにすることが望ましい。

切土のり面勾配については、よく締まった崩れにくい土砂の場合は 6 分、風化の進度又は節理の発達の違い岩石の場合は 3 分を標準とし、地形、地質、土質、気象条件等の条件に応じて切土のり面勾配を調整するものとする。

なお、土質が、岩石であるときや土砂であっても切土高が 1. 2 m 程度以内であるときは、直切が可能な場合があり、土質を踏まえ検討するものとする。

崖すいでは切土高が 1 m でも崩れる一方、シラスでは直切が安定するなどの例もあり、直切の可否は土質、近傍の現場の状況等を基に判断するものとする。

【解説】

①土質別の切土の特徴

火山灰質粘性土の場合であって、のり面が均一な材料で構成される場合には、その粘着力により垂直に近い勾配でも安定する。一方、不均質な材料で構成される場合には、のり面に露出する石礫の抜け落ちが発生しやすいことから、切土のり面を緩くしたほうが崩落土を抑制することができる。（土質別の盛土の特性は P53 参照）



火山灰質粘性土の切土のり面

火山灰質粘性土の切土のり面は少しずつ風化し、のり尻に崩落土が堆積する。豪雪地の場合は、道路全体が雪によりカバーされることから凍上融解が発生しないため、南斜面でものり頭にオーバーハングは発生しない。写真は経過年数１年程度のもの。



火山灰質粘性土内の火山岩

火山灰質粘性土の地域では、火山岩が露出することが多い。火山岩の性質は、地域により異なり、固結の程度により破砕が簡単なものから、緻密・堅硬なものがある。一旦露出すると抜け落ちが発生しやすくなることから、切高を抑えたり、切土勾配を緩くする必要がある。写真は経過年数１年程度のもの。



均一かつ緻密な火山灰質粘性土の切土のり面

礫が混入しない均一かつ緻密な切土のり面では、崩土がほとんど発生しない場合もあり、作設時の切土勾配が維持されている。作設時に切土のり面の緻密さ及び硬さを触診し、指で押し込んでも指がめり込んでいかなような硬さであると、状態が維持されやすい。写真は経過年数２年程度のもの。



軽石状の火山噴出物の出現

火山灰質粘性土の地域では、軽石状の火山噴出物が露出することがある。このような土質のところでは、常に崩落土砂が発生することから、切土高を抑えたり、切土勾配を緩くする必要がある。また、これらの土質は単一のもので路体を構築せずに、他の土質のものと混ぜることが必要である。写真は経過年数1年程度のもの。



直切で施工したロームの切土のり面

ロームのように切土のり面の構成部材が一様である場合は、垂直に切り上げて安定している。ただし、表面の風化により徐々に勾配が緩くなり 70～80° 程度の勾配になる場合が多い。写真は経過年数0年のもの。



火山灰質粘性土の礫の出現

火山灰質粘性土の施工地であっても火山噴出物の石礫が出現することがある。これらの石礫が出現した場合には、粘性土しか出現しないところに運搬・利用したり、排水施設の流路や流末への利用を検討したほうがよい。写真は経過年数2年程度のもの。



風化したまさ土ののり尻の堆積物

まさ土は一般に粘着力が低いことから、粒子同士の結合力が弱い。このため、地表に露出すると風化が進みのり面下方に堆積しやすい。これらの堆積物は流下・堆積し、路面を軟弱化させるため、早期に除去する必要がある。写真は経過年数 5 年程度のもの。



粘性の高いまさ土

まさ土は石英や粘土鉱物である長石等の含有量によっては粘性土と見える場合がある。粘性が高いまさ土の場合であり均一な地山の場合では、比較的崩落土が少なく、切土勾配を急にしても、切土時の勾配が維持されやすい。写真は経過年数 2 年程度のもの。



固結の程度が高いまさ土

まさ土は花崗岩類の風化土である。風化の程度によって固結の程度が異なる。固結したものもあり、上の写真のまさ土よりも粘着力が少ない。一旦破碎されると細かい礫及び砂となりやすい。写真は経過年数 15 年程度のもの。



火成岩質礫質土(流紋岩)の切土のり面

火成岩帯では一部火成岩が露出し、その周囲は火山降下物が堆積していることが多い。褶曲活動により岩体が岩塊化している場合もあり、そのような場合は抜け落ちが発生する場合もある。特に切土高が高い場合は、作業時に危険であることから、施工の段階で岩塊を排除し、のり面勾配を緩くしておく必要がある。のり面上方にみえる礫は過去の土石流により移動してきたものであり、そのような沢の周辺では土砂の移動により礫が混在していることが多い。写真は経過年数1年程度のもの。



火成岩質礫質土(流紋岩)の切土のり面

溶結した流紋岩は非常に緻密・堅硬である。一旦、破碎すると粒度分布のそろった盛土材となりやすい。表層には強度に風化を受けた粘性分の高いものが堆積していることが多いことから、できるだけ写真のようなものを混在させて締固めたほうがよい。経過年数2年程度のもの。



火成岩質礫質土(玄武岩)の切土のり面

火成岩地帯では未固結のものや火山の降下堆積物が、地質図で示されている表層地質の上に堆積している場合が多い。表層に堆積した移動堆積物の性質も、もともとの表層地質の構成岩石の性質を引き継いでいることから、地域の地質がどのようなものから構成されているのか、知っておくことが必要である。写真は経過年数１年程度のもの。



火山灰質礫質土(凝灰岩)を主体とした切土のり面

堆積岩のうち、火山噴出物に由来する凝灰岩は圧力解放を受けて、細かな礫となつてのり面下方に堆積しやすい。森林作業道では大きな切土が発生しにくいことから、過去の降下堆積物が移動し、未固結の礫が出現しやすい。写真は経過年数３年程度のもの。



火山灰質礫質土(凝灰岩)を主体とした切土のり面

上の写真と同じ地質の凝灰岩の切土のり面である。施工直後から風化が進みやすく切土の土羽尻に不安定に堆積しやすい。一旦風化が始まると止まらないことから、土羽尻に丸太組工を設置するなどして、土砂の固定を図った方がよい。写真は経過年数１年程度のもの。



四万十累層の堆積岩質礫質土の切土のり面

砂岩を主体とする切土のり面である。垂直近く切り上げても、切土面が緻密であることから、安定した状態が保たれている。礫質土であっても、礫の混入の程度、大きさ、礫周辺の土の状態によっては、礫が抜け落ち、そこから崩落土が発生し、のり面勾配が変化していく。写真は経過年数5年程度のもの。



堆積岩質礫質土（秩父帯）の切土のり面

秩父帯の切土のり面である。ジュラ紀に大陸縁辺部に付加した堆積岩コンプレックスからなり、固結した堆積岩が露出する。これらは、風化碎石しており、固結したものは緻密・堅硬な場合が多いが、風化碎石物はのり面勾配を急角度で維持することは困難である。写真は経過年数2年程度のもの。



堆積岩質礫質土（砂岩）の切土のり面

切土高が低いところは、盛土材に占める有機質土の含有率が高くなりやすい。有機質を含む盛土材は、高い含水率になると、礫質の土であっても強度が低下しやすいため、切土の段階から根系の出現状況に注意を払うことが必要である。写真は経過年数2年程度のもの。



堆積岩質礫質土(砂岩)の切土のり面

基岩層の深さまでは地形・地質により様々であるが、そこで生成された基岩をもとにした礫が露出しやすい。路面に崩落してきた礫を路面材として再利用している事例である。また比較的固結の程度が低く、植物の生育基盤が確保された切土のり面であることから植生の侵入が旺盛である。写真は経過年数 8 年程度のもの。



堆積岩質礫質土(砂岩・泥岩)の切土のり面

堆積岩では堆積物や仕方によって固結の程度と硬さが異なる。写真中央部の白っぽい箇所は非常に硬く手で破碎できないが、その他の箇所の礫はバックホウで小割すると手で破碎できる硬さであり、非常に細かく破碎される。細かく破碎されたものは水を多く含むと泥濘化する場合もある。写真は経過年数 3 年程度のもの。



変成岩質礫質土(三波川変成岩帯)の切土のり面

変成岩は一度岩石として形成されたものが高い温度や高い圧力によって変成を受けたものである。写真の三波川帯変成岩は緑色片岩からなっており、扁平に割れやすい。層理方向と岩と岩の間に、粘性土等の滑材がある場合は、風化によって崩落しやすいため、層理方向、岩と岩の間の状態に注意して施工する。写真は経過年数 1 年程度のもの。



変成岩質礫質土の強度に変成を受けた切土のり面

変成岩帯では、強く変成を受けた石礫の厚い堆積箇所が出現する場合がある。石礫の堆積勾配は 45 度程度で落ち着いているが、法尻に石礫を受け止める施設を設けなければ、幅員が少しずつ狭まることになる。なお、このような箇所は、地表部に石礫が露出しており、沢部であっても流水が伏流し確認できない場合が多い。路線の作設を避けるべき箇所である。写真は経過年数 2 年程度のもの。



切土のり面に露出した沖積層の岩塊

過去に堆積した沖積層の岩塊が、造山活動により押し上げられ、山腹中腹部でも火山噴出物であるロームとともに地表下すぐの箇所に現れる場合がある。このような石礫はすぐに抜け落ちるため、のり勾配を緩やかにする必要がある。写真は経過年数 1 年程度のもの。



不均一さにより石礫が抜け落ちた切土のり面

のり面の構成部材が一様でない場合は、切土高が低くても石礫が抜け落ちる場合がある。のり高が低い場合は、石礫の供給量は多くはないが、のり高が高くなると崩落土砂の量も増えるため、車両の通行に支障をきたすようになることから、このようなのり面で石礫が抜け落ちないようにのり勾配を緩やかにする。写真撮影位置は鞍部であり、隆起活動の結果、玉石が稜線部でみられた事例である。写真は経過年数 4 年程度のもの。

②土質と切土勾配

調査事例から、土質別の切土の特徴を整理すると次のとおりとなる。「参照 P3 土質区分」

土質	特徴
粘性土	当初は90°で施工しても、法肩部の侵食により少しずつ勾配は緩やかになる。寒冷地の南側斜面ほど凍上の影響を強く受けるため、オーバーハングしやすい。この他、石礫が混在する場合も緩勾配化が進みやすい。調査事例では、施工後1年で90°付近ののり勾配を維持していたものは約6%であり、施工後5年では90°付近を維持している事例はなかった。
まさ土	固結の程度により切土部の表面が風化し、法尻に堆積する度合いが異なる。露出するまさ土が固結している場合は、90°に切り上げてものり面の侵食が進みにくいが、指で簡単に押し込めるような未固結の場合は、切土勾配に関係なく風化が進みやすい。風化が進んだ結果、3分(73°)程度で安定している事例が多い。
火成岩質礫質土	固結の程度が良い場合、施工当初ののり勾配が維持されており、風化による堆積土砂は少ない。森林作業道では、この上に堆積した火山降下物を主体とする切土部と火山岩質礫質土部が不連続で出現する 경우가多く、時に火山岩の岩塊が混ざることある。岩塊の抜け落ちが発生すると、そこから風化を受けやすい。硬く均一なものは90°に切り上げても安定しているが、細かく破碎されているものは3分(73°)程度で切土する。
火山灰質礫質土	火山噴出物に由来する礫質土は切土による圧力解放を受けると、細かな抜け落ちが発生している事例がみられた。切土を行い、細かく破碎された状態になるような場合は、当初から3分(73°)よりも緩いのり勾配を検討する。

土質	特徴
堆積岩質礫質土	出現する岩石の固結の程度と褶曲活動によるもまれ方によって、岩の硬さと破碎の程度が異なる。強く破碎されている場合は、90°で切り上げても、常に崩落土が供給されるため、3分(73°)程度までで切土する。
変成岩質礫質土	変成の程度によって切土勾配の変化の程度は異なり、弱い変成の場合は、施工後4～5年後では90°付近ののり勾配を維持していることが多い。一方、強い変成を受け、切土の段階から石礫がこぼれ落ちるような箇所では、90°付近ののり勾配を維持することは難しいため、当初から3分(73°)よりも緩いのり勾配を検討する。

③凍上現象について

凍上現象は夜間から明け方にかけて地表面が冷やされると、温度勾配によって水が地中から地表面に向かって移動し、この移動した水が地表面で凍ることにより発生する。凍上現象を支配する3要素は土質、温度、水分といわれている¹⁾。

このような凍上現象が発生しやすい標高の高い地域のうち、火山灰質粘性土に覆われた地域では、凍上融解によりのり面が少しずつオーバーハングしていく。これを防ぐためには、のり面全体を伏工によりカバーすることが効果的である。ただし、のり面の露出面積が少ない場合は、凍上融解による土砂の崩落量も少ないことから、高い切土が連続しないことが望ましい。また、

崩落してきた土砂は、速やかに路面にまき均し、路面に滞留水が発生しないようにする必要がある。

¹ 土質工学会、土の凍結—その制御と応用—、P24、土質工学会、1989



凍上融解によるオーバーハングの発生(ローム)



まさ土の凍上融解



オーバーハングが発生しやすい土質の切土のり肩の立木

森林作業道は切土高を低く抑えることが大切である。切土高が低いと、根系の緊縛力により崩落土の発生を抑止できる。ただし、オーバーハングが発生しやすい土質(火山灰質粘性土、火山灰質礫質土)では、切土のり肩部の立木が倒木となりやすいため、作設の段階から事前の処置を検討しておく必要がある。

④滞留水の抑制

水が滞留する場所は、路盤の支持力が低く、路面の^{わだち}轍ぼれになりやすい。周辺で石礫が採取できる場合は、石礫により路盤を補強し、現地発生材が取得困難な場合は、購入クラッシャーランを敷設するなど、路盤を強化する。「参照 P20②滞水しやすい箇所と土の強度」



軟弱路盤走行による路盤の痛み

(2) 盛土

- ① 盛土については、事業現場の地山の地形、地質、土質、気象条件、森林作業道の幅員、林業機械等の重量等を考慮し、路体が支持力を有し安定するよう適切に行うものとする。

堅固な路体を作るため、盛土は複数層に区分し、各層ごとに30cm程度の厚さとなるよう十分に締め固めて仕上げ、地山の土質に応じて以下のとおり施工するものとする。

ア よく締まった緊結度の高い土砂の場合

施工中に建設機械のクローラ等が沈みにくい緊結度の高い土砂では、盛土部分の地山を段切りして基盤を作った上で、盛土を行うものとする。

イ 緊結度の低い土砂の場合

施工中に建設機械のクローラ等が沈下し、ぬかるみ（泥濘化）やすい緊結度の低い土砂では、盛土部分と地山を区分せず、路体全体に盛土を行い締め固めること等により路体の安定を図るものとする。

- ② 盛土のり面勾配については、盛土高や土質等にもよるが、概ね1割より緩い勾配とする。やむを得ず盛土高が2mを超える場合は、1割2分より緩い勾配とする。

なお、急傾斜地では、堅固な地盤の上にのり止めとして丸太組工、ふとんかごや2次製品を設置すること、石積み工法等を採用すること等を行い、盛土高を抑えながら、堅固な路体を構築するものとする。

- ③ ヘアピンカーブにおいては、路面高と路線配置を精査し、盛土箇所を谷側に張り出す場合には、締固めを繰り返し行うこと、構造物を設置すること等を行い、路体に十分な強度を持たせるようにするものとする。

- ④ 小渓流や沢、湧水が見られる箇所、地形的な条件による地表水の局所的な流入がある箇所では、盛土を避け、土場は設置しない。やむを得ずそのような場所に盛土

する場合には、3に留意して排水施設を設置するものとする。

- ⑤ 盛土の土量が不足する場合は、安易に切土を高くして山側から谷側への横方向での土量調整を行って補うのではなく、当該盛土の前後の路床高の調整など縦方向での土量調整を行うものとする。

【解説】

①盛土材の強度

盛土材の強度を示す値は、判定する要素により次のようなものがある。

土の物性値	内容	備考
内部摩擦角 ϕ (度)	土のせん断強さのうち、鉛直応力に比例する摩擦抵抗分を表す角度のこと。	粘性土は低く(30度以下)、礫質土(30度以上)になると高くなる。
粘着力 c (kN/m ²)	土のせん断強さのうち、鉛直方向に関係の無い成分定数のこと。	この値は排水条件により異なる。含水比の高い粘性土では、こね返しによって盛土内の間隙水圧が上昇し、盛土の安定性が問題となる場合がある。
支持力係数 K値(Mpa/m ³)	路床面、または路盤面における支持力の大小を表わす指標として用いられるものである。	
コーン指数 q_u (kN/m ²)	土工機械の走行に耐えうる地面の能力。コーン指数で示す。	200kN/m ² 以下だと泥水状態であり、1,200kN/m ² 以上だとダンプトラックが走行可能である。
N値	土の硬さや締まり具合を表す指標のこと。	粘性土であると4以下、砂質土であると10以下がやわらかいとされる。
CBR (%)	対象土の荷重強さを標準の荷重強さに対する割合(%)で表示した値。	CBR試験には、室内CBR試験(設計CBR、修正CBR)と現場CBR試験がある。設計CBRはアスファルトやコンクリート舗装厚の設計に、修正CBRは、路盤材料の評価・選定にそれぞれ用いる。

盛土材の密度、含水比、土粒子径により同じような土質でも均一の値となることはない。粘性が高く含水比が高い場合は、礫質でない土ほど強度が低く、礫質であるほど強度は高くなる。ただし、火山灰質粘性土の盛土では、こね返してしまっても強度を低下させてしまっても、乾燥させることである程度強度が回復する場合がある。

②締固め

締固めは十分に行う必要がある。盛土材が最も締まり安定する状態は最適含水比のときであることから、雨天時や冬期の施工は、避けなければならない。雨天後に施工する場合は、盛土材の状態を確認しながら締固めを行い、泥濘化するような場合は、施工を中止するべきである。特に自然含水比と最適含水比の差が大きい粘性土では、水分管理が重要である。

土の自然含水比は、土のおかれている諸条件によって異なるが、一般に砂分・礫分の混入が多いほど含水比は低く、細粒分の混入が多いほど含水比は高くなる。「参照 P3 土質区分、P9 (i) 25° 以下の例、P11 (i) 25° ~35° の例、P12 (i) 35° 以上の例」

土質別の最適な含水比の目安

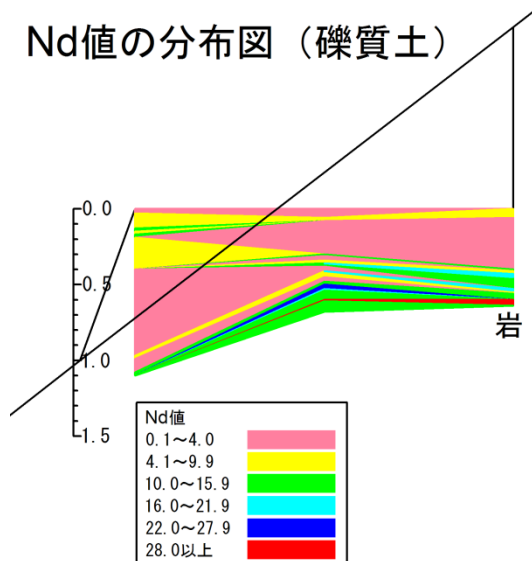
土質	調査箇所	最適な状態の特徴	自然含水比 (%)	最適含水比 (%)	最大乾燥密度 (g/cm ³)
火山灰質粘性土 (ローム)	群馬県沼田市	親指で軽くへこむような場合は水分多い。やや乾燥してくると手につきにくくなる。	89.0～95.6	51.8～54.3	1.0
火山灰質粘性土 (礫分多) (東日本)	北海道下川町 北海道足寄町 青森県十和田市 新潟県魚沼市	水っぽさを感じるが、土粒子は指紋の間に残る。少し払うと土が手から落ちる。礫分・砂分に富む。水っぽさの残らない感じがよい。	23.2	18.8	1.635
			27.8	23.0	1.569
			48.5	27.5	1.280
			27.2	24.3	1.425
火山灰質粘性土 (礫分多) (西日本)	熊本県芦北町		34.2	32.2	1.3
火山灰質粘性土 (礫分少) (東日本)	北海道下川町 北海道足寄町 北海道旭川市 青森県十和田市 山形県酒田市 福島県いわき市 新潟県魚沼市	ぎゅっと握ると手に水分が残り、すぐに払うことができない。握り締めて、すぐに払える状態がよい。	35.3	26.7	1.451
			39.3	26.2	1.479
			25.9～36.0	22.0～24.6	1.445～1.476
			76.1	43.0	1.034
			46.6～55.0	23.6～32.4	1.192～1.345
火山灰質粘性土 (礫分少) (西日本)	熊本県芦北町		40.3～48.0	27.1～30.6	1.299～1.388
			58.1	32.2	1.153
黒ボク	岩手県盛岡市	通常は水分が多いため、黒土の細かな粒子は指に残る。この粒子が指に残っても、すぐに払える状態がよい。	41.2～109.4	26.0～58.2	0.9～1.2
まさ土	愛知県豊田市 兵庫県朝来市 鳥取県日野町 佐賀県佐賀市	砂分の多いものは、指で露出面を押し込んでも、水気は残らず、土粒子も簡単に落ちる。粘性土の水分を調節するように、砂分を含む礫質のものを混入させる必要がある。	17.3～23.0	14.8～16.5	1.742～1.745
			12.7～13.2	14.6～14.8	1.762～1.778
			14.1～14.5	13.5～15.1	1.819～1.892
			19.4～22.8	17.8～18.7	1.626～1.661
火成岩質礫質土	福井県大野市 岐阜県東白川村 滋賀県長浜市 島根県津和野町	岩周辺部からは水っぽさはあまり伝わらない。崩土を握りしめると砂分が感じられる。礫質周辺の粘性土の土は水分が高く、手に白っぽさが残る。粘性土の水分を調節するように、砂分を含む礫質のものを混入させる必要がある。	32.2～80.3	20.4～57.0	0.977～1.543
			28.3～34.9	19.1～19.9	1.573～1.580
			22.2～42.3	19.3～27.3	1.419～1.635
			17.1～25.9	13.9～18.2	1.663～1.843
火山灰質礫質土 (北日本)	秋田県能代市	非常に軽く、地表に露出したものは乾燥しているが、地山内部のものは自然含水比が高く、握り締めると手に細かい粒子が付着し、なかなか落ちない。粘性を感じさせない程度のものがよい。	46.1～87.5	31.4～45.5	1.0～1.2
火山灰質礫質土 (西日本)	岡山県新見市	自然含水比は高いようであり、指で触ると水っぽさが伝わる。土の部分は、握り締めるとよく固まる。表面がやや白っぽく乾燥した状態がよい。	27.5～37.8	20.7～26.5	1.5～1.6
堆積岩質礫質土	埼玉県秩父市 東京都多摩地区 富山県富山市 静岡県浜松市 和歌山県日高川町 高知県土佐清水市 宮崎県木城町	手に水っぽさが伝わらない状態がよい。地山中の含水比は最適含水比に近い場合が多い。	8.5～16.7	7.9～10.2	1.930～2.105
			17.5～19.3	14.7～18.3	1.712～1.808
			38.0～38.8	13.3～27.0	1.344～1.650
			17.2～41.2	13.5～15.0	1.409～1.774
			20.9～13.4	13.8～14.5	1.814～1.894
			8.1～9.2	14.0～14.4	1.689～1.760
			15.2～20.2	12.3～17.1	1.531～1.655
変成岩質礫質土	長野県中信地区 愛媛県久万高原町	手に水っぽさが伝わらない状態がよい。地山中の含水比は最適含水比に近い場合が多い。	12.0～14.7	8.7～9.6	1.976～1.981
			12.6～14.5	9.9～12.8	2.125～1.963
			21.8～23.0	12.7～14.2	1.783～1.848
シラス		硬質しらす、普通しらす、風化しらすの順に自然含水比が高い。	15～33	-	-

自然含水比、最適含水比は室内土質試験による測定値である。
シラスの含水比は「土木基礎力学2 P156:実教出版」による。

路盤の表層は、一般に車両の走行により山手側と川手側の^{わだち}轍部分は締まっている。ただし、盛土内部は締固めが不足している場合がみられる。次の図は簡易貫入試験によるNd値の分布を示したものである。図のようにNd値でやわらかいとされる層が広く分布しているのは転圧不足によるものである。このような転圧不足を避けるためには、概ね30cm程度の層ごとに締固めを行うとともに、尾根部等で発生する石礫を盛土材に混入させることが必要である。一回で30cm程度を締固めようとすると、力が分散して最下部まで荷重が伝わりにくくなることから、何回かに分けて締め固めることが大切である。重機から降りて、締固め面を歩いてみて、沈み込むような感じがなければ十分に締固められている状態である。

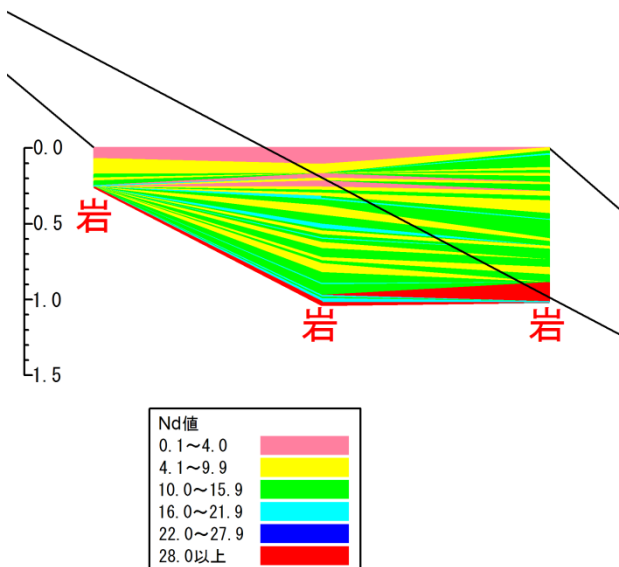
また、よい盛土材とは色々な種類と粒度の混ざったものであり、耐久性のある路体を作設するためには、均一なものよりも幅広い種類のものから盛土材を作った方がよい。「参照 P47④粒度分布」

Nd値の分布図（礫質土）



内部の締固めが不足する場合の盛土断面

Nd 値 4 以下の層がひろがっていると同時に、締固めの程度が山側、川手側で不均一である。なお、なお、Nd 値 4 とは、1 回の打撃の貫入量が 2.5cm である。



比較的締固められた盛土断面

比較的よく締固められた盛土では、Nd 値 10 以上の締まった層が主体となっている。この程度に締固められている盛土の上を歩行してみると、軟らかさが感じられない程度の路体となっている。なお、Nd 値 10 とは、1 回の打撃の貫入量が 1cm である。

③道路新設時の締固めの一例

1) 火山灰質粘性土の調査事例

工法	試験箇所	1層当たり 転圧回数	①自然含水比	②最適含水比	①/②×100	③乾燥密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	④最大乾燥 密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	締固度 ③/④×100	極限支持力 (kN/m^2)
る盛 工土 法締 固め によ	①沼田H22年11月	55.0	73.2%	54.3%	135%	0.82	1.0	81%	31.0
	②沼田H22年11月	24.2	62.1%	54.3%	114%	0.85	1.0	84%	34.0
	③沼田H22年11月	32.0	68.2%	54.3%	126%	0.86	1.0	85%	28.0
	④沼田H23年9月	48.8	100.0%	49.9%	200%	0.65	1.0	65%	125.7
	⑤沼田H23年9月	26.1	92.9%	49.9%	186%	0.62	1.0	62%	130.4
	⑥沼田H23年9月	25.1	94.0%	49.9%	188%	0.68	1.0	68%	142.3
る土掘路 工、削体 法締し全 固て体 めかを にら一 よ盛旦	⑦沼田H22年11月	17.8	75.4%	54.3%	139%	0.81	1.0	80%	28.0
	⑧沼田H22年11月	29.1	69.9%	54.3%	129%	0.85	1.0	84%	29.0
	⑨沼田H22年11月	35.1	78.4%	54.3%	144%	0.79	1.0	78%	28.0
	⑩沼田H23年9月	27.7	91.7%	49.9%	184%	0.74	1.0	75%	214.7
	⑪沼田H23年9月	38.4	86.7%	49.9%	174%	0.78	1.0	79%	197.7
	⑫沼田H23年9月	24.0	95.5%	49.9%	191%	0.67	1.0	67%	123.0

火山灰質粘性土は自然含水比が高く、適切な締固めが困難な土である。自然含水比が最適含水比より高い場合（特に両者の差が大きい場合）は、施工時の水分調整が困難となり、盛土の適切な締固めが難しい。試験箇所④～⑥（沼田試験地 H23 年 9 月）は前日の降雨により自然含水比が高かったため、試験箇所①～③（沼田試験地 H22 年 11 月）と同程度の回数であったにもかかわらず、締固め度が 20% 近く低かった。沼田試験地 H22 年 11 月の試験地の状況は、凍上の影響により路体が泥濘化しやすい状態であったことから、こね返しにより路体の強度が著しく低下したことが、2 時期の極限支持力の差から明らかである。「参照 P57⑩経年変化」

締固め度：現場密度試験と室内土質試験における最大乾燥密度の比率

林道工事では、路体部分は最大乾燥密度の 85% とするよう林道工事施工管理基準で規定されている。

2) 礫質土の調査事例

工法	試験箇所	1層当たり 転圧回数	①自然含水比	②最適含水比	①/②×100	③乾燥密度 $\rho_t(\text{g/cm}^3)$	④最大乾燥 密度 $\rho_{dmax}(\text{g/cm}^3)$	締固度 ③/④×100	極限支持力 (kN/m^2)
る盛 工土 法締 固め によ	①西都H23年2月	13.3	13.4%	12.4%	108%	1.770	1.9	91%	1196.0
	②西都H23年2月	17.1	13.4%	12.4%	108%	1.820	1.9	94%	1196.0
	③西都H23年2月	12.9	16.3%	12.4%	132%	1.567	1.9	81%	478.4
	④伊那H23年10月	8.2	29.0%	15.5%	187%	1.430	2.0	73%	406.6
	⑤伊那H23年10月	14.2	26.6%	15.5%	172%	1.490	2.0	76%	560.3
	⑥伊那H23年10月	12.0	33.4%	15.5%	215%	1.330	2.0	68%	255.7
る土掘路 工、削体 法締し全 固て体 めかを にら一 よ盛旦	⑦西都H23年2月	12.1	15.0%	12.4%	121%	1.777	1.9	92%	1196.0
	⑧西都H23年2月	15.6	18.8%	12.4%	152%	1.479	1.9	76%	239.2
	⑨西都H23年2月	19.7	14.4%	12.4%	116%	1.584	1.9	82%	956.8
	⑩伊那H23年10月	48.4	21.3%	15.5%	137%	1.510	2.0	77%	554.9
	⑪伊那H23年10月	27.8	19.6%	15.5%	126%	1.430	2.0	73%	356.7
	⑫伊那H23年10月	29.3	21.4%	15.5%	138%	1.770	2.0	91%	887.8

礫質土は締固め後のせん断強度が高く、圧縮性が小さいなど、適切な締固めが容易な土である。

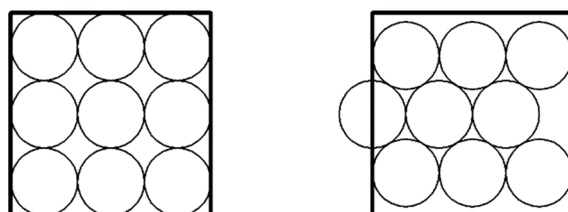
自然含水比が最適含水比より高い場合（特に両者の差が大きい場合）は、施工時の水分調整が困

難となり、盛土の適切な締固めが難しい。含水比が高い場合は、同程度の転圧回数であっても、締固め度が低くなりやすい。西都試験地 H23 年 2 月と伊那試験地 H23 年 9 月では、伊那試験地の方が自然含水比と最適含水比の差が大きいため、締固め度も低い傾向にある。

火山灰質粘性土と礫質土の極限支持力に注目すると、同じような転圧回数でも極限支持力に大きな差が生じている。これは、土質の違いにより、粘土分の含有割合や液性限界の違いから支持力に違いが生じるためである。

④ 粒度分布

盛土の締固めには、含水比のほかに盛土材の粒度分布が影響を与える。



1つ1つの粒子がずれることにより、粒子同士の結合力が高まる。また、粒子間の間隙がさらに細かい粒子で満たされることにより、強い結合力となる。実際には、図と異なり礫は異型であることから、これらの礫の相互のかみ合わせが多く発生するように、粒度分布を広くとることが大切である。粒子と粒子の間隙が埋まることにより、強い土構造物をつくることができる。

「参照 P43②締固め」

⑤ 内部摩擦角と粘着力

盛土の安定は含水比のほかに粘着力と内部摩擦角が関係する。一般に粘着力は、粘性土は高く、礫質土は低い。一方、内部摩擦角は、礫質土は高く、粘性土は低い。粘着力と内部摩擦角は含水比によって変化する。礫が得られる場合は、礫質の土を採取しておき、粘性土や火山灰質粘性土に混入して路体を構築することにより、安定した路体となる。一方、礫質土が入手できない場合は、含水比に注意して、大きな盛土を作らないことが重要である。

粘着力と内部摩擦角の測定例

土質	調査地	粘着力(kN/m ²)	内部摩擦角(度)
火山灰質粘性土+軽石	群馬県沼田市	59.7	34.8
火山灰質粘性土(ローム)	群馬県沼田市	63.9	29.8
火山灰質粘性土(礫多い) (東日本)	北海道下川町	48.6	34.8
	北海道足寄町	112	28
	青森県十和田市	30	31.6
	新潟県魚沼市	27.1	28
火山灰質粘性土(礫多い) (西日本)	熊本県芦北町	54.4	27.7
火山灰質粘性土(礫少ない) (東日本)	北海道下川町	75.1	28.9
	北海道足寄町	42.2	32.9
	北海道旭川市	65.6～79.4	28.3～35.2
	青森県十和田市	26.9	35
	山形県酒田市	31.2	25.6
	福島県いわき市	16.5～21.4	26.9～29.3
	新潟県魚沼市	62.7	27.4
火山灰質粘性土(礫少ない) (西日本)	熊本県芦北町	76.2	23.4
黒ボク土	岩手県盛岡市	48.6～54.3	22.8～28.8
まさ土	愛知県豊田市	27.1～39.7	39.9～36.0
	兵庫県朝来市	55.6～88.1	34.2～38.3
	鳥取県日野町	26.9～44.9	34.2～40.5
	佐賀県佐賀市	38.8～43.4	36.5～38.4
火成岩質礫質土	福井県大野市	35.5～41.6	27.5～36.9
	岐阜県東白川村	11.8～30.5	36.2～39.6
	滋賀県長浜市	37～93.8	25.3～34.3
	島根県津和野町	4.7～31.2	39.3～43.7
火山灰質礫質土	秋田県能代市	24.6～37.8	31.5～34.8
	岡山県新見市	65.3～77.5	30.9～35.5
堆積岩質礫質土	埼玉県秩父市	7.3～27.0	38.3～41.6
	東京都多摩地区	66.4～94.1	33.5～33.9
	富山県富山市	1.9～27.4	30.5～31.3
	静岡県浜松市	32.9～54.3	22.8～31
	和歌山県日高川町	12.9～30.4	36.9～39.3
	高知県土佐清水市	12.0～21.8	35.5～39.7
	宮崎県木城町	39.6～50.6	25.3～29.9
変成岩質礫質土	長野県伊那市	20.4～27.9	29.0～35.3
	長野県中信地区	66.5～87.4	39.8～41.4
	愛媛県久万高原町	23.9～27.3	36.3～36.8
シラス	-	自然地盤10～20 乱された地盤 0	25～43

シラスは土質試験の方法と解説 P788: 地盤工学会による



高さ 2.0m 程度の急勾配盛土の連続区間

ロームに砂岩が混ざり、高い粘着力と内部摩擦角を示す
(堆積岩質礫質土)



内部摩擦角が低い粘性土

内部摩擦角は低い粘着力は高くなりやすい
(粘性土 (黒ボク))

⑥トラフィカビリティ

トラフィカビリティとは、地表面の強度(やわらかさ)が車両走行に耐えられるか否かの能力をいうものであり、コーン指数により示される。建設機械の走行に必要なコーン指数は、同一^{わだち}轍を数回走行が可能な場合の数値である。

これまでの調査で最も軟弱な黒ボク土の場合の測定値は、25(路面中央部)～414kN/m²(路面^{わだち}轍部)であり、一般的なフォワーダの接地圧が 22～27kN/m²(湿地ブルドーザと同程度)と比較すると、フォワーダの走行に問題はない。

なお、ヒトが両足で立つ場合の接地圧は 19～29kN/m² であり、人が歩いて沈下しない程度の路盤であるならば、フォワーダの走行に問題はない。

建設機械の走行に必要なコーン指数

建設機械の種類	建設機械の接地圧(kN/m ²)	コーン指数 q_c (kN/m ²)
超湿地ブルドーザ	15～23	200以上
湿地ブルドーザ	22～43	300以上
普通ブルドーザ (15 t 級程度)	55～60	500以上
普通ブルドーザ (21 t 級程度)	60～100	700以上
スクレープドーザ	41～56 (27)	600以上 (超湿地型は400以上)
被けん引式スクレーパ (小型)	130～140	700以上
自走式スクレーパ (小型)	400～450	1,000以上
フォワーダ (2～6 t)	22～27	
トラック (2t～4t)	235～304	
ダンプトラック	350～550	1,200以上

道路土工要綱(平成21年度版) P287に加筆

コーン指数及びCBRの測定例

土質	調査地	コーン指数(kN/m ²)			CBR(%)		
		山側	中央	川手	山側	中央	川手
火山灰質粘性土(ローム)	群馬県沼田市	527	458	599	6.5	5.6	7.4
火山灰質粘性土(東日本)	北海道下川町	700	738	312	8.7	9.2	3.7
	北海道足寄町	442	492	348	5.4	6.0	4.1
	北海道旭川市	486	523	420	6.0	6.4	5.1
	青森県十和田市	442	252	253	5.4	2.9	2.9
	山形県酒田市	515	491	317	6.3	6.0	3.7
	福島県いわき市	844	996	343	10.6	12.6	4.1
	新潟県魚沼市	231	160	228	2.6	1.7	2.6
火山灰質粘性土(西日本)	熊本県芦北町	1,246	885	1,535	15.8	11.1	19.5
黒ボク土	岩手県盛岡市	396	25	414	4.8	—	5.0
まさ土	愛知県豊田市	22	124	136	-0.1	1.3	1.4
	兵庫県朝来市	1,537	1,839	1,616	19.6	23.5	20.6
	鳥取県日野町	1,142	1,102	1,265	14.5	13.9	16.1
	佐賀県佐賀市	990	744	752	12.5	9.3	9.4
	福井県大野市	646	617	597	8.0	7.6	7.4
火成岩質礫質土(流紋岩)	岐阜県東白川村	934	1,070	794	11.8	13.5	9.9
	島根県津和野町	811	1,089	667	10.1	13.8	8.3
火成岩質礫質土(玄武岩)	滋賀県長浜市	973	1,085	1,053	12.3	13.7	13.3
火山灰質礫質土(東北)	秋田県能代市	471	254	396	5.7	3.0	4.8
火山灰質礫質土(中国)	岡山県新見市	527	821	736	6.5	10.3	9.2
堆積岩質礫質土	東京都多摩地区	1,500	1,530	750	19.1	19.5	9.4
	埼玉県秩父市	979	1,152	809	12.4	14.6	10.1
	富山県富山市	594	782	482	7.3	9.8	5.9
	静岡県浜松市	2,198	1,918	1,440	28.2	24.5	18.3
	和歌山県日高川町	1,148	1,076	735	14.5	13.6	9.2
	高知県土佐清水市	1,924	1,470	1,864	24.6	18.7	23.8
	宮崎県木城町	1,211	1,434	870	15.4	18.2	10.9
変成岩質礫質土	長野県伊那市	1,282	1,468	895	16.3	18.7	11.2
	長野県中信地区	1,268	1,148	945	16.1	14.5	11.9
	愛媛県久万高原町	761	969	477	9.5	12.2	5.8

測定は簡易支持力測定器による



走行性確保のために布設された丸太

自然含水比の高い土質では、施工時のこね返しにより路体が泥濘化しやすいため、車両の走行性が悪い。安全で円滑な走行を確保するため、写真のように丸太を等間隔で敷設することで、走行性が確保できる場合がある。



平坦地では排水が滞り低いトラフィカビリティとなりやすい。ただし、トラフィカビリティが低くてもクローラ型の車輛は走行できることから、必ずしも強固に路体を仕上げなくてもよい場合がある。経済性も考慮して丸太や敷砂利を利用した方がよい。

低いトラフィカビリティになりやすい平坦地

⑦CBR

CBR は、路床や路盤の強さを評価するための相対的な強度を表している。CBR は供試体表面に直径 5cm の貫入ピストンを 2.5mm または 5.0mm 貫入させたときの荷重強さ（または荷重）を、標準荷重強さ（または標準荷重）に対する百分率で表したものである。この比は、クラッシャーランを 100%としたときのものである。

測定した CBR の試験結果を示したが、このうち注意を要する土質として次のものがあげられる。この土質は、礫質土であり、粒度分布もよく、内部摩擦角が高い値となっているにもかかわらず、CBR 値が低い値となっている。

1) 有機物が多く混ざる場合

切土高が低い箇所では表土が厚いところでは、有機物の混入割合が高くなりやすい。有機物の混入割合が高くなると、含水率が高くなった時に、盛土材の強度が低下しやすいことから、施工時の有機物の混入割合に注意するとともに、含水率が高くならないように細かく路面水を排水することが必要である。

2) 粘土鉱物が混ざる場合（火山灰質粘性土・まさ土）

粘土鉱物は吸水することにより体積が増し、その後破壊に至り、軟質化しやすい。したがって、粘土鉱物が混ざるような土質の場合は、その膨潤化により著しく支持力が低下することが考えられるため、亀裂の多い岩質の場合は、礫を剥離させて、礫と礫の間の粘土鉱物の有無などを確認する必要がある。このような場合は、亀裂の間の粘土鉱物の膨潤化を防ぐため、盛土材料が小粒径となるように破碎転圧し、他の盛土材と均一にまぜるようにする。

3) 凝灰岩などの火山灰質の礫質土

細かく破碎された凝灰岩も膨潤化の影響のため低い CBR 値となりやすい。このような場合は、簡単に破碎されるものと堅硬なものを混合して盛土材とする。

4) 流紋岩などの火成岩質の礫質土

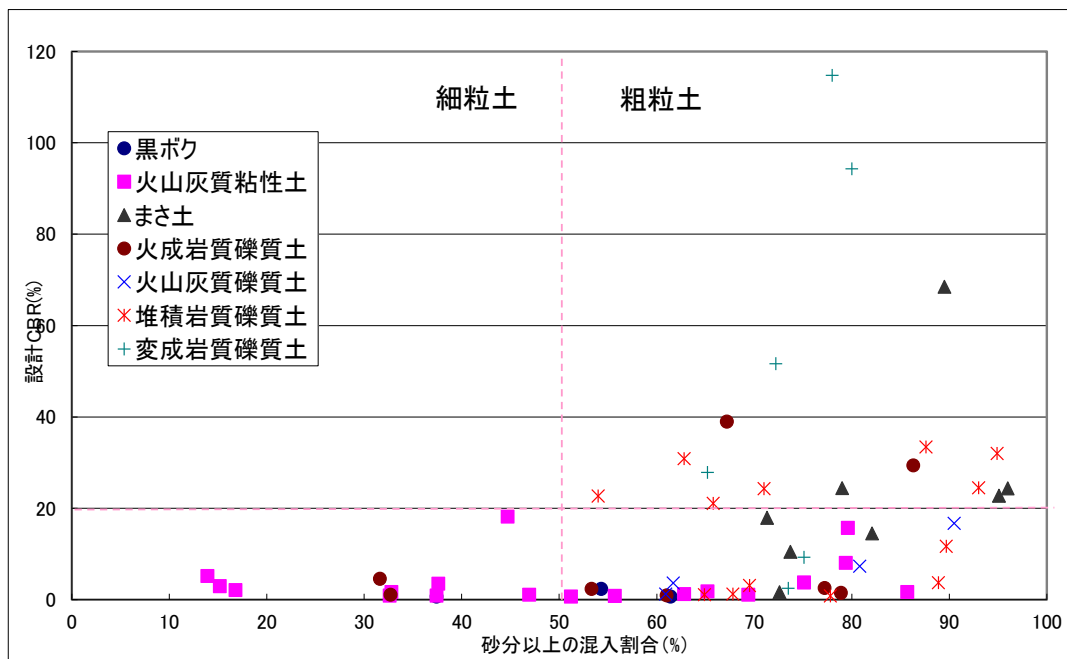
手で容易に破砕できるようなものは低い CBR となりやすい。硬く固結した礫が出現する場合は、これらの堅硬なものを混合して盛土材とする。

5) 自然含水比の高い礫質土

固結した砂岩などからなる堆積岩質礫質土はよい盛土材となる。ただし、細かな土の粒子が多く混ざり自然含水比が高い場合(手に湿っぽさが伝わる場合)は低い CBR となる場合がある。固結の程度を見極め、細かく且つ湿っぽさが伝わる盛土材の場合は、十分に締固めて最適含水比に近づける必要がある。

6) 共通事項

盛土が強度を発揮するためには、もともとの含水比（自然含水比）を盛土に適した含水比（最適含水比）に近づけるようにする必要がある。礫が少なく、もともとの含水比が高い盛土材の場合は、高い含水比の状態では強度を発揮できないことから、ある程度水分を飛ばしてから十分に締固めを行う必要がある。ただし、火山灰質粘性土の場合は、過度の転圧による強度の低下が発生しやすいことから、締固めによる流動化の発生に注意する必要がある。



土質別の CBR 測定の一例

火山灰質粘性土は粗粒分の割合にかかわらず低い CBR となりやすい。まさ土は粗粒分の高いものほど CBR が高くなる。礫質のものは硬いものほど CBR が高くなる。

⑧土質別の盛土の注意点

土質	特徴
火山灰質粘性土	1割(45度)を超える盛土は行わない。1割の盛土を行う場合は、丸太などの補強材の使用を検討する。 粘性土の箇所では、腐植層が厚い場合が多いため、盛土の床付部は必ず腐植層をはがし、盛土の荷重をしっかりと受ける床付面とする。特に地山勾配が急になるほど薄い盛土となりやすいため、段切を行うなど、均一に締固めるようにする。
まさ土	まさ土は侵食が発生しやすいため、植生の自然侵入が困難な土質であることから、のり面に路面水が流入しないようにする。 路面水が流入しないならば、のり面の長さを短くするため、盛土勾配を1割で施工し、侵食を受ける面積を減らす。 粘性が高いまさ土の場合では、含水率が高くなると盛土の強度で低下しやすいため、路面水を細かく排水することが必要である。
火成岩質礫質土	比較的締固めやすい土質であることから、1割よりも急な盛土が行われていても安定している場合が多い。地山勾配が34°を超える場合は、盛土厚が薄くならないように地山を段切し、均一に締固める。盛土高が高くならないように、盛土勾配の急勾配化を検討する。 手で破碎されるような硬さのものは、膨潤化する可能性があるため、堅硬なものと混合して、締固めを十分に行う。
火山灰質礫質土	地山勾配が34°を超える場合は、盛土厚が薄くならないように地山を段切し、均一に締固める。 盛土高が高くならないように、盛土勾配の急勾配化を検討する。 岩と岩の間に粘土層がある場合は、膨潤化する可能性があるため、細かく破碎して、締固めを十分に行う。
堆積岩質礫質土	堆積岩質礫質土は締固めやすい土質であることから、1割よりも急な盛土勾配が行われている事例が多い。地山傾斜の急な箇所であると盛土の摺付の関係から、急勾配盛土により土工事だけで路体が構築できるが、盛土厚が薄く締固めが不足するような場合は、丸太組工等を併用するなどして盛土を安定させる対策をとる。
変成岩質礫質土	変成岩質礫質土は締固めやすい土質であることから、1割よりも急な盛土勾配が行われている事例が多い。地山傾斜の急な箇所であると盛土の摺付の関係から、急勾配盛土により土工事だけで路体が構築できるが、盛土厚が薄く締固めが不足するような場合は、丸太組工等を併用するなどして盛土を安定させる対策をとる。 変成の程度により固結の具合が異なる場合があるため、硬い礫質のものである場合は問題ないが、軟らかなものが出現したときには、堅硬なものを混合して、締固めを十分に行う。

「参照 P3①土質区分、P9 (i) 25° 以下の例、P11 (i) $25^{\circ} \sim 35^{\circ}$ の例、P12 (i) 35° 以上の例」

⑨路肩の強化

⑨-1 作業状態別の支持力

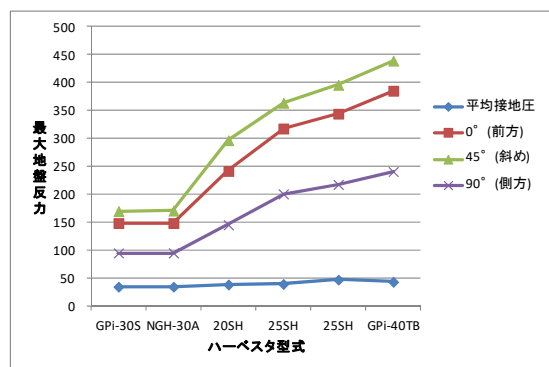
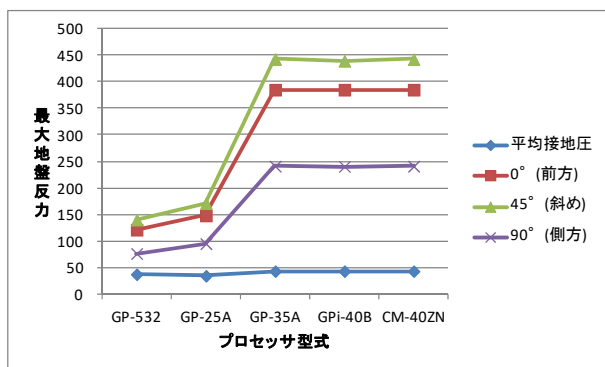
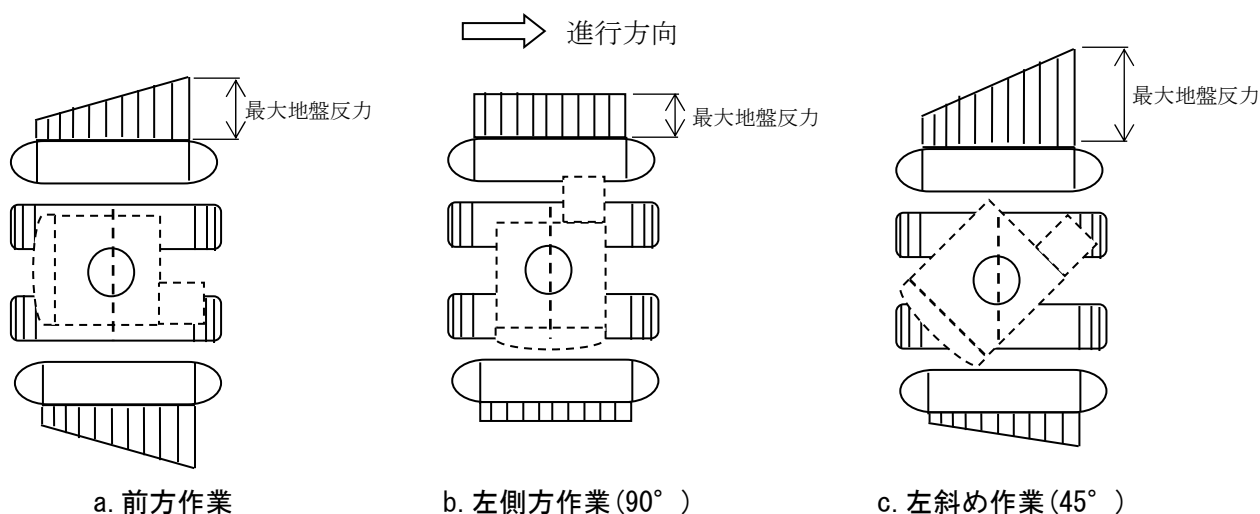
物体は、物体の重さと土（地盤）の支える力とがつり合ってはじめて安全に立つことができる。この物体の重さに対して地盤が反発する力を地盤反力という。支持力は地盤が持っている土のせん断強さのことであり、地盤反力<支持力であれば安全である。

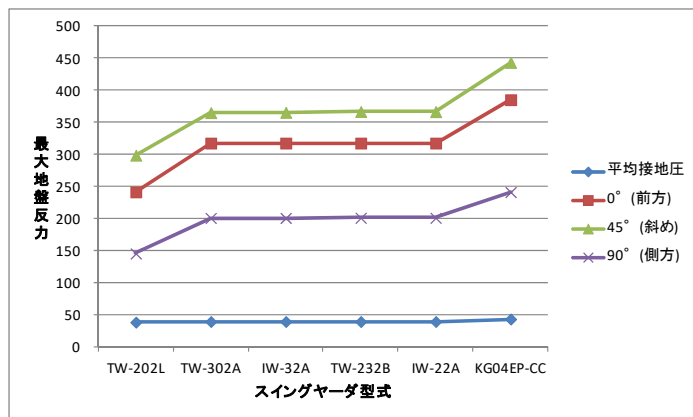
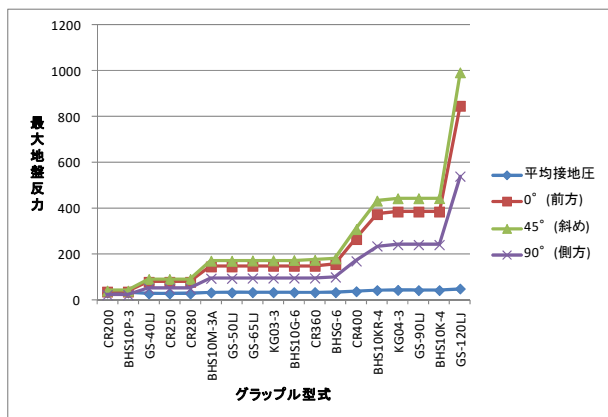
作業状態別に最大地盤反力を整理すると、林業機械種別に関わらずベースマシンの大きさに左右される。特に作業状態を前方、側方(90°)、斜め(45°)の3パターンに分類して地盤反力を計算したところ、実際の集材作業等で最も多く行われる斜め方向での作業時に地盤反力が最大となることが分った。大型のベースマシンを使用した場合の最大地盤反力は400kN/m²を超えており、粘性土の路体の極限支持力を上回っていることから、礫が混入しない粘性土地帯で大型の機械を使用する場合は、路肩はしっかりと締固め、丸太等で補強する必要がある。

森林作業道における極限支持力と許容支持力の測定の一例

土質	極限支持力(kN/m ²)	許容支持力(kN/m ²)	備考
粘性土	29.7	9.9	凍上のため施工条件不良
粘性土	155.7	51.9	施工条件良
堆積岩質礫質土	877.1	292.4	四万十帯
変成岩質礫質土	503.7	167.9	三波川変成岩帯

許容支持力とは極限支持力を安全率(3.0)で除した長期支持力





転倒安全率(1.15)における最大地盤反力の概算値：単位 (kN/m²)



礫を利用した路肩の補強



丸太を利用した路肩や路面の強化を行うこともあるが、盛土の締固めが不足すると、左の写真のように盛土材が流出するようことが生じる。この箇所は、沢地形部のため雨水による影響もみられる。出水が予期される地形では、的確に雨水を排除する必要がある。

締固めが不足した丸太利用の路肩強化「参照 P11 (ii) 丸太組工の留意点」

⑨-2 作業状態別の荷重

荷重計をセットして、機械別・作業状態別に履帯等に作用する荷重を測定した結果から、次のことがいえる。



負荷試験の状況

- ・アーム長が概ね 6m 以上になると旋回した側に機械総重量の 50%に相当する最大接地荷重が局所的に作用することがある。
- ・フェラーバンチャやハーベスタ等のバックホウをベースマシンとしている高性能林業機械は、車両進行方向に対して 135°（斜め後ろ）～180°（後ろ）方向に旋回した場合に最大接地荷重が作用する。従って、135°～180° 方向に旋回し、アーム長を最大に伸ばした状態で集材を行う場合には安全な作業を心がける必要がある。この体勢で重い材をつかむ場合には特に注意が必要である。
- ・荷重が分散される履帯タイプの高性能林業機械であっても、路面に大きな荷重が作用する。具体的には局所に機械総重量の 50%に相当する集中荷重が作用、旋回側履帯に反対側履帯の 6 倍を超える荷重が作用する等、集材作業時には大きな荷重が森林作業道の路面に作用する。

この結果より、履帯等には常に一定の荷重がかからないことから、局所的に軟弱な路体とならないように注意する必要がある。特に路肩付近が軟弱となりやすい場合は、前述したような路肩補強をする必要がある。



このような作業状態の時に、左の写真中の赤印箇所に機械総重量の 60%に相当する荷重がかかる場合がある。

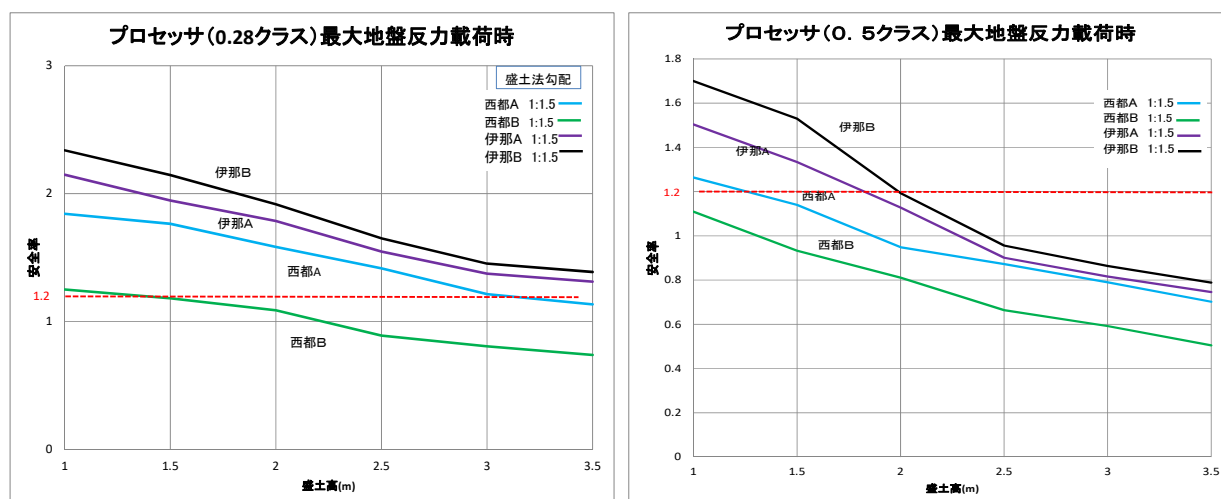
アーム角度	0度	45度	90度	135度	180度
1箇所にかかった荷重の割合	40%	41%	47%	57%	46%

荷重計は均等に左右6か所ずつ設置

使用機械はハーベスタの場合

⑨-3 主な林業機械別の盛土の安定

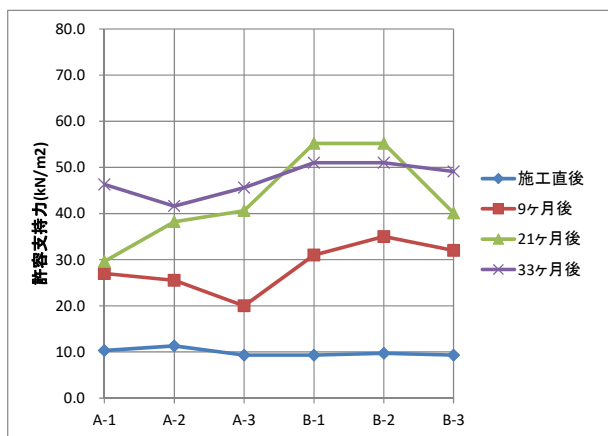
主な高性能林業機械の作業状態別の最大地盤反力（斜め 45°）を载荷重として、盛土の安定度を検討した結果は次に示すとおりである。図中安全率 1.2 倍の線は、盛土の最小安全率である。一般にこの最小安全率よりも高い安全率をとることとされている。



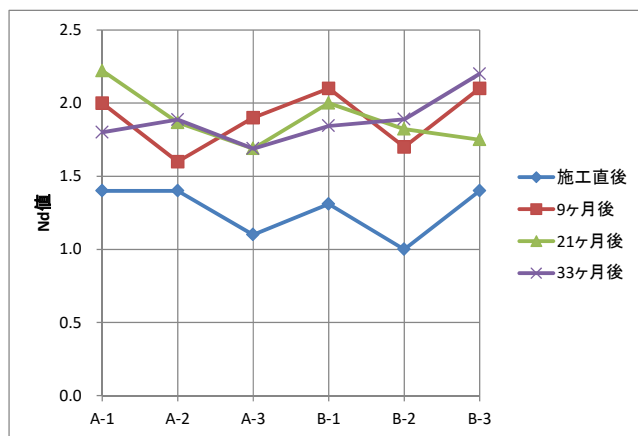
大型の林業機械を用いる場合は、あまり高い盛土は望ましくない。また、盛土が粘性土である場合では、さらに盛土高に注意する必要がある。

⑩ 経年変化

群馬県沼田市(土質：ローム)において施工直後からの許容支持力等の経年変化を測定した結果、施工直後の状況が悪く含水率が高い状態で施工した場合でも、締固めを丁寧に行えば、施工直後の自然含水比が最適含水比に近づき許容支持力等が向上する場合がみられた。この施工地における現場密度試験の結果からは、最適値の 80%程度の値となっており、締固めは適切に行われていた。このことから、現場条件が悪くても、施工時に最大乾燥密度付近で丁寧に締固めすることで、経年変化による許容支持力等が向上する。なお、次に示すグラフの施工地は、施工してから車両の走行はなかった路線である。「参照 P46③道路新設時の締固めの一例」



許容支持力の変化



Nd 値の変化



2010.11 施工直後



2011.9 (9 ヶ月後)



2012.9 (21 ヶ月後)



2013.9 (33 ヶ月後)

5 曲線部

林業機械等が安全に走行できるよう内輪差や下り旋回時のふくらみ等に対する余裕を考慮して曲線部の拡幅を行うものとする。

6 構造物等

森林作業道は、土構造を基本としているが、地形、地質、土質、気象条件等の条件、幅員の制約等から、林業機械等の走行における安全の確保や路体を維持するために構造物を設置する場合は、丸太組工、ふとんかご等の簡易な構造物、コンクリート構造物、鋼製構造物等の中から、以下を参考に必要な機能を有する工種及び工法を選定するものとする。なお、構造物については、現地条件に応じた規格又は構造の施設を設置するものとする。

- (1) 流入水や地下水の影響による軟弱地盤の箇所を通過する必要がある場合は、水抜き処理、側溝の設置等を実施するものとする。
- (2) 森林作業道の作設に不向きな黒ぼくや粘土質のローム等の場合は、必要な路面支持力を確保し路面侵食等を防止するため、路面に碎石を施すなどの対策を行うものとする。

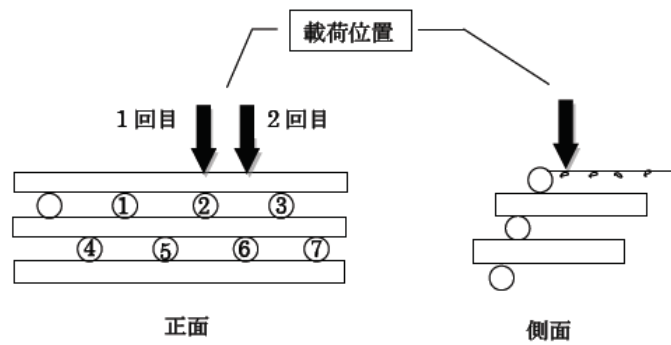
火山灰土など一度掘り起こすと締固めが効かない土質の箇所で掘削を行う場合は、火山灰土などの深さに応じて、表土の剥ぎ取り、深層との混ぜ合わせ等の工夫を施すものとする。

- (3) 2トン積トラックなどの接地圧の高い車両が走行する場合には、路面支持力が得られるよう特に強固に締固めを行うとともに、必要に応じて荷重を分散させるため丸太組による路肩補強工を実施するものとする。

【解説】

①丸太組工に対する荷重の影響の一例

丸太組工に対する荷重の影響を調べるため、火山灰質粘性土の森林作業道において静的載荷試験を実施した結果は次のとおりである。「参照 P11（ii）丸太組工の留意点」



車輪のめり込みと丸太間からの土砂押出状況
(①横木や杭丸太の間から押出された土砂)



車輪がめり込んだ跡(深さ 20cm)

- ・ 火山灰質粘性土による盛土での自動車の走行は、路盤と路肩の補強が必要。
- ・ 丸太組だけでは、土砂の沈下や押し出し等があり、補強にならない。
(横木が押し出される危険性もある)
- ・ 丸太組の間に石礫等を入れることが必要。



ふとん籠の例

7 伐開

立木の伐開幅は、開設区間の箇所ごとにおける斜面の方向、風衝等を考慮し、以下を参考に必要最小限となるよう検討するものとする。

(1) 斜面の方向、気象条件等の考慮

- ① 路面の乾燥又は植生の繁茂を促す必要のある箇所では、伐開幅を広めにする。
- ② 植生が繁茂しやすく除草作業を頻繁に行う必要がある箇所、立木に風害、乾燥害を招くおそれがある箇所では、伐開幅を狭めにする。
- ③ 林縁木の枝から滴下する雨滴により、路面又はのり面の侵食が発生しやすい箇所は、伐開幅を広めにする。

(2) 土質条件及び風衝の考慮

- ① 締まった土砂又は粘着性の高い土質の箇所は崩れにくいことから、切土高が低い場合には、伐開幅を狭めにする。
- ② 崖すい等の粘着性の低い土質の箇所は、切土高にかかわらず崩れやすいことから、立木が切土のり頭に残らないよう伐開幅を広めにする。
- ③ 風衝の影響を受ける箇所は、切土のり頭の立木が風で揺れることにより、土質条件にかかわらず切土のり頭部の地盤を緩める原因となりやすいことから、立木が残らないよう伐開幅を広めにする。

(3) 運転者の視線誘導等の考慮

路線谷側に沿った立木については、路肩部分を保護し、林業機械等運転者の視線を誘導し、走行上の安心感を与える等の効果が期待できることから、林業機械等の走行の支障とならない範囲で残存するものとする。

【解説】

①実生による植生回復への期待

森林作業道周辺の林分は針葉樹人工林が殆どであるため、周辺林分からの種子の飛来によるのり面の植生回復は期待できないが、母樹となる立木がある場合は、それを残すことで、作設後数年で植生が回復しつつある事例もみられる。



施工後 5 年経過後に侵入したアカマツ

②表土を利用した植生回復

剥ぎ取った表土は有機質に富み、種子も含むため、これを盛土のり面に利用し早期の緑化が達成されている例が多くみられる。

なお、表土を利用する部分は、荷重の影響しない盛土のり面に利用するものとし、枯損木や枝条材をできるだけ混入させないように注意する。



表土を利用した盛土部分（施工後 3 年経過）

第 3 周辺環境への配慮

森林作業道は、人家、道路、鉄道その他の重要な保全対象又は水道の取水口が周

囲に存在する場合には作設しないものとする。ただし、やむを得ず作設する場合は、人家、道路、鉄道その他の重要な保全対象に対し土砂、転石、伐倒木等が流出又は落下しないよう、必要に応じて保全対象の上方に丸太柵工等を設置する等の対策を講じるものとする。

また、事業実施中に希少な野生生物の生育または生息情報を知ったときは、必要な対策を検討し実施するものとする。

【解説】

①公道への土砂流出防止対策

1) 縦断勾配の検討による対応

地形が緩やかな場合は、一旦下げ勾配により公道から分岐し、10～20m 程度はなれたら上げ勾配として、公道へ土砂流下しないようにする。ただし、縦断勾配の変化点は必ず水が溜まるため、横断排水施設を設けるとともに枝条材などを利用した水叩き工を付帯させる必要がある。なお、枝条材を利用する場合は、移動しないように丸太柵で囲うなどの措置を講ずる。

2) 排水施設による対応

事業地や地形の関係から下り勾配をとることができない場合は、横断排水施設で流出を防止する。

②溪流への土砂流出防止対策

森林作業道は土構造を主体とすることから、盛土が主体となる。したがって、この盛土部分の作設を十分に注意して行わなければ、盛土した土砂が雨水により下流域に流出し、濁水の発生原因となる場合もある。特に地山傾斜が急な場合では、十分に盛土基礎部の締固めを行わなければ土羽尻から盛土が流失しやすい。また、急傾斜地では薄い盛土になりやすいため、土羽の締固めに注意する必要がある。



土羽尻からの盛土の流出

盛土の土羽尻部の伐採木が処置されていないこと、盛土基礎部の締固めが十分でないことから、土羽尻部から盛土が流出している。このようなことを避けるためには、土羽尻部に丸太組工を設けるなど盛土基礎部をしっかり作設することが必要である。

③土石の転落防止

森林作業道作設時に強固な落石防護柵を設けることは困難であることから、浮石がみられる箇所ではルートの変更を行う。事業地や地形の関係から、ルートの変更が困難な場合は、適切な対策を施すとともに縦断勾配及び路線計画位置を検討し、速やかに人家や公道から離れるようにする。

④地盤改良材を利用した盛土の強化

盛土材に石灰やセメント等のような地盤改良材を添加することによって盛土の強度を高めることができる。ただし原料にセメントを含む固化材の使用する場合は、「平成3年8月23日環境庁告示第46号土壌の汚染に係る環境基準について」により六価クロムの溶出試験を行い、基準値以下であることが定められていることに留意する。これらを使用する場合には、発注者若しくは関係機関に確認の上で使用する。なお、地盤改良材の利用を検討するような火山灰質粘性土でセメント系の地盤改良材を使用する場合に、六価クロムの溶出量が多い。

第4 管理

森林作業道は、特定の林業者等が利用する森林施業専用の施設であるため、施設管理者はゲートの設置、施錠等により、一般の車両の進入を禁止するなど適正な管理を行うものとする。

間伐や主伐の作業期間のほか、造林や保育等の作業期間においても利用頻度及び車両の走行性を勘案しつつ、定期的な巡視を行うとともに、崩土除去、路肩の強化、横断排水施設の設置、路面整正、枝条散布等による路面の養生等の維持管理を行うものとする。特にマサ土や火山灰土では他の土質と比べて降雨による土砂流出量が多く、横断溝や側溝が埋まりやすいと考えられることから、その機能が維持されるよう早めに状況を確認し、維持管理を行うものとする。

なお、森林作業道の管理主体を明確にするとともに、適切に維持修繕等を行えるよう、管理主体は森林作業道台帳等を作成するものとする。

【解説】

①ゲート

ゲートの設置は森林作業道の使用頻度や周辺からの入り込みやすさを考えて、そのレベルに応じたものを設置する必要がある。



起点に強固なゲートを設けた一例

使用者以外の利用を確実に排除した一例である。県道から直視できるところに起点があるが、側方部からの進入も封じているため二輪車でも森林作業道内に入ることができない。



注意喚起看板を設けた一例

森林作業道の起点までは林道を利用して到達できるが、鉄柱と施錠により一般車両の進入を防いでいる。また、管理者として森林組合名を明示するとともに「この作業道における事故等の責任は一切負いません。」と注意喚起している。



山林所有者による設置例

山林所有者による施錠の一例である。鎖と丸太を利用した簡易なものであるが、看板に注意書きを書き、注意喚起している。



簡易施設による進入防止例

間伐後に一定期間利用しないことから、丸太を打ち込み車両の進入を防止している一例である。林道からの分岐部分は一旦下げ勾配として森林作業道からの路面水が直接林道に流下しないようにするとともに、侵入防止柵の部分に枝条を並べて土砂を受けとめるようにしている。



地形を利用した進入防止例

森林作業道利用時は丸太利用の洗越により沢を横断したが、利用後はそれを撤去して車両の進入を防止している一例である。



供用後に表土を敷き起点部を目隠しした一例

林道から直接森林作業道の起点が見えないように、利用後に表土を敷き、植生の自然進入による目隠し効果を狙った一例である。写真は利用後1年経過したものである。

②供用後の管理

森林作業道は事業地の規模や事業計画によって、引き続き利用する路線と次回の施業まで利用しない路線がある。引き続き利用する路線では、森林施業の他に森林所有者の利用も考えられるため、車両の走行性を常に確保しておく必要がある。一方、次回の施業まで利用しない森林作業道では、車両の走行性の確保は必要ないことから、路体の維持を前提として、車両の走行性は二義的なものとして維持管理を図る必要がある。



幅員確保のための崩土の除去

切土のり面からの崩土をそのままにしておくと徐々に幅員が狭まり車両の走行が困難になってくる。また、路面水に乱流が発生しやすく、1か所に路面水が集中し路肩の侵食につながりやすいことから早期に排土する必要がある。



除去した崩土による路肩の強化

切土のり面からの落石を適宜排除し、路肩の補強に利用している一例である。小割された礫が路面に敷き並べられ路面の強化にもつながっている。



維持管理上設けた横断排水施設の一例

施業終了後にしばらく利用しない森林作業道において、路面の侵食を抑止するため短い間隔で素掘りの横断排水を設けた一例である。森林作業道は線形によるその場排水がとられる場合が多いが、利用頻度が低い場合は、短い間隔で写真のような施設を設けておくことも考えられる。



施業終了後の路面整正の必要性

^{わだち}轍が残ると、路面水はそこを中心に流下することになり、深い侵食につながる。このため轍が生じた場合には、施業終了後に路面を整正しておくことが必要である。



枝条利用による路面の保護

日常利用しない森林作業道の場合では、枝条を路面に敷き並べて路面水及び雨滴による侵食を防止することも考えられる。枝条により土砂流出の抑止も図られる。



修復による盛土強度低下の抑止

火山灰質粘性土のように含水比の上昇によって盛土の強度が失われやすい土質の場合は、雨天後の作業時に盛土の沈下とともにクラックが発生しやすい。このような箇所が生じた場合には、速やかに補修する必要がある。



木製構造物の劣化程度の確認

写真は作設後 15 年が経過した丸太組工である。木材は乾湿を繰り返す部分が腐朽しやすいことから地際部分を中心に確認することが必要である。また、木材の腐朽の程度と共に、丸太組工内部及び基礎部の土砂流出状況を確認する必要がある。

(参考)

○ 森林作業道作設指針の解説

本指針の補足資料として、具体的事例や科学的分析に基づき「森林作業道作設指針の解説」を作成しているので参考にされたい。

○ 丸太組工

丸太組工は、丸太組により路体支持力を維持するものであり、現地資材を有効に活用できるほか、施工から数十年経過した事例もある。

この工法を採用する場合には、作設時の強固な締固めが必要なことに加え、路体支持力を維持していくため、丸太が腐朽した際には、丸太を補強すること、砂利を補給すること等により丸太の腐朽を補う維持管理が必要である。

なお、林地の傾斜や通行する林業機械等の重量や交通量に応じて、丸太組工に代わ

るものとしてふとんかごなどの設置も検討するものとする。

○ 表土、根株を用いる盛土のり面保護工

根株やはぎ取り表土については、あくまで土羽工の一部と位置付けられものであるが、路体構造として林業機械等の加重を支えるなどといった工法本来の趣旨を誤解、逸脱した施工は行わないものとする。

また、根株や枝条残材などの有機物を盛土路体に完全に埋設して路体を構築すると、将来的に路対支持力を損ない、盛土崩壊を引き起こすおそれがあるため行わないものとする。

なお、根株やはぎ取り表土を盛土のり面保護として利用する場合には、土質、根株の大きさや支持根の伸び、萌芽更新の容易性などを考慮する必要がある。この工法を採用する場合は、路肩上部の根株が集材又は運材作業の支障とならないよう留意するものとする。