

多様な森林整備と生産効率の
向上のための低コスト高密路
網等の配置技術の開発

目

次

研究の要約	121
第1章 集材方法に応じた路網密度とその集材費用の推定	125
第2章 路網路面流特性の解明	135
1. 林道路面流の定量評価	135
2. 集材路における土砂流出特性の解明	136
3. 低コスト路面流排水法の構築	138

研 究 の 要 約

I 研究年次及び予算区分

研究年次 平成15年～平成17年（3カ年）

予算区分 運営費交付金（交付金プロジェクト）

II 主任研究者

主 査：森林作業研究領域長 大川畑修

副主査：林道研究室長 梅田修史

取りまとめ責任者： 大川畑修

III 研究場所

森林総合研究所、本所、北海道支所

IV 研究目的

第1章 集材方法に応じた路網密度とその集材費用の推定

林地に路網の整備を行えば、集材距離が短くなり、集材費は低減するが、このことについて数量的に明らかにした研究はほとんどない、そこで、幾つかの集材法について、集材距離、木寄せ距離を変数とする費用関数を設定し、費用関数の特性の解明を行う。近年、普及が進んでいるスイングヤードについて、その木寄せ造材費の実態に即した新たな算定法の開発を行う。路網の開設効果の算定法の開発を行う。

第2章 路網路面流特性の解明

1. 林道路面流の定量評価

林道路面流、流出土砂等の測定を行い、定量的に評価する。

2. 集材路における土砂流出特性の解明

集材路は低コストで作設され、通常路網密度は高い。このため、降雨等に伴い土砂が流出することがあるが、このような流出を極力少なくする必要がある。そこで、トラクタ集材路の作設に伴う切土土砂の斜面下方への移動特性を明らかにし、移動防止法の構築を行う。

3. 低コスト路面流排水法の構築

低コスト排水施設を現地に作設し、施設の機能等の調査を行う。また、施設の作設費の経済的評価を行う。

V 研究方法

第1章 集材方法に応じた路網密度とその集材費用の推定

集材機集材、タワーヤード集材、フォワード集材についての費用関数についての伐区モデルを設定し、費用関数を設定する。また、フォワード集材においてはスイングヤード木寄せを行うこととし、木寄せ距離、木寄せ区長に応じた木寄せ造材費の費用関数を設定する。費用関数の設定に当たって、工期等については後述の参考文献のほか、伐出に関する森林総合研究所の独自の資料、国有林の資料を参考にした。適用数値については既往の資料に基づく。路網密度が高くなると、伐倒木が路網に到達する比率が高くなる。このことを考慮したスイングヤード木寄せ造材費の算定法を開発する。路網の開設効果を示す算定式を開発し、開設効果の特性を解明する。

第2章 路網路面流特性の解明

1. 林道路面流の定量評価

常陸太田水文試験地内（茨城森林管理署堂平国有林118林班）の林道田渡線に、路面流下水測定試験区域を設け、路面流等の計測を行う。試験地内には外部から水が流れ込まないようにする。計測は、降雨量、路面流流出量、流出土砂量について行う。

2. 集材路における土砂流出特性の解明

石狩森林管理署管内藤舞国有林1128林班の伐採跡地（2004年1～3月に択伐）に試験地を設定する（空沼試験地）。トラクタ集材路の通過箇所を沢型（沢を横断する箇所）と中腹型（主として中腹斜面に沿って作設した箇所）とに区分する。土砂の斜面下向への移動距離（水平距離）を土砂到達距離とし、この距離等の計測を行う。路面の縦断勾配、切取土工断面積、土砂到達距離、斜面傾斜の計測は路線に沿って10m間隔で行う。

3. 低コスト路面流排水法の構築

川側片勾配（路面の川側が山側より低くなるように設定した勾配）の排水施設の作設を行い、その排水機能状況等の調査を行う。茨城県城里町内の国有林において幅員2.4m、縦断勾配20%程度の作業路に9%程度の川側片勾配を設定する。流水試験を行い、その機能状況を観察する。流水の経路の軌跡線上に50cm間隔で縦断勾配及び横断勾配を測定する。測定値と算定値との対比を行う。

VI 研究結果

研 究 計 画 表

課 題 名	担 当	期 間
・ 集材方法に応じた路網密度とその集材費用の推定	林道研究室、 森林作業研究領域長	15～17
・ 集材費の費用関数の設定と路網配置効果の解明	林道研究室 森林作業研究領域長	16～17
・ 低コスト道における路面流の特性の解明、 低コスト排水法の機能、経済性評価	林道研究室、北海道支所 森林作業研究領域長	15～17

第1章 集材方法に応じた路網密度とその集材費用の推定

フォワード道の路網密度が $250\text{m}/\text{ha}$ のとき、フォワード集材の平均搬出費は $5,323\text{円}/\text{m}^3$ で、集材機集材の $7,617\text{円}/\text{m}^3$ 、タワーヤード集材 $8,073\text{円}/\text{m}^3$ に比べ、かなり安価である。

費用1（新たな算定法による木寄せ造材費）は費用2（従来の算定法による木寄せ造材費）より安価となり、例えば、フォワード道の路網密度が $250\text{m}/\text{ha}$ のとき、費用2は $1,702\text{円}/\text{m}^3$ 、費用1は $1,185\text{円}/\text{m}^3$ で、費用1は費用2の69.6%となる。

路網密度が低いときには開設効果の増加率は高い。例えば、架線集材において林道密度が最適路網密度 $23.2\text{m}/\text{ha}$ の $1/2$ の $11.6\text{m}/\text{ha}$ の時、開設効果は $3,116\text{円}/\text{m}^3$ で、この値は最適路網密度における開設効果値 $3,776\text{円}/\text{m}^3$ の82.5%となる。

第2章 路網路面流特性の解明

1. 林道路面流の定量評価

雨量の多い降雨の場合、降雨量のほとんどは林道外に流下することができる。

路面整備後の路面からの流出に対する要注意期間は、関東地方では雨量の少ない冬季を除いて、ほぼ半年程度とすることができる。

2. 集材路における土砂流出特性の解明

冬季に積雪を利用した集材を行う場合には、尾根上や沢底をうまく利用して切取土工をほとんど行わないようにすれば、ほとんど土砂移動は生じないことになる。路線が沢型となる場合、できるだけ傾斜の小さい箇所を選び、切取土工量を最小にすることが重要である。中腹型では、20m程度の緩衝帯を設定すれば、影響の大きいと思われる初年度の土砂移動を収めうる可能性が高いと考えられる

3. 低コスト路面流排水法の構築

川側片勾配は低コストで確実な排水法であることが確認された。

VII 今後の問題点

第1章 集材方法に応じた路網密度とその集材費用の推定

林道、作業道、作業路等の森林路網においては、最適な路網密度で整備されることが望ましい。林道事業等公共事業の低コスト化が求められ、材価の低迷が続く中で、路網の作設費の低減化に

向けた研究が必要である。森林路網の作設に当たっては、林地の浸食、崩壊等が生じることなく、林地の保全を図りうる道づくりが必要である。

第2章 路網路面流特性の解明

1. 林道路面流の定量評価

今回は路面からの水及び土砂の流出量の調査を行ったが、今後は路面から流出した水及び土砂の流域全体に与える影響を解明する必要がある。

2. 集材路における土砂流出特性の解明

今回の調査で一応の結論は得られたが、今後更に条件の異なる箇所においても調査を行う必要がある。

3. 低コスト路面流排水法の構築

川側片勾配は施工事例が少ないため、今後、施工実績を増やし、その効果の確認、問題点の有無等についての調査を行っていく必要がある。木寄せ作業を安全に行うためには、山側を低くした山側片勾配が望ましい。今後、川側片勾配と山側片勾配とを組み合わせた路網作設法についての研究を行っていく必要がある。

VIII 研究発表

佐々木尚三ら（2004）集材路の開設と土壌流出について、日林学術講、115, p371.

佐々木尚三（2005）集材路からの土壌流出に関する考察—集材路切取土砂の移動について—、日林北支論、53, 147-149.

佐々木尚三（2005）環境への配慮をめぐって、森林利用学会誌、20(2)、106-108.

梅田修史ら（2005）林道路面流の流出量について、日林関東支論、56, 75-76.

山口智ら（2004）タワーヤード集材における路網計画、森林利用学会誌、9(3)、217-220.

IX 研究担当者

第1章 大川畑修、山口 智、鈴木秀典、田中利美

第2章 梅田修史、佐々木尚三、山口 智、大川畑修

第1章 集材方法に応じた路網密度とその集材費用の推定

ア 研究目的

林地に路網の整備を行えば、集材距離が短くなり、集材費は低減するが、このことについて数量的に明らかにした研究はほとんどない。そこで、幾つかの集材法について、集材距離、木寄せ距離を変数とする費用関数を設定し、費用関数の特性の解明を行う。近年、普及が進んでいるスイングヤードについて、その木寄せ造材費の実態に即した新たな算定法の開発を行う。路網の開設効果の算定法の開発を行う。

イ 研究方法

集材機集材、タワーヤード集材、フォワード集材についての費用関数についての伐区モデルを設定し、費用関数を設定する。また、フォワード集材においてはスイングヤード木寄せを行うこととし、木寄せ距離、木寄せ区長に応じた木寄せ造材費の費用関数を設定する。費用関数の設定に当たって、功程等については後述の参考文献のほか、伐出に関する森林総合研究所の独自の資料、国有林の資料を参考にした。適用数値については既往の資料に基づく。路網密度が高くなると、伐倒木が路網に到達する比率が高くなる。このことを考慮したスイングヤード木寄せ造材費の算定法を開発する。路網の開設効果を示す算定式を開発し、開設効果の特性を解明する。

ウ 結果

(1) 集材機集材、タワーヤード集材、フォワード集材における搬出費の費用関数

図1-1は集材機集材、タワーヤード集材、フォワード集材についての伐区モデルである。いずれの伐区も伐区長400m、伐区幅100m、平均集材距離200mである。この図に基づいて、 m^3 当たりの搬出費 Y (円/ m^3)を集材距離 X (m)の関数で表す。関数の設定に当たっての前提条件は以下のとおりである。

○伐採法は皆伐とする。立木本数724本/ha、胸高直径28.5cm、立木材積515.7 m^3 /ha（北関東地方、スギ、地位2等、50年生）とする。利用率を75.1%，伐出材積を387.3 m^3 /haとする。

○立木の高さは20m、地形傾斜は30°とする。この場合伐倒木が路網に到達する距離は17.3mとなる。

○フォワード集材路の路網密度は250m/haとする。地形傾斜は30°，路網の迂回率は0.3，木寄せ方向は両側木寄せとする。この場合、木寄せ区長は26mとなる。伐倒木が路網に到達する比率は66.5%となる。

○集材機集材のセット人員は4名、タワーヤード集材とスイングヤード木寄せ造材のセット人員は3名とする。伐倒手、

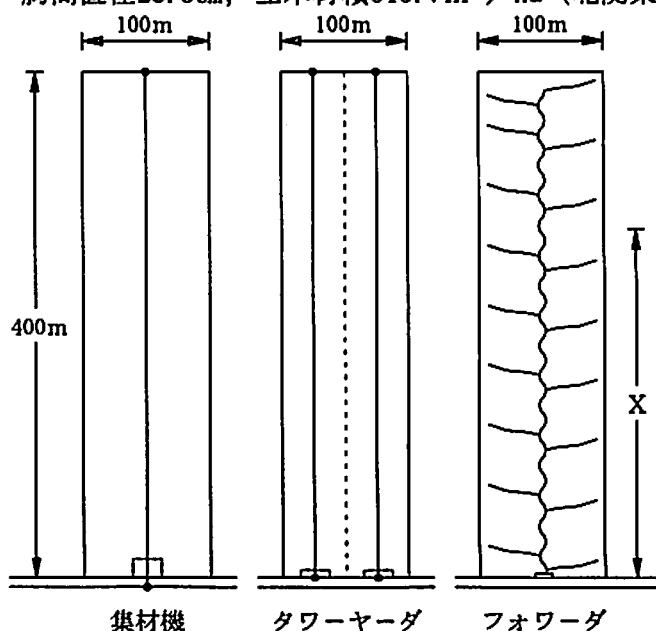


図1-1 伐区の設定

集材手、造材手の賃金は12,500円／人日とする。

○フォワード道の作設単価は1,400円／mとする。

各集材法における搬出費の費用関数は表1-1～1-4のとおりである。フォワード集材の搬出費の費用関数1は路網作設費を考慮しない場合で、費用関数2は考慮する場合である。表1-3，表1-4

表1-1 集材機集材の搬出費の費用関数

区 分	項 目	費用関数 (円／m ³)
直接費	全木伐倒費	Y = 377
	同歩行費	Y = 0.077 X
	集造材作業費	Y = 4.246 X + 2,836
	同歩行費	Y = 0.308 X
	集材機据付撤去費	Y = 128
	架線架設撤去費	Y = 549
	土場作設費	Y = 252
	機械輸送費	Y = 108
	計	Y = 4.631 X + 4,250
間接費		Y = 2.184 X + 2,004
合 計		Y = 6.815 X + 6,254

表1-2 タワーヤード集材の搬出費の費用関数

区 分	項 目	費用関数 (円／m ³)
直接費	全木伐倒費	Y = 377
	同歩行費	Y = 0.077 X
	集造材作業費	Y = 9.605 X + 2,838
	同歩行費	Y = 0.231 X
	架線架設撤去費	Y = 169
	土場作設費	Y = 81
	機械輸送費	Y = 89
	計	Y = 9.913 X + 3,554
間接費		Y = 4.541 X + 1,628
合 計		Y = 14.454 X + 5,182

表1-3 フォワード集材の搬出費の費用関数 1

区 分	項 目	費用関数 (円/m ³)
直接費	全木伐倒費	$Y = 377$
	同歩行費	$Y = 0.077 X$
	木寄せ造材費	$Y = 1,119$
	同歩行費	$Y = 0.231 X$
	集材作業費	$Y = 2.463 X + 730$
	土場作設費	$Y = 26$
	機械輸送費	$Y = 147$
	計	$Y = 2.771 X + 2,399$
間接費		$Y = 1.375 X + 1,191$
合 計		$Y = 4.146 X + 3,590$

表1-4 フォワード集材の搬出費の費用関数 2

区 分	項 目	費用関数 (円/m ³)
直接費	全木伐倒費	$Y = 377$
	同歩行費	$Y = 0.077 X$
	木寄せ造材費	$Y = 1,119$
	同歩行費	$Y = 0.231 X$
	集材作業費	$Y = 2.463 X + 730$
	土場作設費	$Y = 26$
	機械輸送費	$Y = 147$
	計	$Y = 2.771 X + 2,399$
間接費		$Y = 1.375 X + 1,191$
合 計		$Y = 4.146 X + 3,590$
路網作設費		$Y = 904$
総 計		$Y = 4.146 X + 4,494$

表1-5は表1-1～1-4の費用関数の取りまとめと平均搬出費（Xが200mのときの搬出費）を掲げたものである。

表1-5 搬出費の費用関数と平均搬出費

項 目	費 用 関 数 (円/m ³)	平均搬出費 (円/m ³)
集材機	$Y = 6.815 X + 6,254$	7,617
タワーヤード	$Y = 14.454 X + 5,182$	8,073
フォワード 1	$Y = 4.146 X + 3,590$	4,419
フォワード 2	$Y = 4.146 X + 4,494$	5,323

フォワード集材の搬出費は、集材機集材、タワーヤード集材に比べ、かなり安価になっている。これは、フォワード道の路網密度が250m/haとかなり高いことに起因するものである。路網密度が低い場合には搬出費は高くなる。

費用関数のXの係数は1 m³の材を1 m移動するのに必要な費用である。Xの係数はフォワード集材の場合、4.146円/m³・mで、集材機集材の6.815円/m³・mよりも低くなっている。集材速度はフォワード集材よりも集材機集材の方がかなり速いのに対しフォワード集材の方がXの係数が低いのは以下によるものである。

① 1回当たりの集材量は、集材機集材では1 m³程度であるのに対し、フォワード集材では4.64 m³と多い。

② 集材機集造材作業では、1日当たりの各作業量は、集材機による集材量により定まるのに対し、スイングヤード木寄せ・フォワード集材では、1日当たりの木寄せ造材作業の作業量と1日当たりのフォワード集材量とは独立している。このため、集材機集造材作業では4人の作業員（集材機運転手、荷掛手、荷卸手、プロセッサ運転手）と2台の機械（集材機、プロセッサ）を1セットとして、1日当たりの必要経費を1日当たりの収穫量で除して経費計算を行っている。これに対し、フォワード集材では、木寄せ造材費とフォワード集材費とは別途計算することとし、集材費は1人の作業員（フォワード運転手）と1台の機械（フォワード）の1日当たりの必要経費を1日当たりの集材量で除して経費計算を行っている。

図1-2は表1-5の費用関数を示したものである。

図においてX_sは集材機集材とタワーヤード集材との損益分岐点で、損益分岐距離は140.3mである。損益を分岐する伐区長を損益分岐伐区長とすると、矩形モデルの場合、損益分岐伐区長は損益分岐距離の2倍となる。すなわち280.6mとなる。今回の計算では、伐区長を400mとしているため、平均搬出費は集材機集材の方がタワーヤード集材よりも安価となっている。

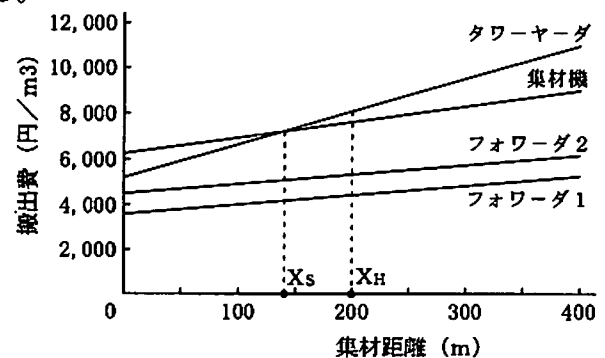


図1-2 集材距離と搬出費

(2) スイングヤード木寄せ

スイングヤードにおける木寄せには索張りする場合と地曳による場合とがあるが、ここでは木寄せは架線による場合に限定することにする。

表1-6は、スイングヤード木寄せの搬出費の費用関数を木寄せ距離K (m) の1次関数として表したものである。Kの係数の54.468は、他の集材法（表1-5）に比べ、かなり大きいですが、木寄せ距離はあまり長くないのが通常である。

表1-6 スイングヤード木寄せの搬出費の費用関数 1

区 分	項 目	費用関数 (円/m ³)
直接費	全木伐倒費	$Y = 377$
	同歩行費	$Y = 16$
	木寄せ造材費	$Y = 36.514K + 1,161$
	同歩行費	$Y = 46$
	土場作設費	$Y = 26$
	フォワード集材費	$Y = 1,223$
	機械輸送費	$Y = 147$
	計	$Y = 36.514K + 3,063$
間接費		$Y = 17.954K + 1,506$
合 計		$Y = 54.468K + 4,569$
路網作設費		$Y = 904$
総 計		$Y = 54.468K + 5,473$

1) 伐倒到達距離、伐倒到達区域

路網に近い立木は伐倒すると路網に到達する。伐倒木が路網に到達しうる最大の距離を伐倒到達距離 K_B (m) とする。路網からの距離が K_B 以下の区域を伐倒到達区域とする。集材機集材等、材を盤台に集める集材法では、伐倒到達区域を考慮する必要性は少ないが、スイングヤード木寄せ等、材を路網に集める集材法では、路網密度が高い場合には伐倒到達区域の面積比率は高くなり、木寄せ費等の算定に当たっては、この区域を考慮して算定を行うことが適切である。本節では伐倒到達距離を考慮しつつ、矩形モデルに基づいて、搬出造材費の算定法及びその計算例等について述べる。

図1-3はフォワード道等の路網と木寄せ区を示したものである。図において L (m) は木寄せ区長、 W (m) は木寄せ区幅である。図の $ABCD$ で囲まれた区域を区域1、 $DCFE$ で囲まれた区域を区域2とする。区域1は伐倒到達区域である。区域2は木寄せを行う区域で木寄せ区域とする。木寄せ造材費の算定においては、まず、区域1の伐倒木を先行してプロセッサで造材、フォワードで搬出し、次に、区域2の伐倒木のスイングヤード木寄せ、プロセッサ造材を並行して行うこと

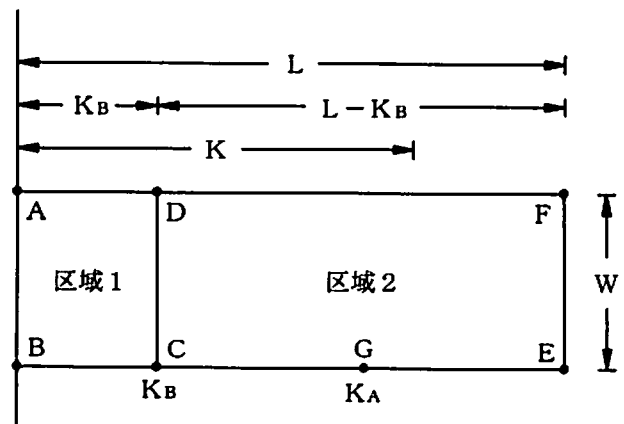


図1-3 路網と木寄せ区

にする。この場合、1日当たりの木寄せ材積

と1日当たりの造材材積は等しくなる。このため、木寄せ費と造材費は一体として計算を行うこととする。

2) 到達距離と木寄せ造材費

路網から木寄せ区内のある地点までの到達距離を K (m) とする。

ア. $0 \leq K \leq K_B$ のとき

m^3 当たりの造材費を C_P (円/ m^3) とし、区域 1 の m^3 当たりの木寄せ造材費を Y_1 (円/ m^3) とすると、以下ようになる。

$$Y_1 = C_P \quad \dots (1)$$

イ. $K_B < K$ のとき

区域 2 の m^3 当たりの木寄せ造材費を Y_2 (円/ m^3) とし、以下のように表す。

$$Y_2 = a_1 \cdot K + b_1 \quad \dots (2)$$

ただし、 a_1 : m^3 当たりの木寄せ造材費の変動費の係数 (円/ $m^3 \cdot m$)、 b_1 : m^3 当たりの木寄せ造材費の固定費 (円/ m^3)

図 1-4 は K と Y_1 、 Y_2 との関係を示したものである。 Y_1 と Y_2 とは不連続となっており

$$b_1 \geq C_P \quad \dots (3)$$

となる。図 1-3 の G は CE の中点で、 BG 間の距離を K_A (m) とする。 K_A は区域 2 の平均木寄せ距離で

$$K_A = \frac{L + K_B}{2} \quad \dots (4)$$

となる。区域 2 の m^3 当たりの平均木寄せ造材費を Y_{2H} (円/ m^3) とすると、(2)、

(4) 式から

$$Y_{2H} = 0.5 a_1 \cdot L + b_1 + 0.5 a_1 \cdot K_B \quad \dots (5)$$

となる。

区域 1 と区域 2 との面積比率は $K_B : (L - K_B)$ で、区域 1、区域 2 の m^3 当たりの平均木寄せ造材費 Y_3 (円/ m^3) は以下ようになる。

$$Y_3 = \frac{Y_1 \cdot K_B + Y_{2H} (L - K_B)}{L} \quad \dots (6)$$

この式に (1)、(5) 式を代入して次式を得る。

$$Y_3 = 0.5 a_1 \cdot L + b_1 + \frac{C_P \cdot K_B - (0.5 a_1 \cdot K_B + b_1) K_B}{L} \quad \dots (7)$$

4) 架線架設撤去費

ha 当たりの収穫材積を V_1 (m^3 /ha) とすると、 m^2 当たりの収穫材積 V_2 (m^3/m^2) は

$$V_2 = \frac{V_1}{10,000} \quad \dots (8)$$

となり、木寄せ区長 L (m)、木寄せ区幅 W (m) の木寄せ区における収穫材積 V_3 (m^3) は

$$V_3 = V_2 \cdot L \cdot W \quad \dots (9)$$

となる。

モデル伐区における m^3 当たりのスイングヤードの架線架設撤去費 Y_4 (円/ m^3) を以下で表す。

$$Y_4 = a_2 \cdot L + b_2 \quad \dots (10)$$

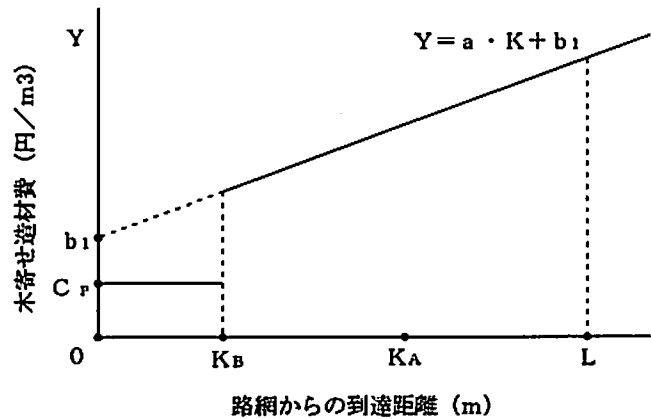


図 1-4 路網からの到達距離と木寄せ造材費

ただし、 a_2 (円/ $m^3 \cdot m$)、 b_2 (円/ m^3) : 定数

この場合、 m^3 当たりの架線架設撤去費 Y_4 (円/ m^3) は(9)、(10)式から以下ようになる。

$$Y_4 = \frac{a_2 \cdot L + b_2}{V_2 \cdot L \cdot W}$$

$$= \frac{a_2}{V_2 \cdot W} + \frac{b_2}{V_2 \cdot W \cdot L} \quad \dots (11)$$

5) 搬出造材費

m^3 当たりの木寄せ造材費と架線架設撤去費の合計額を搬出造材費 Y_5 (円/ m^3) とすると、 Y_5 は(7)、(11)式から以下ようになる。

$$Y_5 = A_1 \cdot L + A_2 + \frac{A_3}{L} \quad \dots (12)$$

ただし、 $A_1 = 0.5 a_1$ (13)

$$A_2 = b_1 + \frac{a_2}{V_2 \cdot W} \quad \dots (14)$$

$$A_3 = \frac{b_2}{V_2 \cdot W} + C_P \cdot K_B - (0.5 a_1 \cdot K_B + b_1) K_B \quad \dots (15)$$

伐倒到達区域を考慮しない場合、すなわち、すべての材を木寄せする場合の搬出造材費を Y_6 (円/ m^3) とすると、(12)～(15)式において K_B をゼロとし、以下ようになる。

$$Y_6 = 0.5 a_1 \cdot L + b_1 + \frac{a_2}{V_2 \cdot W} + \frac{b_2}{V_2 \cdot W \cdot L} \quad \dots (16)$$

ここで、木寄せ区長に応じた搬出造材費の計算例を示すことにする。 計算に当たって適用する数値は表1-7のとおりである。

表1-7 適用数値

記号	内 容	単 位	適用数値
a_1	木寄せ費の変動費の係数	円/ $m^3 \cdot m$	36.514
b_1	木寄せ費の固定費	円/ m^3	1,161
a_2	架線架設撤去費の変動費の係数	円/ $m^3 \cdot m$	10.515
b_2	架線架設撤去費の固定費	円/ m^3	1,067
V_1	ha当たりの収穫材積	m^3/ha	387.3
V_2	m^2 当たりの収穫材積	m^3/m^2	0.03873
W	木寄せ区幅	m	20
C_P	造材費	円/ m^3	700
K_B	伐倒到達距離	m	17.3

計算の結果は図1-5に示すとおりである。図の費用1は(12)式を用いたもので、費用2は(16)式を用いたものである。費用1では木寄せ区長が K_B 以降になると費用が急増している。木寄せ区長が K_B 未満のときには架線の架設は行わず、木寄せ区長が K_B 以上のときには架線の架設を行うこととしたため、架線架設撤去費の費用の増加があったことによるものである。木寄せ区長が

増加していくと費用1は(17)式の直線に漸近していく。

$$Y_0 = 0.5 a_1 \cdot L + b_1 + \frac{a_2}{V_2 \cdot W} \quad \dots (17)$$

この直線は(12)式の第3項を除去したものである。費用2は最小値が存在する。これは、木寄せ区長が大きな値から小さくなると出材材積は少なくなり、 m^3 当たりの架線架設撤去費が大きくなることによるものである。費用2も木寄せ区長が大きくなるにしたがって、(17)式の直線に漸近していく。木寄せ区長が26mのとき、費用2は1,702円/ m^3 、費用1は1,185円/ m^3 で、費用1は費用2の69.6%となる。

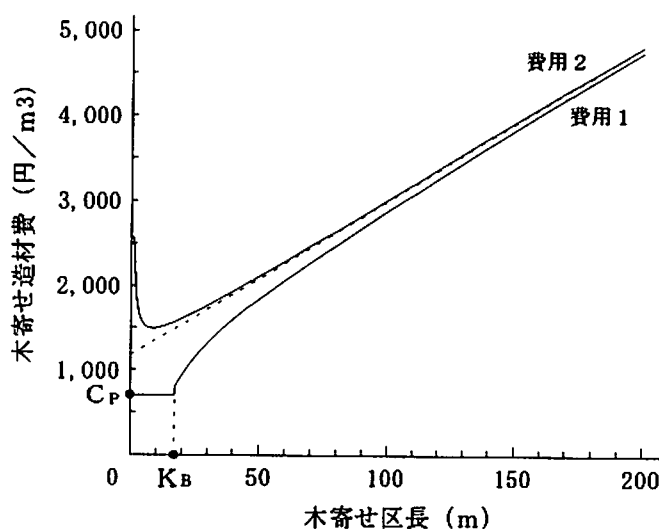


図1-5 木寄せ区長と木寄せ造材費

(3) 路網の開設効果の算定法

路網からの平均到達距離を X (m)、路網密度を d (m/ha)、路網迂回率を η とすると以下の関係がある。

$$X = \frac{2,500 (1 + \eta)}{d} \quad \dots (18)$$

となる。現在の平均到達距離を X_1 (m)、路網整備後の平均到達距離を X_2 (m)、集材迂回率を η' とすると、 m^3 当たりの現在の平均木材搬出費 Y_1 (円/ m^3)、 m^3 当たりの路網整備後の平均木材搬出費 Y_2 (円/ m^3) は以下ようになる。

$$Y_1 = a \cdot X_1 + b \quad \dots (19)$$

$$Y_2 = a \cdot X_2 + b \quad \dots (20)$$

ただし、 a 、 b ：定数

路網の両側に同様な伐区が存在する場合、ha 当たりの収穫材積を V (m^3 /ha)、路網密度を d (m/ha)、 m 当たりの路網作設費を r_1 (円/m) とすると、 m^3 当たりの路網作設費 r_2 (円/ m^3) は

$$r_2 = \frac{r_1 \cdot d}{V} \quad \dots (21)$$

となる。現在の路網密度を d_1 (m/ha)、路網整備後の路網密度を d_2 (m/ha) とする。 m^3 当たりの平均木材搬出費と路網作設費の合計費用を収穫路網費とする。現在の収穫路網費を Y_3 (円/ m^3)、路網整備後の収穫路網費を Y_4 (円/ m^3) とすると、(18)～(21)式から Y_3 、 Y_4 は以下ようになる。

$$Y_3 = \frac{2,500 a (1 + \eta) (1 + \eta')}{d_1} + b + \frac{r_1 \cdot d_1}{V} \quad \dots (22)$$

$$Y_4 = \frac{2,500 a (1 + \eta) (1 + \eta')}{d_2} + b + \frac{r_1 \cdot d_2}{V} \quad \dots (23)$$

m^3 当たりの路網の開設効果 Y_5 (円/ m^3) は (24)

$$Y_5 = Y_3 - Y_4$$

となる。 d_2 を最適路網密度とする場合、 d_2 は以下の式から算定される（上飯坂実）。

$$d = 50 \sqrt{\frac{a \cdot V (1 + \eta) (1 + \eta')}{r_1}} \quad \dots (25)$$

ここで、計算例を示す。適用数値には表1-8の値を用いる。数値は集材機集材、作業道作設を念頭に置いたものである。

表1-8 適用数値

記号	内 容	単 位	適用数値
a	集材費の変動費の係数	円/ $m^3 \cdot m$	6.815
b	集材費の固定費	円/ m^3	6,254
V	ha当たりの収穫材積	m^3/ha	387.3
r	路網作設単価	円/m	22,030
η	路網迂回率		0.5
η'	集材迂回率		0.2

最適路網密度は(25)式から23.2m/haとなる。計算例として、現在の路網密度を5m/haとする。この密度を高めた場合の開設効果の計算結果は図1-6のとおりである。開設効果は路網密度が最適路網密度のときに最大となる。図において、路網密度が最適路網密度の時の路網の開設効果は3,776円/ m^3 となる。図からわかるように、路網密度が低いときには開設効果の増加率が高い。例えば、路網密度が最適路網密度23.2m/haの1/2の11.6m/haの時、開設効果は3,116円/ m^3 で、この値は最大の開設効果値3,776円/ m^3 の82.5%となる。

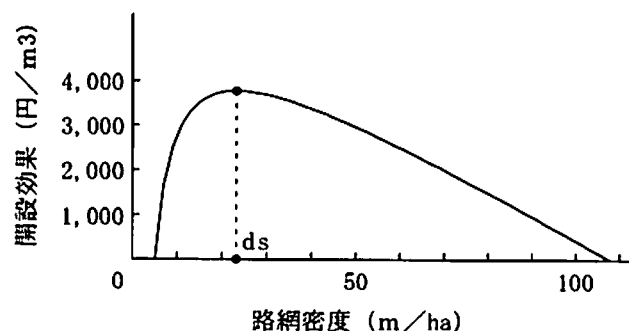


図1-6 路網密度と路網の開設効果

エ 考察

近年、ha当たり250m程度の超高密な路網が作設されるようになってきている。このような超高密路網を利用したフォワード集材の集材費は集材機集材、タワーヤード集材に比べて安価であることが示された（図1-5）。今後、超高密路網に焦点を当て、その特性を更に解明していく必要がある。

オ 今後の問題点

林道、作業道、作業路等の森林路網においては、最適な路網密度で整備されることが望ましい。

林道事業等公共事業の低コスト化が求められ、材価の低迷が続く中で、路網の作設費の低減化に向けた研究が必要である。森林路網の作設に当たっては、林地の浸食、崩壊等が生じることなく、林地の保全を図りうる道づくりが必要である。

カ 要約

フォワーダ道の路網密度が250m/haのとき、フォワーダ集材の平均搬出費は5,323円/m³で、集材機集材の7,617円/m³、タワーヤーダ集材8,073円/m³に比べ、かなり安価である。

費用1（新たな算定法による木寄せ造材費）は費用2（従来の算定法による木寄せ造材費）より安価となり、例えば、フォワーダ道の路網密度が250円/m³のとき、費用2は1,702円/m³、費用1は1,185円/m³で、費用1は費用2の69.6%となる。

路網密度が低いときには開設効果の増加率は高い。例えば、架線集材において林道密度が最適路網密度23.2m/haの1/2の11.6m/haの時、開設効果は3,116円/m³で、この値は最適路網密度における開設効果値3,776円/m³の82.5%となる。

キ 参考文献

上飯坂実（1971）わが国における路網密度の研究，森林利用学序説，地球出版，124.

奈良県林業指導所（1974）伐出作業の手引き，175p.

日本林業調査会（1977.9）素材生産を請負で行う場合の事務取扱いについて，素材生産請負契約の実務，124-158（林野庁長官通達（52 林野業第28号 昭和52年3月1日）.

三品忠夫・有馬孝昌（1966）伐木・運材の経営と技術，215p.

林業科学技術振興所（1983）山地の歩行，北方系大型ササ資源の収集・搬送に関する事前評価，126-134.

林業機械化協会（1991）タワーヤーダとその作業，林業機械化協会，189p.

林業機械化協会（1992）小型林内作業車の実用性に関する調査及び枝払機の改良に係る基礎調査に関する委託調査報告書，48p.

林業機械化協会（1999）林業機械便覧，267p.

林材業労災防止協会（1993）機械利用共同化促進調査報告書，66p.

田畑 実（1976）秋田県において使用している伐出作業経費積算の手引（1），機械化林業，269，40-46.

田畑 実（1976）秋田県において使用している伐出作業経費積算の手引（2），機械化林業，271，6-17.

田畑 実（1976）秋田県において使用している伐出作業経費積算の手引（3），機械化林業，272，6-22.

梅田三樹男ら（1982）標準功程表と立木評価，日本林業調査会，140p.

山口智ら（2004）タワーヤーダ集材における路網計画，森林利用学会誌，9（3），217-220.

山下信夫（1983）国有林における製品生産事業の盤台の改善のために（上）－製品生産事業の盤台の調査結果から，スリーエムマガジン，267，2-7.

山下信夫（1983）国有林における製品生産事業の盤台の改善のために（下）－製品生産事業の盤台の調査結果から，スリーエムマガジン，270，1-5.

第2章 路網路面流特性の解明

木材生産の生産性の向上を図るためには、砂利道、土道等低規格で安価に作設される道のある程度高い密度での整備が必要である。これらの路網の整備に伴う路面流による路面侵食、路面流排出に伴う土砂の流下を防ぐための方策を構築する必要がある。そのためには、路面流の流下特性、土砂排出特性を明らかにする必要がある。これまで、低規格路網における上記に関する研究は十分ではなく、本研究において路面流、流出土砂等の測定を行い、定量的に評価する。また、低コスト路面流排水法の構築を行う。

1. 林道路面流の定量評価

砂利道における路面流、流出土砂等の測定を行い、定量的に評価する。

ア 研究目的

木材生産の生産性の向上を図るためには、砂利道、土道等低規格で安価に作設される道のある程度高い密度での整備が必要である。これらの路網の整備に伴う路面流による路面侵食、路面流排出に伴う土砂の流下を防ぐための方策を構築する必要がある。そのためには、路面流の流下特性、土砂排出特性を明らかにする必要がある。これまで、低規格路網における上記に関する研究は十分ではなく、本研究において路面流、流出土砂等の測定を行い、定量的に評価する。また、低コスト路面流排水法の構築を行う。

イ 研究方法

常陸太田水文試験地内（茨城森林管理署堂平国有林118林班）の林道田渡線に、路面流下水測定試験区域を設け、路面流等の計測を行う。試験地内には外部から水が流れ込まないようにする。計測は、降雨量、路面流流出量、流出土砂量について行う。

ウ 結果

試験地は幅4.5m、長さ33.2m、平均勾配11.4%であった。試験地は粘性土路床の碎石路盤であった。試験は2004年5～11月に行った。土砂の回収は約2週間ごとに行った。降雨量と路面流出量との関係から、流出係数（流出量を降雨量で除した値）は降雨量が20mm以下では、0.578、20mm以上では、0.921となった（図2-1-1。図において、細い実線は45°線、一点鎖線は今回の調査結果全体の線、点線はそのうち一降雨の降雨量20mm以下の線、太い実線は藤枝が示した結果に基づく線で、森林と林道を含んだ流域全体の降雨量と流出量との関係を示すものである。）。このことから、雨量の多い降雨の場合、降雨量のほとんどは林道外に流下すると言することができる。流出土砂量は、路面整備後の月日の経過とともに減少し、5月の約9kgが最高で、7、8月には約4kg、11月には約1kgとなった（図2-1-2）。

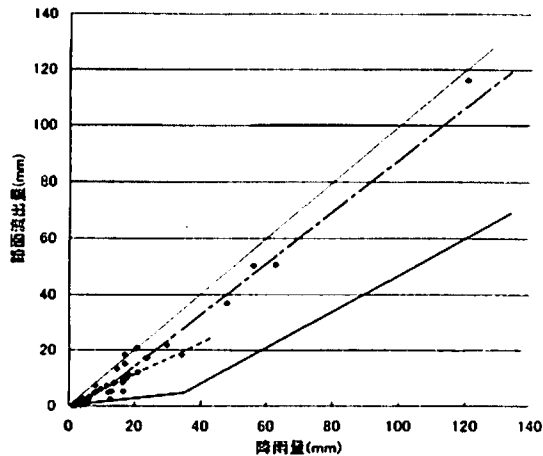


図2-1-1 降雨量と路面流出量

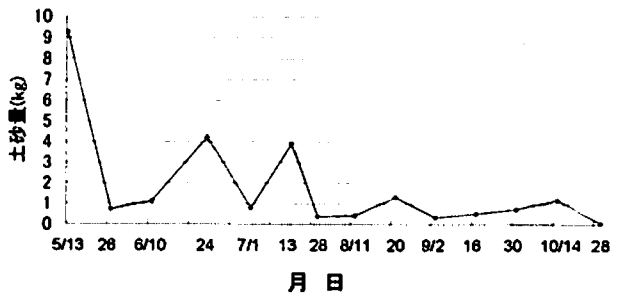


図2-1-2 土砂流出量の変化

エ 考察

調査結果から、路面整備後の路面からの流出に対する要注意期間は、関東地方では雨量の少ない冬季を除いて、ほぼ半年程度とすることができる。

オ 今後の問題点

今回は路面からの水及び土砂の流出量の調査を行ったが、今後は路面から流出した水及び土砂の流域全体に与える影響を解明する必要がある。

カ 要約

雨量の多い降雨の場合、降雨量のほとんどは林道外に流下すると言することができる。
路面整備後の路面からの流出に対する要注意期間は、関東地方では雨量の少ない冬季を除いて、ほぼ半年程度とすることができる。

キ 参考文献

梅田修史ら（2005）林道路面流の流出量について、日林関東支論、56、75-76

2. 集材路における土砂流出特性の解明

ア 研究目的

集材路は低コストで作設され、通常路網密度は高い。このため、降雨等に伴い土砂が流出することがあるが、このような流出を極力少なくする必要がある。そこで、トラクタ集材路の作設に伴う土砂の斜面下方への移動特性を明らかにし、移動防止法の構築を行う。

イ 研究方法

石狩森林管理署管内簾舞国有林1128林班の伐採跡地（2004年1～3月に択伐）に試験地を設定する（空沼試験地）。トラクタ集材路の通過箇所を沢型（沢を横断する箇所）と中腹型（主として中腹斜面に沿って作設した箇所）とに区分する。土砂の斜面下向への移動距離（水平距離）を土

土砂到達距離とし、この距離等の計測を行う。路面の縦断勾配、切取土工断面積、土砂到達距離、斜面傾斜の計測は路線に沿って10m間隔で行う。

ウ 結果

土砂到達距離は、沢型で大きく最大25mであった。中腹型では最大17mであった（図2-2-1）。沢型では、投棄された土砂は日数の経過とともに沢に移動し、停止することはなかった。上部に残っている土砂は20mm/時を超えるような強い降雨があるたびに下方に流れ出し、止まらないことが観察された。一方、中腹型では谷側に堆積された土砂は大きくは移動せず、斜面にとどまることが観察された。中腹型においては、路線下側の斜面傾斜と土砂到達距離とはほぼ比例関係にあり（図2-2-1）、また、集材路切取土工量と土砂到達（水平）距離ともほぼ比例関係にあることが明らかとなった（図2-2-2）。

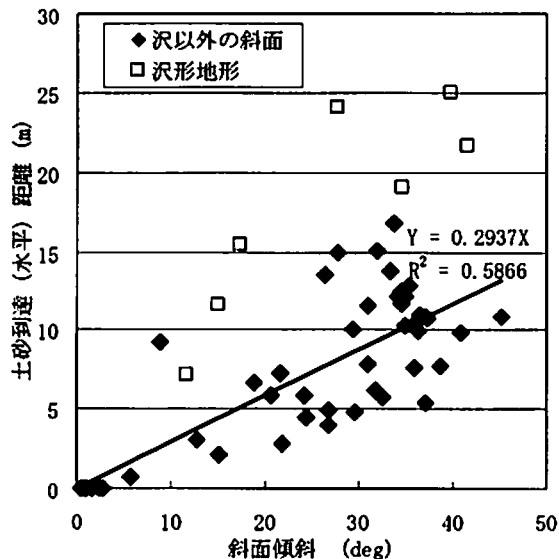


図2-2-1 斜面傾斜と土砂到達距離

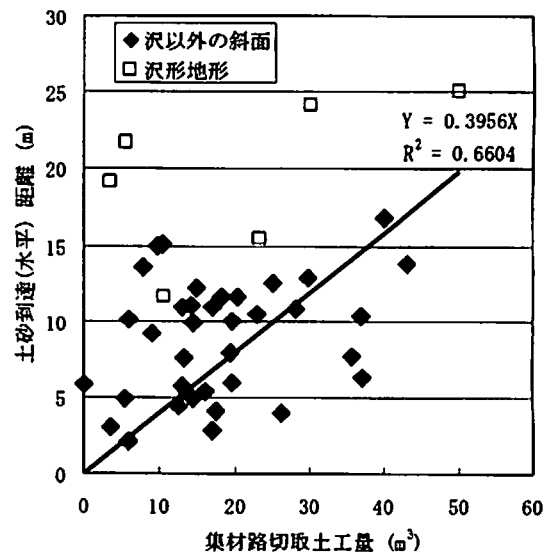


図2-2-2 集材路切取土工量と土砂到達距離

エ 考察

集材路の作設に当たっては、切取土工量をできるだけ少なくするような路線を選択することが望ましい。特に、冬季に積雪を利用した集材を行う場合には、尾根上や沢底をうまく利用して切取土工をほとんど行わないようにすれば、ほとんど土砂移動は生じないことになる。路線が沢型となる場合、できるだけ傾斜の小さい箇所を選び、切取土工量を最小にすることが重要である。中腹型では、20m程度の緩衝帯を設定すれば、影響の大きいと思われる初年度の土砂移動を収めうる可能性が高いと考えられる。

オ 今後の問題点

今回の研究で一応の結論は得られたが、今後更に条件の異なる箇所においても調査を行う必要がある。

カ 要約

冬季に積雪を利用した集材を行う場合には、尾根上や沢底をうまく利用して切取土工をほとんど行わないようにすれば、ほとんど土砂移動は生じないことになる。路線が沢型となる場合、できるだけ傾斜の小さい箇所を選び、切取土工量を最小にすることが重要である。中腹型では、20 m程度の緩衝帯を設定すれば、影響の大きいと思われる初年度の土砂移動を収めうる可能性が高いと考えられる。

キ 参考文献

- 佐々木尚三ら（2004）集材路の開設と土壌流出について， 日林学術講，115，p371.
佐々木尚三（2005）集材路からの土壌流出に関する考察—集材路切取土砂の移動について—， 日林北支論，53，147-149.
佐々木尚三（2005）、環境への配慮をめぐって、森林利用学会誌，20(2)、106-108.

3. 低コスト路面流排水法の構築

ア 研究目的

低コスト排水施設を現地に作設し、施設の機能等の調査を行う。また、施設の作設費の経済的評価を行う。

イ 研究方法

川側片勾配（路面の川側が山側より低くなるように設定した勾配）の排水施設の作設を行い、その排水機能状況等の調査を行う。茨城県城里町内の国有林において幅員2.4m、縦断勾配20%程度の作業路に9%程度の川側片勾配を設定する。流水試験を行い、その機能状況を観察する。流水の経路の軌跡線上に50cm間隔で縦断勾配及び横断勾配を測定する。測定値と算定値との対比を行う。

ウ 結果

（2）川側片勾配は、流水試験の結果、有効に機能した。川側片勾配の縦断勾配の平均値は20.2%、横断勾配の平均値は8.9%であった。この値に基づいた流水方向の算定値は縦断方向から23.8°であった。実際の流水の方向は縦断方向から28.4°で、誤差率は16.2%であった。

川側片勾配の作設費は、積算の結果、60円/mであった。川側片勾配の設定延長を8 mとすると1個所当たりの経費は480円となる。この経費は通常の横断排水施設に比べ、かなり安価である。ha当たりの作業路の路網密度を250m/ha、設置間隔を50mとする場合、ha当たりの費用は2,400円となる。通常の横断排水施設は溝内に土砂が堆積し、排水機能が失われる場合があるが、川側片勾配はそのおそれはなく、有効な方法と言える。

エ 考察

川側片勾配は路面流の排水には有効であるが、川側が低いため、スイングヤード等は川側にやや傾いた状態となる。このため、木寄せ作業時に転倒する可能性を増加させることになる。この

ため、川側片勾配は木寄せ作業に使用される可能性の低い個所に設定することが望ましい。その候補個所としては内カーブの個所（沢等地形が凹となっている個所）があげられる。

オ 今後の問題点

川側片勾配は施工事例が少ないため、今後、施工実績を増やし、その効果の確認、問題点の有無等についての調査を行っていく必要がある。木寄せ作業を安全に行うためには、山側を低くした山側片勾配が望ましい。今後、川側片勾配と山側片勾配とを組み合わせた路網作設法についての研究を行っていく必要がある。

カ 要約

川側片勾配は低コストで確実な排水法であることが確認された。今後、川側片勾配と山側片勾配とを組み合わせた路網作設法についての研究を行っていく必要がある。

キ 参考文献

日本林道協会（2002）林道規程 一運用と解説一，270p.

山口 智ら（2004）横断排水溝の機能状況，日本林学会関東支部大会発表論文集，55，287-288