

森林作業道における地形要因と横断面構造との関連性

野村久子・島田博匡（三重県林業研）

三重県における森林作業道の特徴や、地形要因と横断面構造との関連性を明らかにするため既設森林作業道の調査を行った。県内の 12 路線で線形測量と横断測量を行ない、717 の横断面図を作成した。横断面図から切土高、盛土高、切土部幅員、盛土部幅員、土量等の横断面指標を測定するとともに、GIS を用いて 5mDEM から地形指標（傾斜、曲率等）を求めた。横断面構造に影響を及ぼしている因子を探索するため、線形混合モデルで解析を行ったところ傾斜や地質が選択された。そこで、横断面指標の値が有意に大きくなる値をブートストラップ法で探索したところ、傾斜が 15° から 20° 以上で有意に大きくなった。

キーワード：三重県，森林作業道，ブートストラップ，傾斜，閾値

I はじめに

近年、高性能林業機械を活用した効率的な施業を行うため、施業の集約化が行われている。高性能林業機械の能力を最大限に発揮するためには、導入機械にあった路網整備が欠かせない。また、路網整備においては、安全でかつ作業効率の良い路網配置を行うための事前の検討が重要である。このため、事前の線形計画には等高線図や航空写真と共に作設難易度ごとに色分けされた「色分け図」(4, 5) が用いられることが多くなっているが、このような色分け図は基準となる指標や色分けの閾値が、対象となる地域の地質や地形条件により異なる可能性がある。そこで本研究では、三重県独自の色分け図の基準指標を得るため、三重県における森林作業道の特徴や、地形要因と横断面構造との関連性を明らかにするとともに、色分けの基準となる閾値探索を行った。

II 方法

1. 現地調査と地形要因の把握

2011 年から 2012 年にかけて、三重県内の集約化団地における既設作業道 12 路線において DGPS SXBlue II (GENEQ 社) を使用した線形測量と、任意の測点における横断測量を行い、717 断面の横断面図を作成した。横断測量においては、スタッフと勾配定規により横断面を測定するとともに、崩壊の有無、木組み工の有無、岩の有無を記録した。線形測量の結果からは作業路網計画支援ツール (2) を用いて、団地内の路網密度、平均集材距離、路網密度修正係数を求めた。横断測量の結果からはフリーの CAD ソフト (JWCAD) を用いて横断面を作図したうえで、横断面指標の値 [切土高 (m)、切土延長 (m)、盛土高 (m)、盛土延長 (m)、幅員 (m)、切土土量 (m³)、盛土土量 (m³)、総土量 (m³)]

を計測した。また、ArcGIS10.1 (Esri 社) を使用し、三重県市町総合事務組合発行の 5mDEM から横断測量箇所における地形要因 [傾斜 (°)、曲率 (ラプラシアン)、傾斜方向、SPI (Stream Power Index)、TWI (Topographic Wetness Index)] を求めた。また、調査した森林作業道の地質を日本シームレス地質図 (1) から読み取った。

2. 横断面構造と地形要因の関連性の解析

横断面構造と地形要因の関係を調べるため、横断面指標の値と地形要因の相関係数 (ケンドールの順位相関) を求めた。また、変数同士の相互関係も考慮に入れたうえで横断面構造に影響する因子を抽出するため、応答変数を横断面指標の各値、説明変数を地形要因と構造物・岩・崩壊の有無、地質、ランダム変数を路線とし、線形混合モデルによる解析を行い、AIC (赤池情報量基準) が最も小さくなるモデルの選択を行った。また、横断面構造に最も影響を及ぼしていた地形要因 (以下、影響要因とする) に対し、ブートストラップ法を用いた閾値探索を行った。影響要因がある値の時の横断面指標の値が、無作為に全体から抽出した横断面指標の値より有意に大きくなる時、その値が閾値といえる。影響要因にある値 (t) を設定したとき、影響要因が t 以上になる時の横断面指標の個数 (n) と値の平均値 (\bar{n}) を求めた。次に影響要因の値とは無関係に全体から n 個抽出し、平均値を求める作業を 2000 回繰り返して行った。2000 回の繰り返し抽出から得た平均値の分布において、 \bar{n} を基準とした上側確率を求めた。 t を変化させることで、 \bar{n} が上側確率 5% を越える時の t を有意な閾値とした。なお、統計解析にはフリーの統計ソフト R (3.2.2 版) を使用した。

III 結果と考察

表-1. 調査路線の特徴

路線	面積 (ha)	総路網延長 (m)	路網密度 (m/ha)	平均集材距離 (m)	路網密度修正係数	平均傾斜 (°)	平均切土高 (m)	地質	横断測量測点数
1	6.15	2036.0	331.05	10.15	1.34	30.0	1.97	領家変成岩	60
2	6.16	1901.3	314.70	11.27	1.33	16.8	1.34	花崗閃緑岩	69
3	2.37	950.4	401.30	9.22	1.48	23.7	0.71	珪長質深成岩	59
4	30.85	7054.9	228.60	17.80	1.62	28.3	2.24	三波川変成岩	133
5	19.05	3065.9	161.50	26.60	1.67	33.9	2.55	三波川変成岩	70
6	11.19	1374.8	122.89	33.56	1.65	25.8	1.70	三波川変成岩	42
7	65.70	5581.4	84.94	94.78	3.22	33.8	2.49	三波川変成岩	92
8	5.70	1050.0	184.22	16.08	1.19	25.1	1.33	砂岩	33
9	12.32	836.8	67.92	94.16	2.56	23.4	1.32	チャート	22
10	5.54	1217.2	219.74	17.91	1.57	25.9	1.16	砂岩	75
11	5.23	726.4	139.02	32.59	1.81	26.2	1.31	砂岩	47
12	14.40	1105.3	76.73	71.00	2.18	23.8	0.91	珪長質火山岩	15
平均	15.39	2241.7	194.38	36.26	1.80	26.4	1.59		合計 717

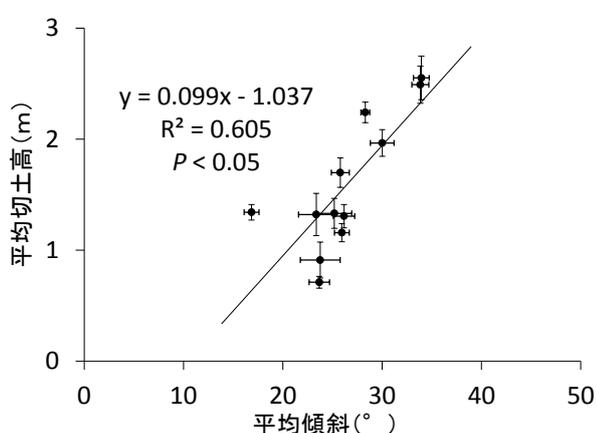


図-1. 路線ごとの平均傾斜と平均切土高の関係
エラーバーは標準誤差を示す。

1. 調査路線の特徴

表-1に12路線の概要を示す。団地面積は平均15.39 haであった。路線の横断面における平均傾斜の平均値は26.4°、平均切土高の平均値は1.59 mで、傾斜が急な路線ほど平均切土高が高くなる傾向がみられた(図-1)。路網配置の特徴を表す指標である路網密度と路網密度修正係数の平均値は、路網密度が194.38 m/ha、路網密度修正係数が1.80であった。中山間地域の計画単位ごとに路網密度修正係数の概略値を提示した報告によると、1万 haを超える市町村規模で1.74、1000 ha程度の地区規模では1.60、100 ha程度の林班規模では1.47、30 ha程度の小班規模では1.39を概略値としているが(3)、それと比較して今回調査した森林作業道は団地面積の平均が15.39 haに対し路網密度修正係数の平均は1.80となっており、効率の良い配置とはいえなかった。

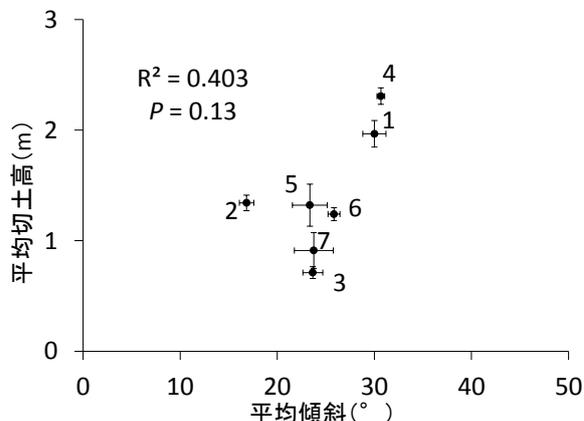


図-2. 地質ごとの平均傾斜と平均切土高の関係
1: 領家変成岩, 2: 花崗閃緑岩
3: 珪長質深成岩, 4: 三波川変成岩
5: チャート, 6: 砂岩, 7: 珪長質火山岩
エラーバーは標準誤差を示す。

2. 横断面構造と地形要因の関連性

横断面指標の値と地形要因等との相関係数(ケンドールの順位相関)を表-2に示す。横断面指標の値は幅員を除くすべての項目で傾斜との相関係数が高かった。また、表-3に線形混合モデルによる影響要因の探索結果を示す。影響要因としては傾斜と地質が多くの項目で選択され、地質については、珪長質深成岩、砂岩、珪長質火山岩が有意な係数として抽出された。しかし、地質別の平均傾斜と切土高の関係をみると、明確な傾向がみられず(図-2)、今回の調査結果からは地質の影響を読み取ることが難しい。そこで、今回の報告では横断面構造の影響要因を傾斜として、以下の解析を行った。

表-2. 横断面指標値と地形要因等との相関関係（ケンドールの順位相関）

	縦断勾配	幅員	切土高	切土延長	盛土高	盛土延長	切土土量	盛土土量	総土量 (切土土量+盛土土量)
傾斜	-0.066 **		0.316 ***	0.308 ***	0.300 ***	0.288 ***	0.227 ***	0.167 ***	0.299 ***
曲率					0.056 *	0.062 *		0.085 ***	0.055 *
傾斜方向	0.059 *	-0.062 *							
SPI (*1)		0.140 ***	0.202 ***	0.227 ***	0.140 ***	0.061 *	0.091 ***	0.072 **	0.078 **
TWI (*2)	0.063 *	0.129 ***	0.091 ***	0.121 ***					
切土木組み(*3)			0.158 ***	0.212 ***	0.073 *	0.064 *	0.065 *	0.068 *	0.091 **
盛土木組み(*3)	-0.144 ***		0.074 *	0.090 **	0.211 ***	0.213 ***		0.140 ***	0.104 ***
盛土根株(*3)		0.142 ***			0.068 *			0.104 ***	0.072 *
岩の有無(*3)			0.333 ***	0.305 ***	0.185 ***	0.173 ***	0.316 ***		0.304 ***
崩壊の有無(*3)			0.296 ***	0.310 ***	0.148 ***	0.113 ***	0.212 ***	0.074 *	0.215 ***

p-value ; '***' p < 0.001 ' ** ' p < 0.01 ' * ' p < 0.05

*1 Stream Power Index (SPI 表面流去水の浸食力の指標)

*2 Topographic Wetness Index (TWI 湿潤度の指標)

*3 無: 1, 有: 2 (リファレンスカテゴリは1)

表-3. 線形混合モデルによる影響要因の探索結果

	傾斜	曲率	傾斜方向	SPI (*1)	TWI (*2)	切土部木組(*3)	盛土部木組(*3)	盛土部根株(*3)	岩(*3)	崩壊(*3)	地質(*4)
切土高	+	-		(-)		+			+	+	(-) [1] - [3] (+) [4] (-) [5] - [6] - [7]
切土長	+	(-)				+			+	+	(-) [7] - [3] (-) [1] (-) [6] (+) [4] (-) [5] - [7] - [3]
盛土高	+				-		+	+	(+)	(+)	(+) [1] - [6] (+) [4] - [5]
盛土長	+				-		+	+			(-) [7] - [3] (-) [1] (-) [6] + [4] (-) [5] + [7] (+) [3]
縦断勾配	-						-				(+) [1] (+) [6] + [4] (+) [5]
幅員		+									(-) [7] - [3] (+) [1] - [6] - [4] (+) [5]
切土量	+	-							+	+	(-) [7] - [3] (-) [1] - [6] (+) [4] (-) [5]
盛土量	(+)	+					+	(+)	(-)		(-) [7] - [3] (+) [1] (-) [6] (+) [4] (-) [5]
土工量	+	(-)				(+)	(+)		+	+	(-) [7] - [3] (+) [1] (-) [6] (+) [4] (-) [5]

+, - は解析の結果, 影響要因として抽出されたもので, + は正, - は負の影響要因。

() は影響要因として抽出されたが有意性 (p > 0.05) がみられなかったもの, [] は因子の種類を示す。

*1 Stream Power Index (SPI 表面流去水の浸食力の指標)

*2 Topographic Wetness Index (TWI 湿潤度の指標)

*3 無: 1, 有: 2 (リファレンスカテゴリは1)

*4 領家変成岩: 1, 花崗閃緑岩: 2, 珪長質深成岩: 3, 三波川変成岩: 4, チャート: 5, 砂岩: 6, 珪長質火山岩: 7 (リファレンスカテゴリは2)

3. 影響要因の閾値探索

影響要因を傾斜とし、ブートストラップ法を用いた閾値探索の結果を図-3に示す。傾斜 3° から 40° までを検討した結果、切土高においては傾斜が 15° の時、 15° 以上における切土高の平均値は上側確率5%を超え有意に大きくなった。また同様に、盛土高では 16° 以上、切土土量では 19° 以上、盛土土量では 20° 以上になるとき有意に大きくなった。このことから、傾斜の閾値は 15° から 20° であると考えられたが、三重県は急峻な地形が多く(6)、今回得た 15° から 20° という閾値は、森林作業道開設の指標とするには実用的な値ではなかった。

IV. まとめ

横断面指標の値と地形要因との関係を調べた結果、単相関においても、線形混合モデルにおいても、傾斜が横断面構造に大きな影響を与える要因であった。地質についても影響を及ぼしている可能性がみられたが、今回の調査では地質ごとの調査数が少なかったため、地質の影響を十分に把握することができなかった。今後、横断面構造と地質の関連性を明確にするためには、地質ごとの調査地数を増やしたうえでの解析が必要である。また、影響要因である傾斜について閾値の探索を行った結果、その閾値は 15° から 20° であった。急峻な地形が多い三重県では、今回得た閾値は森林作業道開設の指標とするには実用的な値ではなかった。当面は、大橋式(4, 5)など既存の基準を用いてGISを使用した効率的な作図を行うことが望ましいと考えられる。

引用文献

- (1) 国立研究開発法人産業技術総合研究所. 20万分の1日本シームレス地質図, (<https://gbank.gsj.jp/seamless/>). 2013年3月25日参照
- (2) 松本武・古川邦明(2007) 作業路網計画支援ツールの作成. 森利誌 22(3): 181-186
- (3) 中澤昌彦・松本武・岡勝・田中良明・吉田智佳(2009) 中山間地域における路網密度修正係数の特性. 森利誌 24(3・4): 97-106
- (4) 大橋慶三郎(2001) 大橋慶三郎道づくりのすべて. 全国林業改良普及協会
- (5) 大橋慶三郎(2011) 作業道 路網計画とルート選定. 全国林業改良普及協会
- (6) 吉田智佳史(2001) マップ分析 流域で見る我が国の林業経営条件. (機械化のマネジメント. 全国林業改良普及協会編, 全国林業改良普及協会)

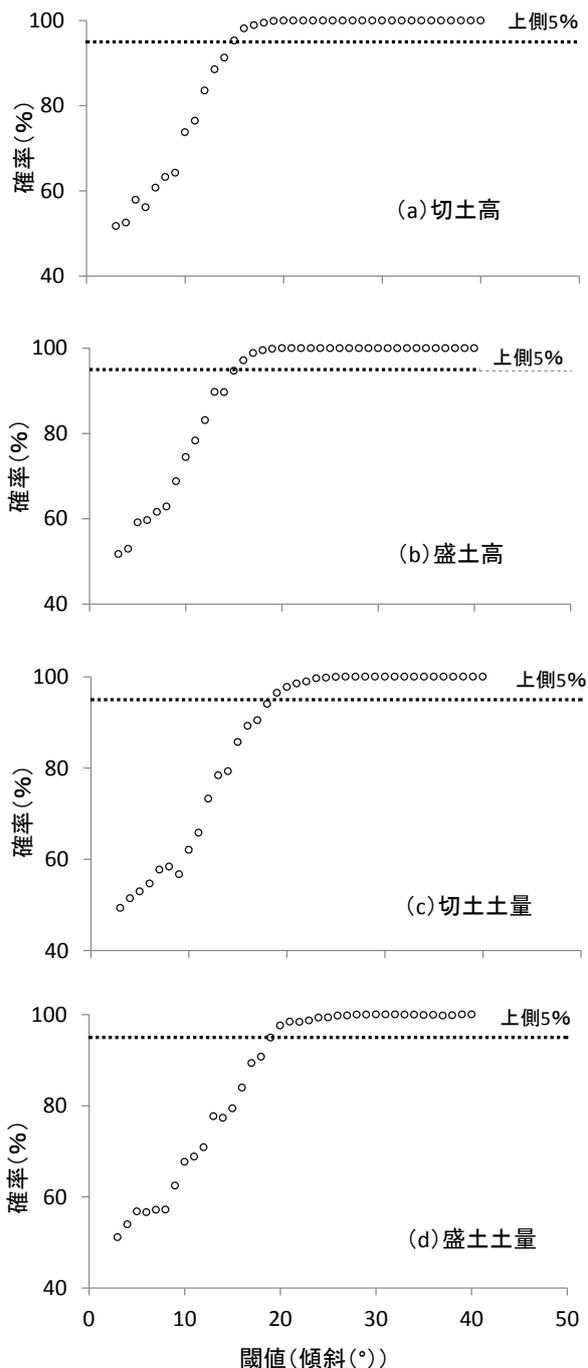


図-3. ブートストラップ法による閾値の探索