

既設路網の高規格化による基幹路網の整備の可能性 —拡幅シミュレーションによる検討—

渡部優*・斎藤仁志*・白澤紘明**・植木達人***

渡部優・斎藤仁志・白澤紘明・植木達人：既設路網の高規格化による基幹路網の整備の可能性—拡幅シミュレーションによる検討—。森利誌 37 (1)：17 ~ 26, 2022. 基幹路網整備を加速化させる一方策として、既設路網の高規格化が挙げられるが、高規格化の物理的・経済的な難易は、既設路網の立地と構造の条件によって異なるため、既設路網の高規格化により基幹路網がどの程度整備可能であるかは明らかでない。そこで本研究では、既設路網の高規格化による基幹路網の整備の可能性を、拡幅の観点から明らかにすることを目的とした。長野県伊那市の民有林に整備された作業道、2・3 級林道を対象に、既設路網の全幅員を 3.5 m および 4.0 m に拡幅するシミュレーションにより、路線ごとに拡幅の物理的可否の判定と拡幅単価の試算を行った。その結果、設定条件下で拡幅可能と判定された路線の総延長が既設低規格路網の総延長に占める割合は、全幅員 3.5 m への拡幅の場合は 89.0% であり、全幅員 4.0 m への拡幅の場合は 70.1% であった。路線長の重み付きの平均拡幅単価は全幅員 3.5 m への拡幅の場合は 1,787 円 /m であり、全幅員 4.0 m への拡幅の場合は 5,537 円 /m であった。仮に対象地において、全幅員 3.5 m へ拡幅可能なすべての既設路網を拡幅した場合、基幹路網の目標整備水準の達成に必要な整備量の 36% を拡幅により賄える可能性が示された。

キーワード：基幹路網、高規格化、拡幅、シミュレーション、DEM

Masaru Watanabe, Masashi Saito, Hiroaki Shirasawa and Tatsuhito Ueki : **The possibility of developing high-graded forest road networks by upgrading existing ones—A widening simulation-based investigation—**. J. Jpn. For. Eng. Soc. 37(1): 17 – 26, 2022. Upgrading of existing forest roads is a way of accelerating development of high-graded forest roads. However, the difficulty of upgrading in terms of physicality and economic efficiency differs by conditions of location and structure of existing forest roads. Therefore, it is unclear how amount of development of high-graded forest roads could be achieved by upgrading. The purpose of this study is to clarify the possibility of development of high-graded forest roads by upgrading existing forest roads by use of widening simulation. The simulation was performed for forest roads located in private forest of Ina city in Nagano prefecture, and the physical availability and unit cost of widening was resulted. As a result, the ratio of the total length of routes judged to be expandable under the set conditions to the total length of the existing low-standard road network was 89.0% in the case of the expansion to 3.5 m in full width and 70.1% in the case of the expansion to 4.0 m in full width. Average widening unit cost weighted road length is 1,787yen/m in case of widening to 3.5 m full width and 5,537yen/m in case of widening to 4.0 m full width. When all existing forest roads that able to widen to 3.5 m full width on study site, it is revealed that 36% of development amount needed to achieve objective development amount are covered by widening.

Keywords : high-graded forest roads, upgrade, widening, simulation, DEM

2021 年 7 月 29 日受付, 2021 年 11 月 24 日受理

連絡先 (Corresponding author) : 渡部優 (Masaru Watanabe) Email : mwatanab@iwate-u.ac.jp

* Masaru Watanabe, Masashi Saito 岩手大学農学部 Fac. Agric., Univ. of Iwate, Iwate 020-8550

** Hiroaki Shirasawa 森林総合研究所 For. and Forest Prod. Res. Inst., Tsukuba 305-8687

***Tatsuhito Ueki 信州大学農学部 Fac. Agric., Univ. of Shinshu, Nagano 399-4511

1. はじめに

今後も増加が見込まれる高齢級人工林からは、大径材（末口径 30 cm 以上）が得られることが期待されるが、大径木を効率良く山から伐出、加工する技術の開発が課題となっている（宮本 2015）。大径木を安全かつ効率的に伐出する一つの方策として、伐出機械を大型化し重量物に対する安定化を図ることが挙げられる（鈴木ら 2015）。また、人工林の高齢級化に伴う主伐林分の増加により大量の木材輸送の必要性が増している中、輸送車両の大型化がもたらす輸送コストの低減効果に期待が寄せられている（日本林業技士会 2008）。今後は運転手不足への対応も含め、一度により多くの原木を運送できる大型車両の林道への乗り入れに対するニーズがより強くなることが想定される（林野庁 2020）。

大径材を安全かつ効率的に伐出・輸送する一つの方策として、伐出・輸送機械の大型化が期待される。しかし、大型機械の安全かつ円滑な通行および作業を可能にするには、林道、林業専用道、基幹作業道といった一定の規格構造を有した基幹路網の整備が必要となる。一定の規格構造とは、幅広い全幅員、急でない縦断勾配、余裕のある曲線、堅固な路体、作業空間の確保などが挙げられる。令和 2 年に改正された林道規程（林野庁 2020）においても、ドライバーズファーストの理念のもと、拡幅量の縮減の禁止やセミトレーラを対象とした拡幅量の追加などがなされており、必要最低限の経費とする考えは維持しつつも、車両の安全かつ円滑な通行の確保ができるように、高規格な林道の整備を推進する傾向にある。

基幹路網の整備費用を縮減させる一つの方策として、既設路網の高規格化（改築、改良）が挙げられる。高規格化による整備の場合、既に線形や幾何構造が決定されているため、条件がよければ新規開設による整備と比べ安価に基幹路網を整備できることが期待できる。新たな林道規程の第 1 章第 3 条（用語の定義）では、「改築」「改良」の用語の定義が明記されたことから、大型機械の需要が増す中、新規開設以外にも高規格化による基幹路網の整備アプローチの重要性が見直されてきていると考えられる。2019 年現在、我が国における作業道の延長は約 19 万 km になっており（林野庁 2021）、民有林林道のうち低規格な 3 級林道の延長は、2016 年度末時点で 16,846 km となっている（日本林道協会 2019）。一方で基幹路網の整備量は、例えば民有林林道 1 級・2 級の総延長は 2016 年度末で 72,372 km であり、整備が遅れている。今後、基幹路網整備を加速化させるには、既設路網の高規格化による整備方策への期待は少なくないものと考えられる。しかし、わが国では国土の森林の 8 割を中急傾斜地が占めるとともに（酒井 2000）、小型車両やクローラ式車両が走行することを前提として整備された路線も存在する（後藤ら 2014）。従って日本では、既設路網の立地や幾何構造の条件が高規格化の制約になることが考えられる。

これまでの基幹路網の整備に関する議論の中心は、路網密度、配置、機能評価等であり、既設路網の高規格化に関する研究例は未だ少ない。また、路網整備の現状を考慮した将来的な路網整備に関する研究例も、例えば中澤（2005）が、森林整備と森林基盤（公道、林道、作業道を含む林内路網）の整備の実態を踏まえた、今後 10 年間の作業道による林内路網の配置計画とその路網開設の優先順位の検討をしているが、研究例は未だ少ない。その上、高規格化に関する既往研究は、主として高規格化の費用対効果を検討したものである。山崎ら（2018）が作業道の改良による伐出作業システムの生産性の向上と経費削減効果を検証し、2 路線における改良費用の事例を報告しているが、対象路線における結果がどの程度普遍性を有しているかには検討の余地がある。海外では、Coulter *et al.* (2006) は主に横断排水溝の整備に、Henningson *et al.* (2007) は主に路面舗装に着目した路網高規格化の費用対効果について検討しているが、これらは溪流への土砂流出の規制が厳しい環境や、融雪期の泥寧化により深刻な通行障害が発生する環境における高規格化を検討したものであり、特に大型機械の通行および作業を目的とした高規格化を検討したものではない。

このように、これまでの研究例では、既設路網の立地および構造条件による整備制約が予想される中、高規格化可能な既設路網が実際にどの程度存在するかは明らかとなっていない。本研究では、既設路網の高規格化による基幹路網の整備の可能性を、高規格化に必要な施工の一つである拡幅の観点から定量的に評価することを目的とした。既設路網に対して拡幅をシミュレーションすることで、設定した条件下で拡幅可能な路網の割合を明らかにするとともに、既設路網の高規格化のうち拡幅にかかる費用を試算した。

2. 研究方法

2.1 研究対象地

研究対象路網は、長野県南部に位置する伊那市の民有林に整備された林内路網とした（図-1）。伊那市の東部には、3000 m 級の赤石山脈およびその前衛の 1000 m 級の伊那山地がそれぞれ南北に連なっている。また、一級河川の本川を挟んで、西部には 2000 m 級の木曽山脈が南北に連なっている。対象地に整備された林内路網は、これらの山脈に配置されたものであり、山岳地に整備された路網として位置付けられる。なお、各解析対象路線から発生させた 100 m バッファ内の平均地山傾斜は約 26° であり、解析対象路網は中傾斜地の中でも比較的急な地形に配置された路網であることが確認できる。

2.2 解析データ

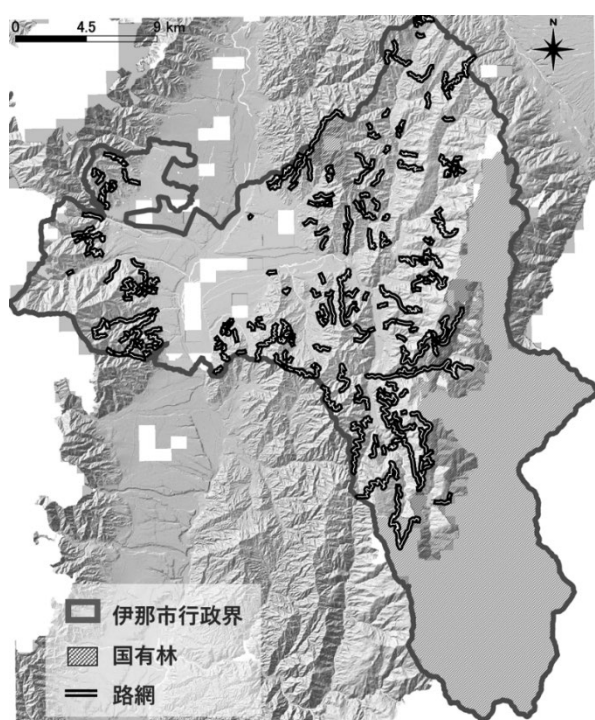
研究対象地に整備された路網と解析対象路網の整備状況を表-1 に示す。対象地には 2013 年 3 月末現在、林道 92 路線、作業道 191 路線が整備されている（伊那市 2016）。解析に用いる路網データには、長野県が整備し

た路網ベクタデータを用いた。このデータには、空間情報として路線の中心線が、属性情報として道路種別（林道、作業道）、全幅員などが含まれている。なお、森林域を通る公道は含まれていない。対象地に整備された全路線（283 路線）のうち、47 路線の線形データは整備されていなかった。また、6 路線の一部区間では、後述する DEM が整備されていなかった。そこで、解析対象路線は、283 路線（391 km）から、解析上データの不備があった 53 路線（90 km）を除いた 230 路線（301 km）とした。

地形データには、長野県が 2013 年に実施した航空レーザ測量データから生成された高解像度 DEM（解像度 0.5 m）を用いた。

2.3 拡幅シミュレーションの概要

拡幅シミュレーションでは、路網データおよび地形デ



図－1 解析対象路網

ータを入力として、路線ごとに仮想的に拡幅を再現し、各路線の拡幅可否と拡幅単価（円/m）を出力として得た。拡幅により整備する基幹路網は、全幅員 3.5 m（車道幅員 3.0 m，路肩 0.25 m）の路網と、全幅員 4.0 m（車道幅員 3.0 m，路肩 0.5 m）の路網の 2 パターンとした。全幅員 3.5 m の基幹路網は林業専用道相当の規格を想定しており、ベースマシン 13 t クラスの林業機械および 10 t トラックを設計車両として想定している。全幅員 4.0 m の基幹路網は林道 2 級相当の規格を想定しており、ベースマシン 16 t クラスの林業機械およびセミトレーラを設計車両として想定している。なお、本研究では全幅員の観点のみから路線規格を定義していることに注意されたい。全幅員の情報が信頼できる林道に限り、全幅員が 3.5 m または 4.0 m 以上の路線は、拡幅不要と判定し解析から除外した。

拡幅が必要な路線ごとに、道路中心線に沿って一定の間隔で地形横断面を生成した。横断面を生成する間隔は、地形・施工の連続性と計算量を考慮し 5 m とした。横断面は、道路中心線を境に、路線の進行方向の直角方向に左右それぞれ 30 m の区間の標高を DEM の解像度である 0.5 m 間隔で内挿し生成した。生成した横断面ごとに、拡幅の検討を行った。以降の 2.4 ～ 2.8 では、解析方法の詳細について説明する。シミュレーションに用いた諸条件は、表－2 に一覧で示した。解析には、MathWorks 社の MATLAB2018b を使用した。

2.4 道路中心線位置の修正

DEM から生成した陰影図と路網データを重ね合わせたところ、陰影図上で判読できる道路中心線と路網データの道路中心線が数 m から数十 m ずれている区間が多数確認された。そこで、取得した路網データの道路中心線位置の修正を下記の 2 段階で行った。

1 段階目の修正は、道路中心線の位置が、概ね陰影図上で判読した路面に位置させることを目的に、陰影図上で行った。路網データと陰影図を重ね合わせ、路網データの道路中心線が陰影図より判読される道路面から大きく外れている場合、路網データの頂点の位置を判読され

表－1 対象地に整備された路網と解析対象路網の整備状況

路網整備現況						
規格	計	林道	作業道			
路線数	283	92	191			
延長（km）	391	225	166			
密度（m/ha）	11.7	6.7	5.0			
解析対象路網（規格別）						
規格	計	林道	林道1級	林道2級	林道3級	作業道
路線数	230	83	2	47	34	147
延長（km）	301.3	177.7	25.4	101.2	51.1	123.6
密度（m/ha）	9.0	5.3	0.8	3	1.5	3.7

注) 路網密度は民有林面積33,367 ha をもとに算出した

表-2 拡幅シミュレーションに用いた諸条件

項目	単位	拡幅後の全幅	
		3.5 m	4.0 m
横断面の取得間隔	m	5	
横断面上の標高取得間隔	m	0.5	
切土法面勾配		1 : 0.6	1 : 0.8
盛土法面勾配		1 : 1.2	1 : 1.5
床掘法面勾配		1 : 0.3	
拡幅後の切土高の上限値（土構造のみ）m		5	
拡幅後の切土高の上限値（保護工あり）m		10	
拡幅後の盛土高の上限値（土構造のみ）m		2	
擁壁高の上限値	m	2	
ほぐし率		1.2	
締め固め率		0.9	
土工単価（地山の掘削）	円/m ³	500	
土工単価（土砂積込）	円/m ³	400	
土工単価（盛土工）	円/m ³	700	
土工単価（土砂運搬）	円/m ³ ・km	1000	
法面保護工単価	円/m ²	1500	5000
擁壁工単価	円/m	44000	

た道路路面上に修正する作業を行った。

陰影図では、路面が明瞭に判読できない区間が存在する。そこで、生成された各横断面上で、2段階目の修正を行った（図-2）。また、2段階目の修正では、各横断面の全幅員の取得も行った。これは、一部の路線で全幅員の属性情報が欠損しているとともに、全幅員が既知の路線においても、路線各区间により数十 cm から数 m の範囲でばらつくためである。まず、横断面を構成する各頂点（標高ベクトル）と基準点の標高の差の絶対値を計算した。次に、その差が z (m) 以内かつ、標高ベクトル上で道路中心線を含み、互いに隣接する一群の頂点を

路面と判定した。 z は、通行車両の最低地上高や横断勾配を考慮し 0.1 m とした。路面に含まれる頂点の個数より、当該横断面の全幅員を取得した。基準点は、道路中心線およびその両側 5 m 範囲内にある各標高取得地点とした。各基準点で判定された 21 の路面候補のうち、全幅員が最大となる路面の中央を、当該横断面の道路中心線位置とし、その全幅員を当該横断面での全幅員とした。

2.5 拡幅量の決定

横断面を生成した地点ごとに、フレネ・セレの公式を用いて曲率半径を求め、その逆数として曲線半径を取得し、林道規程に従った方法で曲線部の拡幅量 ε を算出した。曲線部の拡幅量と横断面ごとに取得した全幅員より、各横断面における必要拡幅量 w を（1）式より求めた。

$$w = (W - W_0) + \varepsilon \quad (1)$$

ただし、 w ：各横断面における必要拡幅量 (m)、 W ：拡幅後の全幅員 (m)、 W_0 ：横断面ごとに取得された全幅員 (m)、 ε ：横断面ごとに算出された曲線部の拡幅量 (m)、である。

最小曲線半径以下の曲線部では、曲線半径を確保するための改築が必要となる。本研究では解析を単純化するため、曲線半径の大小による施工の難易を、曲線部の拡幅量の大小で代替した。また曲線部の拡幅は、車両の通行性を考慮し原則内側拡幅とすることとなっている。本研究では、曲線部の拡幅量を山側で賄うことで経済的に有利になる場合に、曲線部の拡幅量を山側で行うと設定した。

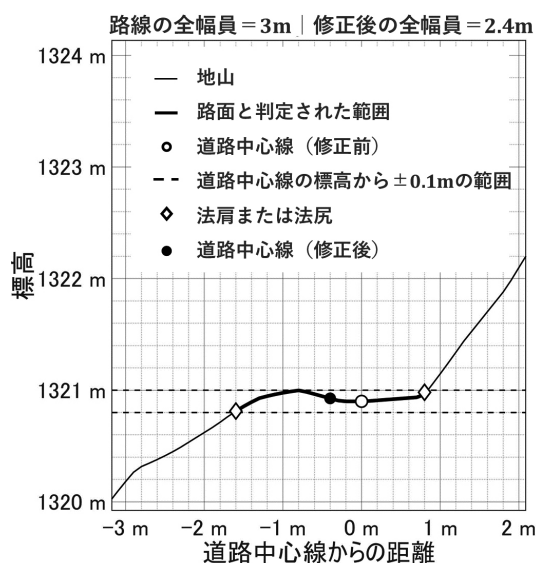


図-2 地形横断面上での道路中心線位置の修正

必要拡幅量が0 m 以下となる横断面は、拡幅不要と判定した。路線の全幅員の属性情報が欠損しており、かつ全線の7割以上の横断面で拡幅が不要な路線は、既に目標の規格に達しているとみなし、拡幅シミュレーションの対象から除外した。

2.6 仮想拡幅

必要拡幅量の決定後、当該横断面における拡幅を下記の3パターンで行った。

- ① 路線進行方向に対して左右の斜面に必要拡幅量を等分に割り振り確保するパターン
- ② 路線進行方向左側の斜面に必要拡幅量を全量割り振り確保するパターン
- ③ 路線進行方向右側の斜面に必要拡幅量を全量割り振り確保するパターン

各パターンにおいて、仮想的に生成した法面と地山の関係から拡幅の工種を選定し、土工横断面積、法面保護工と擁壁工の数量を計算することで、当該断面における拡幅施工費を試算した。各パターンのうち、施工費最小のものを当該横断面における拡幅方法として採用し、土工横断面積、法面保護工と擁壁工の数量を記録した。いずれのパターンでも拡幅困難と判定された場合、当該横断面での拡幅は困難と判定した。

2.7 工種選定

図-3に拡幅検討斜面における工種選定の流れを示す。また図-4に、工種選定結果の一例を示す。工種選定は、標高(m)を縦軸、横断面方向における道路中心線からの距離(m)を横軸とした座標平面上で行った。

工種選定では、まず拡幅検討斜面における拡幅が切土によるものか盛土によるものかを判定した。判定にあた

り、既設の路面端より水平方向に距離 w の線分(仮想路面)を生成した。次いで仮想路面端における地山の標高を取得し、道路中心線との標高差を調べた。標高差が0 m 以上の場合には切土による拡幅を、負の場合には盛土による拡幅を行うこととした。

切土による拡幅における工種選定について説明する。はじめに、仮想法肩より勾配 $1:\alpha$ の仮想切土法面を生成し、地山との交差判定を行った。全幅員3.5 m への拡幅の場合、 α は林業専用道作設指針(林野庁 2010b)を参照し、林業専用道規格において土砂を想定した場合の標準値である0.6とした。全幅員4.0 m への拡幅の場合、 α は林道技術基準(林野庁 2021b)を参照し、林道において普通土を想定した場合の標準値である0.8とした。仮想法面と地山が交差する場合、交点(仮想法頭)と道路中心線の標高差として、拡幅後の切土高を取得した。掘削機械のアーム稼働域を考慮し、切土高が5 m 未満の場合、当該斜面の拡幅は掘削工により行うこととした。切土高が5 m 以上10 m 未満の場合、当該斜面の拡幅は掘削工と法面保護工により行うこととした。法面保護工は、切土法面の全面に行うこととした。保護工の工種は、全幅員3.5 m への拡幅の場合、法面安定化とコストの観点から植生工とした。全幅員4.0 m への拡幅の場合、法面安定化を重視する観点から、コンクリート吹付工を行うこととした。仮想法面と地山が交差しない場合や、拡幅後切土高が閾値以上となる場合は、当該斜面は拡幅困難と判定した。拡幅後切土高の閾値は、法面の安定性と施工の難易を考慮し10mとした。

次に、盛土による拡幅における工種選定について説明する。はじめに、仮想法肩より勾配 $1:\beta$ の仮想盛土法

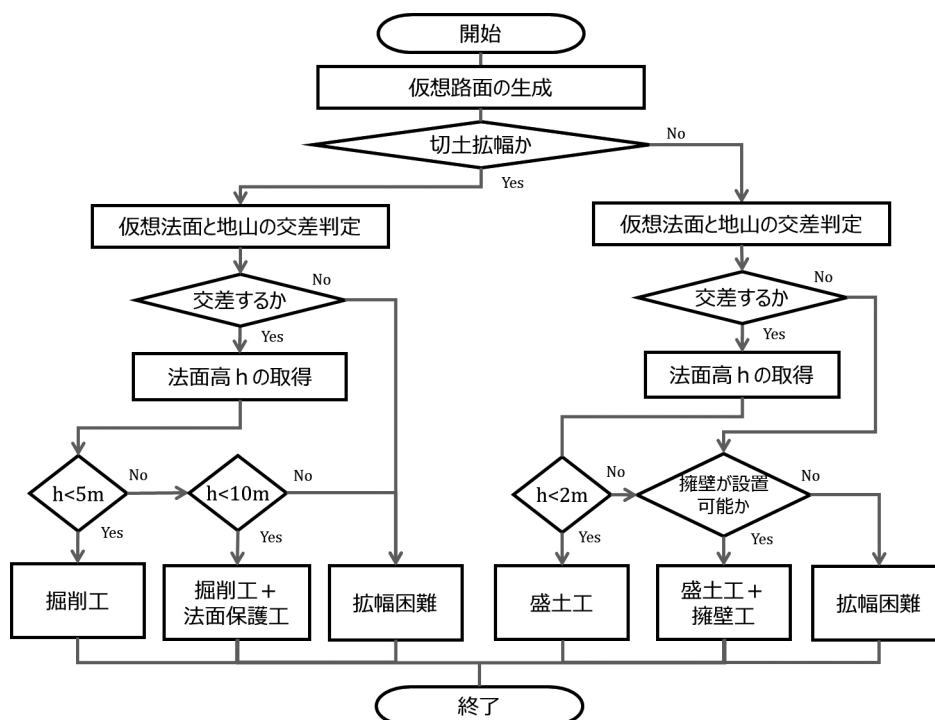


図-3 工種選定の流れ

面を生成し、地山との交差判定を行った。全幅員 3.5 m への拡幅の場合、 β は林業専用道作設指針（林野庁 2010b）を参照し、林業専用道規格における標準値である 1.2 とした。全幅員 4.0 m への拡幅の場合、 β は林道

技術基準（林野庁 2021b）を参照し、林道における標準値である 1.5 とした。仮想盛土法面と地山が交差する場合、交点（仮想法尻）と道路中心線の標高差として、拡幅後の盛土高を取得した。法面の安定性と施工の難易を

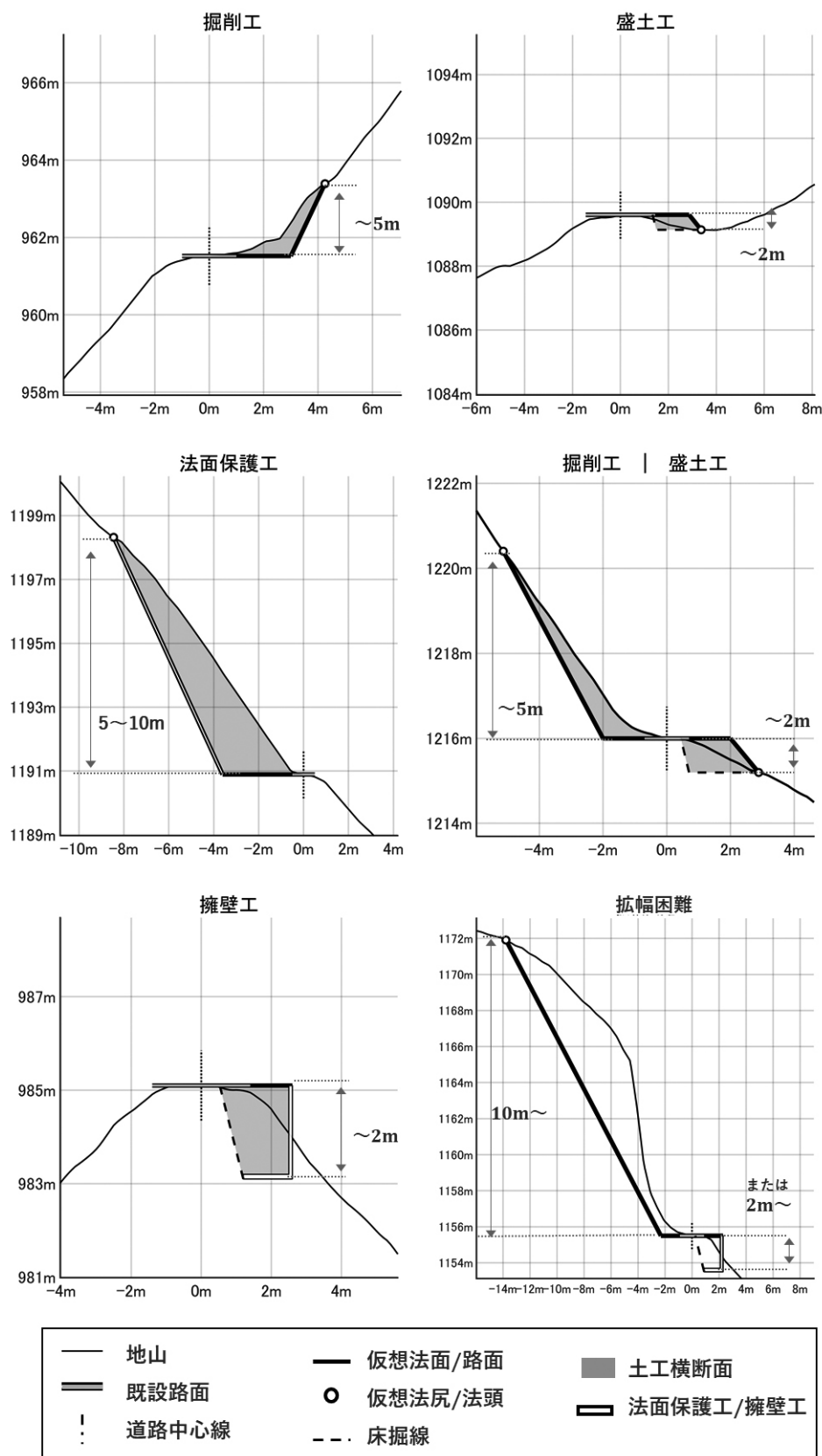


図-4 工種選定結果の例

注) 図中の縦軸は標高を、横軸は横断面上での中心線からの距離を表す

考慮し、盛土高が2 m未満の場合は、当該斜面の拡幅は盛土工により行うこととした。盛土高が2 m以上の場合、および仮想法面と地山が交差しがない場合、擁壁の設置可否を検討した。擁壁には様々な工種が存在するが、設計を簡略化するために、擁壁には、構造が規格化されたプレキャスト擁壁（壁高2 m、底面長1.4 mのL型擁壁）を想定した。仮想路面の標高と仮想法肩における地山の標高の差を取得し、その差が壁高（2 m）以下であれば擁壁が設置可能と判定し、当該斜面の拡幅は、盛土工と擁壁工により行うこととした。擁壁が設置困難な場合、当該盛土斜面は拡幅困難と判定した。なお、盛土工の場合は仮想法尻から水平方向に仮想法肩まで伸ばした面を、擁壁工の場合は擁壁の底面を盛土の基礎面とした。道路中心線側の基礎から床掘線を勾配1: γ で生成し、路面との交差判定を行い、床掘を行う範囲を決定した。 γ は、林道標準図（中部森林管理局 2014）を参照し0.3とした。

拡幅困難条件を整理すると、ある拡幅パターンにおいて、標準切土勾配で法面が擦りつかない場合、拡幅後の切土高が10 mを超える場合、擁壁が設置できない場合に、当該パターンの拡幅は困難とした。全ての拡幅パターンで拡幅困難な場合、当該横断面での拡幅は困難とし、路線中の一横断面でも拡幅困難な場合、当該路線を拡幅困難と判定した。

2.8 拡幅可否の判定と拡幅単価の試算

特に作業道の場合、高規格化にあたり縦断勾配の改良が問題となることが予想される。縦断勾配を考慮するため、中心線位置の補正処理の実行後、路線ごとに平均縦断勾配を算出し、閾値を超える路線を縦断勾配改良困難と判定した。閾値は、林業専用道作設指針および林道規程における縦断勾配の例外値を参考に、一律で14%とした。

全ての横断面での処理の終了後、当該路線の拡幅可否を判定した。路線中のある横断面が拡幅困難であっても、起点から該当区間までの拡幅は可能であることや、また該当区間を避けるような路線の付け替えが可能であれば終点までの拡幅が可能であることが考えられる。本研究では評価を単純化するため、拡幅困難な横断面が一つでも存在する場合、当該路線を拡幅困難と判定した。

次いで拡幅可能な路線では、拡幅単価を試算するために、平均断面法により各区間の土工量、法面保護工と擁壁工の数量を計算した。これらの数量に各施工の標準積算単価（表-2）を乗じることで、直接工事費として土工費、土砂積込費、土砂運搬費、法面保護工と擁壁工の施工費を算出し、これらの総和を路線長で除すことで、当該路線の拡幅単価（円/m）を試算した。土工単価および法面保護工と擁壁工の施工単価は「施工パッケージ型積算方式標準単価表（令和2年11月1日版）」（長野県 2021）を参考に決定した。土量変化率は、林道技術基準（林野庁 2021b）を参照し、普通土における標準値と

してほぐし率は1.2、締固め率は0.9とした。

土砂運搬費を算出するには土捨て場および土取場の位置の設定が必要になる。特に拡幅の場合は、切土が優先され余剰な土量が大量に生じることが予想される。この場合、路線と土捨て場の位置関係が拡幅単価に大きな影響を与えることが予想されるが、本研究では計算の簡略化のため、土捨て場、土取り場ともに路線の起点にあると仮定し、土砂発生区間ごとにこれらとの距離（土砂運搬距離）を求めた。発生した横断面間相互の土砂の移動は行わないこととした。

3. 結果と考察

3.1 拡幅シミュレーションの結果

拡幅シミュレーションの結果を表-3、4に示す。拡幅可否の判定結果は、路線数と延長および拡幅対象路線の総延長に対する拡幅困難と判定された路線の総延長の割合として示した。拡幅単価は路線長の重み付きの平均拡幅単価とその内訳として示した。図-5に拡幅単価の分布を示す。図中にはあてはめた対数正規分布の確率密度をプロットした。また、土構造のみで拡幅可能な路線の総延長のヒストグラムを色分けして表示した。図-6に拡幅単価と路線延長の関係を示す。図の右軸は、横軸の拡幅単価以下で拡幅可能な路線の累積延長を示し、図の左軸は、その累積延長が既設路線の総延長に占める割合を示す。

全幅員3.5 mへ拡幅する場合、縦断改良困難と判定された路線の割合は2.3%であり、拡幅困難と判定された路線の割合は8.7%であった。拡幅対象路線の89.0%が拡幅可能であり、これらの路線の平均拡幅単価は1,787円/mであった。理論的最頻値は565円/mであった。拡幅前の規格別にみると、拡幅対象路線の過半を占める作業道に拡幅困難な路線が集中していた。また、拡幅単価は低規格な路線になるほど割高となった。

全幅員4.0 mへ拡幅する場合、縦断改良困難と判定された路線の割合は2.4%であり、拡幅困難と判定された路線の割合は26.7%であった。拡幅対象路線の70.9%が拡幅可能であり、これらの路線の平均拡幅単価は5,537円/mであった。理論的最頻値は848円/mであった。拡幅前の規格別にみると、林道2級での拡幅困難路線の存在が目立った。本研究では拡幅困難な横断面が一つでも存在すれば、当該路線を拡幅困難と定義しているが、ある程度高規格な路線が必ずしもさらに高規格化可能であるとは限らないことが示唆された。一方で拡幅単価をみると、2級林道は拡幅可能であれば他規格より安価に拡幅可能であることが確認できた。また、全幅3.5 mへの拡幅の場合の異なり、作業道に対し3級林道の平均拡幅単価が最も高くなったが、これには路線近傍の地形パターンや路線延長が影響していると考えられる。

3.2 拡幅単価と新規開設単価の比較

長野県林内路網整備指針検討委員会（2011）によれば、

長野県における平成18年度～23年度計画の道路種別の平均開設工事単価（間接費を含む）は、基幹作業道（幅員3.0 m）が10,672 円/m、林道3級が175,667 円/mであり、1路線の実績値となるが、林業専用道では34,184 円/mであった。本研究で試算した全幅員3.5 mへ拡幅する場合の平均拡幅単価1,787 円/mに間接率として50%を見込んだ額である2,680 円/mを拡幅事業の工事価格とみなし、これに基幹作業道の平均開設単価10,672 円/mを加えると、その和は13,353 円/mであり、林業専用道相当規格路線の平均開設工事単価34,184 円/mの39%に相当した。

対象地の路網は、地形による制約が予想される山岳地帯に配置された路網であったが、平均拡幅単価は開設単

価と比べ比較的低位となった。梅田ら（2007）は、作業道路網の開設位置での斜面傾斜の実態分析を行い、10 mDEMより算出された平均傾斜が30°を超えている林地においても、開設位置には傾斜30°未満の箇所が選ばれていることを指摘している。平均拡幅単価が比較的低位となった理由として、対象地においても林道を含む既設低規格路線の開設位置は周囲の地形よりも緩傾斜地であったことも考えられる。なお、高規格化に必要な全ての施工（路盤改良や曲線改築など）のコストを計上することで、高規格化の単価は拡幅単価よりも当然高額となることが予想される。

3.3 拡幅による基幹路網の整備の可能性

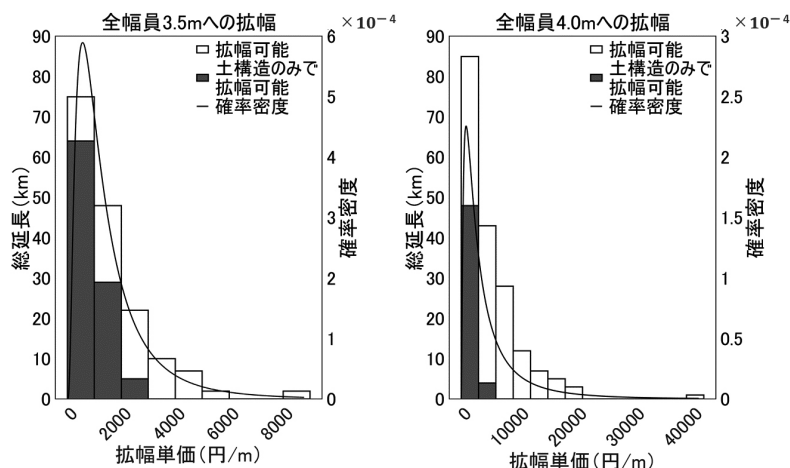
解析結果をもとに、対象地における全幅員3.5 m以上

表－3 拡幅シミュレーションの結果（全幅員3.5 mへの拡幅の場合）

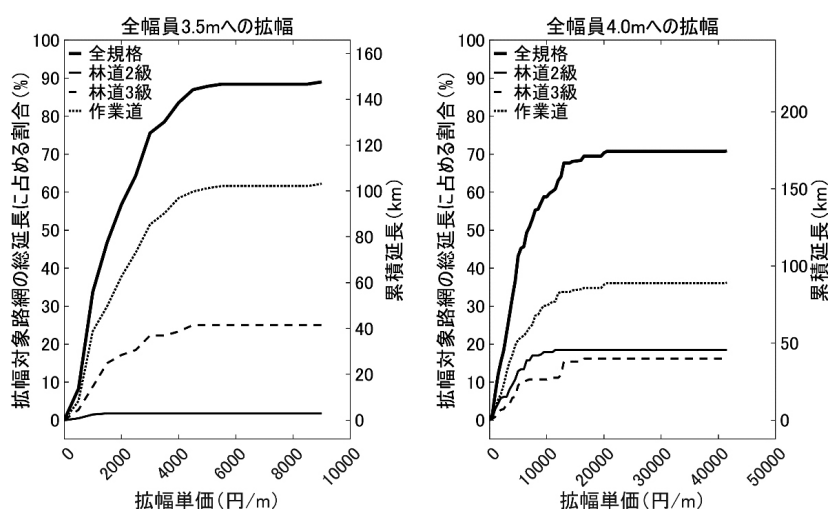
項目	細目	単位	拡幅前の規格				
			計	林道1級	林道2級	林道3級	作業道
拡幅対象路網	路線数		173	0	4	30	139
	延長	km	166	0	3	43	120
	既設路網に占める割合	%	55	0	1	14	40
縦断改良困難	路線数		14	-	0	0	14
	延長	km	4	-	0	0	4
	拡幅対象路網に占める割合	%	2.3	-	0.0	0.0	2.3
拡幅困難	路線数		5	-	0	1	4
	延長	km	14	-	0	1	13
	拡幅対象路網に占める割合	%	8.7	-	0.0	0.9	7.8
拡幅単価	平均拡幅単価	円/m	1,787	-	763	1,660	1,868
	平均土工単価	円/m	707	-	353	602	760
	平均土砂運搬単価	円/m	972	-	335	955	997
	法面保護工および擁壁工の平均単価	円/m	108	-	74	104	111

表－4 拡幅シミュレーションの結果（全幅員4.0 mへの拡幅の場合）

項目	細目	単位	拡幅前の規格				
			計	林道1級	林道2級	林道3級	作業道
拡幅対象路網	路線数		211	0	35	33	143
	延長	km	246	0	74	49	123
	既設路網に占める割合	%	82	0	25	16	41
縦断改良困難	路線数		15	-	0	1	14
	延長	km	6	-	0	2	4
	既設路網に占める割合	%	2.4	-	0.0	0.9	1.5
拡幅困難	路線数		26	-	7	5	14
	延長	km	65	-	28	7	30
	既設路網に占める割合	%	26.7	-	11.6	2.8	12.3
拡幅単価	平均拡幅単価	円/m	5,537	-	3,988	6,691	5,812
	平均土工単価	円/m	1,319	-	904	1,390	1,498
	平均土砂運搬単価	円/m	1,975	-	1,717	2,599	1,827
	法面保護工および擁壁工の平均単価	円/m	2,244	-	1,366	2,702	2,487



図－5 拡幅単価の分布

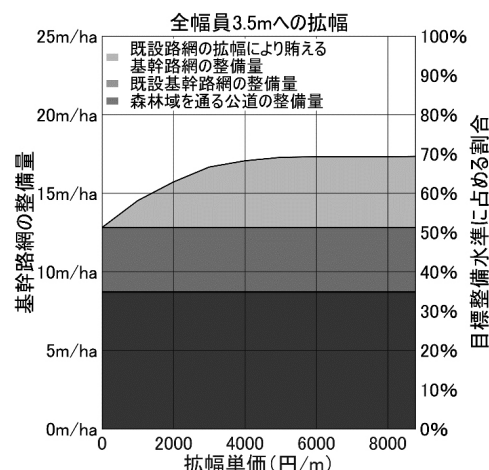


図－6 拡幅単価と拡幅可能な路線長の関係

の基幹路網の整備の可能性について拡幅の観点から考察する。中傾斜地における基幹路網の整備水準は、林地生産力が比較的高い林分については25～40 m/haとされている（林野庁 2010）。一方で解析対象路網（約301 km）のうち、全幅員3.5 m以上の基幹路網の整備量は約135 km（約4.1 m/ha）である。仮に対象地のすべての森林域の公道の全幅員が3.5 m以上であるとすると、既設基幹路網の整備量4.1 m/haに森林域を通る公道の整備量8.7 m/haを加えた12.8 m/haが、対象地における基幹路網の現状の整備量となる。すなわち、対象地の基幹路網の目標整備量を25 m/haとする場合、その達成には12.2 m/haの基幹路網の整備が必要となる（図－7）。対象地における既設低規格路網の整備量は約166 km（約5.0 m/ha）であり、このうち総延長の約89%（約4.4 m/ha）の路網は設定条件において拡幅可能である。これは、今後必要な基幹路網の整備量（12.2 m/ha）の約36%に相当する。

なお、伊那市の林道台帳より、林道2級の近年の平均年間整備量を求めると、1970年から林道台帳の最新の更新年である2017年の間では約1.1 km/年であった。単純に計算すると、拡幅により整備可能な基幹路網の最大

整備量（約148 km）は、対象地における年間の開設量の約133年分に相当した。全ての拡幅可能な既設低規格路網を拡幅した場合でも、目標整備量の達成には、約7.8 m/haの基幹路網の新規開設が必要になるが、これまでの年間開設量と比較すると、高規格化による基幹路網の整備効果は少なくないものと考えられる。



図－7 既設路網の拡幅により達成可能な基幹路網の整備量

4. おわりに

本研究では、既設路網の高規格化による基幹路網の整備の可能性を、拡幅の観点から明らかにすることを目的に、既設路網を対象に拡幅をシミュレーションし、拡幅の物理的可否の評価と拡幅単価の試算を行った。その結果、全幅員 3.5 m へ拡幅する場合、拡幅対象路網の 89.0% が拡幅可能であり、これらの路線の平均拡幅単価は 1,787 円/m であった。全幅員 4.0 m へ拡幅する場合、拡幅対象路網の 70.9% が拡幅可能であり、これらの路線の平均拡幅単価は 5,537 円/m であった。解析結果をもとに対象地における基幹路網の整備の可能性を拡幅の観点から検討した結果、全幅員 3.5 m へ拡幅可能な全ての既設低規格路網を拡幅した場合、目標整備量の達成に必要な基幹路網の整備量の内、最大で 36% (44 m/ha) の整備量を賄うことが可能であることが示唆された。

本研究では拡幅施工の観点のみで高規格化の可能性を評価したが、今後この議論をより現実的なものとするには、最小曲線半径以下の曲線部における改築、最大縦断勾配以上の縦断勾配区間の改築、林業機械の接地圧に応じた路盤の改良、狭隘な橋梁の改築などの構造的な観点からの整備上の制約の検討や、ネットワークを含めた検討も必要である。これらの施工を考慮に加えると、高規格化の物理的・経済的制約はさらに増加することが予想される。また、既設路網を対象にこれらの解析を広域的に進めるには、道路中心線の位置の正確性や道路間の接続性が確保された路網ベクタデータの整備も課題となる。

本研究は JSPS 科研費 JP15K18709, 21H03672, 21K05665 および農林水産省委託プロジェクト「山地災害リスクを低減する技術の開発」の助成を受けたものである。ここに記して謝意を表する。

引用文献

- Coulter E.D., Sessions J. and Wing M.G. (2006) Scheduling forest road maintenance using the analytic hierarchy process and heuristics. *Silva Fennica* 40 (1) : 143–160.
- 中部森林管理局 (2014) 林道標準図. オンライン, (<https://www.rinya.maff.go.jp/chubu/tisan/pdf/140502-rindou.pdf>). 2021 年 10 月 1 日参照.
- 後藤純一・吉原収・森大記・鈴木保志 (2014) タワーヤード等の重荷重の車両が走行する作業道における工法と路体構造. *森利誌* 29 (1) : 5 ~ 12.
- Henningsson M., Karlsson J. and Ronnqvist M. (2007) 29 Optimization Models for Forest Road Upgrade Planning. *J Math Model Algor.* 6 : 3-23.
- 伊那市 (2016) 伊那市 50 年の森林 (もり) ビジョン. オンライン (https://www.inacity.jp/shisei/kakushuplanshiryo/nogyo_noringyo/201603281742.files/vision.pdf). 2021 年 7 月 1 日参照.
- 宮本和樹 (2015) 人工林の高齢級化と向き合う前に. *日林誌* 97 (4) : 169 ~ 170.
- 長野県林内路網整備指針検討委員会 (2011) 長野県の林内路網を取り巻く現状について. オンライン, (<https://www.pref.nagano.lg.jp/ringyo/sangyo/ringyo/gijutsu/iinkai/documents/02gijishiryol.pdf>). 2021 年 7 月 1 日参照.
- 長野県 (2021) 「施工パッケージ型積算方式標準単価表 (令和 2 年 11 月 1 日版)」。オンライン, (https://www.pref.nagano.lg.jp/rinsei/kensei/nyusatsu/sekisankijun/documents/sekisan_kijunr02.xlsx). 2021 年 7 月 1 日参照.
- 中澤昌彦 (2005) 森林施業の実態に基づいた森林基盤設備に関する研究. *名大森研* 24 : 85 ~ 126.
- 日本林道協会 (2019) 平成 31 年度版民有林森林整備施策のあらまし林道施策編. 110pp, (社) 日本林道協会, 東京.
- 日本林業技士会 (2008) 新生産システムモデル地域の主な取り組み. オンライン, (http://www.gishikai.jp/pdf/sin_torikumi.pdf). 2021 年 7 月 1 日参照.
- 林野庁 (2010) 路網・作業システム検討委員会最終とりまとめ. オンライン. (www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/saisei/pdf/romousaisyuu.pdf). 2021 年 7 月 1 日参照.
- 林野庁 (2010b) 林業専用道作設指針. オンライン, (https://www.rinya.maff.go.jp/tohoku/apply/publicsale/manyual/pdf/sinnrinnseibika_rinngyousennnyoudousakusetusisinnnoseitei.pdf). 2021 年 10 月 1 日参照.
- 林野庁 (2020) 今後の路網整備のあり方検討会第 1 回. オンライン. (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/kentakai-6.pdf>). 2021 年 7 月 1 日参照.
- 林野庁 (2021) 令和 3 年度森林総合監理士 (フォレスター) 基本テキスト. オンライン. (<https://www.rinya.maff.go.jp/j/kensidou/forester/>). 2021 年 7 月 1 日参照.
- 林野庁 (2021b) 林道技術基準. オンライン, (https://www.rinya.maff.go.jp/j/sekou/kizyun/attach/pdf/gijutu_kijun-43.pdf). 2021 年 10 月 1 日参照.
- 酒井徹朗 (2000) わが国森林地域の地形的特徴. *森利誌* 15 (3) : 221 ~ 224.
- 鈴木保志・Sitiawan AH・後藤純一 (2015) 人工林の高齢級化に伴う伐出システムの観点からみた路網整備の方向性と課題. *日林誌* 97 (4) : 191 ~ 202.
- 梅田修史・鈴木秀典・山口智 (2007) 作業道路網の開設に関する一考察. *森利誌* 22 (3) : 143 ~ 152.
- 山崎真・山崎敏彦・鈴木保志・三谷幸寛・森本正延・長澤佳暁 (2018) 作業道の改良による伐出作業システムの生産性の向上と経費削減効果の検証. *森利誌* 33 (1) : 25 ~ 35.