
 原著論文

簡易貫入試験を用いた三重県内の森林作業道の路体強度の評価

 Estimation of the road body strength of forest spur roads in Mie Prefecture
 from a handy dynamic cone penetrometer
石川智代^{1)*}・野村久子²⁾Tomoyo Ishikawa^{1)*} and Hisako Nomura²⁾

要旨：三重県内に作設された森林作業道について、路体強度の現状把握を目的として簡易動的コーン貫入試験により路体のNd値（貫入抵抗）を調査した。表層地質の異なる5地域における12路線の結果から、Nd値10以上の締まった層は路線ごとに53～91%含まれており、概ねよく締固められていると推測された。しかし、領家帯の3路線においては、Nd値10以下の土層の割合が30%を超えていたため、ほかの路線と比較して崩壊の危険度が高いことが示唆された。

キーワード：森林作業道，簡易動的コーン貫入試験，Nd値，表層地質

Abstract: In order to grasp the actual road body strength of forest spur roads in Mie Prefecture, we performed a handy dynamic cone penetration test on the road embankments for measuring the penetration resistance as an Nd value. Twelve routes in five areas with different surface geologies were chosen. As a result, it was found that 53% to 91% of the road bodies per route were constructed with soil layers of an Nd value of 10 or more, meaning they were well compacted. However, more than 30% of the road bodies of three routes on the Ryoke belt were composed of soil layers with an Nd value of 10 or less, which suggested that these road bodies had a higher risk of collapsing.

Key Word: spur road, the handy dynamic cone penetration test, Nd value, surface geology

はじめに

路網と高性能林業機械を組み合わせた低コスト作業システムを定着させるためには、生産基盤としての路網整備が欠かせない。路網を構成する道は「林道」，「林業専用道」，「森林作業道」の3区分に整理され（林野庁 2019），三重県においては、森林作業道を中心に約8万m/年のペースで路網整備が進められている（三重県 2019）。林野庁（2010）が策定した森林作業道作設指針（以下、林野庁指針）によると、森林作業道は、作設する地域により異なる地形・地質，気象条件等に配慮して構築されるべきであり、地形に沿った線形により経済性を確保しつつ、路体は堅固な土構造によることを基本とするとされている。しかし、林野庁指針や三重県（2010）が策定した森林作業道作設指針（以下、三重県指針）には、路体強度の確認を義務付ける規定がなく、三重県内で実際に路体強度を確認された路

¹⁾ 三重県林業研究所

Mie Prefecture Forestry Research Institute

* E-mail : ishikt06@pref.mie.lg.jp

²⁾ 三重県尾鷲農林水産事務所

Owase Agriculture, Forestry and Fisheries Office

線はないと推察され、その実態の評価が急務となっている。

路体強度の評価において、堅固な土構造の路体を作設するうえで、上載荷重による沈下や、雨水の浸透による土の軟化・膨張の抑制のため、作設時の適切な締固めが求められる（林野庁 2010）ことから、路体強度を把握する指標の一つとして路体の締固め状態を調査することは重要である。既往研究においても、簡易動的コーン貫入試験によりNd値（貫入抵抗）を計測し、森林作業道の路体強度の評価項目の一つとして路体土内部の締固め状況を推定している（鈴木ら 2014, 後藤ら 2014）。

また、三重県の林業地は、西側の県境に沿って南北に細長く分布し、その表層地質は北側から内帯の美濃帯、領家帯、中央構造線を挟んで外帯の三波川帯、秩父帯、四万十帯が分布する（中部地質調査業協会 2011）。森林作業道は土構造を基本とするために、その地域の土質、表層地質の特性が路体の強度に影響すると考えられる（鈴木ら 2014）。そのため、地質差に視点を置いた評価を行うことで、地質に応じた施工方法やより有益な施工上の留意点が明らかになるものと考えられる。

このことから、本研究では三重県内の森林作業道の路体強度の指標である土の締固め状態に関する知見を得ることを目的として、異なる土質、表層地質の地域に作設された森林作業道において簡易動的コーン貫入試験を実施するとともに、路体の強度の評価について考察を行った。

調査方法

1. 対象路線と表層地質

調査対象とした森林作業道は、三重県内の民有林に作設されて3年以内の森林作業道12路線とした（図-1.表-1）。対象路線の選定にあたり、三重県の主たる表層地質である中央構造線以北の領家帯、三波川帯、秩父帯、四万十帯、花崗斑岩が大部分を占める熊野酸性岩類により三重県を大きく5つの地域にわけ、地域ごとに1路線以上の森林作業道を選定した。なお、調査路線に施工された構造物は、現地発生材を利用した丸太組工程で、コンクリート構造物や敷砂利等の路面工、及び路線区間外の土砂や薬剤を用いた土壌改良は施工されていない。

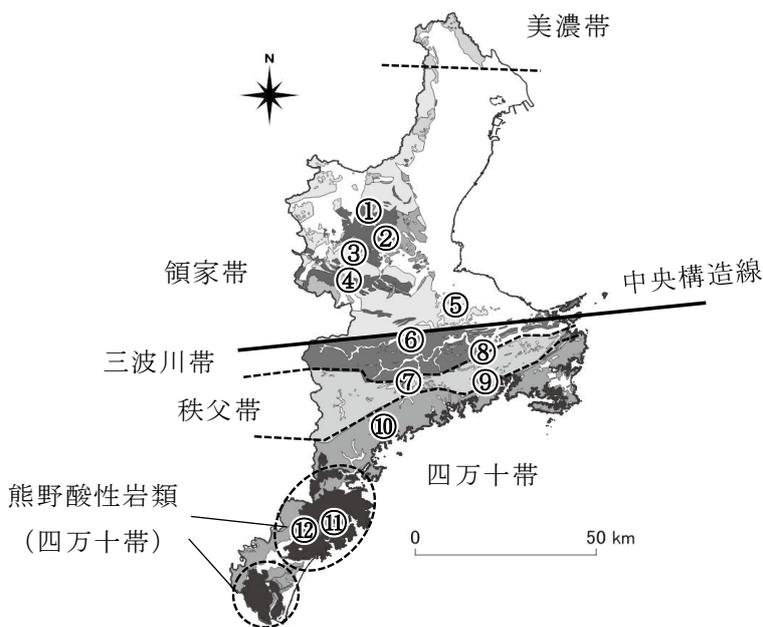


図-1. 調査路線の位置。背景図には、国土調査による1/200,000土地分類基本調査（表層地質図）「三重県」国土庁（1975）の一部を改変したものを使用した。図中の数値は表-1のNo. と対応している。

表-1. 調査路線の概要

No.	所在地	作設年	施工延長	幅員	表層地質	調査年	測点	
①	領家帯 A	伊賀市下阿波	2015-2016	1,279 m	2.5 m	黒雲母片麻岩・ホルンフェルス	2016	9 点
②	領家帯 B	津市白山町	2016	1,353 m	3.0 m	黒雲母片麻岩・ホルンフェルス	2016	45 点
③	領家帯 C	伊賀市伊勢路	2016	610 m	2.5 m	黒雲母片麻岩・ホルンフェルス	2016	11 点
④	領家帯 D	名張市滝之原	2015-2016	545 m	2.5 m	流紋岩質火山凝灰岩	2016	10 点
⑤	領家帯 E	松阪市下蛸路	2014	871 m	3.0 m	花崗岩類	2016	10 点
⑥	三波川帯 A	松阪市飯高町	2014	1,479 m	3.0 m	黒色片岩	2016	22 点
⑦	秩父帯 A	大紀町崎	2017	980 m	3.0 m	珪質岩 (チャート)	2017	41 点
⑧	秩父帯 B	度会町南中村	2016	1,338 m	3.0 m	泥岩・砂岩・緑色岩・石灰岩	2018	42 点
⑨	秩父帯 C	度会町南中村	2015	1,032 m	3.0 m	泥岩・砂岩・緑色岩・石灰岩	2018	59 点
⑩	四万十帯 A	紀北町島原	2017	796 m	3.0 m	砂岩・泥岩	2017	40 点
⑪	四万十帯 B	熊野市小又	2016	640 m	3.0 m	花崗斑岩	2017	32 点
⑫	四万十帯 C	熊野市小又	2016	766 m	3.0 m	花崗斑岩	2017	35 点

2. 調査方法

森林作業道の路体の強度について、路体土の締固め程度に注目して比較評価することとし、土研式簡易貫入試験機による簡易動的コーン貫入試験 (JGS 1433) を実施した。簡易動的コーン貫入試験は、トドマツ人工林間伐時の車両走行後の土壌の締固め状況の評価 (佐藤ら 2018) や、既設盛土の締固め度の推定 (野村ら 2014) など、土壌や土構造物の表層から深度 4~5 m の範囲の締固め状態の調査に用いられる (地盤工学会 2013)。

この試験は、質量 5 kg のハンマーを高さ 50 cm の位置から自由落下させて、鉛直に立てた貫入ロッドを打ち込み、貫入量 10 cm ごとに要した打撃回数を Nd 値として計測する。貫入試験は、1 計測点につき貫入深 100 cm までとし、貫入ロッドの累加貫入量が 100 cm に達する、または、40 回の打撃で貫入量 10 cm 未満となった時点で当該計測点の貫入試験を終了し、それ以深の Nd 値は計測しない。最初の打撃 10 回で、礫や岩盤の存在により試験実施が困難と判断した場合は、路線の線形に沿って前後 50 cm 程度の範囲で計測点をずらした。鈴木ら (2014) は森林作業道の横断位置の違いによる路体強度の違いを報告しているため、本研究では森林作業道の路線センター上に測点を設定し、1 測点につき山側わだち、センター、谷側わだちの 3 計測点を設定した。調査期間は 2017 年 5 月から 2019 年 2 月とし、降雨による Nd 値への影響を考慮して降雨日とその翌日は試験を休止した。

なお、森林作業道の作設方法は、半切・半盛で盛土部を中心に転圧する工法、路体の地山部全体を掘り起こして路体全体を均一に転圧する工法、路盤下に現地発生材の構造物を施工する工法などがあるが (後藤ら 2014, 梅田ら 2007)、調査路線を作設した事業体の聞き取りによると、同一路線内での工法の使い分けや、掘削土砂の良否に応じて土石の路線内流用を行うなど工法は一樣ではなく、調査路線の作設方法の詳細は不明である。このことから、本研究では切土、盛土の区別を行わずに路体の強度を評価した。

結果と考察

1. 路線ごとの Nd 値

調査路線ごとの全測点のセンターと両わだちの 3 点において計測された全 10 cm ごとの Nd 値を計測点、貫入深度に関係なく集計したヒストグラムを図-2 に示す。貫入試験において、大きな礫や岩盤にロッドの先端が当たった場合、極度に大きな Nd 値を示すと考えられ (岡田ら 1992)、締固め度の推定が困難になる (野村ら 2014)。このため、本研究では Nd 値が 40 を超えた貫入深以深は、大きな礫や岩盤に

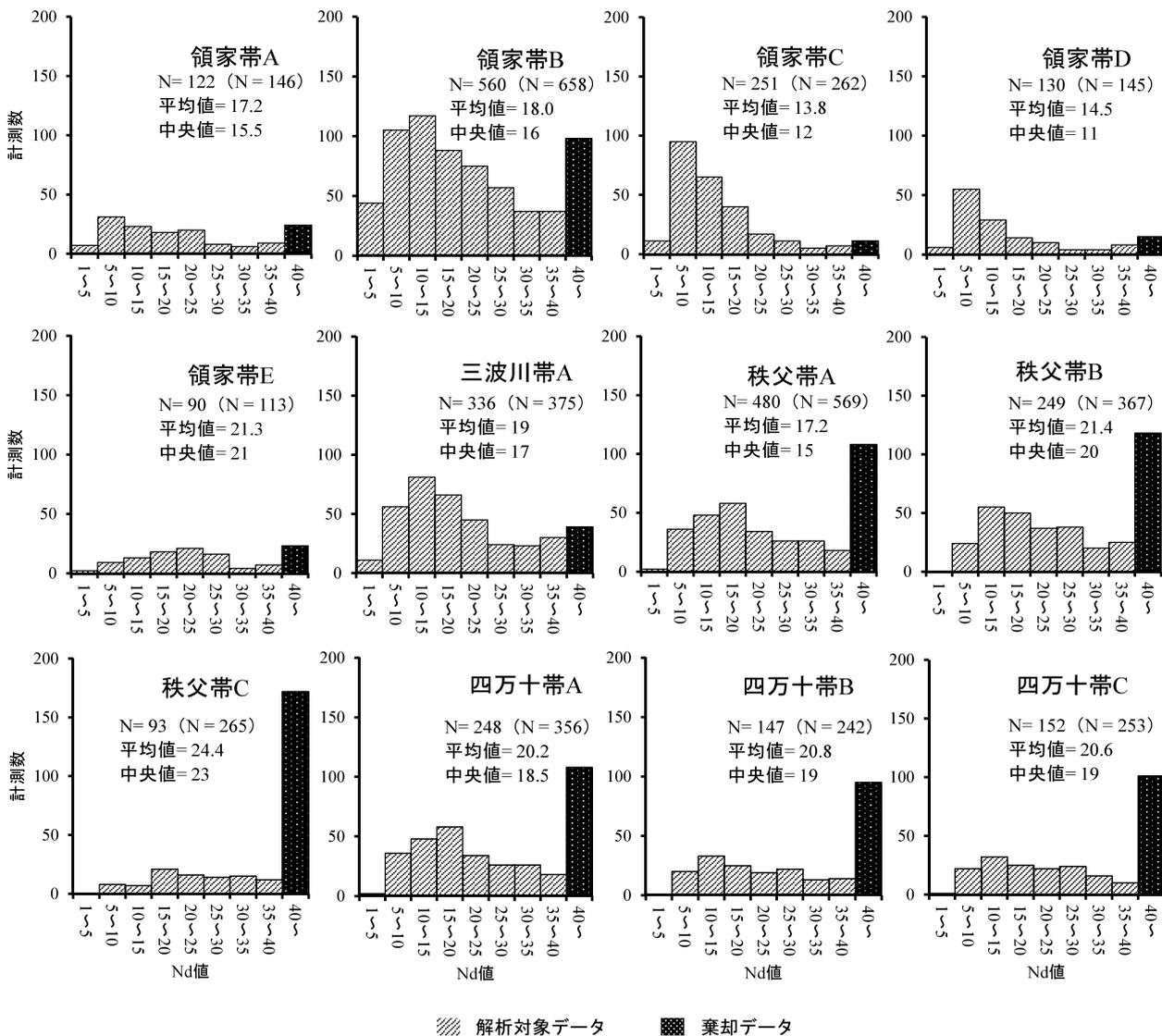


図-2. 各路線のNd値のヒストグラム。Nはそれぞれ解析対象データ数、平均値、中央値は解析対象データの平均値、中央値を示す。()書きのNは解析対象データと棄却データを合わせた全データ数を示す。

よる貫入不能深と判断し、当該深度以深のNd値のデータを棄却した。以降のNd値の解析には40以下のNd値データを用いる。

2. 貫入傾向

路線ごとの深度別Nd値の分布について、全計測点の貫入量10 cmごとのNd値の平均値とその標準偏差σを図-3に示す。深度別のNd値の標準偏差は、領家帯A・B・C・D・Eの5路線では±2.2~12.0の範囲、その他の7路線は±6.0~10.5の範囲でばらついたが、深度とNd値のばらつきの間に特定の傾向はみられなかった。

路面から深度別に、0~30 cmを浅部層、30~70 cmを中間層、70~100 cmを深部層と区分すると、領家帯A・B・Eの3路線を除く9路線では路体浅部層から中間層にかけて平均Nd値が減少し、中間層から深部層にかけて増加する傾向がみられた。

全計測点を最終貫入深別に0~30 cm、30~60 cm、60~90 cm、90~100 cm、100 cmの5段階に区分

し、その割合を調査路線ごとに図-4に示す。秩父帯B・Cの2路線と四万十帯A・B・Cの3路線は、最終貫入深が0~30 cmであった計測点の割合が70%を超えた。このことから、路面から深さ30 cmの土層が良く締め固まっている計測点が多いと考えられ、作設用の機械の通行や林業機械の走行による締め固め効果(佐藤ら2018)が表れていると考えられる。

3. 路体の潜在的な崩壊危険度

林野庁(2015)が策定した平成27年度版森林作業道作設ガイドラインによると、比較的良好に締め固められた盛土は、Nd値10以上の締め固まった層が主体とされている。そこで、全計測点における貫入量10 cm

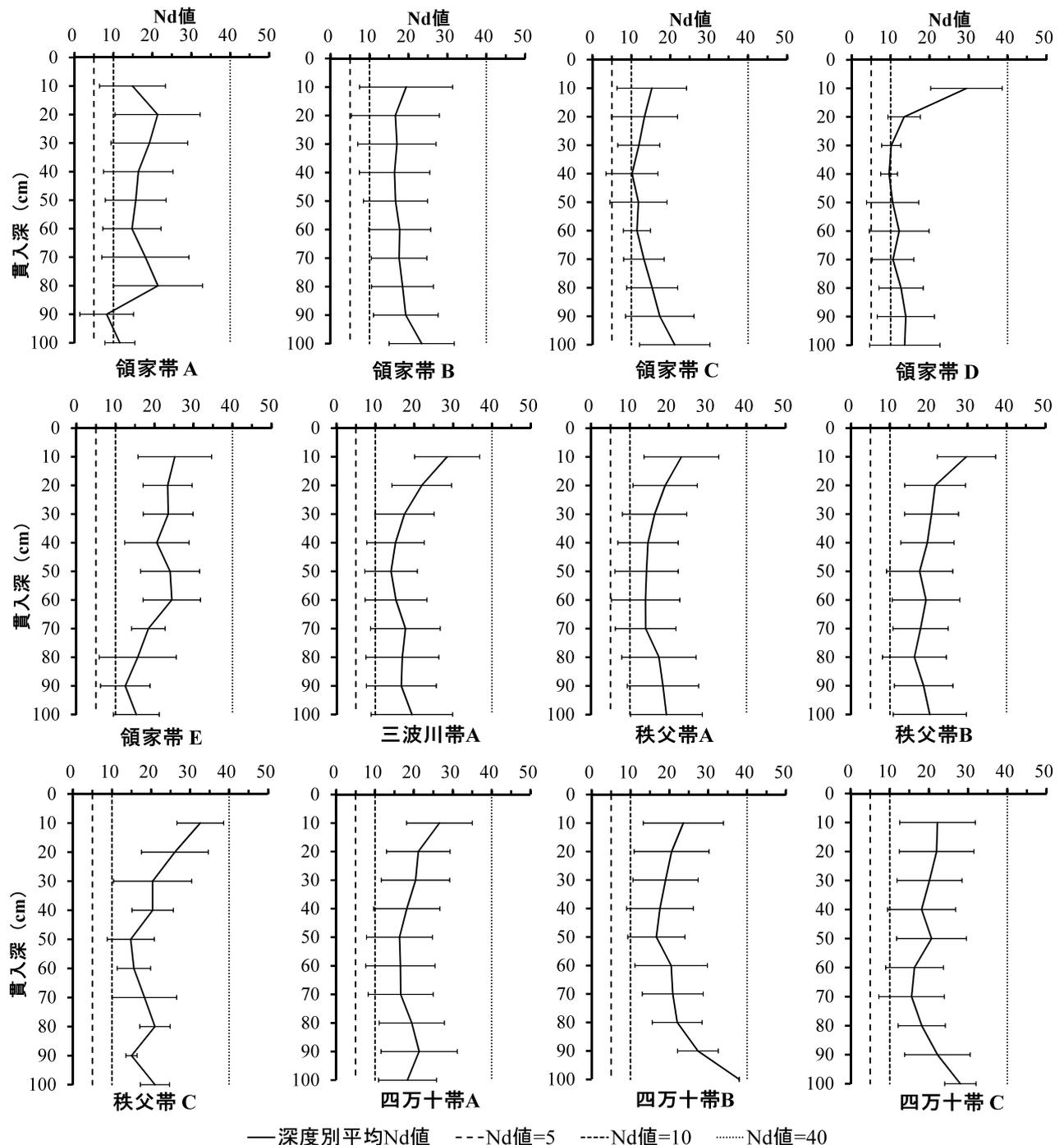


図-3. 各路線の深度別平均Nd値。バーは深度別の標準偏差を示す。

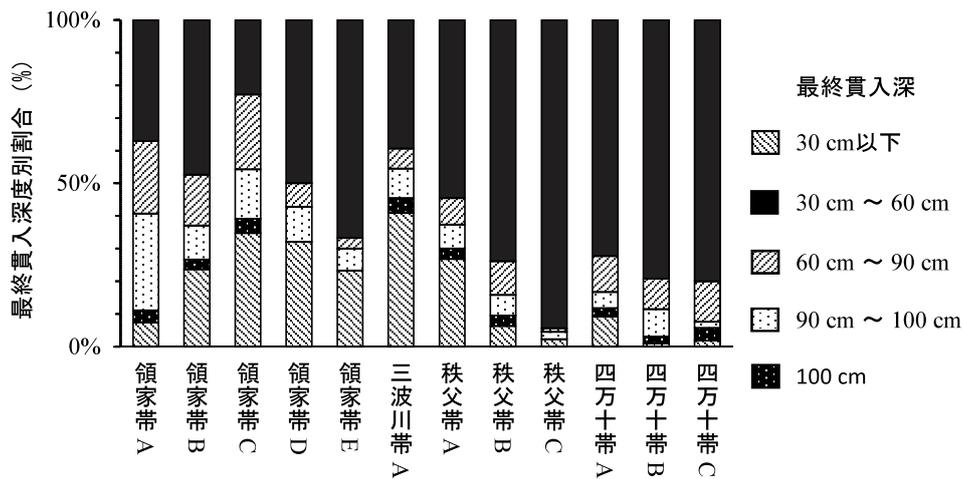


図-4. 各路線の計測点における最終貫入深

ごとのNd値を10以下と10より大きい2段階に区分し、各区分のNd値の計測数とその割合を路線ごとに表-2に示す。Nd値が10より大きい土層は、路線ごとに53～91%含まれ、領家帯A・C・Dを除く9路線はNd値が10より大きい土層の割合が70%を超えていた。このことから、今回の調査路線はおおむね良好に締固められていると考えられる。

一方、小川(1997)は、自然斜面の表層崩壊とNd値の関係を解析した結果、地表下1.0 m程度でNd値が5～10の土層は土層強度的に弱い部分であることに加え、豪雨時に最初に飽和域が形成されやすく同時に最初に最も不安定になりうる土層であることを指摘した。本研究においては、領家帯A・C・Dの3路線は、Nd値5～10の土層の割合が30%を超えているとともに、中間層や深部層の深度別平均Nd値が10程度まで減少していた(図-3)。このことから、他の路線と比較して土層強度的に弱い部分が多く、路体の中間層以深における潜在的な崩壊危険土層の存在が懸念される。

おわりに

今回の調査では表層地質の違いによる差異や傾向はみられなかった。その理由として、三重県においては、地域ごとに森林作業道を作設する事業者が限られており、作設事業者への依存度が高い使用重機や転圧回数、山側の地山路盤部の掘削の有無、簡易構造物の配置などの作設条件を統一できなかった

表-2. 2段階に区分したNd値の計測数と割合

路線名	Nd 値 10 以下		Nd 値 10 より大きい	
領家帯 A	38	(31%)	84	(69%)
領家帯 B	149	(27%)	411	(73%)
領家帯 C	106	(42%)	145	(58%)
領家帯 D	61	(47%)	69	(53%)
領家帯 E	11	(12%)	79	(88%)
三波川帯 A	66	(20%)	269	(80%)
秩父帯 A	133	(28%)	347	(72%)
秩父帯 B	24	(10%)	225	(90%)
秩父帯 C	8	(9%)	85	(91%)
四万十帯 A	38	(15%)	210	(85%)
四万十帯 B	21	(14%)	126	(86%)
四万十帯 C	23	(15%)	129	(85%)

たことが考えられる。今後は作設方法の詳細が明らかな地点で調査を行い、地質以外の条件、地質、Nd値の相互関係を明らかにする必要がある。

しかし、本研究で調査対象とした森林作業道においては、領家帯の3路線を除く9路線はNd値10以上の土層の割合が70%を超えており、概ねよく締固められていることが確認できた。群馬県の第四紀火山岩類及び新第三期火山岩類地域の森林作業道で累加貫入量100 cmまでの平均Nd値2.9~11.3であったとの報告(鈴木ら 2014)と比較しても、本調査で得られたNd値は同程度もしくは高いと評価できる。このことから、本研究の調査路線の路体の強度は、Nd値により評価するとおおむね適切に作設されていると推察された。

林野庁指針や三重県指針においては、地域の地形・地質、気象特性に配慮し、近傍の施工事例の参照や、地域の作設経験者からの技術的指導を求めるなど、路網を作設する地域の特性を重要視している。そのため、本研究で得られた開設後2~3年の比較的新しい森林作業道に関する基礎データに、路体の経年劣化や損壊状況等に関するデータ、森林作業道の線形、地形、環境要因による影響などの評価を加えることにより、より有益な知見となると期待され、森林作業道の長寿命化と山地災害の誘発抑止のための三重県版森林作業道作設支援マニュアル策定に繋げることが必要とされる。

謝辞

本研究のために調査路線の選定等にあたり県内の森林組合の方々や林業普及指導員にご協力いただきました。ここに記して感謝の意を表します。

引用文献

- 中部地質調査業協会 (2011) 土と岩NO.59. 中部地質調査業協会 <https://www.chubu-geo.org/publish/No59/pdf/03-00.pdf> (参照: 2019-10-10)
- 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: 5-12
- 地盤工学会 (2013) 地盤調査の方法と解説—二分冊の1—. 659pp. 地盤工学会. 東京
- 国土庁 (1975) 20万分の1土地分類基本調査. 国土交通省国土政策局国土情報課 <http://nrb-www.mlit.go.jp/kokjo/inspect/landclassification/download/index.html> (参照: 2019-10-10)
- 三重県 (2010) 森林作業道作設指針. 三重県農林水産部
- 三重県 (2019) 平成29年度版 森林・林業統計書. 三重県農林水産部
- 野村英雄・鈴木素之・杉下裕輔・杉村尚樹・大谷直毅 (2014) 簡易動的コーン貫入試験による締固めエネルギーの異なる既設盛土の締固め度の推定. 土木学会論文集C70: 199-212
- 小川紀一郎 (1997) 山地斜面における表土層の構造特性と水分変動過程に関する研究. 北大農演習林研究報告 54 (1) : 87-141
- 岡田勝也・杉山友康・村石 尚・野口達雄 (1992) 盛土表層部の土質強度に関する異種のサンディング試験結果の相関性. 土と基礎 Vol 40 411: 11-16
- 林野庁 (2010) 森林作業道作設指針. 林野庁 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/romousuisin-7.pdf> (参照: 2020-1-24)
- 林野庁 (2015) 平成27年度版 森林作業道作設ガイドライン. 林野庁 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/seibi/sagyoudo/attach/pdf/itakukouhyou-2.pdf> (参照: 2020-1-24)
- 林野庁 (2019) 平成30年度 森林・林業白書. 林野庁 <https://www.rinya.maff.go.jp/j/kikaku/hakusyo/>

30 hakusyo/attach/pdf/zenbun-23.pdf (参照: 2020-1-24)

佐藤弘和・津田高明・倉本恵生・飯田滋生・橋本 徹 (2018) トドマツ人工林間伐時の車両走行により締め固められた集材路における土壌貫入抵抗の経年回復. 日林誌100: 110-115

鈴木秀典・山口 智・宗岡寛子・田中良明・清水直喜・加利屋義弘 (2014) 土質の違いが作業道の強度に及ぼす影響. 森利誌29: 21-29

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: 143-152