

カラマツ間伐材を用いた山腹工の腐朽実態調査

信州大学農学部 ○海老原伸子^{えびはらのぶこ}

要旨

長野県上伊那郡長谷村における、未防腐処理カラマツ間伐材を用いた山腹工の腐朽被害について、ピロディンなど用いて調査しました。山腹工へのピロディン貫入値測定は、施工後2年以上経過すれば、露出部分のみである程度信頼できる値を得られ、施工から4、5年程度経過した山腹工では部分的に、施工8年経過後には、かなり腐朽が進んでいるものと考えられました。また、腐朽速度に影響を与える環境要因は特定できませんでした。

はじめに

近年、環境への取り組みが、時代の大きな流れとなっているなか、治山事業においても景観や生態系、間伐材の利用促進を視野に入れた計画、工事がおこなわれています(治山研究会 1994、北海道林務部治山課 1992、林業土木コンサルタンツ付属研究所 1997)。長野県内においても、これら環境や、間伐材利用への取り組みから、カラマツ間伐材を利用した治山構造物が数多く造られるようになりました。これら、カラマツも含め木材は、その生まれ持った性質に、「必ず腐る」ということがあり、景観や、周辺環境への影響という観点ならば大きな利点となっています。しかし、これらの木材が、土木用材であり、構造物を構成する要素であるならば、その「腐る」という性質は木材強度を低下させる欠点ともなりうるものなのです。これまで、これらの木製治山構造物は一般に、植生の回復まで耐用し得るとされてきましたが、その明確な根拠はなく、木製治山構造物の腐朽による強度低下の実態を把握することは、重要な問題なのです。

土木用材のように、主に野外での使用が想定されるような木材の腐朽に対しておこなわれたこれまでの研究の代表的なものに、松岡らによる、浅川実験林での杭試験があります(松岡ら 1970)。この「各樹種の野外における耐久性調査」は65もの国産、外国産樹種からなる杭を、野外土壌に設置し「各樹種の腐朽経過と耐用年数を調査した」もので、カラマツの耐朽年数は、辺材で4～5年、心材で6～7年とされています。また最近では、スギ材を用いて、実際に施工されている流路工や山腹工についても研究された例がみられます(桶川 2001, 飯島 1999)。しかし、まだまだ研究の数自体が少なく、実際に施工された山腹工、とくにカラマツ間伐材を用いた山腹工の腐朽について調査を行っている事例はほとんどありません。

そこで、本研究では、長野県内において多数施工されているカラマツ間伐材を用いた山腹工の腐朽による被害状況を調査、把握することを目的としました。

1 調査地概要

今回、調査をおこなったのは長野県上伊那郡長谷村に位置する浦国有林と、黒河内国有林内において(図-1)、昭和62年から平成14年までに災害復旧事業により施工されたカラマツ製山腹工12箇所29基について調査をおこないました。

浦国有林では、昭和62年、平成5年、6年、7年、8年に施工された山腹工について、黒河内国有林では平成4年、9年、10年、11年、12年、13年、14年施工の山腹工について調査しました。

調査地は、ともに標高約 1250~1750m の範囲内にあり、どちらの国有林においても調査地の斜面傾斜はおおむね 30~40 度となっていました。斜面方位や、植生の回復状態はそれぞれの施工箇所と異なっていたので、各調査箇所の環境条件の詳細は表-1 に示します。

構造物の形状は平成 8 年施工の 1 基および 11 年施工の一基が、丸太積み工でしたが、その他の構造物は全て丸太柵工でした。使用されている丸太は全てが皮付きのカラマツ小径材で、防腐処理は施されておらず、丸太の結合方法は全て番線が用いられていました。

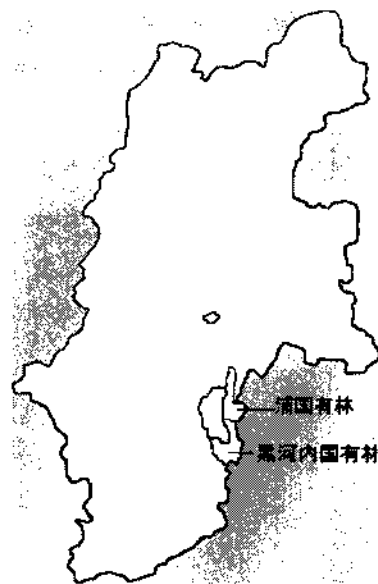


図-1 調査地の位置

表-1 各調査地の概要

調査地名	調査月日	施工年度	経過年数	標高(m)	斜面方位	斜面傾斜	斜面位置	工種	丸太平均直径(cm)	植被率(%)
浦国有林巫女淵51林班	平成14年 9月9日	昭和62	14年	1300	北	35°	上部	丸太柵工	12~15	100
							中部	丸太柵工	14~18	100
							下部	丸太柵工	11.5	100
黒河内国有林230林班	10月18日 10月16日	平成4年	10年	1600	北西	35-37°	上部	丸太柵工	8~10	100
							中部	丸太柵工	8~15	100
							下部	丸太柵工	9~13	90
浦国有林牛淵沢95林班	9月10日	平成5年	9年	1400	西	35°	中部	丸太柵工	14~16	50
							下部	丸太柵工	14~16	100
浦国有林刈萱谷22林班	8月11日	平成6年	8年	1250	西	43.5°	上部	丸太積み工		
浦国有林板沢44林班	9月12日	平成7年	7年	1600	東	31°	上部	丸太柵工	10~12	30
							中部	丸太柵工		45
浦国有林刈萱谷22林班	8月11日 9月5日	平成8年	6年	1250	西	40°	上部	丸太柵工	11~12	
							中部	丸太柵工		60
							下部	丸太柵工		60
黒河内国有林236林班	11月22日	平成9年	5年	1740	南東	29°	上部	丸太柵工	7.5~13	30
							下部	丸太柵工	7~13	
黒河内国有林236林班	11月22日	平成10年	4年	1740	南東	39°	上部	丸太柵工	12~16	35
							下部	丸太柵工	9~12	85
黒河内国有林東谷233林班	10月23日	平成11年	3年	1400	南	29°	上部	丸太積み工		20
							下部	丸太柵工	11~13	10
黒河内国有林東谷233林班	10月22日	平成12年	2年	1400	東	39°	上部	丸太柵工	12~16	
							中部	丸太柵工	14~16	30
							下部	丸太柵工	10~13	50
黒河内国有林中尾根210林班	10月18日	平成13年	1年	1650	南	40°	上部	丸太柵工	9~14	70
							中部	丸太柵工		20
							下部	丸太柵工	10~13	25
黒河内国有林211林班	10月29日	平成14年	1年未満	1650	東	33°	上部	丸太柵工	11	50
							中部	丸太柵工	10~13	25
							下部	丸太柵工	8.5~11	10

2 調査方法

(1) 現地調査

現地調査は①カラマツ山腹工へのピロディン貫入値の測定、②環境条件の調査をおこないました。

①カラマツ製山腹工に対するピロディン貫入値は、一定の間隔でピロディンを丸太の外側から内側へと打ち込み、そのストライカーピン(直径 2.5mm)の貫入深さ(最大 40 mmまで測定可能)から得ました。ピロディンとは、金属製のピンをばねの力によって常に一定の力で木材に打ち込み、その貫入

深さによって腐朽の程度を測定する機器です(図-2)。「もともと密度測定器として開発されたもので」、「ピンの打ち込み深さ(Pe)と木材の密度には一般に負の相関、かつ密度と強度に正の相関があるため、結果として強度は Pe 値から推定が可能」(飯島 1999)であり、貫入量が増加すれば、それだけ腐朽が進んで、強度低下が進行していると考えられます。貫入値測定位置の間隔は、柵工の横木では、50cm 間隔で各段、杭は上端から 10cm 間隔で地際までおこないました。丸太積工については横木のみ 50cm 間隔で各段におこない、控え木の測定はおこないませんでした(図-3)。

また、②山腹工を取り巻く環境条件の調査は、標高・斜面方位・斜面傾斜・植生の 4 項目についておこないました。

連続した斜面に、施工年度の同じカラマツ製山腹工が複数ある場合には、斜面を適当に上、中、下部とわけ、それぞれの斜面位置でひとつの構造物を上記の手順により調査しました。

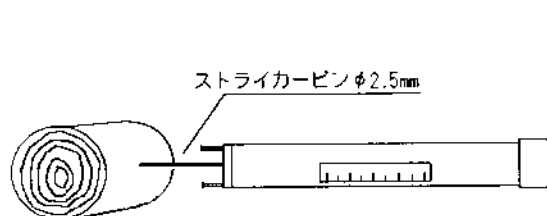


図-2 ピロディン模式図

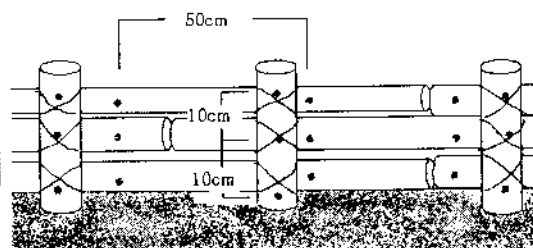


図-3 測定間隔模式図

(2) サンプル試験

調査をおこなった各構造物の任意の点において各段の横木を切断し、長さ 5~15cm ほどの丸太のサンプルを採取しました。採取したこれらのサンプルを持ち帰り、実際に施工済みの山腹工では測定が難しい①土に埋没している部分のピロディン貫入値を測定し、その後、②採取時含水率と③全乾容積重、④切断面の腐朽面積の測定をおこないました。

①サンプルに対するピロディン貫入値の測定は、図-4のように、露出部分に 2 箇所、埋土部分に 2 箇所の計 4 箇所測定し、サンプルのピロディン貫入値は、この 4 箇所の貫入値の平均とした。

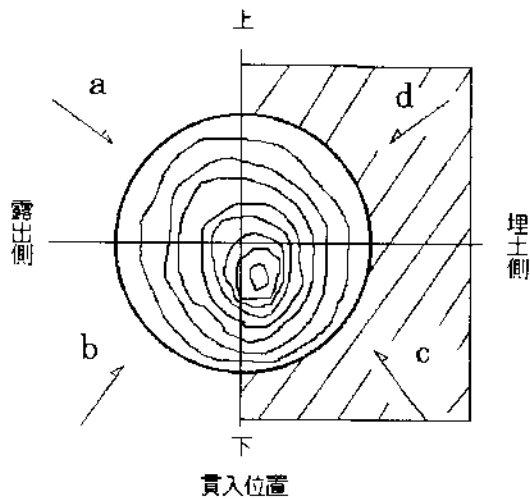
②採取時含水率、③全乾容積重は、以下の式のように算出しました。

$$\text{含水率(\%)} = (\text{採取時質量} - \text{全乾質量}) \div \text{全乾質量} \times 100$$

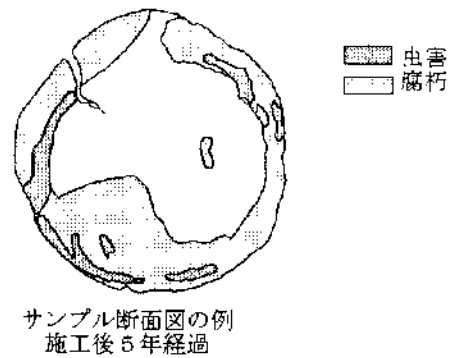
$$\text{全乾容積重(g/cm}^3\text{)} = \text{全乾質量} \div (\text{同体積の水の質量} \times \text{水密度温度補正值})$$

④腐朽断面積は、サンプルの切断面においてその面積と、目視により腐朽していると区別できる部分の面積を透明フィルムに写し取り(図-5)、プランメターによって測定しました。

$$\text{腐朽断面積率(\%)} = \text{腐朽断面積} \div \text{サンプル断面積} \times 100$$



図・4 サンプルの貫入値位置



図・5 腐朽断面の例

3 結果

(1) 現地調査の結果

ア 現地でのピロディン貫入値測定

現地でのピロディン貫入値測定結果を図・6、7に示します。施工年度ごとに山腹工の横木における貫入値の母平均区間推定を95%信頼区間で行ったところ、推定された貫入値の平均区間の上限値は、施工後8～9年経過した調査地で最大となり、30mm前後、杭についても、貫入値の平均区間の上限値は、施工後9～10年経過した調査地で最大となり、30mm以上でした。横木、杭ともに施工後1年未満のもので上限値は最小となり、15mm以下でした。

イ 周辺環境と腐朽速度との関係

(ア) 斜面方位による違いは、データの不足もあり、はっきりとしませんでした。

(イ) 斜面位置での比較では、同じ施工年度であっても、斜面上部に位置する構造物のほうが下部に位置する構造物よりもピロディン貫入値が大きな値を示した調査地が、昭和62年、平成7、8年に施工されたところでした。反対に斜面下部のほうが上部に比べ大きな値となったのが、平成4、5、9年施工の調査地でした。施工からの経過年数が4年未満である調査地では斜面位置による差は小さくなりました(図・8)。

(ウ) 構造物の部位で、貫入値の平均値を比較したところ、横木の1段目、2段目、3段目では、その腐朽速度に大きな差はありませんでした。しかし、杭の上端、中間、地際の比較では、上端や中間よりも地際が速く、施工後4年程度で平均値が25mmを超えました(図・9)。

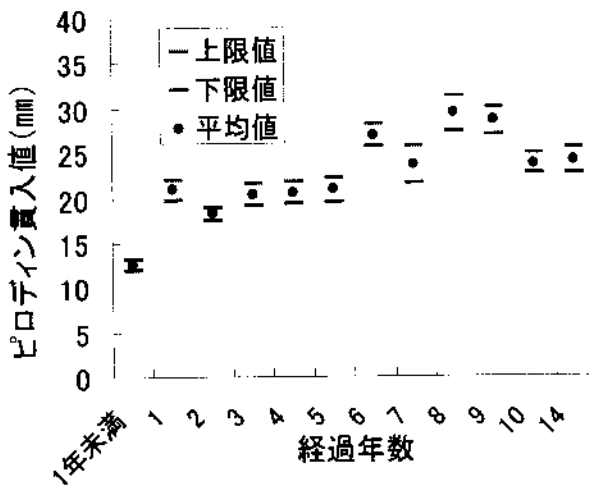


図-6 横木の母平均区間推定の経年変化

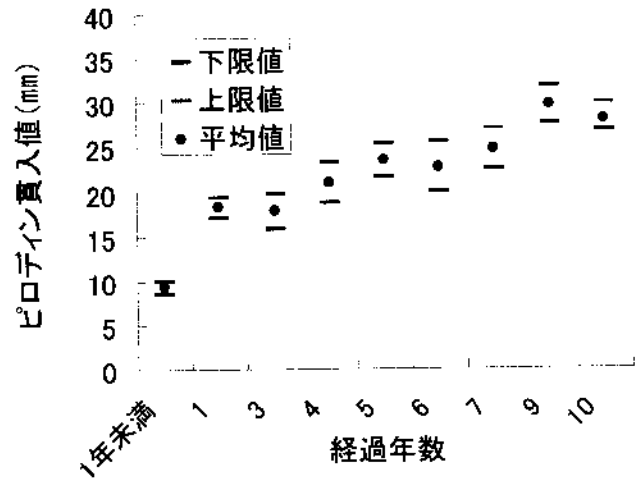


図-7 杭の母平均区間推定の経年変化

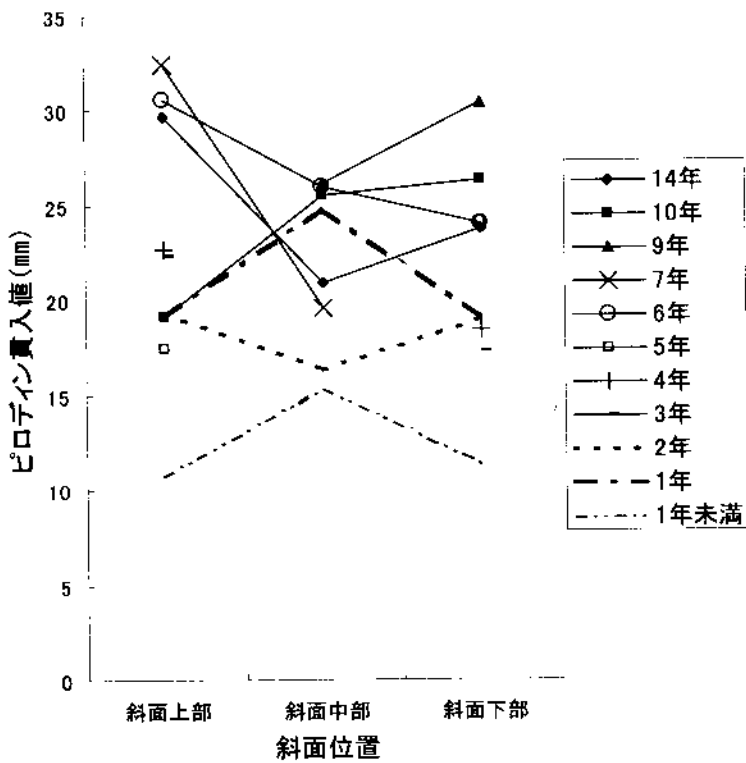


図-8 斜面での位置による違い

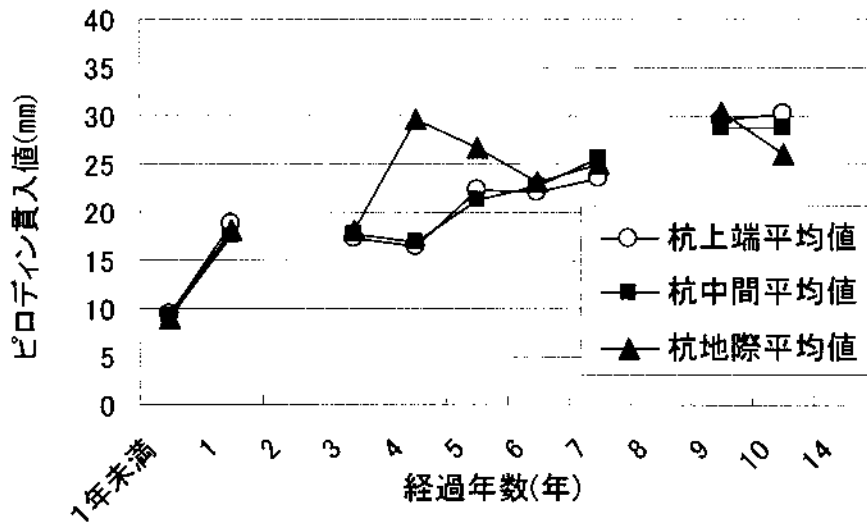


図-9 杭の部位による違い

(2) サンプル試験の結果

ア ピロデンイン貫入値測定

露出部と埋土部それぞれの平均値の比較をおこなうために、平均値の差の検定をおこないました(表-6)。その結果、施工後1年未満と1年経過した山腹工から採取したサンプルにのみ、危険率5%で有意差が認められ、埋土側の平均値が露出側の平均値よりも高い値を示しました。施工後2年以上経過した山腹工のサンプルでは、露出部と埋土部の差はみられませんでした。

イ 全乾容積重

前述のサンプルに対する貫入試験で得られたサンプルのピロデンイン貫入値と、全乾容積重の間には負の相関がみられ、近似式は危険率1%で有意となりました(図-10)。

ウ 腐朽断面積の測定

サンプルの断面積に占める腐朽面積の割合を百分率で示した結果を表-7に示します。施工後1年未満のサンプルで9.67%と、最小になり、施工後5年以上経過した山腹工のサンプル(施工後9年経過分を除く)は平均で、50%以上になりました。なお、この腐朽断面積には、カミキリムシの仲間と考えられる食害痕も含めています。

表-2 埋土側と露出側の比較

経過年数(年)	平均値	露出側平均	埋土側平均	母平均差の検定
14	14.38	12.55	16.20	無
10	19.74	17.97	21.50	無
9	15.44	16.96	13.92	無
8	22.53	22.19	22.88	無
7	24.65	21.80	27.50	無
6	27.25	28.47	26.03	無
5	25.33	27.50	23.17	無
4	20.83	20.21	21.46	無
3	22.28	18.94	25.63	無
2	17.21	15.47	18.94	無
1	21.75	18.56	24.94	有
1年未満	15.10	12.72	17.47	有

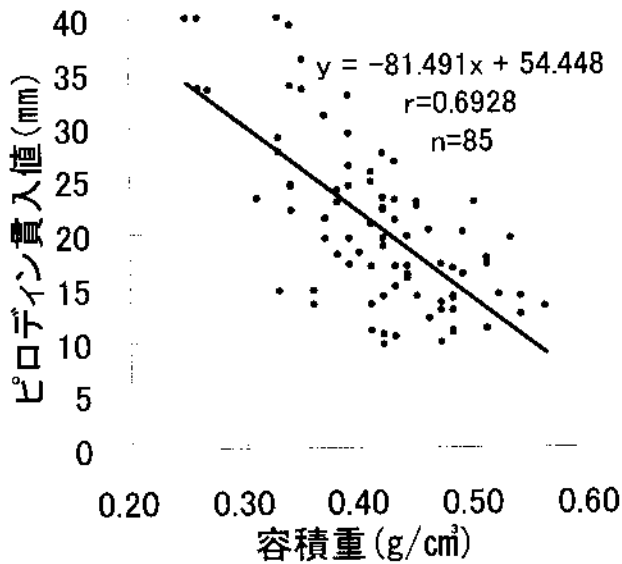


図-10 ピロディン貫入値と容積重の関係

表-3 腐朽断面積の年度別平均

経過年数	腐朽断面積(%)	
	平均値	標準偏差
14	54.78	17.54
10	62.93	32.29
9	40.06	14.32
8	53.91	12.58
7	52.40	36.75
6	59.92	17.03
5	53.49	36.75
4	37.56	18.49
3	42.96	13.65
2	28.57	11.66
1	46.11	19.23
1年未満	9.67	12.24

4 考察

(1) 調査法の妥当性

山腹工にはその背部に土砂を保留する構造上、土砂に埋まった埋土部分と外に露出している部分とがあります。しかし、ピロディンの貫入値測定を現地でおこなう場合には、露出部分のみの測定が簡便です。そこで、露出部分と埋土部分とで貫入値の比較をおこなった結果をみてみますと、施工後2年以上経過すると、埋土部分から進入してきた腐朽菌が丸太全体に回りはじめ、露出部分と埋土部分の差がなくなるのではないかと考えられました。よって今回のような山腹工の露出部のみの貫入値の測定であっても、施工から2年以上経過した山腹工であれば、ある程度信頼のおけるピロディン貫入値の測定が可能であるといえます。

(2) ピロディン貫入値と強度減少

ピロディン貫入値と容積重との間にはこれまでの研究⁵⁾同様、負の相関がみられました。容積重が減少すると、木材の強度も減少することが一般にいられているので、今回の調査でもピロディン貫入値の増加はカラマツ材の強度低下と考えることができといえます。

(3) カラマツ製山腹工の腐朽実態

現地での貫入値の測定から、貫入値の平均区間の上限値が 30 mm に以上になった調査地は施工後 8～10 年経過しており、これらの調査地の山腹工はかなり強度の低下が起こっていると考えられました。加えて、腐朽断面積の結果、構造物の部位による腐朽速度の違いも考え合わせてみると、施工後 5 年程度経過した時点で腐朽断面積は 50% を超え、杭の地際部分では、施工後 4 年で貫入値の平均が 25 mm を超えていることから、施工後 4～5 年で、部分的ではあるが腐朽が進んでいるといえます。

(4) 周辺環境と腐朽速度の関係

構造物の部位による腐朽速度の違いは、杭の地際部分で最も顕著に現れ、施工後 4 年で、平均値が 25 mm を超え、他の部位よりも腐朽が速く進んでいると考えられました。一方、横木では各段であまり腐朽速度に変化がなかったのは、1 段目から 3 ないし 5 段目まで全ての段が背後に上砂を貯めており、腐朽菌の侵入、増殖に関しての条件がほぼ同じだったことによるものではないかと考えられます。また、杭については、松岡らの研究から、地上部分よりも、地際、地中部分のほうが腐朽の進行が速いことがいられており、本調査においても同様の結果となりました。しかし、横木よりも杭の地際部分のほうが腐朽が速く進んだのは、横木がその背面でのみ土砂と接しているのに対して、杭の地際部分は、丸太の周囲全てで土砂と接しているため、横木に比べ、腐朽菌の進入が速まったのではないかと考えられます。加えて、丸太が地面に対して杭は垂直、横木は水平方向に設置されていることによる違い、つまり木材の繊維方向の違いも関係しているのではないかと考えられました。しかし、調査地ごとに横木と杭との平均の差がある場合と、ない場合が生じたのがどのような要因によるものなのか、現時点ではわかりません。

斜面方位による腐朽速度の違いは、データ不足のため解析するにいたりませんでした。また、斜面位置の違いによる貫入値の違いが、施工後 4 年までは顕著にならなかったことから、施工後 5 年以上経過した調査地では何らかの要因によって、差が生じたものと推測されますが、その差がどのような要因によって引き起こされたものなのか、法則性など明確にすることができませんでした。

おわりに

今回の調査では、カラマツ間伐材を用いて作られた山腹工の腐朽実態を、ピロディンを用いてある程度明確にすることができた一方で、腐朽速度に与える環境要因の特定にはいたりませんでした。これらの環境要因のかかわりを明確にすることは、さまざまな地域において腐朽による山腹工の強度の低下予測に応用することを可能とするものであり、今後取り組んでいかなければならない課題です。また今回、直接木材の強度を計測することができませんでした。樹種別、防腐剤の有無、また地域別でピロディンなどの取り扱い簡便な機器や方法と併用し、山腹工の実際の強度計測をおこなっていくことは非常に重要なことであると考えます。そして、時間の経過の中で山腹工を取り巻く条件はさまざまに変化していきます。そのなかで山腹工に最低限必要な強度がどの程度なのか明確にすることは、非常に難しい課題となりますが、進めていかなければならないひとつであると考えられました。

最後になりましたが、研究につきましては、中部森林管理局ならびに南信森林管理所の皆様、森林総合研究所の方々に、多大なご協力をいただいたことをこの場を借りて感謝いたします。本当にありがとうございました。