

採石跡地の温度環境と植栽による植生回復状況

小山泰弘¹・浜田 崇²・片倉正行¹

長野県北部高山村に位置する採石跡地の最終残壁を緑化するため、残壁の小段に採石後に発生した残土を用いて植栽地盤を造成し、クヌギやコナラなどのブナ科樹木を植栽した。植栽地は南東向きの日当たりがよい岩場であったため、夏期の温度上昇が著しい環境にあり、植栽木の成長は遅かった。しかし、植栽後7年生時における平均樹高は1.7 mとなり、一定の成長がみられた。また植栽地盤に造成地の表土を混和しても植栽木の成長促進効果は見られず、表土の混和量が多い場合には、埋土種子起源の雑草類が多数発生して植栽木を覆い、植栽木の初期成長を阻害していた。

キーワード：採石跡地、植生回復、温度環境、コナラ、成長予測

1. はじめに

山岳地域に位置する長野県は、土木建築用の良質な骨材が採取できる場所が多く、県下全域で87箇所の採石場がある。しかし、採石事業は大規模な地形改変を伴い、土砂災害の誘発や、景観悪化など環境への影響が大きい。このため、採石跡地では災害防止や環境への配慮から緑化が行われている。しかし、採掘に伴い、植生の生育基盤である土壌が失われることもあり、採石跡地での緑化による植生回復がうまくいかない事例も聞かれる。

採石跡地での緑化を効果的に進めていくためには、植栽を行う場所の環境条件を把握することが重要である。そこで今回、長野県北部にある採石跡地において、植栽場所の基礎的な環境条件の概要把握と初期の植生回復状況を調査したので、その結果について報告する。

2. 調査地と植栽の概要

2.1 調査対象地域

調査は、長野県上高井郡高山村の雁田山南麓にある藤森建設工業株式会社の高山工場で行った(図1, 表1)。雁田山は第三紀鮮新世の安山岩質の山で、長野県北部で最大の採石地となっている。

採石場の緑化は、採掘事業を実施している間は地形を切り崩すために実施することが出来ない。この

ため、一般的には採掘が終了し最終残壁と呼ばれる壁面が発生した状態で初めて緑化を行うこととなる。高山工場では、1996年に山頂部付近に初めて最終残壁が形成され、緑化が開始された。

最終残壁は、安全管理の面から高低差10mごとに6～10m幅の小段を設ける階段状構造となっている。採石跡地の緑化は、この小段に植栽地盤を造成し実施された。植栽地盤は、採石時に得られた礫混じり残土を客土として、小段の山側に傾斜35度程度の「崖錘」となるように重機で積み上げた(写真1)ものである。なお、植栽地盤の造成および植栽については、藤森建設工業株式会社が実施した。

調査地は写真2に示した高山工場上部の最終残壁とした。この造成された7つの小段において植栽木の成長調査と、植栽場所の環境条件の把握は、このうち2箇所で行った。

小段造成の経過は以下の通りである。1996年に造成された最終残壁の最上部は、採掘作業を行う際に、立木の伐採と地ならしが行われたため表土は攪乱されているが、岩石の採掘は行われておらず、土壌層は残っている。また、1998年と1999年に造成された小段では、採石場で発生した残土のみで植生地盤が造成された。しかし、植栽木の初期の成長が悪かったため、2001年からは近隣の工業団地を造成する際に発生した表層土壌(以下、黒土とする)を採石時の残土に混和させて植生地盤の改良が行われた。なお、黒土の混和量は表2の通りである。

1 長野県林業総合センター 育林部 〒399-0711 長野県塩尻市片丘 5739

2 長野県環境保全研究所 循環型社会部 〒381-0075 長野市北郷 2054-120

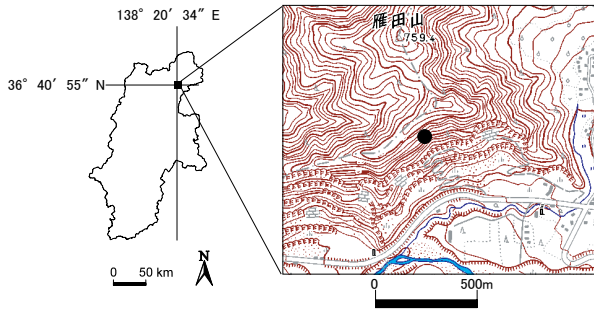


図1 調査地域.

●印は調査地点、国土地理院 1/25000 地図画像「中野西部」を利用した

表1 調査地の概要

| 調査地名 | 場所 | 標高 | 斜面方位 | 工場開設 | 採石賦存量 |
|--------------------|--------------------|----------|------|-------|---------|
| 藤森建設工業株式会社 高山工場 | 長野県 上高井郡 高山村 | 450～710m | 南東 | 1968年 | 1700万トン |



写真1 植栽基盤の状況

表2 植栽の状況

| 植栽年 | 主な植栽樹種 | 備考 |
|------|---------|--------------|
| 1996 | クヌギ | 最終残壁上段（採掘なし） |
| 1998 | コナラ・クヌギ | カモシカ食害で植栽失敗 |
| 1999 | コナラ | 採石残土のみ |
| 2001 | クヌギ・コナラ | 黒土を若干混和 |
| 2002 | クヌギ・コナラ | 黒土を混和 |
| 2003 | コナラ | 黒土混和，ポット苗 |
| 2004 | クヌギ | 黒土を大量に混和 |
| 2005 | コナラ・クヌギ | 黒土を混和 |

2.2 植栽方法と樹種

植栽地盤となる小段は、採石事業の進捗に合わせて2～3年に一段の割合で形成される。小段が形成されると、植栽地盤が整備され、その上に苗木の植栽が行われてきた。苗木は長野県内の種苗生産業者から購入され、春先に1m間隔の10,000本/haの密度で植栽された。植栽後の管理は、植栽当年のみ乾燥による植え痛み防止のため、夏までの期間限定で灌水が行われたが、その後は放置されている。

植栽樹種は、周辺の残置森林内に自生が確認された樹木のクヌギ、コナラ等のブナ科落葉樹を主体に選定した（表2）。一方、調査地周辺にはアカマツも多く自生しており、採石跡地の緑化には、マツ類が有効であることは指摘されている¹⁾。しかし、調査地域周辺はマツ材線虫病の被害地であり²⁾、アカマツを植栽しても再びマツ材線虫病の被害を受ける可能性がある。その場合、景観上の問題が予測されることから、アカマツの植栽は行わないこととした。

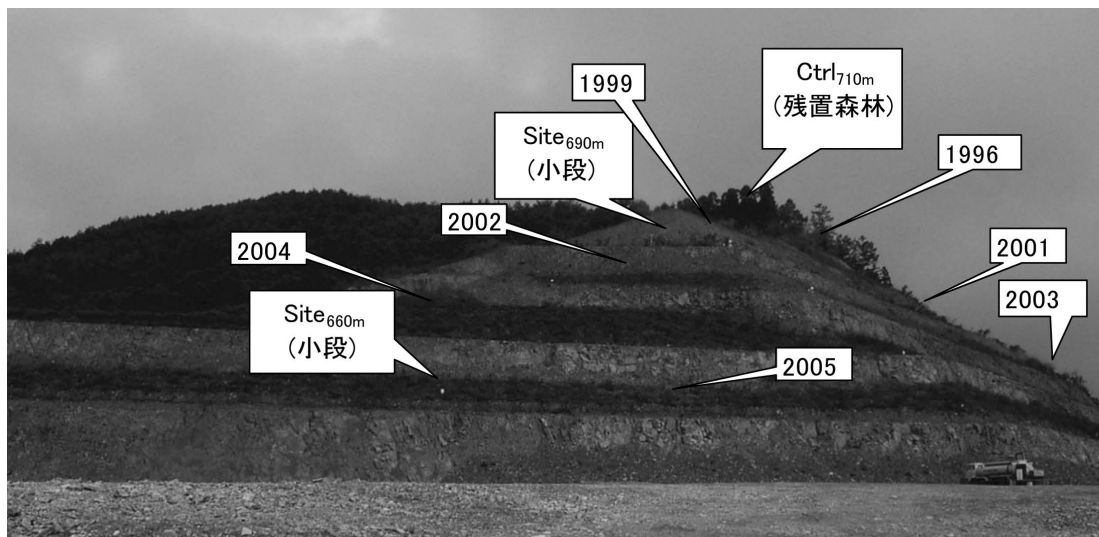


写真2 調査地の概要（数字は苗木の植栽年を示す）

表3 気象観測の概要

| 調査地点 | 標高 | 観測期間 | 観測項目 | 観測機器 |
|--------------------|------|---------------------------|------------------------|------------------------------------|
| 小 段 (Site660m) | 660m | 2005年7月20日～ 2006年7月31日 | 気温 (1.5m) 地温 (-5cm) | ONSET 社サーミスタ温度計 ONSET 社サーミスタ温度計 |
| 小 段 (Site690m) | 690m | 2005年7月20日～ 2006年7月31日 | 気温 (1.5m) 地温 (-5cm) | ONSET 社サーミスタ温度計 ONSET 社サーミスタ温度計 |
| 残地森林 (Ctrl710m) | 710m | 2005年7月20日～ 2006年7月31日 | 気温 (1.5m) 地温 (-5cm) | ONSET 社サーミスタ温度計 ONSET 社サーミスタ温度計 |

3. 調査方法

植栽木の成長調査は、2001年3月から2006年10月までの間、植物の成長休止期にあたる秋から春に年1回程度の割合で実施した。調査は植栽された年別に行い、各30本をランダムに選び樹高を測定した。調査地周辺にはカモシカが生息しているため、調査木の選定にあたっては、カモシカによる食害個体を含めなかった。

これまでに植栽された樹種の是非と、今後の植栽にあたっての植栽樹種を検討するため、2001年3月7日に土壌の調査を小段毎に行った。ここでは、現地踏査により排水性等の水分条件を目視で確認するとともに、客土された土壌を採取して実験室に持ち帰り、ガラス電極式水素イオン濃度計 (AC-15) を用いて土壌 pH (H₂O) を測定した。

また、造成直後の裸地化した小段は植物の生育にとって気象条件が厳しいと予想される。特に植栽場所は南向き斜面で直射日光が強いことから、気温や土壌温度の上昇が生育に影響する可能性が高いと考えられた。そこで、植栽場所での温度環境を把握するため、表3に示した気象観測装置を写真2の2箇所の小段上 (Site660m および Site690m) および採石が行われなかった残地森林内 (Ctrl710m) に設置し、2005年7月20日から2006年7月31日までの約1年間観測を行った。気温の測定は直射日光の影響を避けるため自然通風式の放射よけの中にセンサーを固定し、地上1.5mの高さに設置し行った。なお、地温センサーを埋設した場所の地表面の状況は、Site660mが客土された黒土、Site690mが基盤岩の風化物質が堆積した砂礫、Ctrl710mが落葉層と褐色森林土であった。

4. 結果と考察

4.1 植栽場所の立地環境と植栽樹種の妥当性

調査地は南から南東に向けた日当たりの良い斜面

で、乾燥しやすい環境といえる。

小段に客土された土壌は粘土の中に礫が混入しており、また、基盤岩中にクラックが走っていることが観察された。これらのことから、植栽場所の土壌はある程度の排水性を有するものと考えられた。

また、客土土壌の pH(H₂O) は、6.1 から 7.5 の間でほぼ中性であり、植栽地盤は 7.2 程度と弱アルカリ性を示した。一方、日本の森林土壌は一般に弱酸性であり、当地でも周辺の残地森林内では 5.7 と弱酸性を示した。弱酸性を好む植物の中には pH6.5 を超えるあたりから生育が不良になるものが認められる³⁾。しかし、pH7.5 程度の弱アルカリ性でも一定のアルカリ耐性があれば正常な生育が認められる³⁾ことから、樹種の選定を誤らなければ、樹木の生育が著しく不良となるような土壌条件ではなかった。

以上のような土壌の環境条件を考慮すると、植栽したクヌギやコナラは、耐乾燥性があり塩類濃度の耐性が中程度以上である⁴⁾ことから、植栽木として妥当であったと判断できる。なお、塩類濃度に対する耐性が高く⁴⁾、当地周辺の森林に比較的多く自生するカシワも適当と判断されたが、長野県内の育苗生産業者において生産が行われていなかったため、植栽対象樹種に組み入れることはできなかった。

4.2 植栽場所の温度環境

図2に、2005年7月20日から2006年7月31日における各地点の気温および地温の年変化を示した。図は1日の最高値と最低値を結んだバーで表している。Site690m および Ctrl710m の地温データにはセンサーの地表への露出や断線により異常値が検出されたため解析対象からはずした期間 (図中の N/A 表示) がある。

各地点の気温の推移から (図2(a),(c),(e))、いずれの地点においても、夏季に 30℃ 前後、冬季にはほぼ -10℃ に達していたことがわかる。調査期間中の最高気温と最低気温は Site660m, Site690m, Ctrl710m においてそれぞれ 32.4℃, 33.5℃, 30.0℃

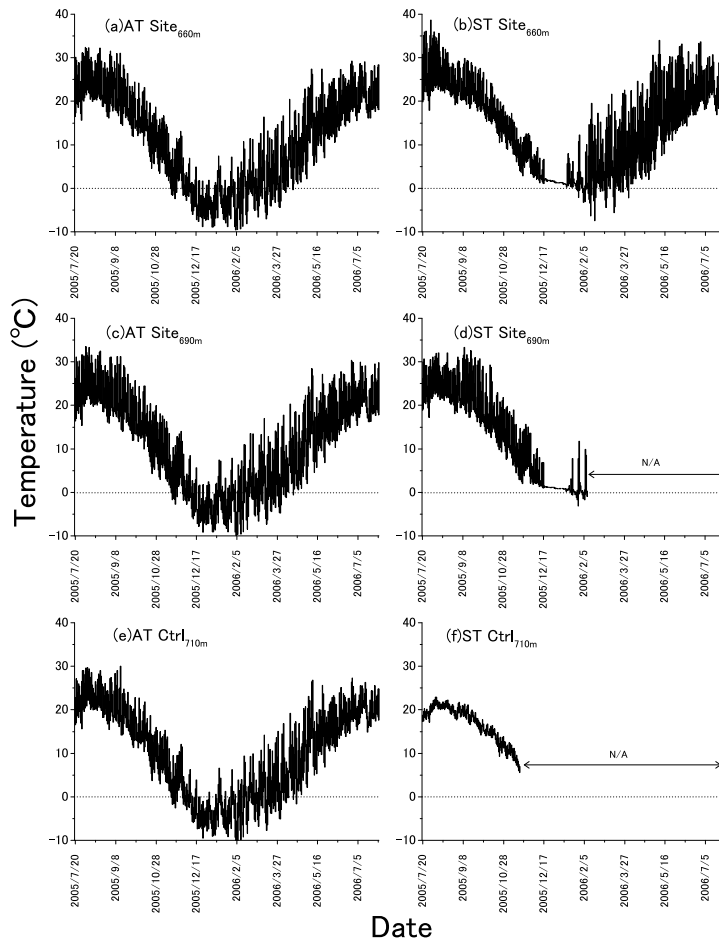


図2 採石跡地および残地森林における気温と地温の年変化。

バーは1日の最高温度と最低温度の日較差。ATは気温、STは地温を示している。N/Aは異常値によりデータ不使用。

と -9.6℃, -10.0℃, -10.1℃であった。最高気温は残地森林よりも小段の方が 2.5℃から 3.5℃高かったが、最低気温はほとんど変わらなかった。また、残地森林 (図 2(e)) と小段 (図 2(a),(c)) の気温を比較すると、小段において気温の日較差が大きいこともわかる。

一方、地表下 5cm を測定した地温 (図 2(b),(d),(f)) は、小段 (図 2(b),(d)) と残地森林 (図 2(e)) とで大きく異なっていた。小段の地温が夏季は 30℃前後に上昇するのに対し、残地森林の地温は 20℃程度にまでしかならず、かつ日較差が非常に小さかった。なお、地温データにみられる日較差がほとんどない期間は積雪に覆われていたことを示しており、Site660m の方が Site690m よりも積雪期間は短かった。

残地森林と小段の違いをさらに詳しくみるために、最高最低気温および最高最低地温の比較を行っ

た (図 3)。最低気温はほぼ 1 対 1 となるが、最高気温は残地森林よりも小段の方が高く、特に高温側でその差が大きくなっていった。また、地温の場合も、最低地温では 1 対 1 に近い関係がみられたのに対し、最高地温では残地森林より小段の方が高く、かつ高温側でその差が非常に大きくなっていった。つまり、残地森林と小段の日較差の違いは最高気温および最高地温に違いが現れていたことによる。ただし、地温の解析は 3 地点とも測定値の得られた 7 月から 11 月のデータしか使用していない。したがって、積雪期や寒候期における比較はできなかった。

最高気温と最高地温に大きな違いがみられたことから、晴天日が比較的連続した 2005 年 8 月 1 日から 8 月 7 日における気温および地温の日変化を図 4 に示した。図 4(a) をみると、Site660m および Site690m の気温に大きな差はないが、それらと

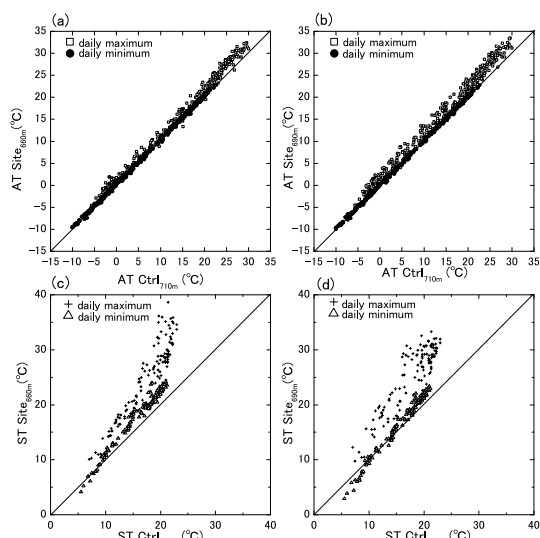


図3 残地森林と採石跡地 A における最高最低気温および最高最低地温の比較。
AT は気温, ST は地温を示している。

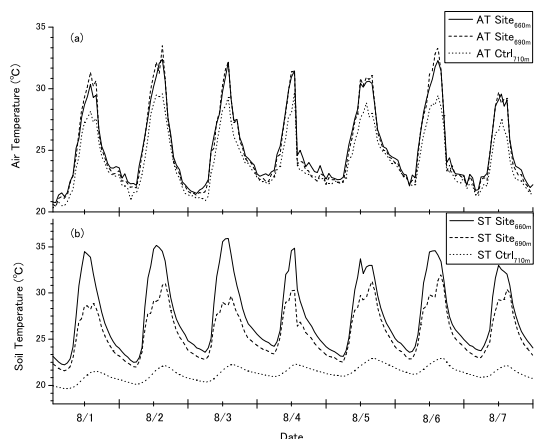


図4 気温および地温の日変化 (2005年8月1日～8月7日)。
AT は気温, ST は地温を示している。

Ctrl710m との間には差がみられ、昼夜通して残地森林の方が低く、特に最高気温は最大で 4℃ 近く低くなっていた。一方、図 4(b) をみると、残地森林では小段より昼夜通して地温が低く、最高地温では約 15℃、最低地温でも約 3℃ の差がみられた。また、気温とは異なり、小段でも Site660m と Site690m との間では、特に最高地温に大きな差がみられ、標高の低い Site660m の方が Site690m に比べて最大で約 8℃ も高かった。この差の要因の一つは地表面のアルベドの違いによると考えられる。Site660m は黒土を混和したことで、土壌が黒くなっていたのに対し、Site690m は採石残土のみで造成されていたため比較的明るい色の砂礫であった。このため、Site660m の

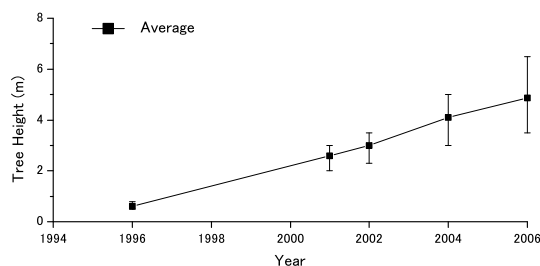


図5 最終残壁上部の苗木生長。
中点は平均, 誤差バーは最大-最小を示す。

方が日射を吸収しやすく、これがより地温を上昇させたと考えられた。

以上の結果から、採石跡地の小段のほうが残置森林に比べて気温および地温とも高く、特に夏季においては最高気温および最高地温でその差が顕著であり日較差も大きいことが明らかとなった。このような違いは、残地森林では夏季を中心とする暖候期において樹木が繁茂し地表面に日陰をつくるのに対し、採石跡地では日陰をつくるような樹木はほとんどなく直接日射があたるために生じるものと思われる。特にこのような違いは気温よりも地温に顕著であることから、地表付近の大気温度も高くなると予想され、樹木の生育する環境条件としても極めて厳しいと考えられる。

4.3 植栽木の成長

4.3.1 最終残壁上部における植栽木の成長

最終残壁上部に植栽されたクヌギは、植栽 5 年後の 2001 年には最大の成長を示す個体が 3 m となり、平均でも 2.6 m になっていた。その後の成長は順調で、植栽から 10 年が経過した 2006 年には平均 4.9m、最大で 6.5m に成長していた (図 5)。これを長野県におけるコナラの樹高成長曲線⁵⁾と比較すると、平均的な成長よりもやや劣るが、表土を攪乱された環境であることを考慮すると、まずまずの成長を示していると判断できる。

4.3.2 小段における植栽木の成長

小段では、どの植栽年度の苗木も一定の成長が認められた (図 6)。特に 1999 年に植栽したコナラは、7 年生で 1.7m となり、最大個体は 2.5m に達していた。また、2006 年までに植栽したコナラ以外にも、アカマツやバッコヤナギなど自然に侵入、定着した木本類が最大で 1.5 m に達するほど成長しており、植生回復が良好に進みつつあると判断された。

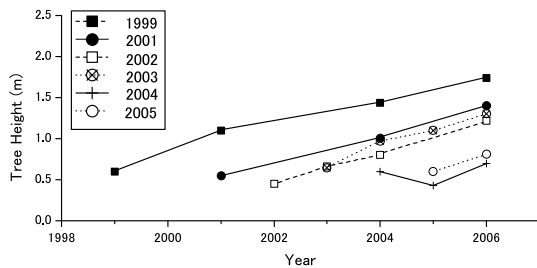


図6 残壁小段に植栽した苗木平均樹高の推移

しかし、2004年植栽木は、植栽翌年に樹高が低下していた。2004年における植栽基盤は黒土の混和量が多く、黒土の中に多量の種子がシードバンクとなって保持されていた。このため、植栽直後の7月にはシードバンクとして貯えられていたエノコログサを主体とした雑草が大量に発生し、草刈りが必要な状況にまで成長した。エノコログサが繁茂していた小段は、幅が狭いために草刈りも困難だった。発生したエノコログサは翌年には衰退し、それにかわってヨモギ等が繁茂し、2006年にはヨモギとヒレハリソウが1.3m程度の高さで小段の全面を覆った。そのため、植栽木の中にはこれら草本の被圧により枯損したものが認められ、植栽3年目に生残木の平均樹高が植栽当年の状況までようやく回復した程度の生育にとどまった。

植栽地盤に黒土を混和した2001年以降の植栽木の成長をみると、黒土の混和量が多いほど雑草類の繁茂が激しく植栽木を被圧する傾向が観察された。このことから、土壌改良を目的とした黒土の混和は、植栽木の初期成長に有効とは言えずマイナス効果を示したことになる。

4.4 植栽樹木の成長予測

以上の結果を基に、植栽木の中で最も多く植えられたコナラの成長予測を行った。推定式は、コナラの調査結果に近似曲線を与えて作成した。なお、樹木の成長は基本的には指数型であるが、長い目で見ると飽和型となることが知られている⁶⁾。しかし、今回の成長予測では飽和型を示すような高齢期のデータがないことから、植栽初期の成長予測として指数近似させた。その結果、植栽木の樹高 y と経過年数 x の関係は、

$$y = 0.4435e^{0.1843x}$$

が得られた。これをもとにコナラの樹高成長を予測したところ、10年生で2.8mになると算出された。既往の長野県におけるコナラの樹高成長曲線⁵⁾では、最も成長が悪い場所でも10年で5.3mに達することが示されており、今回の予測ではその半分程度にしかならない。コナラは、土壌が肥沃であるほど成長が良好であり⁵⁾、表土を失った採石跡地という条件を考えれば仕方がない結果といえる。

採石跡地では土壌の生成が非常に遅く、採掘終了から20年が経過しても土壌化が遅れているとの報告がある⁷⁾。今後もしばらくはこのまま悪い成長を続ける可能性が高い。

とはいえ、これまでの調査結果から樹高が低下するようなマイナス因子は発見されておらず、少なくとも、現状程度の成長は今後も見込めると考えられる。長野県のコナラ樹高曲線⁵⁾では、最も成長が悪い場合でも40年生時の樹高は11.4mになるとされており、調査地での成長が現状と同じくらいの半分だったとしても、平均樹高で6m程度にはなると推測される。

さらに今後、樹高成長にあわせて着葉量が増大し、林床への日射の到達量が減少すれば、今回のような地温上昇も軽減されると考えられる。このような微気象条件の変化が、コナラにとってより成長しやすい環境をつくり出す可能性も考えられた。

5. おわりに

長野県北部にある雁田山では、採石跡地を緑化するために最終残壁の小段で周辺の自然植生であるクヌギやコナラの植栽が進められている。採石跡地は南東向きの日当たりがよい岩場であったため、夏期の温度上昇が著しい環境にあり、植栽木の成長は遅かった。それでも最終残壁に植栽が行われてから7年経過で、樹高2mを越える広葉樹類が徐々に育ってきており、40年生時には平均樹高で6mに達すると推定できた。調査地では最終残壁の小段を35度の傾斜で盛り上げてその上に樹木が植栽されている。このため、植栽木が6m程度にまで成長すれば10mの高低差を持つ最終残壁を覆うことは可能と考えられた。

採石跡地の緑化は、現場ごとの環境条件が異なることから、確立された緑化技術はなく、厳しい環境条件のために緑化が困難な場所も多い。一方、長野県では、平成16年度から「採石跡地のみどりづ

くり事業」として、最終残壁の緑化を積極的に進めるためのモデル事業を導入し、今回の調査もその一環として実施された。しかし、今回の事例だけで長野県の採石跡地の緑化に係る技術的な検討が終わったわけではなく、その一事例を調査できたに過ぎない。今後も植栽木の生育状況を追跡しながら、他の事例についても機会を見て検討を加えることで、長野県全体の採石跡地における緑化施策に還元していきたい。

謝 辞

藤森建設工業株式会社高山工場の皆様には、調査の実施にあたり多大なるご協力をいただいた。また観測計器の導入に際し、長野県林務部森林保全課の協力を得た。さらに株式会社信越建商高山工場の皆様、長野県須坂建設事務所管理計画課、長野県長野地方事務所林務課、長野県林務部森林保全課および長野県環境保全研究所の関係者の皆様方には調査の遂行にあたって多くのご支援をいただいた。この場を借りて感謝申し上げる。

文 献

- 1) 引田裕之・細田浩司 (2004) 新しい緑化技術に関する総合研究 花こう岩採石跡地での緑化方法. 茨城県林業技術センター業務報告 41:10-11.
- 2) 岡田充弘・小山泰弘 (2006) 松くい虫激害地の被害拡大現状に関する研究—マツ材線虫被害の被害減少要因の検討—. 長野県林業総合センター研究報告 21:1-10.
- 3) 古川 仁・片倉正行・遊橋洪基 (2001) 市街地環境緑化に関する研究—緑化樹の生育と路面凍結防止剤—. 長野県林業総合センター研究報告 15:1-11.
- 4) 刈住 昇 (1987) 新装版樹木根系大図説. 誠文堂新光社, 1122pp, 東京
- 5) 長野県林務部 (1989) しいたけ原木林造成の手引き. 長野県林務部, 76pp.
- 6) 南雲秀次郎・箕輪光博 (1990) 測樹学. 地球社, 244pp, 東京.
- 7) 竹田泰雄・横田岳人・石田 朗・河口順子・キン ミョートウン (1994) 採石跡地における植生の回復および土壌の生成について. 名大演報 13:71-83.

Temperature environment and vegetation recovery on a quarry site

Yasuhiro KOYAMA¹, Takashi HAMADA² and Masayuki KATAKURA¹

1 Nagano Prefectural Forestry Research Center, Division of Forestry,
5739 Katakura Siojiri, 399-0711 Japan.

2 Nagano Environmental Conservation Research Institute, Recycling Society Division.
2054-120 Kitago Nagano, 381-0075 Japan.