

氏 名 : 濱中 晃弘

論 文 名 : 熱帯地域における露天掘り石炭鉱山跡地の再緑化のための環境修復
に関する研究

区 分 : 甲

論 文 内 容 の 要 旨

近年、東南アジアでは著しい経済発展に伴い、エネルギー資源の需要量も増大しており、石炭に対しては今後も大幅な需要の増加が見込まれ、石炭資源の増産、新規開発が続いている。石炭資源開発の主要な採掘法として露天掘りが挙げられるが、東南アジアのような熱帯地域における露天掘り鉱山開発では、熱帯雨林の消失や採掘跡地における土壌浸食など地球規模の深刻な環境問題が引き起こされる恐れがあるため、環境負荷低減型採掘法の検討は勿論、環境修復のための効果的な対策を開発初期段階より検討・策定する必要がある。近年、東南アジア諸国においても環境意識が高まり、例えば、資源国であるインドネシアやマレーシアでは、政府の法令によって鉱山開発前の環境保全計画書の提出、採掘終了後の鉱山会社による採掘跡地の環境修復が義務づけられているが、未だ環境対策には課題が残っている。

以上のことから、東南アジア諸国において、今後も継続的に石炭資源の開発・生産を維持していくためには、採掘跡地の環境修復、すなわち、適切なリハビリテーションの設計および実施が極めて重要であると考えられる。リハビリテーションの目的は、跡地を自然系の回復によって長期的に自立した土地として再生することにあるが、採掘跡地における自然系の回復は、植栽基盤としての表土の埋戻し設計から再緑化樹木の生育およびモニタリングまで一連の体系的な工程として検討すべきである。そこで、採掘跡地の環境修復の中でも、特に熱帯地域における再緑化に向けたリハビリテーションに関して設計施工指針を得るために、一連の再緑化工程の中の諸課題に関して、東南アジアの中でも露天掘り鉱山開発を主体としているインドネシアの石炭鉱山を対象に検討を行った。

第1章は緒論であり、再緑化によるリハビリテーションの必要性を述べるとともに、それに向けた検討項目を抽出し、本研究の目的を提示した。

第2章では、露天掘り鉱山開発において、再緑化に向けた表土埋戻し施工法が植物の生育基盤としての埋戻し表土の特性に与える影響に関して検討を行った。その結果、採掘跡地における表土の埋戻しには重機を用いる必要があるため、この重機による締固めにより植物の生育基盤としての表土の特性に問題が生じることが懸念され、この解決には締固まった表土を膨軟にする耕耘が必要であることが分かった。そこで、リハビリテーションエリアに埋戻されて耕耘を行った土壌の特性を植物の生育基盤の観点から評価を行うため、インドネシアの Kaltim Prima Coal (以下、KPC) 鉱山を対象に現場調査を行った。既に KPC 鉱山では、重機による締固めに配慮した表土の埋戻し施工が行われており、低接地圧 (50 kPa) のブルドーザーで表土の敷均しを行った後、深度 60~80 cm までの深耕を行っている。この鉱山のリハビリテーションエリアおよび未開発の森林区域において、土壌の基礎特性や地盤の透水性、土壌硬度を比較した。その結果、リハビリテーションエリアに埋戻された表土は、森林区域の土壌と土性が異なっていた。この主因は剥土の際に発生する埋戻し表土以外の廃石の混入にあったが、地盤の透水性および土壌硬度は植物の生育基盤としてほぼ良好であった。しかし、廃石の混入程度によっては植物の生育への影響は免れないため、廃石の適切な分類および埋戻し設計によって植物の生育に有害な廃石の混入を抑制する必要があることを示した。すなわち、重機による締固めに配慮した表土の埋戻し施工および廃石の適切な分類および埋戻しを行うことで、植栽基盤として問題がないようなリハビリテーションエリアの土壌を形成することが可能であることが判明した。

第3章では、熱帯地域における深刻な環境問題である土壌浸食の予測と対策に関して検討を行った。

採掘跡地の再緑化において表土の埋戻しは植物の生育基盤を形成するという重要な役割を担っているが、熱帯地域のような年間降水量が多い地域では、降雨に伴い植物の生育基盤としての良質な表土が流出することにより、周辺水環境の汚染のみならず再緑化の阻害も引き起こす。したがって、採掘跡地における土壤浸食状態を事前に予測して、周辺水環境および再緑化樹木の生育への影響を最小限とする設計を行う必要がある。そこで、採掘跡地に埋戻された土壤の特性が土壤浸食に与える影響や土壤浸食抑制対策法について検討するために、ふるい分けした真砂土とベントナイトを種々の割合で混合することによって作製した模擬土壤地盤を用いて、室内人工降雨実験を行った。その結果、粘土分を多く含む高い液性限界をもつ土壤ほど耐土壤浸食性が高いこと、カバークロップによる地表面被覆により地表への雨滴衝撃を緩和することで最大 50%程度の土壤浸食軽減効果が得られることが明らかとなった。また、土壤特性、降水量、カバークロップによる地表面被覆率を考慮した土壤浸食予測式を導出し、この式が植物の生育基盤として必要とされる埋戻し表土の厚さ、土壤流出によって生じる濁水を処理する沈澱池の設計、再緑化樹木をリハビリテーションエリアに植え替えする際の埋戻し深さなどを決定する指標として有用であることを示した。ただし、砂質分が卓越した液性限界の小さい土壤条件下で過度の土壤浸食が予測される場合には、階段耕作、排水路の構築、マウンド設置、廃タイヤを用いた落水構造等を併用した最大限の土壤保全対策を付加する必要がある。

第 4 章では、リハビリテーションエリアにおける早期緑化に向けた有用植物の選択と適用の検討を行った。採掘によって形成された採掘跡地は、自然環境保護の観点から、開発前の状態まで修復することが望まれるが、熱帯に自生するフタバガキ科 (*Dipterocarpaceae*) などの生長に時間を要する植物が育ちやすい環境を形成するためには、採掘跡地の再緑化の先駆けとしてカバークロップによる土壤保全や先駆性樹種などの早生樹によって早期緑化することが重要である。また、現在では単に石炭採掘以前の植生に復帰させることだけでなく、農作物の栽培や乳牛および肉牛の放牧、観光施設の建設など産業用途のために採掘跡地を利用することも考慮されるようになってきた。そこで、採掘跡地の早期緑化および有効活用を両立するための有用樹木として、良質な繊維資源として有効利用が期待されるカジノキ (*Broussonetia papyrifera*) に着目、選択し、カジノキ実生の効率的な獲得、石炭鉱山の採掘跡地におけるカジノキの適応性、土壤条件がカジノキの生育に与える影響に関して、種々の実験や現地調査から検討を行った。その結果、カジノキ種子を 80℃の温湯に 10 秒間浸漬処理することで発芽率が向上し、カジノキは採掘跡地において生育が可能であり、苗圃での管理期間を短縮するため採掘跡地への早期植え替えも可能であることが明らかとなった。しかしながら、カバークロップによる樹木の生育阻害が確認されたため、生育への影響を最小限とした適切なカバークロップの選定や除草等の現場管理を同時に考慮することが必要であることが示唆された。また、砂と粘土とがほぼ 1:1 の割合で混合されるような土壤を採掘跡地に形成できれば、カジノキの生長促進が可能であることが分かった。

第 5 章では、再緑化評価のためのモニタリングに関して検討を行った。採掘跡地は自然生態系の回復や土壤浸食等の環境問題を最小限とするためには植物による表面被覆が重要となるが、採掘跡地の再緑化による自然環境の再生には長い年月を要するため、時間経過に伴う再緑化の状況についての長期的なモニタリングを行うことが不可欠である。そこで、採掘跡地の自然環境の再生を効率的かつ的確にモニタリング評価するために、衛星画像から得られ、植生指標の評価に利用される NDVI (Normalized Difference Vegetation Index: 正規化植生指標) を再緑化されたリハビリテーションエリアに適用して、NDVI から求まる地表面被覆の程度を林業大臣令「森林回復の成功に関する評価指針、2009 年、インドネシア」に基づいた現場調査と対比することによって再緑化状況の把握の可否を検証した。その結果、NDVI は地表の植物の被覆状態を示す指標として妥当であり、リハビリテーションエリアでの植栽年および各年毎の NDVI を照合することで、再緑化状況の把握が可能であることが確認された。また、植栽年が早い区域にも関わらず NDVI の低い区域では再緑化が阻害されていることが懸念されるため、土壤改善や再植栽を行う必要があり、NDVI によって一定の植生回復が見込める区域においては、植樹されている樹木の本数・種類・状態などの現場調査を付加することで、自然環境修復に向けた効率的なモニタリングを行うことが可能となる。

第 6 章は結論であり、上述各章を総括したものである。