

氏 名 : 加藤 正剛

論文題名 : 砂利採取鉱山の廃棄物を用いた土壌改良材の開発とその採掘跡地緑化への利用

区 分 : 甲

## 論 文 内 容 の 要 旨

最近のわが国の骨材事情を概観すると、社会基盤整備の進展がほぼ収束するとともに、人口減少期への移行により経済の停滞、活力の低下と相まって、骨材需要も大きく低下した状況が続いているが、一方では老朽化してきたコンクリート建造物の建替えや補強工事において、従来のコンクリートより高強度・超高強度・高機能性コンクリートの適用が防災の観点からも要求されている。このようなコンクリートには、高品質・高信頼性の骨材が必要不可欠であるため、良質な天然骨材の確保は極めて重要である。しかし、わが国で長年に亘り骨材を供給してきた山砂・砂利採取鉱山は、その殆どが経営や生産において中小規模であることを踏まえると、現状では質・量ともに安定した供給能力や生産に伴う環境問題の対応には再考すべき問題が存在している。すなわち、今後の山砂・砂利採取鉱山が長期的かつ安定的な骨材供給責務を果たすためには、効率的操業や採取跡地の早期緑化等の環境負荷を低減した事業の構築が必要であると考え、この鉱山モデル構築を過去の経験や現状を踏まえて検討すると、解決すべき大小様々な技術的課題が残されている。

このような観点から本研究は、骨材資源開発の現状と今後の見通し、および近未来に向けた課題の整理を行い、採掘跡地の森林への早期復元を念頭に置いて、千葉県で操業する鉱山を研究対象例として、環境負荷低減型高効率砂利採取鉱山モデル構築に資する山砂・砂利採取跡地緑化の課題を抽出、検討し、その対応策を提示したものである。

第1章は緒論であり、本研究の背景や現状から、その目的、意義について述べた。

第2章では、砂利採取鉱山の終掘後の採取跡地の緑化の現況について調査して整理を行うとともに、早期緑化を目的とした課題の把握を行った。その結果、一般に採取跡地は貧栄養地で風化や浸食がされやすく、植栽物生育には厳しい環境下にあることが明らかとなった。また、跡地の土壌調査・分析結果は、一般的森林土壌や造園等の植栽基盤目標値から大きく下回っていたことから、透水性や土壌硬度の改善、土壌の肥沃性向上のための施肥が必要であることが判明した。さらに、開発区域に自生している成木のスギとヒノキの根茎発達状況調査から、根茎の発達範囲は概ね直径1.0m、深度1.5m、体積1.18m<sup>3</sup>程度の植栽基盤改良・整備範囲が必要であることを示した。

植栽基盤の物理化学的土壌条件については、適切な透水性と土壌硬度が維持できるようにすることが重要であり、その他保水性については、採掘跡地のような土壌基盤では、夏場の晴天が続く日等は土壌が乾燥し、植栽された苗木が枯死する可能性があることを明らかにした。これらへの対応には、土壌改良材の添加や土壌表面の乾燥を防止するため、植栽された苗木と生育が競合しない耐乾性のグラウンドカバー植物の播種等の施工が必要であることを示した。また、採取跡地の土壌の陽イオン濃度、電気伝導度以外の全炭素、全窒素、陽イオン交換容量、可給態リン酸が一般的な森林土壌や造園等の植栽基盤目標値から大きく劣っていることから、苗木の活着を第一として、その後の旺盛な生長が促せるように、土壌の肥沃性向上のための肥料の3要素について、元肥、追肥にか

かる施肥設計施工の検討が必要であることを示した。

第3章では、前章での諸検討結果から、採掘跡地の土壌は植栽基盤としては不向きであるということが判明したので、現状では採掘跡地に埋立処分せざるを得ない大量の負の生産物である脱水ケーキを、跡地の緑化に必要とされる土壌改良事業に有効利用するため、この脱水ケーキに加工を施し、かつ植栽土壌として必要な肥料分を添加した土壌改良材を開発し、その有効性について検証した。その結果、まず、脱水ケーキの母材が海洋堆積物等の塩基性を示す土壌に由来するため、脱水ケーキ、脱水ケーキ加工物とも植物生育に最適とされる pH 5.5~6.5 よりも高い数値を示したことから、肥料は pH 調整のために尿素と過リン酸石灰を選択すればよいことが分かった。

また、脱水ケーキを利用した土壌改良材を開発するに当たり、肥料分を添加するとともに、母材跡地土壌の粒度とは異なる粗粒度を持たせ、保水性、排水性および通気性を併せ持つ団粒構造形成を促すためには、脱水ケーキの造粒が必要であることが判明した。このため、脱水ケーキに混入する材料の選択、添加肥料量、造粒方法の選択等の検討を行った結果、造粒は多機能ミキサー装置、混入材は生石灰あるいはペーパースラッジ灰、肥料は前述の尿素と過リン酸石灰で、具備すべき強度や再泥化率等を満足する土壌改良材を作製できることを示した。

第4章では、実作業中の現場をモデルとし、二次元弾塑性応力プログラム Phase<sup>2</sup>を用いて、砂利採取後の最終人工斜面の安定性についての解析的検討を行った。この目的は、早期緑化可能な植栽基盤の整備に加えて、砂利採取後の最終人工斜面が安定して、浸食による流出や斜面崩壊によって折角整備された植栽基盤を破壊しないことが必要であるためである。現在の現場は、山砂・砂利の掘削に係る推奨安定勾配に基づき、また現在までの長い期間の作業においての実務的な経験をも踏まえて設計(斜面高さ 120m、斜面角度 45 度)されており、幸いにして鉱区外へ被害を及ぼすような事故は起こしていない。しかし、緑化予定地は鉱区内の終掘後の埋立地であり、いま一度最終人工斜面の安定性についての再検証が必要であると考えられる。このような背景に基づいて最終人工斜面の安定性に関して検討した結果、作業中の現場斜面の安全性の確認とともに、掘削斜面高さが 100m 程度以内であれば現斜面角度の 45 度から 60 度に変更可能であること、斜面角度を 60 度に変更しても法尻部への盛土の施工により斜面角度 45 度程度の安全性が確保できること等の切羽設計上の有効な指針を示した。また、斜面角度 60 度で終掘後に、法尻から斜面高さ 1/3 程度に斜面角度 30 度で盛土を行うと安全性は向上すること、このような法面の形に採掘しても斜面の安全性が確保できることを明らかにした。さらに、長期間の浸食や風化等の影響を軽減する緑化工事は重要な手段となり、残壁を含めた採掘跡地の安全性の確保に資することができることを示した。

第5章では、第3章に続き、開発した土壌改良材の採掘跡地での有効性について検証するため、採掘跡地に植栽実験圃場を造成した。ここに二種の土壌改良材を混合した植栽基盤を整備した上でヒノキの苗木を植栽して生長経過を観察し、ヒノキの生長状況に対する土壌改良材と跡地土壌の混合比率、添加剤の種類および植栽基盤形状等の影響などを比較検討した。約 2.5 年に過ぎないヒノキの試験植栽ではあるが、得られた結果をまとめれば、土壌改良材はペーパースラッジ灰造粒物より生石灰造粒物の方が優れていること、植栽においては畝の造成が水捌けに有効であること、土壌改良材の混入により透水性や硬度を改善することができ、生育促進のために、土壌改良の深度は 1~1.5m 程度が望ましいことなどを明らかにした。また、植栽土壌の耕耘とともに、土壌改良材を混入した土壌 pH は弱アルカリ性を示すことから、生育促進には何らかの形での肥料分の添加と散水が不可欠であることを明らかにした。

第6章は、結論であり、本研究の成果を整理して総括するとともに、今後の課題について示した。