

(続紙 1)

京都大学	博士 (地球環境学)	氏名	Uddin Mohammed Nasir
論文題目	Engineering Properties of Soils Recovered from Disaster Waste (災害廃棄物から分別された土砂の工学特性)		

(論文内容の要旨)

本論文は、混合状態の災害廃棄物の分別処理を経て排出される土砂分（以下、分別土砂）を対象とし、地盤材料としての再資源化の観点から工学特性を評価したものである。2011年東北地方太平洋沖地震と津波により約3000万トンもの膨大な量の災害廃棄物等が発生したが、既存の廃棄物処理施設での受け入れには限界があったため、分別等の適切な処理による積極的な再資源化が求められた。特に、質量で総量の約3分の1を土砂分が占めるため、処理を経て排出される分別土砂は、復旧復興事業に不可欠な地盤材料としての利活用が期待された。しかし、分別土砂中には解体廃材等に由来する細かい木片が残存しており、一般的な地盤材料と異なる材料特性や、木片の腐植分解に伴う経時的な構造変化等も考慮しつつ、その工学特性を解明する必要があった。本論文では、実際の分別土砂の木片混入率や分解度が工学特性に及ぼす影響を各種の室内試験を通して評価している。具体的には、木片と一般的な砂質土を任意の割合と密度で混合して様々な木片混入率や分解度を再現した模擬分別土を作製し、締固め特性、強度特性、変形特性に及ぼす影響を検討している。さらに、東日本大震災の被災地に点在する各処理施設で導入された処理設備や機材は様々であったため、排出される分別土砂の木片混入率も質量比で0～18%と大きなばらつきを有していたことから、分別土砂を地盤材料として利用する際に許容される木片混入量を実験結果に基づいて検証している。論文は6章からなっており、以下に各章の内容を説明する。

第1章は序論であり、東日本大震災における災害廃棄物等の発生と分別処理について概観するとともに、分別土砂の利用に際しての技術的な諸課題に基づいて本研究の意義と目的を示している。

第2章は既往の研究のレビューである。特に、東日本大震災の被害状況、災害廃棄物等の分別処理と利活用に関連する各種指針と取り組み、地盤中での有機物の腐植分解、廃棄物混じり土の工学特性について、既往研究や公的資料をもとにとりまとめている。

第3章では、木片混入量の違いが分別土砂の工学特性に及ぼす影響について、各種実験を通して検討している。分別土砂に処理後も残存する細かい木片は、分別土砂の工学特性に大きく影響を与える。本章ではまず、木片混入率と木片寸法、燃焼温度、燃焼時間を変えて強熱減量試験を行い、既存の試験方法では適切に評価できなかった分別土砂中の有機物量の定量化を試みている。その結果、摂氏350度の燃焼温度で燃焼時間を長くすることで、木片寸法や混入率に関わらずより精度良く有機物量を評価しうる可能性を示した。次に、質量比で0～15%の木片混入率となるよう作製した模擬分別土を

対象に、締固め試験、一軸圧縮試験、支持力試験、圧縮性試験を行い、分別土砂中に残存する木片が各特性に及ぼす影響を評価している。土粒子と比較し、木片は内部空隙が多く圧縮性に富む。そのため、同じ締固め度であっても木片混入率が高くなるほど間隙比が大きくなり、分別土砂の圧縮性が高くなることを示している。さらに木片そのものの強度が低く地盤材料としての支持力への寄与が少ないため、木片混入率の増加に伴い分別土砂の強度は低下するが、木片が補強材のように作用するため靱性は高くなることを明らかにしている。よって、工学特性の観点から分別土砂の品質を向上させるためには、可能な限り混入する木片量を低減させる必要があると言えるが、ここでは実験結果に基づき、木片混入率が8%を超えると分別土砂中の土粒子骨格の間隙比が最大間隙比を超え、土粒子間の接触が十分に維持できずに、工学特性の著しい変化が生じうることを論じている。

第4章では、混入する木片の腐植分解が分別土砂の強度特性や圧縮特性に及ぼす影響を評価している。分別土砂の利用に際しては、多くの場合十分な締固めや表面被覆の条件下での適用が想定されるものの、地下水位変動域や雨水浸透を許容する適用環境下であれば、長期的に微生物活動による木片等有機物の分解が懸念される。有機物は分解すると最終的には水とガスになることから、固相の減少および間隙の増加につながる恐れがある。そこで本章では、分別土砂中に含まれる木片の分解による間隙増加を考慮して供試体を作製し、一軸圧縮試験と圧縮性試験により、分別土砂の強度特性ならびに変形特性を評価している。具体的には、質量比で3~8%の木片が分別土砂に含まれる場合に、その0~100%が分解され消失した場合を想定し、供試体の土骨格の密度と木片混入率を調整して供試体を作製している。各種実験の結果、有機物の分解に伴う間隙増加により分別土砂の強度は低下し、圧縮沈下量が大きくなることを明らかにしている。初期の木片混入率が高いほど有機物の分解に伴う強度低下は顕著であり、初期状態で8%の木片混入率を有する供試体では、50%の木片の分解により未分解状態の30%にまで一軸圧縮強さが低下し、同様に50%の分解により沈下量は1.5倍になることを示している。

第5章では、各章で得られた成果の実務的意義を述べている。木片混入率が8%を超えると、木片の特性が卓越し著しい強度低下や圧縮量増加を招くことから、分別土砂を地盤材料として再資源化するためには、6%の木片混入率を満足するよう処理システムを構築する必要があることを論じている。また残存する木片の分解は強度特性や変形特性に大きく影響を与えうることから、表面被覆により雨水浸透を防止することや、地下水位変動域での使用を避けるなど、酸素と水の供給を遮断することを考慮しつつ社会基盤施設への適用を図ることを提案している。

第6章は結論であり、論文を総括するとともに今後の課題を示している。

(論文審査の結果の要旨)

地震・津波や洪水などにより発生する災害廃棄物の処理と再生材としての利用は重要な環境課題であり、再生材の特性を適切に評価するとともに、より合理的な処理システムの構築に向けた知見の体系化が求められている。2011年東北地方太平洋沖地震と津波により発生した膨大な量の災害廃棄物等については、質量で約3分の1を占める土砂分を適切に分別して分別土砂として再資源化し有効利用することが地盤環境工学上の重要課題であった。本論文は、分別土砂中の木片の混入とその分解による構造変化に着目し、室内実験により分別土砂の工学特性を評価したものである。得られた主な成果は以下の通りである。

第一に、既存の試験方法では適切に評価できなかった分別土砂中の木片混入量を、簡便に評価しうる可能性を示した。混入する木片量の定量化は分別土砂の特性評価の根幹であるが、既存の強熱方法は燃焼温度が高く結晶水等も逸散するため、適切に評価できなかった。本論文では、摂氏350度での燃焼で木片混入率を概ね精度良く評価しうることを示しており、新たな試験方法確立の観点から学術的意義が大きく、また現場における分別土砂の品質管理の一助となりうることから実務的意義が大きい。

第二に、分別土砂の工学特性に及ぼす木片混入率の影響を初めて体系的に明らかにした。東北地方太平洋沖地震の発生直後から分別土砂の特性評価は試みられていたものの、その対象は現場で採取した分別土砂がほとんどであり、工学特性への影響要因について詳細に検討された研究はこれまでなかった。本論文は、未解明であった分別土砂の特性の解明に貢献しており、特に、土粒子骨格の間隙比が最大間隙比を超過する8%の木片混入率で工学特性が著しく変化することを立証した点は、将来の大災害への対応を考える上で重要な知見であり、災害廃棄物処理システムの適正化に寄与しうることから、学術的かつ実務的に意義深い。

第三に、木片の分解による分別土砂の間隙構造の変化が、強度特性、圧縮特性に与える影響を明らかにした。実環境における有機物の分解は、諸要因が複雑に影響し、かつ極めて長時間を要することから評価が難しい。本論文では、有機物の分解を間隙変化に単純化し評価した点で独創性があり、さらに、得られた成果は地下水位管理や雨水浸透防止等の必要性を示唆するものであることから、分別土砂の利用方法を決定する上で重要な知見となりうる。

以上の成果により、本論文は分別土砂の工学特性や利用形態を実験的に明らかにしており、将来の災害対応にも貢献が期待できることから社会的意義は大きく、地球環境学の発展に寄与した。よって本論文は博士(地球環境学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成27年9月11日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。

要旨公開可能日： 年 月 日以降