

京都大学	博士 ( 地球環境学 )	氏名	Feyzullah GULSEN
論文題目	Utilization of Geogenic Contaminated Soil in Embankments with Water Interception Approaches (自然由来重金属等含有土の盛土材への活用に向けた降雨浸透抑制方策に関する研究)		
(論文内容の要旨)			
<p>本論文は、自然由来重金属等を含む土砂や岩石を盛土材として利活用するため、舗装等の被覆を施さない盛土斜面における合理的な浸透降雨の制御方法を、室内土槽実験と数値計算により評価したものである。日本には地質起源でヒ素や鉛など重金属等を含む岩石や土壌が広く分布しているため、建設工事で発生する大量の土砂や岩石にそのような自然由来の重金属等が含まれていることが少なくない。重金属等による周辺環境の汚染を防止するため、掘削した土砂等は適切に管理・保管することが求められるが、自然由来で存在する重金属等の溶出は法律で定める基準値の数倍以内であることが多く、資源循環の観点からも環境安全性を確保しつつ合理的に地盤材料として再資源化することが求められている。本研究では、現地発生土の水理特性を適切に制御することで、地表面から地盤中に浸透する降雨を効率的に抑制する工法を対象としている。基準を超過する濃度で自然由来重金属等を含む土砂や岩石(基準不適合土)を地盤構造物に利用する際に問題となるのは、地表面からの浸透降雨や地下水との接触による地盤材料中の有害物質の液相への溶出と、それに伴う周辺地盤への拡散である。この問題に対応するため、封じ込め工法や吸着層工法等の浄化法が研究されてきたが、浸透降雨と基準不適合土の接触を抑制できれば、有害物質を含む浸透水の発生を抑制できるため、各種対策工への負荷の低減、ひいては長寿命化にも貢献しうると期待できる。さらに、本研究では、現場で採取できる発生土のみを用いた場合の降雨浸透抑制効果を議論しており、この方策を一般化できれば、新たに外部から投入する資材が不要となるため、技術的かつ経済的にも有効と言える。本論文は6章からなっており、以下に各章の内容を説明する。</p> <p>第1章は序論であり、基準不適合土の盛土材としての利用コンセプトを概説している。本論文では、1) 粗粒な基準不適合土の上部に細粒土の層を設け、その高い毛管力によって下方への水分の移動を抑制するキャピラリーバリア(CB)構造、2) 透水性の良い粗粒な現場発生土によって浸透降雨を鉛直下方へ排水させる排水層(DL)構造、の2種類の盛土構造を提案しており、現場で発生する基準不適合土と清浄土の粒径の組み合わせから、各構造の有効性と適用性を述べ、本研究の目的と方向性を明確にしている。</p> <p>第2章は既往の研究のレビューであり、日本国内の建設工事における自然由来重金属等を含む岩石や土壌の発生について、これまでの代表的な事</p>			

例を取り上げるとともに、掘削土や岩石に含まれる自然由来の重金属等の地質学的な成因と移動性を整理している。また、主要な地盤汚染対策技術を取りまとめている。

第3章では、盛土斜面におけるCB構造の有効性を、室内土槽実験により評価している。CB構造は、基準不適合土に比べ、現場で採取できる清浄土の粒径が小さい場合に有効である。代表的な地盤材料として、礫、珪砂、細砂の粒度の異なる3種類の材料を用い、それぞれの含水状態と毛管圧の関係を表す水分保持特性を求めるとともに、高さ60 cm×幅120 cm×奥行12 cmの土槽を用いて盛土斜面を再現し、様々な材料の組み合わせで降雨浸透抑制効果を検討している。また、盛土を乾燥条件、最適含水比条件、飽和後自然排水条件の3条件で作製することで、初期含水状態が与える影響を評価している。検討の結果から、初期含水状態に関わらず、定常状態の各層の飽和度は同程度に収束すること、CB効果の発現の有無は定常状態の基準不適合土の層と覆土層の不飽和透水係数の差が支配的であること、地盤が飽和した場合でも自然排水後にCB効果が回復すること等を明らかにしている。

第4章では、基準不適合土に比べ清浄土の粒径が大きい場合に有効なDL構造の性能を、土槽実験により検討している。本実験では、土槽内に盛土斜面と天端部を再現し、基準不適合土層と排水土層の領域を変化させ、前章と同様に異なる初期含水状態で作製した供試体を用いて実験を行っている。検討の結果から、舗装下部のみに基準不適合土を模擬した細粒土層を設置した場合、盛土斜面の降雨量の約1割が舗装下部に迂回するように浸入し基準不適合土と接触する可能性があること、盛土法面下部まで重金属含有土を敷設する場合には初期含水状態の影響が軽微であること、最適含水比条件では間隙中の自由水が排水されるため、基準不適合土からの排水量が見かけ上増加すること等を明らかにしている。

第5章では、盛土での降雨に対する水収支と化学物質輸送に関する数値計算を行っている。盛土斜面における水収支を評価する上で、降雨、表面排水、蒸発散、浸透、貯留等の事象を総合的に勘案する必要があるが、本研究では、京都での過去の降雨データに基づく計算を行い、年間降雨量の約3割が盛土内へ浸透すること、冬期に比べ夏期の降雨量が多いものの、盛土表面における蒸発散量の違いから浸透量は小さくなること等を明らかにしている。また、重金属等含有土が礫質土で覆土が砂質土の場合を想定した鉛直一次元解析から、重金属等含有土層下端から深さ1.0 mの地点では、比濃度が約1.0となるのに約5年必要であること等を示している。

第6章は結論であり、各検討の結果を取りまとめ、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)

日本では、地質起源で重金属等を含有する岩石や土壌が建設工事に伴って大量に発生しているが、土砂処分場の残余容量確保のためにも、環境安全性を担保しつつ再資源化することが求められている。本論文は、土そのものが有する保水性と透水性に着目し、材料の適切な組み合わせによって基準不適合土と浸透水の接触を抑制する方策を考案し、室内実験と数値計算から適用性を評価したものである。得られた成果は以下の通りである。

第一に、各材料の保水性に基づいて基準不適合土と清浄土を適切に選択すれば、キャピラリーバリア (CB) 効果によって降雨浸透量を制御しうることを示し、その効果が初期含水状態に関わらず発現しうることを明らかにした。各層に用いる地盤材料の特性によってCB効果の発現に差異が生じることが既往研究でも示唆されていたが、本研究の結果もそれを裏付けており、科学的検討が未だ十分でないCB効果の一般化に寄与するものである。特に、初期含水状態の違いに着目した検討例はこれまでになく、CB効果が繰返し期待できる可能性を示した点は学術的に意義がある。

第二に、現場発生土が粗粒の場合には排水層 (DL) 構造が有効であることを示し、基準不適合土を表面舗装下に設置することで浸透降雨との接触を抑制しうることを示した。基準不適合土の細粒分含有率が高い場合、その高い保水力、毛管圧によって浸透降雨を引き込むことが懸念されるが、本研究で行った盛土構造であれば、降雨量の約1割が移行することを明らかにしており、基準不適合土を使用する盛土の構造断面を設計する上で重要な示唆を与えている。

第三に、盛土での降雨に対する水収支と化学物質輸送を、数値計算により定量的に示している。盛土斜面における水収支はこれまで検討例が少なく、未解明な部分も多かった。年間降雨量の約3割が盛土内へ浸透することや、盛土表面における蒸発散量が浸透量に影響すること等の得られた知見は、現場の気象条件に応じた盛土構造の選定を可能にするものであり、実務上の意義が大きい。

以上の成果より、本論文は現場発生土の粒径に応じて有効な盛土構造を設計するために必要な科学的知見を提示しており、自然由来重金属等を含む掘削土砂等の再資源化に貢献することが期待され、社会的意義は大きく、地球環境学の発展に大きく寄与した。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、令和2年3月16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。