既設盛土の点検・調査手法としての挿入型 RI 測定器の可能性

ソイルアンドロックエンジニアリング㈱　正会員　○石 井 正 紀　非会員　重 富 正 幸
京 都 大 学 大 学 院　正会員　肥 後 陽 介
北 見 工 業 大 学　正会員　片岡沙都紀
(一財)建 設 工 学 研 究 所　正会員　澁 谷　啓

1. はじめに

既設盛土は，経年劣化などによる排水機能の低下に伴い盛土内の水位が上昇する，盛土材料のスレーキングに起因して盛土内に遮水層が形成され宙水が発生するなど，造成当初の性能を保持することができないという不安要素が潜在しており，場合によっては大規模崩壊などの惧れが懸念される．更に近年のゲリラ豪雨や今後発生が懸念される大規模地震に備え，既設盛土は点検，調査，補強が喫緊の課題であると考える．本報告は，令和 2 年度から 3 年間実施した“「宙水」が道路盛土安定性に及ぼす影響の評価法と対策法の構築（新都市社会技術融合創造研究会）”の研究の一環で実施した，実験用盛土による宙水発生のメカニズムの把握，検討のために様々な測定を行ったうち，挿入型 RI 測定器による密度，含水比の測定結果を報告し，既設盛土の点検，調査の手法としての挿入型 RI 測定器の可能性について述べる．

実験用盛土の各層の材料情報及び造成時の目標施工含水比，締固め度（D_c）は**表-1** に，実験用盛土の形状[1]及び検層位置は**図-1** に示すとおりである．実験用盛土は 4 層で構成され，d 層が基層，c 層が遮水層，a，b 層が試験層である．a 層は短期間で雨水を下部へ浸透させることを目的として D_c を低くした.なお，実験用盛土は事前に試験盛土を実施して決定した施工仕様により造成した．

表-1　実験用盛土情報

層区分		層厚 (mm)	1層の層厚 (mm)	盛土材料	w_{opt} (%)	ρ_{dmax} (Mg/m³)	目標 施工含水比	目標 締固め度 D_c(%)
試験層	a層	1,200	200	建設残土A	12.6	1.93	w_n	85
	b層	1,200					w_{wet}=16%	95
							w_{dry}=10%	95
遮水層	c層	200		建設残土B	16.4	1.77	w_n	105
基盤層	d層	1,900		建設残土A	12.6	1.93	w_n	105

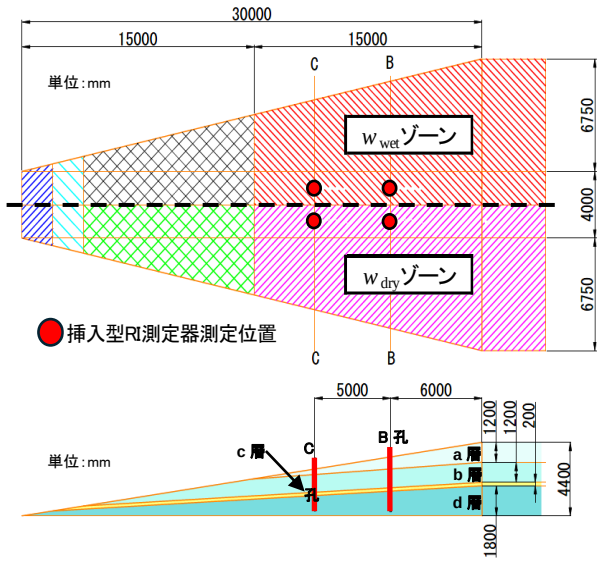

図-1　実験用盛土の形状及び検層位置図

2. 挿入型 RI 計器の概要とガイドパイプの設置方法

挿入型 RI 測定器は，ガンマ線源（^{137}Cs）を装着した密度計プローブと中性子線源（^{252}Cf）を装着した水分計プローブで構成される測定器で，これらを順次地盤に設置したガイドパイプ内に挿入して湿潤密度（ρ_t）及び単位体積当たりの水の質量（含水量，ρ_m）を測定することができる[2]．密度計プローブによる測定は，自然ガンマ線（バックグラウンド，BG）の影響を受けるため密度計プローブよりガンマ線源を取り外し，別途 BG の測定を行う必要がある．水分計プローブは測定地盤内の拘束水や結晶水なども含む炉乾燥では蒸発しない ρ_m も測定するため，別途，土の含水比試験にて求まる ρ_m に補正する必要がある．

挿入型 RI 測定器はガイドパイプの材質，外径，測定孔内の水の有無などにより校正式が異なるため，事前に設置するガイドパイプの校正式を決定しておく必要がある．校正は通常，ガイドパイプが校正材料と密着している状態で実施するため，測定時にこの条件が満たされていない場合は ρ_t，ρ_m を過少に評価することとなる（特に ρ_t）．したがって，ρ_t，ρ_m を精度よく測定するにはガイドパイプの設置が非常に重要となり，通常はボーリングマシンにて泥水などの掘削流体の濃度を管理し，送水量を最小限に抑えるなど慎重に設置する．今回は設置深度が浅いことから電気式コーン貫入試験などに使用する貫入装置で送水を行わず SPT サンプラーなどを用いて孔径を徐々にガイドパイプの外径とほぼ同じ孔径に拡大し，同装置にてガイドパイプを設置深度まで圧入した．このことからガイドパイプは地盤との間の隙間がほとんどない状態で設置でき，ρ_t，ρ_m を過少に評価することなく，精度よく測定できたものと考えている．

キーワード　挿入型 RI 測定器，既設盛土，湿潤密度，含水比，宙水
連絡先　〒561-0834　大阪府豊中市庄内栄町 2-21-1　ソイルアンドロックエンジニアリング㈱　TEL06-6331-6031

3. 測定結果

挿入型 RI 測定器は，前章で述べたようにガイドパイプ内にプローブ群を順次挿入して測定することから，ガイドパイプの設置が完了すれば，同一孔での繰り返し測定が可能，即ち，経時変化の追跡が可能となる．今回は約 5 ヶ月間で計 4 回の検層を実施している．**図-2** は，各ゾーンの検層位置における 1 回目から 4 回目までの挿入型 RI 測定器による検層結果を併記したものである．同図には盛土造成時に行った現場密度試験（RI 法，砂置換法）結果（各層の両試験の平均値）を併記している．

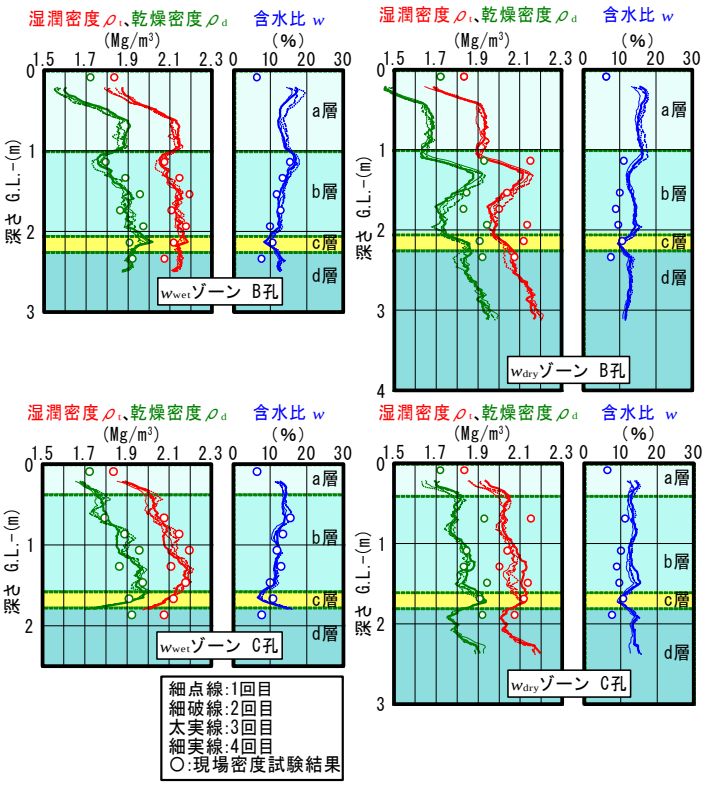

図-2　検層結果

1 回目の検層結果と盛土造成時の現場密度試験結果とを比較すると，w_{wet} ゾーンについては測定箇所の差違や盛土材料のばらつきを考慮しても両者にて得られるρ_t，含水比（$w=\rho_m/(\rho_t-\rho_m)\times100\%$）は比較的よく一致している．しかし，$w_{dry}$ ゾーンは w_{wet} ゾーンに比べ盛土材料のばらつき（特に施工含水比）が大きかったことにより両者の結果にやや差違が生じている．

w_{wet} ゾーンの B 孔及び C 孔は，測定期間を通して地表面より 0.2m 程度までは天候の影響を受け若干の変化が見られるものの，それ以深はほとんど変化のない結果となっている．これは盛土材料（建設残土 A）の施工含水比が最適含水比（w_{opt}）よりもやや湿潤側（w_{opt}+1.5%程度）で透水係数が最も低くなる状態となっており（一般に，盛土の透水係数は締固め密度や粒度分布にもよるが，含水比が w_{opt}+2～3%程度のときに最小値を示すとされている），盛土深部に雨水が浸透していないのではないかと推考する．

w_{dry} ゾーンの B 孔は，w_{wet} ゾーンの B 孔及び C 孔同様，測定期間を通して地表面より 0.2m 程度までは天候の影響を受け若干の変化が見られるものの，それ以深はほとんど変化のない結果となっている．しかし C 孔の 3 回目の検層結果は，2 回目の検層結果（1 回目と 2 回目の結果はほぼ変化なし）に比べ b 層下部付近のρ_t，w が上昇している．因みに 3 回目の検層前に 20 時間で計 15mm の降水量が観測されている．また，同孔は 4 回目の検層で 3 回目の検層でρ_t，w が上昇した区間が 2 回目の検層結果と同程度まで低下している．因みに 3 回目の検層から 4 回目の検層まではほとんど降雨が観測されていない．以上から，w_{dry} ゾーンの C 孔周辺（縦断方向の盛土のり尻部）は，雨水及び盛土天端から盛土表面を流れる雨水が盛土内部に浸透しているものと推考する．また前述するように，B 孔（盛土のり肩部付近）は C 孔（盛土のり尻部）のような現象が確認できていない．これは，雨水が盛土内部に浸透する速度に比べのり肩からのり尻方向に向って盛土地表面を流れる雨水の速度の方が速いことが要因ではないかと考える（実験用盛土であるのため，極端な排水勾配を設けている）．

4. まとめと今後の課題

今回の実験用盛土における挿入型 RI 測定器による測定結果より，ガイドパイプを適切に設置できれば盛土内の密度及び水分量を比較的精度よく測定できることが示唆された．また，ガイドパイプ内に測定器を挿入して測定するという挿入型 RI 測定器の特徴を生かし，盛土の密度及び含水比の経時変化の追跡が可能であることも示唆された．これらのことから挿入型 RI 測定器は，既設盛土の点検，調査において有用な手法の 1 つではないかと考える．今後はガイドパイプを適切に設置する方法と，ガイドパイプと地盤の間に多少の隙間がある際の補正方法について検討する必要があると考える．補正方法については，現在海外の既往文献を参考に鋭意検討を行っている．詳細については別報 [3)] を参照されたい．

参考文献

1）中西ほか：鉄鋼スラグ混合土を用いた盛土減災工法の開発 その 1：施工性の検証，第 59 回地盤工学研究発表会（投稿中），2024.7　2）重富ほか：挿入型 RI 測定器による既設盛土の密度及び含水比の把握，第 59 回地盤工学研究発表会（投稿中），2024.7　3）谷口ほか：挿入型 RI 測定器の精度向上の向けた一検討，第 59 回地盤工学研究発表会（投稿中），2024.7