

43. 盛土締固め施工管理装置(RI法) の適用性

建設省土木研究所：田中 貢
建設省東北技術事務所：*木村 信悦

1. はじめに

現在、土工における盛土の締固め管理は、砂置換法が広く用いられており、この方法は測定結果が得られるまで、現場密度の測定に1作業当り3～4人の人手と20分程度の時間、炉乾燥法による含水比の測定に一昼夜を要するなど、多くの労力と時間を必要としている。そのため測定回数を増やすことができなく点管理となり、面的管理は極めて困難である。また、測定結果の施工への反映や近年の機械化施工に対応した迅速な品質管理も難しい状況である。

以上の背景から、建設省総合技術開発プロジェクト(総プロ)「エレクトロニクスを利用した建設技術高度化システムの開発」の一環として、土木研究所が中心となり官民共同で非破壊、リアルタイムに締固め密度、含水比の測定が可能な機器の開発が行われた。

本論文では、総プロで開発された散乱型RI試験と一部団体で実際の施工管理に使用している透過型RI試験を取上げ、施工管理装置としての適用性について検討した結果を、中間報告するものである。

2. 施工管理試験装置の概要

① 透過型RI試験

RI試験は、地表面下の密度、水分量を測定するもので、放射性同位元素(Radio Isotope)の線源より射出された放射線が地盤の構成原子と相互作用する性質を利用したものである。

土の密度の測定は、放射線にガンマ線を使用し、その相互作用が被測定物の密度に強く依存する性質を利用し、含水量の測定は、放射線に中性子線を使用し土中の水分に含まれる水素原子が高速中性子と衝突、散乱して高速中性子が熱中性子に変化する性質を利用したものである。こうした原理を利用した透過型RI試験とは、放射線同位元素を先端に封入した線源棒を測定地盤に所定の深さで挿入し、地表面に置かれた検出器に入射する放射線の強度から土の密度、水分量を測定するものである。図-1に透過型RI試験の原理を示す。

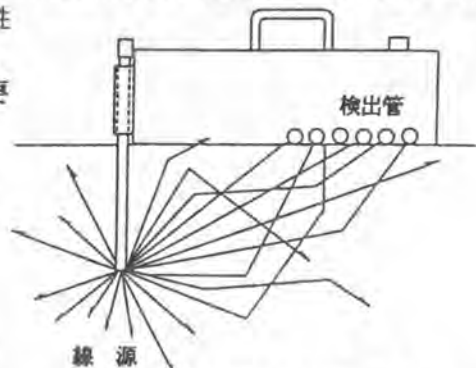


図-1 透過型RI試験の原理

② 散乱型RI試験

散乱型RI試験は、基本的な測定原理は、透過型RI試験と同じである。

透過型は線源より射出された放射線のうち、地盤の構成原子と相互作用しなかった放射線を検出するのに対して、散乱型は地盤の構成原子と相互作用した放射線を検出するものである。

散乱型は、線源棒の挿入孔を必要としないため純然たる非破壊法である。

図-2に散乱型RI試験の原理を示す。

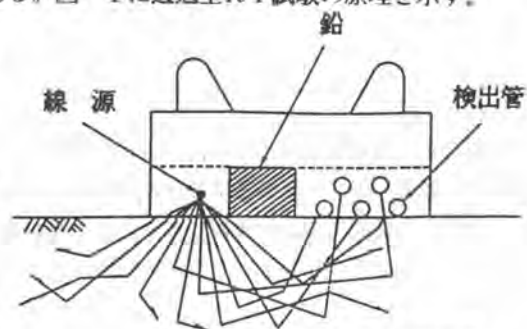


図-2 散乱型RI試験の原理

3. 施工管理試験装置の適用性

施工管理試験装置の適用性は、実験地盤及び施工現場で従来法（砂置換法）の計測データと透過型R I試験、散乱型R I試験の計測データから、試験法の正確度・精密度、従来法との相関について検討した。

3-1 実験地盤での適用性

① 実験地盤の造成

実験地盤の造成は、東北技術事務所の構内を利用して、砂質土、レキ質土、粘性土の3レーンについて、実験ヤード（盛土基礎）、基礎地盤（1層目）、実験地盤（2層目）とし1層当たり30cmの仕上り厚で造成した。図-3に実験地盤の概要を示す。

なお、施工は敷均し締固めともにブルドーザで行い、締固め回数は5回とした。

② 密度管理試験結果

砂質土、レキ質土、粘性土の各レーン（20m×40m）を3、0m×3、8mの大ききで分割したエリアを基本に試験を行った。表-1に試験結果を示す。

③ 正確度・精密度の検討

正確度（各試験法で得られた乾燥密度の平均値と砂置換法による土の乾燥密度の平均値との差の絶対値）により平均値の偏りを評価し、精密度（各試験法で得られた乾燥密度の標準偏差と砂置換法による乾燥密度の標準偏差との比）により、散布度合を確率密度関数等で評価した。

図-4～図-5に従来法（砂置換法）、図-6～図-7に透過型R I試験、図-8～図-9に散乱型R I試験の乾燥密度及び含水比の確率密度関数を示す。

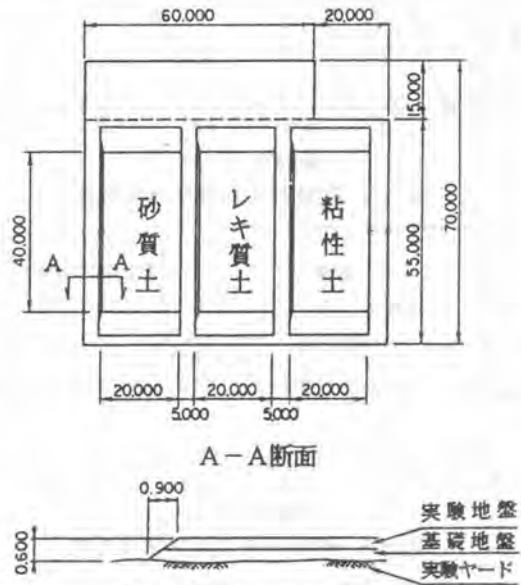


図-3 実験地盤の概要

表-1 試験結果

試験の種類	実験材料	点数	平均値	標準偏差	備考
砂置換法による土の密度試験（密度）	砂質土	30	1.437	0.029	平均値 砂質土>砂質土>粘性土 標準偏差 砂質土>粘性土>砂質土
	レキ質土	30	1.700	0.052	
	粘性土	30	1.298	0.043	
透過型R I試験（密度）	砂質土	60	1.386	0.035	平均値 砂質土>砂質土>粘性土 標準偏差 砂質土>粘性土>砂質土
	レキ質土	60	1.679	0.085	
	粘性土	60	1.204	0.050	
散乱型R I試験（密度）	砂質土	60	1.345	0.038	平均値 砂質土>砂質土>粘性土 標準偏差 砂質土>粘性土>砂質土
	レキ質土	60	1.595	0.072	
	粘性土	60	1.286	0.046	

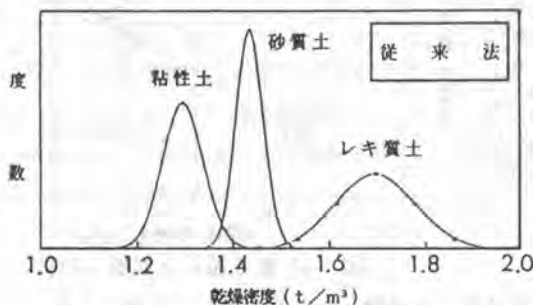


図-4 乾燥密度の確率密度関数

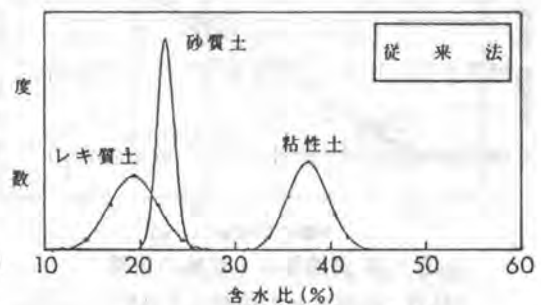


図-5 含水比の確率密度関数

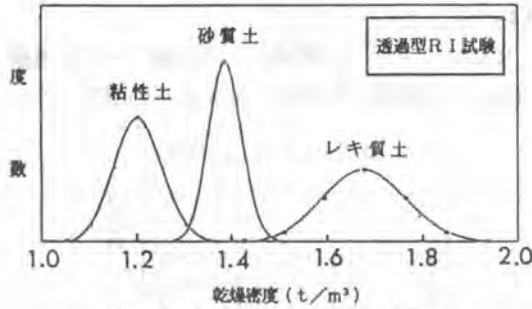


図-6 乾燥密度の確率密度関数

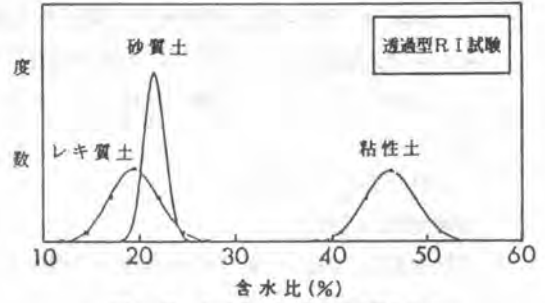


図-7 含水比の確率密度関数

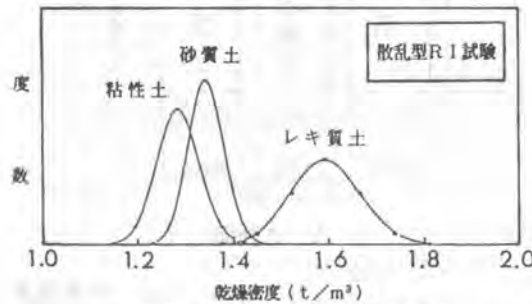


図-8 乾燥密度の確率密度関数

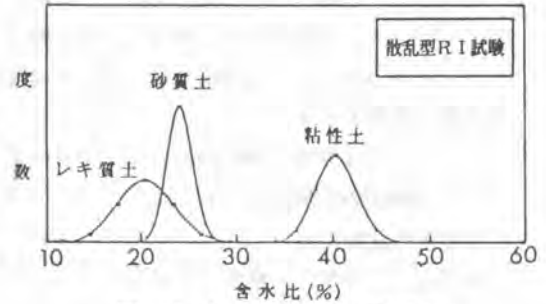


図-9 含水比の確率密度関数

この結果、次のことが確認された。

- * 透過型R I試験は盛土材料、締固め程度にかかわらず乾燥密度、含水比とも高い正確度・精密度が得られた。
- * 散乱型R I試験は正確度において透過型R I試験と同等な結果が得られたが、精密度においては透過型R I試験より劣る結果となった。
- * 実験材料別の平均値は、試験装置が異なると完全には一致せず、その適用にあたっては校正試験を行う必要がある。

4 従来法（砂置換法）との相関

図-10に乾燥密度の従来法（砂置換法）と透過型R I試験の相関を、図-11に散乱型R I試験との相関を示す。

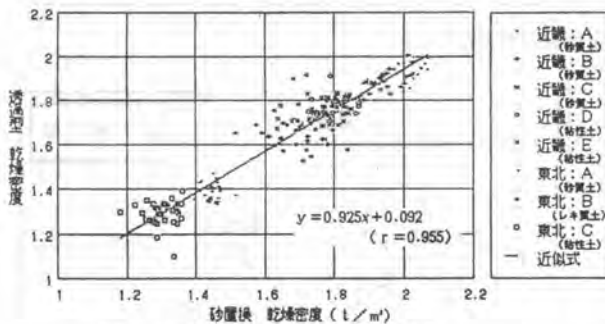


図-10 透過型R I試験の相関

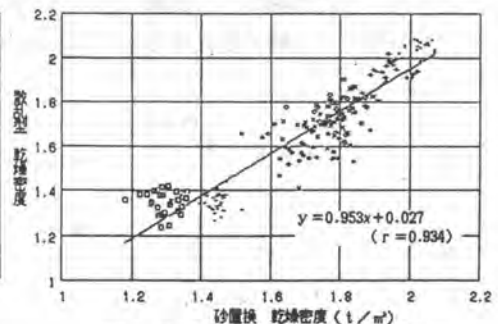


図-11 散乱型R I試験の相関

この結果、従来法との相関は透過型R I試験、散乱型R I試験とも、その差はごく僅かでありこれを表-2から評価すると両試験とも従来法との相関は高いと言える。

⑤ 検討結果

実験地盤での検討結果から次のことが確認された。

*透過型R I試験は、精度的には従来法より劣るものの、その差は僅かであり施工管理装置としての適用は十分に可能である。

*散乱型R I試験は、精度的には透過型R I試験に劣るものの、その差は僅かであり施工管理装置としての適用は十分に可能である。

表-2 相関係数による評価方法

相関係数の範囲	評 価	
0.5未満	相関性が低い	低い
0.5~0.8	相関性がある	中位
0.8以上	相関性が高い	高い

3-2 現場への適用

構内試験の結果、施工管理装置としての適用性が確認されたので、次に工事現場で試験を行った。表-3に現場の概要を示す。

工 種	土 工 量	土 質	転圧機種	転圧回数
道路改良工事	15,000㎡	砂質土	パイロ-716t	4 (一方向)
	113,000㎡	埴質土	パイロ-718t	4 (縦横)

現場試験は、透過型R I試験、散乱型R I試験と並行して、従来法である砂置換法についても同一点で計測を実施し、その相関を求めた。図-12に乾燥密度の従来法と透過型R I試験を、図-13に散乱型R I試験との相関を示す。

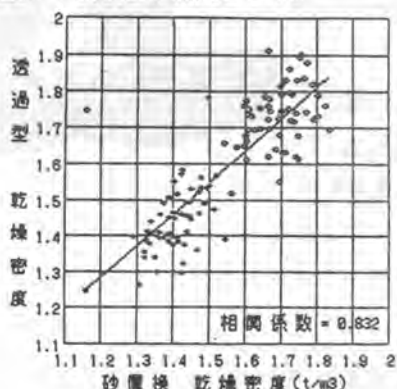


図-12 透過型R I試験の相関

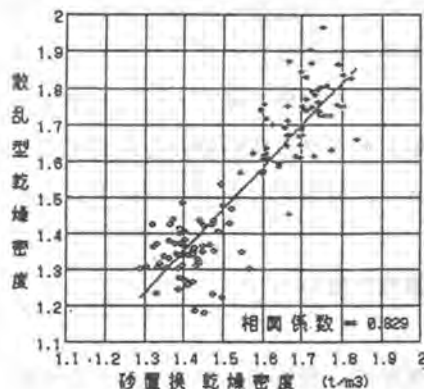


図-13 散乱型R I試験の相関

この結果、乾燥密度の密度範囲が狭いにもかかわらず、両試験とも相関係数が0.83と良好であった。これは構内試験の結果より劣るものの、材料の混在や含水比のばらつき、施工法などを考慮すると高い相関を示していると云える。

4. まとめ

本論文では、土工における施工管理の合理化に寄与するための、新しい施工管理試験法の適用性に述べた。その結果、現時点における計測器の特性、適用性等について知見を得ることができた。

しかし、実際の現場条件は多種多様にわたり、今回の結果をそのまま現場施工を代表するものとは判断できない。

よって、今後は多くの現場において計測を実施し、今回の実験で得られた種々の結果を確認すると同時に、次に示すような観点から検討を行う予定である。

- * 各種の土における新しい測定機器の適用性及び問題点の把握
- * 現場における諸条件（施工機械、土質、施工規模等）が、計測結果に及ぼす影響の把握
- * 新しい施工管理手法のための品質管理基準の検討