

盛土締固め品質の全量管理のための体積含水率の面的計測手法

鹿島建設(株) 正会員 ○松本聡碩 岡本道孝 小原隆志
福島 陽 岡本遥河

1. はじめに

土構造物施工時の品質管理項目の一つとして、転圧後の原位置試験（RI 法や砂置換法など）による密度および含水比の計測がある。これらの試験は、人力による試験孔の削孔作業などを伴うため、多大な労力を要する。筆者らは、キャパシタ型電極と称する装置を用いて土構造物の比抵抗を計測することで、その締固め品質（乾燥密度）を容易かつ面的に計測する手法（以下、比抵抗法）を提案している¹⁾。ただし、比抵抗と乾燥密度の関係は、土構造物の含水状態によって異なることが明らかとなっている。従って、比抵抗法を土構造物の締固め品質管理へ適用するためには、何らかの手段で比抵抗計測面の含水状態を把握する必要がある。本報では、土構造物の体積含水率を面的に計測する手法についての検討結果を報告する。

2. 散乱型 RI 水分計による計測の原理

体積含水率を面的に計測するための計器として、散乱型 RI 水分計（以下、散乱型 RI）に着目した。散乱型 RI は、線源から放出される速中性子線が盛土中の水素原子と衝突した際に運動エネルギーを失って熱中性子に変化する特性を利用したもので、水素原子と衝突して跳ね返った熱中性子線の数を検出管によってカウントして盛土の体積含水率に換算する。土構造物の締固め品質管理では、図-1 の左に示す透過型 RI 密度水分計（以下、透過型 RI）が用いられることが多い。一方で、散乱型 RI は透過型 RI と異なり線源棒を地中に挿入する必要がないため、体積含水率の移動計測に適用しやすい。

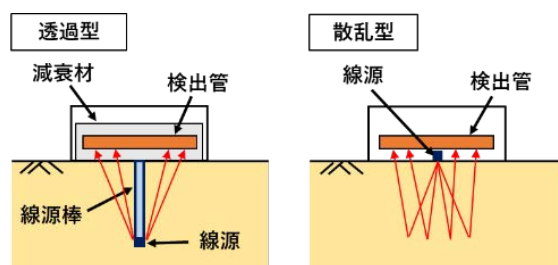


図-1 RI 計器の構造（イメージ）

3. 壊変揺動誤差について

散乱型 RI から盛土中への速中性子線の放出は、線源を構成する放射性元素の原子核の壊変によって生じるものだが、一定時間ごとに壊変する原子核の数が変動するため、放出される速中性子線の数がある一定ではない。これに起因して生じる体積含水率の計測誤差を壊変揺動誤差と呼ぶ²⁾。既に実用化されている散乱型 RI が一測点の計測に時間を要するのは、単位時間あたりの熱中性子線の検出数を統計処理してその影響を低減する目的がある。一方で、反射した熱中性子線の検出精度を向上させられれば、短時間で高精度に体積含水率を計測できる可能性がある。このことは、散乱型 RI を移動させながら体積含水率を効率的かつ精度よく計測することに繋がると考えられる。そこで、1 台の水分計に搭載する検出管の本数が壊変揺動誤差に及ぼす影響を検討することとした。

4. 検出管の本数が壊変揺動誤差に及ぼす影響の検討

筐体を金属製バット（縦×横=350mm×440mm）によって模擬した散乱型 RI 水分計（以下、模擬散乱型 RI）を作製した。バット内部の中央に 25mm 四方の線源を固定し、検出管（直径 25mm、長さ 241mm）の数を 1～3 本とした 3 種類の模擬散乱型 RI を使用した（図-2）。これらの模擬散乱型 RI を、関東ローム（ $w_n=81.3\%$ ：JIS A 1210 の A-c 法による $\rho_{dmax}=0.833\text{g/cm}^3$, $w_{opt}=74.7\%$ ）の盛土上の 12 測点においてそれぞれ 1 分間静置して体積含水率を計

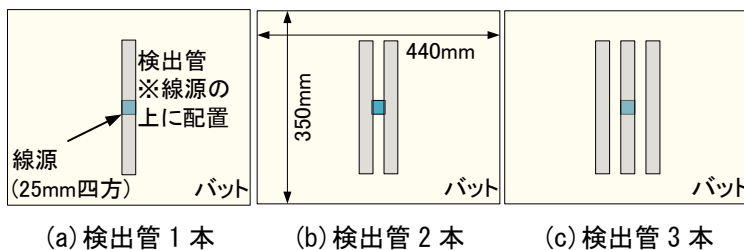


図-2 模擬散乱型 RI の構成

キーワード：盛土、品質管理、体積含水率、RI 法

連絡先 〒182-0036 東京都調布市飛田給 2-19-1 鹿島建設(株)技術研究所 TEL042-485-1111

測した．模擬散乱型 RI の熱中性子線検出数のサンプリング周期は 1Hz で、1 分間の検出数の平均値を用いて体積含水率に換算した．壊変揺動誤差は、1 秒ごとの検出数を用いて換算した体積含水率の標準偏差で評価した．その結果を表－1 に示す．

表－1 に示すように、検出管を 1 本から 2 本へ増やすことで壊変揺動誤差が 20%以上低減されたが、3 本に増やした時の効果は限定的であった．このため、以降の検討で使用する散乱型 RI の検出管は 2 本とした．検出管を 3 本としても壊変揺動誤差の大きな低減効果が得られなかった理由として、使用する検出管の本数に関わらず配置間隔を 45mm としており、図－3(a)のように反射した熱中性子線を効率的に検出できないことが考えられる．

5. 移動計測における計測精度確認実験

4 章と同じ関東ロームを用いた長さ 20m の盛土上で、散乱型 RI を移動させながら体積含水率を計測するときの精度の確認を目的とした移動計測実験を行った．この実験では、検出管を 1 本もしくは 2 本搭載した模擬散乱型 RI を使用した．また、移動計測の測線上で、透過型 RI による体積含水率の計測も実施した．計測結果を図－4 に示す．なお、移動速度によってデータのプロット数が異なるのは、熱中性子線検出数のサンプリング周期を 1Hz に固定しており、移動速度が速くなるほど空間分解能が低下するためである．図－4(a)に示すように、検出管を 1 本とした場合、2km/h 以上で模擬散乱型 RI を移動させると透過型 RI による計測結果との誤差が大きくなった．一方で図－4(b)に示すように、検出管を 2 本搭載すると、5km/h で模擬散乱型 RI を移動させた場合であっても透過型 RI による計測結果と整合する結果が得られた．従って、2 本の検出管を搭載した散乱型 RI を用いて体積含水率を面的に計測する場合、散乱型 RI の移動速度が 5km/h までであれば、透過型 RI と同等の計測精度を確保できる．

6. おわりに

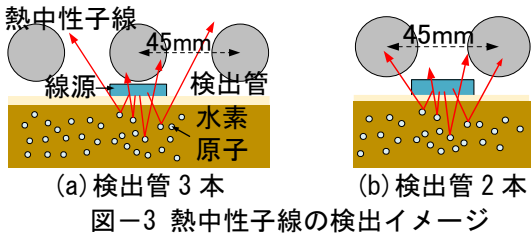
本報では、土構造物の体積含水率の面的計測を実現するために、散乱型 RI 水分計に搭載する検出管の本数が壊変揺動誤差に及ぼす影響に関する検討結果を述べた．検討の結果、散乱型 RI に搭載する検出管の本数を増やして壊変揺動誤差を低減することによって、移動しながら土構造物の体積含水率を透過型 RI と同等の精度で面的な計測が可能であることが分かった．

なお、体積含水率の計測結果に誤差が生じる要因として、壊変揺動誤差以外に、散乱型 RI と転圧面の間に空隙が生ずることなども考えられる．今後は、散乱型 RI を移動させながら体積含水率を面的に計測するうえで、この影響についても検討を進める．

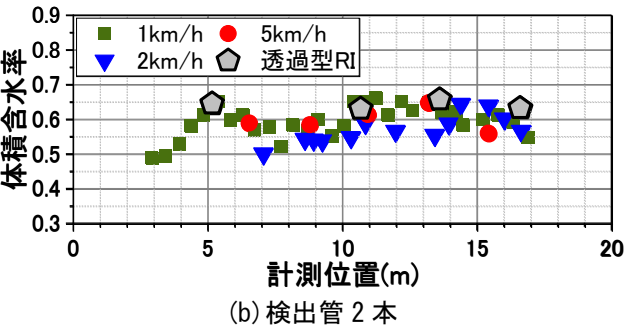
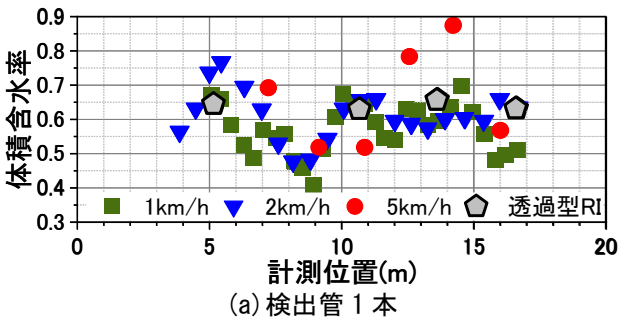
参考文献

1) 松本ら：土工の工場化に向けた電気特性による盛土の全量品質管理 II:比抵抗の計測による盛土の乾燥密度の評価，土木学会第 76 回年次学術講演集，pp.113-114，2021．
2) 澤田ら：中性子水分計を用いたフレッシュコンクリートの単位水量迅速計測技術の開発，セメント・コンクリート論文集，pp.239-245，2011．

表－1 検出管の本数と壊変揺動誤差の関係	
検出管の本数（本）	壊変揺動誤差
1	0.113
2	0.088
3	0.086



図－3 熱中性子線の検出イメージ



図－4 模擬水分計による移動計測結果