カルシア改質土・浚渫土人工石製造時の RI 密度水分計による品質管理

五洋建設（株）正会員　○辻　匠　　五洋建設（株）野中　宗一郎　　五洋建設（株）正会員　安藤　満
五洋建設（株）正会員　佐々木　慎　　五洋建設（株）長尾　喬平

１．目的

港湾工事で発生する浚渫土と鉄鋼生産の副産物である製鋼スラグの有効活用を目的として，これらを混合したカルシア改質土 [1]は浅場造成などでの活用が試みられている．さらに，高炉スラグ微粉末等を添加・混合し強度増進させ，固化後に破砕して作成する浚渫土人工石 [2]は漁礁・藻礁石材としての活用が試みられている．

これらカルシア改質土や浚渫土人工石の製造時には，土運船等で運搬される大量の浚渫土，また添加・混合直後の混合材の均一性を確認することが必要となる．通常，数点でサンプリングし，浚渫土は含水比と湿潤密度を，混合直後の混合土は湿潤密度を測定する．従来は，含水比は炉乾燥法や電子レンジ法を用いて測定し，湿潤密度はモールド法を用いて測定していたが，サンプリングや測定に時間を要していた．そこで，原位置での含水比と湿潤密度の測定が可能な RI 密度水分計を用いて品質管理の迅速化を試みた．

２．RI 密度水分計

今回は土工事における土の締固め管理に使用されているポータブル1孔式RI密度水分計（ソイルアンドロックエンジニアリング（株）製）を採用した．測定対象土に挿入したガイドパイプにRI密度計，BG計，RI水分計の3種類の測定器を順次差し込むことで，対象土の密度および水分を測定する（図-1）．測定に必要な時間は，各1分間の計測に交換を含めた計10分間であり，従来の測定方法に比べ時間短縮が期待できる．密度は，RI密度計から放出されるγ線の対象土通過時の検出数を測定することにより既存校正式(モールド法測定の密度との関係等による)より算出するが，対象土内には自然γ線が存在するので，γ線が放出されないBG計により自然γ線を測定し，この影響を除去する．水分は，RI水分計から放出される中性子線が対象土中の水分の水素原子により運動エネルギーを失った熱中性子の検出数を測定することにより既存校正式（炉乾燥法測定の水分量との関係等による）より算出し，含水比に変換する．このような原理と校正式により湿潤密度と含水比を測定する同RI密度水分計のカタログ等の測定範囲は，湿潤密度1.0～2.5g/cm^3，含水比0～70%となっているが，現行仕様での測定を現場で試みた．

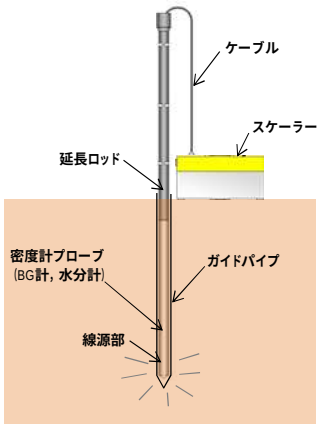

図-1　ポータブル 1 孔式 RI 密度水分計概要図

写真-1　RI 密度水分計測定状況

３．校正前の現場適用と計測結果

カルシア改質土による浅場造成試験工事にて，RI 密度水分計を用いて浚渫土の含水比と湿潤密度，カルシア改質土の湿潤密度を測定した．土運船内より対象土をバックホウで採取し，バケット内でガイドパイプを挿入して RI 測定を行った(写真-1)．また，RI 密度水分計の測定精度を検証するために，含水比は電子レンジ法で，湿潤密度はモールド法で測定し，結果を比較した．図-2 にそれぞれの測定結果を示す．湿潤密度において，RI 密度水分計でのモールド法と比べた測定誤差の割合は浚渫土，カルシア改質土共に 0～8%（平均 3%）程度と小さかった．一方，浚渫土の含水比においては電子レンジ法との誤差の割合は 7～36%（平均 18%）と大きかった．湿潤密度の場合は，上述のカタログ測定範囲に適合していたので誤差は小さかったと考えられるが，もともと RI 密度水分計の使用目的は締固め管理であることから含水比 70%以上での校正データがなく 200%を越える浚渫土の含水比に対しては十分な精度が得られなかったものと考えられた．このため，高含水比浚渫土への適用のための校正を実施した．

キーワード　カルシア改質土，浚渫土人工石，RI 密度水分計，品質管理，含水比，湿潤密度
連絡先　　〒112-8576　東京都文京区後楽 2-2-8　五洋建設（株）環境事業部　TEL 03-3817-7521

４．高含水比での適用のための校正試験

次回の試験工事で使用する浚渫土の含水比が 200%未満と見込まれていたことから，上述現場の浚渫土を 160, 175, 190%の 3 段階で含水比を調整し，均一になるように直径 600mm，高さ 800mm の円柱容器に詰めて供試体 No.1～3 とした．含水比調整は電子レンジ法で測定したが，炉乾燥法での測定と RI 測定の結果を比較，解析することにより高含水比用の校正式を決定した．このとき，湿潤密度についてもモールド法による測定の結果と比較したが，校正前の現場適用での結果と同様に誤差は小さかったので，湿潤密度の校正式は現行どおりとした．決定した高含水比用校正式に設定した RI 密度水分計を使って，後日作成した供試体 No.4 で RI 測定した．炉乾燥法との誤差の割合は，校正前は 20%前後であったが，校正後は 3%と小さくなった．校正前後の含水比の比較測定結果を表-1 に示す．

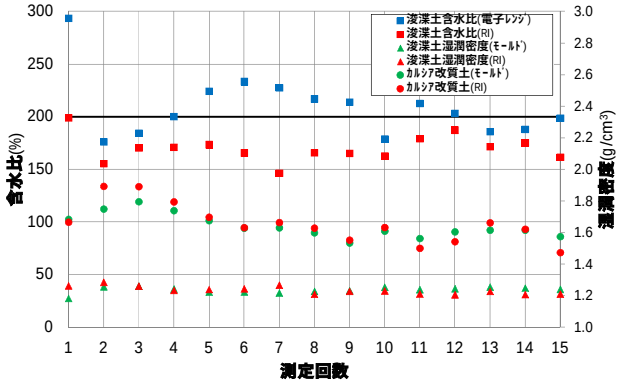

図-2　従来法と RI 測定との結果比較

表-1　高含水比用校正試験結果

供試体 No.	浚渫土含水比 (%) 炉乾燥	電子ﾚﾝｼﾞ(参考)	RI	誤差(炉乾燥とRI)	誤差の割合 (%)
1	161.1	163.1	125.1	-36.0	22.3
2	176.8	180.7	139.8	-37.0	20.9
3	188.4	193.6	154.0	-34.4	18.3
4	188.6	194.1	193.5	4.9	2.6

５．校正後の現場適用と計測結果

後日実施した浚渫土人工石の製作試験工事では浚渫土を，急遽実施することになったカルシア改質土による埋立実証実験工事では浚渫土とカルシア改質土を，今回校正した RI 密度水分計を用いて前回と同様にバケット内で測定を行った．今回も比較検証のため，電子レンジ法とモールド法による測定を行った．それぞれの現場測定結果を表-2 と表-3 に示す．湿潤密度においての誤差の割合は，前者の現場では 0.1～3.7%（平均 1.0%），後者の現場では浚渫土で 11.0%と少し大きな誤差も見られたがこれを除くと，カルシア改質土と合わせても 0.5～7.1%（平均 5.5%）と小さかった．今回校正した含水比においての誤差の割合は，前者の現場では 0.6～3.9%（平均 1.6%），後者の現場では上述の校正試験の含水比範囲から外れていたものの，15.1%と少し大きな誤差が見られたがこれを除くと 0～8.7%（平均 3.6%）と小さかった．

表-2　人工石試験工事測定結果

測定回数	浚渫土 含水比 (%) 電子ﾚﾝｼﾞ	RI	誤差	誤差の割合(%)	湿潤密度 (g/cm³) ﾓｰﾙﾄﾞ	RI	誤差	誤差の割合(%)
1	174.2	175.3	1.1	0.6	1.287	1.239	-0.048	3.7
2	172.5	165.8	-6.7	3.9	1.295	1.297	0.002	0.2
3	158.8	161.3	2.5	1.6	1.320	1.309	-0.011	0.8
4	172.2	169.6	-2.6	1.5	1.295	1.294	-0.001	0.1
5	171.7	169.7	-2.0	1.2	1.296	1.289	-0.007	0.5
6	170.0	169.0	-1.0	0.6	1.288	1.296	0.008	0.6
ave.	169.9	168.5	-1.4	1.6	1.297	1.287	-0.009	1.0
max.	174.2	175.3	2.5	3.9	1.320	1.309	0.008	3.7
min.	158.8	161.3	-6.7	0.6	1.287	1.239	-0.048	0.1

表-3　カルシア実験工事測定結果

測定回数	浚渫土 含水比 (%) 電子ﾚﾝｼﾞ	RI	誤差	誤差の割合(%)	湿潤密度 (g/cm³) ﾓｰﾙﾄﾞ	RI	誤差	誤差の割合(%)	カルシア改質土 湿潤密度 (g/cm³) ﾓｰﾙﾄﾞ	RI	誤差	誤差の割合(%)
1	81.6	83.6	2.0	2.5	1.544	1.510	-0.034	2.2	-	-	-	-
2	86.6	82.0	-4.6	5.3	1.495	1.523	0.028	1.9	-	-	-	-
3	79.8	79.4	-0.4	0.5	1.551	1.532	-0.019	1.2	1.977	2.083	0.106	5.4
4	81.9	87.1	5.2	6.3	1.692	1.506	-0.186	11.0	-	-	-	-
5	72.6	75.5	2.9	4.0	1.590	1.557	-0.033	2.1	1.999	2.112	0.113	5.7
6	85.8	85.8	0.0	0.0	1.532	1.507	-0.025	1.6	2.000	2.124	0.124	6.2
7	66.6	72.4	5.8	8.7	1.616	1.581	-0.035	2.2	2.031	2.124	0.093	4.6
8	71.6	72.9	1.3	1.8	1.593	1.573	-0.020	1.3	2.012	2.105	0.093	4.6
9	76.7	76.4	-0.3	0.4	1.585	1.555	-0.030	1.9	-	-	-	-
10	82.7	78.2	-4.5	5.4	1.562	1.545	-0.017	1.1	1.987	2.100	0.113	5.7
11	80.4	76.1	-4.3	5.3	1.563	1.548	-0.015	1.0	1.998	2.072	0.074	3.7
12	90.8	88.2	-2.6	2.9	1.516	1.494	-0.022	1.5	1.966	2.106	0.140	7.1
13	89.1	85.3	-3.8	4.3	1.514	1.503	-0.011	0.7	1.952	2.082	0.130	6.7
14	98.0	83.2	-14.8	15.1	1.510	1.517	0.007	0.5	1.969	2.082	0.113	5.7
ave.	81.7	80.4	-1.3	4.5	3.6	1.562	1.532	-0.029	2.1	1.5	1.989	2.099	0.110	5.5
max.	98.0	88.2	5.8	15.1	8.7	1.692	1.581	0.028	11.0	2.2	2.031	2.124	0.140	7.1
min.	66.6	72.4	-14.8	0.0	0.0	1.495	1.494	-0.186	0.5	0.5	1.952	2.072	0.074	3.7

1 回当たりの測定時間は約 10 分間であり，20 分は要した従来法よりも若干短縮することができた．現場条件によっては，RI 測定は原位置で直接必要な測定値が確認できることに対して，従来法では原位置と測定設備が大きく離れた場合や測定値の計算などの時間を要することと比較して，より効率的な品質管理が可能であると考えられる．

６．まとめ

RI密度水分計は，含水比200%程度の高含水比では湿潤密度や含水比の測定が行われていなかったが，湿潤密度は従来仕様で測定可能であり，含水比は校正することにより測定可能となった．RI測定の高含水比での信頼性の向上は，原位置測定によることと合わせて，品質管理の迅速化が可能であると考えられる．

最後に，RI密度水分計の提供と校正を担当いただいたソイルアンドロックエンジニアリング（株），校正試験と現場での測定を担当いただいた興亜開発（株）に感謝の意を表する．

参考文献

1）沿岸技術研究センター：カルシア改質土利用技術マニュアル，pp.1-2 - 1-6，2017

2）辻匠，田中裕一，中川雅夫，野中宗一郎，長尾喬平，赤司有三，木曽英滋，田崎智晶：浚渫土人工石の材料特性と製造実験，土木学会論文集B3（海洋開発），vol.71，No.2，pp.1173-1178，2015