

砂の表面水率および塩分含有量の新しい測定方法

NEW SIMPLIFIED METHOD FOR MEASURING SURFACE MOISTURE
AND AMOUNT OF CHLORIDE OF FINE AGGREGATE

辻 正 哲*

By Masanori TSUJI

1. はじめに

現在、レデーミクストコンクリート工場やコンクリート二次製品工場等のコンクリートプラントにおいて、砂の表面水率は、1日に2~3回測定され、その間に表面水率が変化する場合、パッチャーマンの目視により練り混ぜ水量を増減し、表面水量の補正を行っているのが実情である。そのため、コンクリートの品質ばらつきは、パッチャーマンの熟練度により大きく影響されることとなり、砂の表面水率の連続的な測定方法の開発が、“生コンクリート近代化促進法(案)[1980年]”にも記載されているというように、重要な課題となっている。

現在、砂の表面水率の測定方法としては、JISに規定されている重量法および容積法のほかに、赤外線水分計による方法¹⁾、砂の電気抵抗または静電容量による方法²⁾、中性子水分計による方法³⁾、メスシリンダーによる簡易試験方法⁴⁾、赤外線の反射光線の変化⁵⁾を用いる方法、鍋中で試料を熱して乾燥させる方法⁶⁾等数多く提案されている。しかし、測定結果のばらつきが大きく不正確であること⁷⁾または測定装置が複雑で測定が煩雑と

なること等の理由により、測定に手間がかかるにもかかわらず、重量法、容積法および赤外線水分計による方法が一般に用いられている。

一方、川砂の減少に伴い、海砂のコンクリート用骨材としての利用が西日本を中心に増してきている。海砂の含有する塩分は、コンクリート中の鉄筋の腐食を促進するため、海砂の塩分含有量に応じて、鉄筋の防錆対策処理をする必要がある。砂の塩分含有量の測定方法としては、現在よく採用されている硝酸銀溶液を用いた滴定による方法¹⁾および塩化物判定試験紙による方法⁴⁾等がある。しかし、海砂が常時使用されるようになると、さらに簡便な塩分含有量の測定方法の開発が望まれる。

本研究は、砂の表面水率および海砂の塩分含有量の簡便な測定方法を考案開発するにあたっての工夫を報告するものである。

2. 予備実験

従来の電気抵抗等の電気的な手法によって砂の表面水率を測定する方法の精度に影響を与える要因として、表-1に示すようなことを考え、予備実験の主目的を、そ

表-1 問題点と改善策

No.	問題点	改善策
1	砂の締め固まりの程度(砂の膨らみ現象により生じる、表面水率の変化に対する電気抵抗の変化率の減少も含む)	測定用の砂に食塩を混入することにより、膨らみ現象の影響を小さくし、さらに砂中への挿入部をくさみ形とした測定器(図-1参照)を適切な荷重(図-2より、今回は2kg)で砂中に挿入することにより、安定した締め固まり状態とする。
2	表面水中のイオン濃度	測定用の砂中にあらかじめ食塩を混入し、砂の表面水を食塩の飽和状態とした後に、抵抗を測定する。
3	電極板と砂の接触状態	あらかじめ、飽和食塩水で潤滑状態にした電極板を用いる。
4	砂の温度の影響	電気抵抗測定用ブリッジの工夫等の電気的な補正方法を用いる。
5	砂中に含有されている金属質等の電気抵抗の小さい粒子	問題となることは、ほとんどないが、金属質が含まれると、金属質の含有量が一定となるように試料を採取するか、金属質の定量を行う等の工夫が必要となり、測定が煩雑となる。
6	測定中に、極板上に付着する気泡	静電容量を測定する方法や適切な周波数をもつ交流電源を用いて電気抵抗を測定する方法が考えられる。

* 正会員 工博 東京理科大学講師 理工学部土木工学科

これらの要因に対する改善策の効果を確認する方針とした。なお、実験設備の都合上、電気抵抗の測定に市販の安価なテスターを用いたため、(4)の問題点については、温度と電気抵抗との関係を求めることにとどめ、(6)の問題点については、直流電源で、極板挿入後1~2秒で安定したときの抵抗を測定する方法とした。また、(5)の問題点については、資料が入手できなかったため、検討を行わなかった。

図-2は、図-1に示す装置を砂中に挿入するとき装置上部に載荷する荷重と電気抵抗の関係を示したものである。測定方法は、内径6cm、高さ9cmのプラスチック製容器に、表面水率が3%の砂を約200gそっと詰め、測定装置を載せ、装置の上に所定の荷重を載荷し、極板間の抵抗を測定する方法とした。なお、測定時の砂の温度は約5°Cであった。荷重が1500gw(14.7N)を超えると、抵抗はほぼ一定となる傾向を示している。なお、実験に用いた砂の状態は、膨らみ現象等により、締め固まりにくい状態であり、食塩を混入した場合や表面水率が著しく小さいか大きい場合の結果に比べ、抵抗がほぼ一定となる荷重は少し大きくなっていた。また、人手により、この程度の表面水率をもつ砂を、十分に締め固める方法としては、容器により拘束された砂にくさび等を挿入して、砂に圧縮力に加え締め固める方法が最も簡便であると考えている。一方、現在市販されているこの種の装置の極板は板状かまたは棒状のものが中心であり、砂があらかじめ十分に締め固められていないと、装置が少しでも傾くと、砂の締め固め具合が変化するだけでなく一方の極板の片方の面が砂を押しつけるように傾くと、他方の極板または反対側の面では、砂との接触状態が悪くなり、ひどい場合には、砂と極板との間にすき間ができるといったふうに砂と極板との接触状態が変化し、ばらつきが大きくなる可能性がある。以上のことを考慮して、今後の実験においては、載荷すると砂が締め固まるように先端をくさび形にした図-1に示す形状の測定装置の上に2kgw(19.6N)の荷重を作用させて電気抵抗を測定することにした。なお、極板に使用したステンレス鋼は、使用日数の増加に伴い、腐食

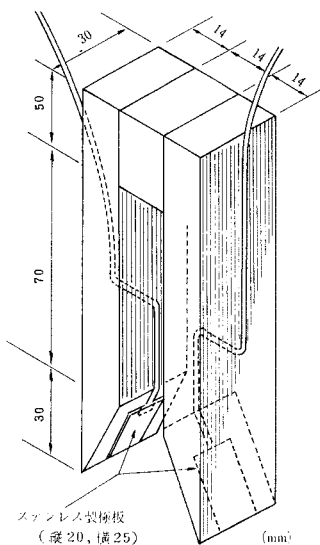


図-1 測定器

数の増加に伴い、腐食

し、抵抗の測定結果が変動するため、測定日には、実験開始前に必ず極板をサンドペーパーで研磨した。

図-3は、砂の表面水中に溶解している食塩の量が、砂の電気抵抗に及ぼす影響を調べた結果である。塩分含有量が0.5%を超えると、電気抵抗は一定となる傾向を示している。これは、表面水中に溶解可能な飽和溶解度以上の食塩が添加されても、電気抵抗は、ほとんど変化せず、ほぼ一定値となることを表わしていると解釈できる。

この結果は、表

面水率が10%の砂についての結果であるため、表面水率がさらに大きくなる場合も考えて、今後の実験では、砂の表面水を飽和するために添加する食塩の量を砂の重量の10%すなわち20gとした

図-4は、砂の温度と電気抵抗との関係を、3.の方法により測定した結果である。砂の温度が10~40°Cの範囲では、砂の温度と抵抗の対数は、ほぼ直線関係を示しており、その勾配は表面水率に関係なくほぼ一定であった。

砂の塩分含有量と電気抵抗との関係を示した図-5に

ついてみると、コンクリート用細骨材として利用されている海砂の一般的な塩分含有量の範囲すなわち0.1~0.3%の範囲では、塩分含有量が増加するに従い、電気抵抗は、ほぼ直線的に低下する傾向を示している。これは、食塩

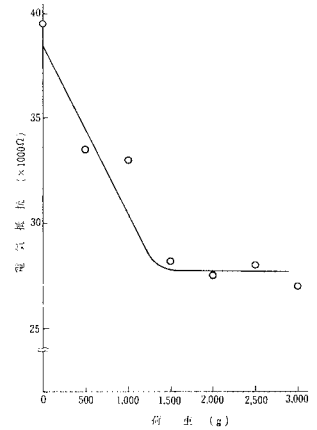


図-2 荷重と電気抵抗の関係

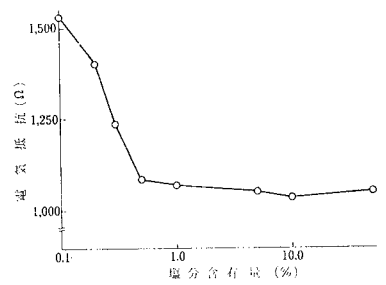


図-3 塩分含有量と電気抵抗の関係

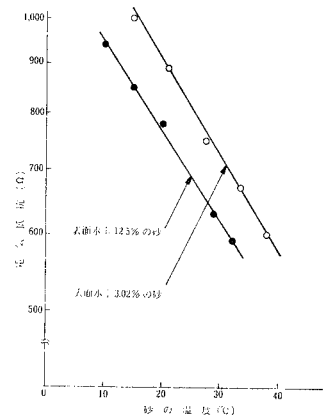


図-4 砂の温度と電気抵抗の関係

を混入する以前の電気抵抗と食塩を混入してから測定した電気抵抗により求めた表面水率とにより、塩分含有量を求めることができることを表わしているといえる。

本章の実験に用いた砂は、すべて FM 2.54, 比重 2.59, 吸水率 2.73 の鬼怒川水系の川砂である。

3. 表面水率 または 表面水率と 塩分含有量の測定方法

(1) 表面水率の測定方法

(i) 測定器の電極板を飽和食塩水に浸しておく。

(ii) 表面水率を求めたい砂から代表的な試料を約 200 g 採取し、容器に詰める。

(iii) この砂に約 20 g の食塩を加えてよく混合する。

(iv) 飽和食塩水に極板を浸しておいた測定器を取り出し、1~2 秒間静置し水滴を取り除いてから、極板を容器内の砂中に挿入し、測定器の上に約 2 kg のおもりを載せ、極板間の電気抵抗を測定する。

(v) 測定した電気抵抗より、表面水率と電気抵抗の関係を示したグラフを用いて、表面水率を求める注1)。

(2) 表面水率および塩分含有量の測定方法

(i) (1) の (i), (ii) および (iv) の操作を行う。このときの電気抵抗を R_1 とする。

(ii) 次に、この試料を用いて、(1) の (iii)~(v) の操作を行い表面水率 (P) を求める。

(iii) 表面水率別に、電気抵抗と塩分含有量の関係を示したグラフを用いて、表面水率 (P) および電気抵抗 (R_1) より、塩分含有量を求める注1)。

4. 測定結果および考察

本章において、電気抵抗を測定する方法は、3. の方法とした。図-5 は、表-2 の No. 1 の砂について、表面水率別に電気抵抗と塩分含有量との関係を示したものであり、表面水を飽和させるに必要な量以上の食塩を混合してから測定した電気抵抗より表面水率を推定でき、また、食塩を混入する以前に測定しておいた砂の電気抵抗と表面水率とにより砂の塩分含有量を推定できることを表わしている。

図-6 は、表-2 の No. 2 および No. 3 の砂について

表-2 砂の物理的性質

No.	粗粒率	比重	吸水率 (%)	産地
1	2.54	2.59	2.73	鬼怒川水系
2	1.62	2.56	4.35	江戸川 *
3	2.89	2.64	2.16	富士川 *

注 1) 測定に用いた砂の温度が、グラフの値を求めたときの温度と異なる場合には、砂の温度と抵抗の関係を示したグラフにより、電気抵抗を換算する必要がある (図-4 参照)。

て、塩分含有量別に表面水率と電気抵抗との関係を示したものである。なお、砂の温度は 10°C と一定にした。表面水率がある限界値より大きくなると、電気抵抗は一定値に近づく傾向を示しており、その一定値は砂の種類にかかわらず、砂の温度が 10°C と一定の場合、1 000 Ω 程度である。また、その限界値は、図-5 の場合も同様に砂の粗粒率が小さくなるほど大きくなる傾向を示すとも考えられる。表面水率が大きくなると電気抵抗が一定値に近づく傾向を示したのは、砂

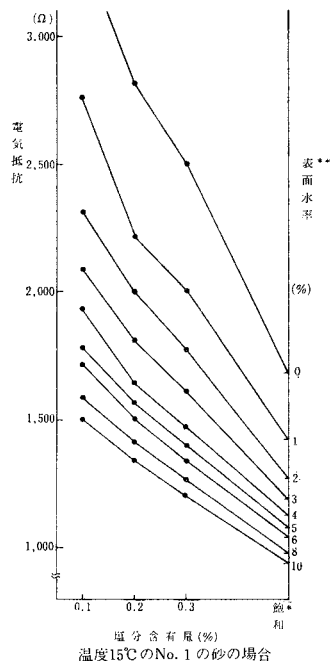
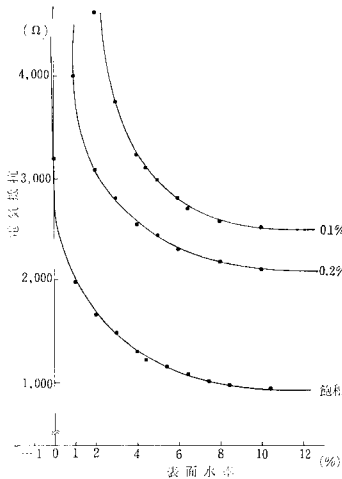


図-5 砂の電気抵抗と塩分含有量との関係
 飽和*: 200 g の砂に 20 g の食塩を混合した場合
 表面水率**: 重量法により求めた表面水率

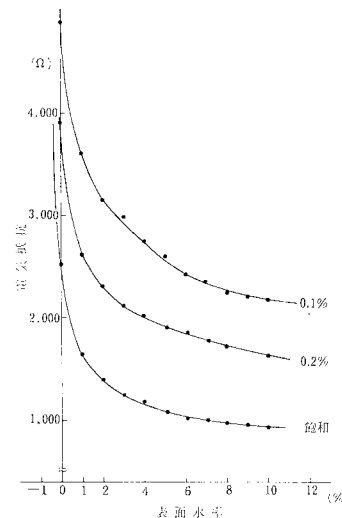
の保有可能な表面水量は砂の種類により決まっており、それより表面水量が増大すると、水が砂粒子表面より分離し、極板より離れた容器の底の方へ水が移動してしまったことにより生じたように、実験時に観察された。一方、気乾状態の砂の電気抵抗は、含水率が同一であっても、砂の種類により大きく異なっていたが、JIS に準じて求めた表乾状態における電気抵抗は、砂の吸水率や粗粒率が異なっても、砂の温度が 10°C と一定の場合、すべて 3 000 ± 200 Ω の範囲に入っていた。このことは、JIS のフローコーンを用いて定めた表乾状態は、電気抵抗においても何かの特異点となるも解釈できる。

表-3 は、表-2 の No. 1 の砂について、3. の電気抵抗による表面水率の測定方法、重量法および 500 g の砂を定重量となるまで 110°C で炉乾燥し表面水率を求める方法により、それぞれ 10 回ずつ表面水率を求めた結果の平均および標準偏差を示したものである。なお、電気抵抗から表面水率への換算は、図-5 の結果より比例配分により行うこととした。また、測定は、常に実験に熟練した二人の学生が担当した。電気抵抗の読み取りは、5 Ω 単位で行った。そのため、表面水率が大きくなるほど、抵抗の読み取り精度から生じる表面水率の推定精度は悪くなり、表面水率が 5% 程度の場合には、抵抗の読み取り値が 5 Ω 変化することによって、表面水

率が約 0.1% 変化することとなる。表面水率が 10.55% の場合以外は、いずれの測定方法の標準偏差も 0.16% 以下であり、また、測定方法の相違により生じる標準偏差よりも小さくなっている。しかし、表面水率が大きくなると、表面水率の測定精度が悪くなる傾向を示している。この傾向は、表面水率が 5~6% より大きくなると、水が砂の表面より分離し下の方へ移動する傾向を示すため、十分均等に混合した砂から、なるべく変動しないように試料を採取したにもかかわらず、表面水率が試料ごとに変動したこと、また、電気抵抗による測定方法では、測定中に容器内で水が移動



(1) No. 2 の砂の場合



(2) No. 4 の砂の場合

図-6 砂の電気抵抗と表面水率との関係

したことや表面水率の変化に対する抵抗の変化率が小さくなり、抵抗の読み取り値のばらつきが表面水率のばらつきに大きな影響を及ぼしたことにより生じたと思われる。こうしたことから、コンクリートプラントにおいて、かなり湿った砂を骨材ビンに保管して利用するとい

った場合を考えると、骨材ビン中の砂の表面水率の変動から生じる試料のばらつきの方が、表面水率の測定精度より問題となる可能性が大きいと思われる。

5. むすび

比較的簡単に短時間で、砂の表面水率と塩分含有量を測定できる今回考案した電気的な測定方法について、今回の実験結果より明らかになったおもなことを示す。

(1) 試料の砂にあらかじめ食塩を混合し、砂の表面水を食塩の飽和状態とした後に、飽和食塩水で湿潤状態にした極板を挿入し、電気抵抗を測定する方法によると、表面水率が 5~6% 以下の範囲では、砂の表面水率を比較的精度よく測定できる。

(2) 食塩を混入する以前に測定しておいた砂の電気抵抗と食塩を添加し表面水を飽和状態とした砂の電気抵抗より求めた表面水率とにより、砂の塩分含有量を海砂の一般的な塩分含有量の範囲すなわち 0.3% 程度以下の範囲において推定できる。

なお、今回のような人手により測定を行うという方法を、そのまま実際の砂の表面水率や塩分含有量の管理試験として採用するには、抵抗値から換算するためのデータをあらかじめ得ておく必要があること等で、従来の方法に比べ著しく有効な手段となる可能性はうすいと思われる。しかし、自動化していくにあたっては、電気的な方法は有望と思われるため、今回は従来の電気的な方法に対して工夫を加えた点を中心に報告した。今後、代表的な試料を採取する装置や食塩を混入する装置の開発に加え、砂の種類が変化した場合に、抵抗値から表面水率および塩分含有量を推定するためデータを得るための装置の開発について検討するとともに、表面水率の大きな砂の取扱いについて、さらに検討していく方針である。

謝 辞：本研究を進めるにあたり、有益なご助言とご指導をいただいた、東京大学工学部 樋口芳朗教授ならび東京理科大学理工学部 杉木六郎教授に深謝の意を表わすとともに、実験を担当していただいた当時卒論生の中野正一君および松田敏君に感謝の意を表わす次第である。なお、本研究は、昭和 56 年度文部省科学研究費補助金（奨励研究 A）により行われたものである。

表-3 表面水率の測定結果の変動と測定方法の関係

求めた表面水率の平均値	0.52%	3.55%	4.34%	10.55%	
電気抵抗法	平均値 (%)	0.53	3.46	4.22	10.71
	標準偏差	0.045	0.155	0.128	0.652
重量法	平均値 (%)	0.56	3.41	4.18	10.81
	標準偏差	0.017	0.028	0.043	0.489
炉乾法	平均値 (%)	0.46	3.78	4.62	10.14
	標準偏差	0.033	0.045	0.093	0.968
上記 3 種の方法で求めた平均値の標準偏差	0.051	0.201	0.243	0.361	

参 考 文 献

- 1) 國分正胤編：土木材料実験，技報堂
- 2) 各社水分計カタログ（住友電工“携帯形水分計”，平沼産業“平沼デジタル微量水分測定装置”，千野製作所“2色赤外線水分計”，理科学測定器研究所“理研式簡易水分計”等）
- 3) 工業計測技術人系編集委員会編：工業計測技術大系 10 湿度・水分測定，日刊工業新聞社，1968 年 6 月。
- 4) 小野田建材，簡易塩分測定計“カンタブ”

(1981.1.20・受付)