

論文 細骨材の表乾燥状態判定方法に関する基礎的検討

上野 敦*1・永田 亘*2・国府勝郎*3

要旨：新しい細骨材の表乾状態判定方法への応用を目的に、電解質を添加した状態で試料の電気抵抗値および回転円筒内での試料の動的な安息角に着目し、細骨材粒子表面に存在する水分量によるこれらの変化について検討した。この結果、これらの方法は、表乾状態の判定に応用できる可能性があるが、試験方法を改善していく必要があることがわかった。

キーワード：細骨材、表乾状態、電気抵抗、安息角

1.はじめに

近年、天然骨材の枯渇等から砕砂やその他の人工細骨材をコンクリート用に使用することが多くなっている。これらの細骨材は一般に粒形が角張っており、従来の JIS A 1109 に規定されているフローコーンによる方法では表面乾燥飽水状態（以下、表乾状態）を判定するのが困難なことが多い。

本研究は、上記のような細骨材でも安定して表乾状態を判定することの出来る方法を確立することを目的に、基礎的な検討を行ったものである。具体的には、電解質を添加した条件下での試料の電気抵抗値および動的な状態における試料の安息角に着目した実験を行っている。

2.実験方法

2-1 電気抵抗試験に関する基本的事項の決定

細骨材の電気抵抗は、その含水率に支配されるが、含水率にともなう通電性状の変化を顕著にするため、測定試料中に水溶性の電解質を添加することを考えた。すなわち、理想的な表乾状態であれば電解質を溶解する水分が存在しないので電気抵抗が大きく、表面水が存在すれば、電解質によって電気抵抗が急激に低下することに着目したものである。電解質は固体の NaCl とし、NaCl の添加量、添加攪拌後の静置時間および後述の電気抵抗測定容器内への充填方法について検討した。

(1)使用細骨材および含水率の調整

この実験に用いた鹿島産陸砂の物理的性質を表-1 に示す。この試料を 24 時間吸水させ、その後天日乾燥で一定の含水率 2.0% に調整し、これを密封容器内に保存し、実験に使用した。

(2)電気抵抗測定試験装置

試料の電気抵抗値は、図-1 に示す試作の測定容器(塩化ビニル製:4×4×10cm, 両端部銅板電極:4×4cm)および市販の LCR メータによって測定した。

(3)NaCl 添加量に関する検討

試料に対する NaCl 添加量の適正值を検討するため、湿潤試料 300g に対して NaCl を 0～10g

*1 東京都立大学助手 工学部土木工学科、(正会員)

*2 東京都立大学 工学部土木工学科

*3 東京都立大学教授 工学部土木工学科、工博(正会員)

表-1 鹿島産陸砂の物理的性質

種類	表乾比重	絶乾比重	吸水率 (%)	単位容積質量 (kg/l)	実積率 (%)	F.M.
鹿島産陸砂	2.63	2.60	1.18	1.73	67.3	2.41
ふるい寸法	5mm	2.5mm	1.2mm	0.6mm	0.3mm	0.15mm
通過重量百分率	100	91	77	59	29	3

の範囲で添加し、これをビニール袋中で1分間攪拌し5分間静置した後に、上記の測定容器内に3層に分けて各層を4×4cmのモルタル供試体作製の突き棒で15回突いて充填し、電気抵抗を測定した。

(4) 添加攪拌後の静置時間に関する検討

試料にNaClを添加し攪拌した後の溶解時間による電気抵抗値への影響を検討した。試料300gに対して上記の(3)の試験で決定したNaCl量を添加し、1分間攪拌後の静置時間を0～12分の範囲で変化させ、(3)の試験と同様に容器内に充填し、電気抵抗値を測定した。

(5) 容器内への充填状態に関する検討

試料の電気抵抗値は、測定容器内の試料の充填状態によって影響されと考えられるので、容器内への試料の充填方法を変化させて電気抵抗値を測定した。充填方法は、上記の試験と同様にモルタル供試体作製の突き棒を用いて、①1層突きなし、②1層15回突き、③2層15回、④3層15回、⑤4層15回とし、容器の上面まで充填した。各条件ごとに容器内へ充填された試料の質量を計測し、容器体積で除して単位容積質量を計算した。なお、薄層で突き固めながら試料を充填して容器上面すり切りでの重量が変化しなくなるまで充填したものを容器内への完全充填量とした。容器内への充填状況は、完全充填時の単位体積質量を100%として評価した。

(6) 容器内への充填体積に関する検討

測定容器内に充填する試料の体積（充填高さ）の違いによって電気抵抗値が影響を受けると考えられるので、試料の充填高さを容器高さの1/3、2/3、上面すり切りの3種類とし、電気抵抗値を測定した。

2-2 含水状態の変化にともなう安息角および電気抵抗値の変化

(1) 使用細骨材

この試験には、鹿島産陸砂、上野原産砕砂、浜岡産陸砂の3種類を使用した。細骨材粒子と水との関わりで安息角と電気抵抗値にどのような変化が現れるのかを基礎的に検討するため、試料を0.6mm以下、0.6～1.2mm、1.2mm以上の3水準にふるい分けし、このうちの0.6～1.2mmの単一粒度のものをモデル的に使用した。

(2) 画像解析装置による粒形の評価

試料の粒子形状の評価のため、画像解析装置によって円形度係数を測定した。円形度係数は、式(1)で表される係数であり、1に近ければ円に近いことを示す係数である。測定は、試料を0.6mm以下、0.6～1.2mm、1.2mm以上の3水準にふるい分けし、それぞれの粒度について50サンプル

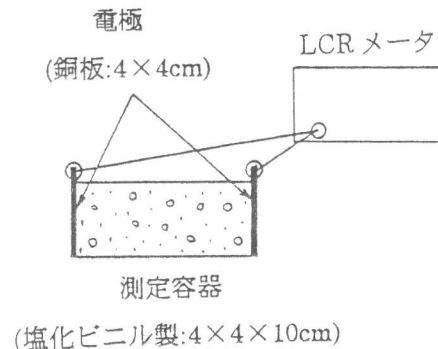


図-1 電気抵抗値測定装置

を抽出して行った。

$$C=4 \pi F/L^2$$

(1)

ここに、C：円形度係数、L：物体の周長、F：物体の面積

(3)遠心脱水機による試料の調整

実験に使用する試料は、含水状態を安定して変化させる必要があるため、試料の含水率調整に遠心脱水機を使用することとした。この遠心脱水機は、最大加速度約 5000G で、回転数を 100～5500r.p.m.の範囲で変化させることができる。

試料は 24 時間吸水させ、これを吉兼らの研究[1]に従い、大まかに水を切った後に試料カップに計り取り、100G 程度で 1 分間予備脱水を行い、この後、所定量を計り取り、本脱水を行った。本脱水は約 3500G で行い、脱水時間を 0、5、10、15、30、45、60 分として、各時間脱水後に炉乾燥によって含水率を測定した。また、それぞれの試料を次に示す安息角測定試験と電気抵抗値測定試験に使用した。

(4)安息角測定試験

一般に、粒子同士の接触部や狭い間隙部に液体が存在すると、図-2 のような液体橋が形成される。この液体橋による粒子間の付着力は、液体の付着量と液体橋の形に影響される。また、当然ながら付着量や液体橋の形は、粒子表面の親水性の大小、粒子の形状、接触状況に影響される。この液体橋による付着力の大きさは、粒子間にごく微量の液体がある状態で極大値を示し、液体橋の厚みが増大するにつれて徐々に小さくなる[2]。この、粒子間にごく微量の液体が存在する状態を近似的に表乾状態と考え、試料の安息角に着目することとした。

前述の遠心脱水機で調整した試料の安息角を測定した。安息角は粒子間の付着力が大きくなれば大きくなる。試料の粒形による影響を小さくするため、動的条件下での安息角測定を考え、測定の方法は図-3 に示す回転円筒法とした。動力源に卓上型ボールミル装置を低回転型に改造したものを用い、この装置に直径 10cm、高さ 12cm のアクリル製透明円筒をセットして、約 30r.p.m.で回転させ、この容器の底面から試

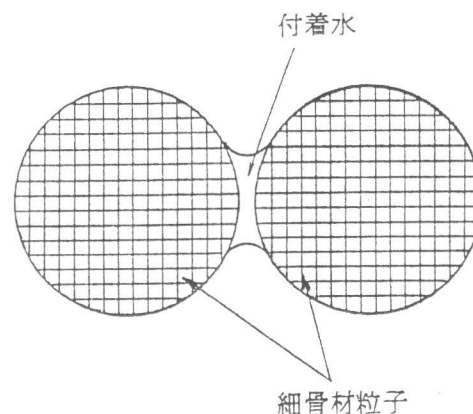


図-2 液体橋の模式図

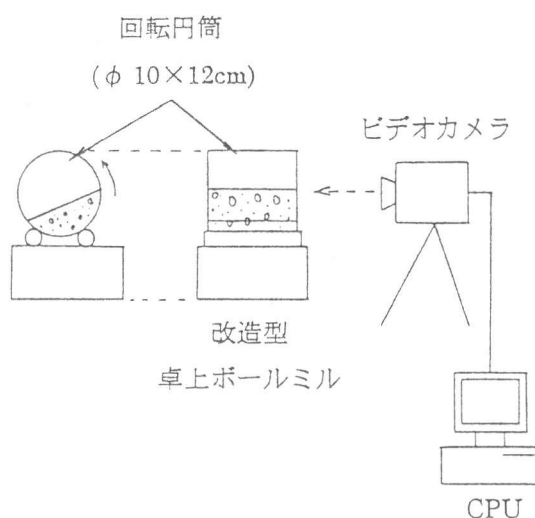


図-3 安息角測定装置

料の崩れる様子をビデオカメラで撮影し、この映像をパソコン上に取り込み、安息角を測定した。一方、絶乾状態の試料の動的条件下での安息角も同様に測定した。

(5)電気抵抗値測定試験

2-1 での試験結果を考慮して、脱水後の試料 300g に対して 7.5g の NaCl を添加し、1 分間攪拌後に 3 分間静置し、図-1 の容器内に 3 層に分けて各層を 15 回突き棒で突き固めて充填し、電気抵抗値を測定した。

3.結果および考察

3-1 電気抵抗に関する基礎試験

(1)NaCl 添加量に関する検討

NaCl 添加率と電気抵抗値の関係を図-4 に示す。NaCl 添加率は、試料 300g に対する NaCl 質量の百分率で表した。試料の電気抵抗は、電解質の添加によって急激に減少し、NaCl 添加率が約 1.5%程度以上であれば安定することがわかる。

(2)添加攪拌後の静置時間

NaCl 添加攪拌後の静置時間と電気抵抗値の関係を図-5 に示す。この図から電気抵抗値は、静置時間が約 3~5 分程度以上であれば安定することがわかる。しかし、細骨材粒子表面に付着している水分量によって溶解できる NaCl 量が変化すると考えられるので、今後は試料の含水状態によって静置時間を考慮する必要があると考えられる。

(3)試料の充填状態

突き棒を使用したときの完全充填量に対する充填方法を変化させた試料の単位体積質量率を単位体積質量率とし、この単位体積質量率と電気抵抗の関係を図-6 に示す。この図から容器内の試料の充填率が大きいほど電気抵抗値は小さくなることがわかる。これは電気の通ることの出来る経路が増えるためであろうと考えられる。この単位体積質量率が適切な指標であるかは不明確であるが、体積率は計算できないため現段階ではこの指標を採用した。

実際の試験手順上、完全に試料を充填することが煩雑であり、含水状態の変化による電気抵抗値の変化を測定する場合、一定の締め固め状態を保てば良いと考えられるため、この後の試験では試料を 3 層に分けて各層を 15 回突いて充填することとした。

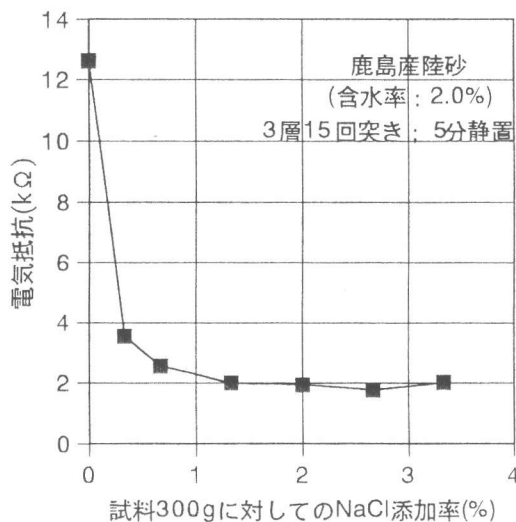


図-4 NaCl 添加率と電気抵抗値

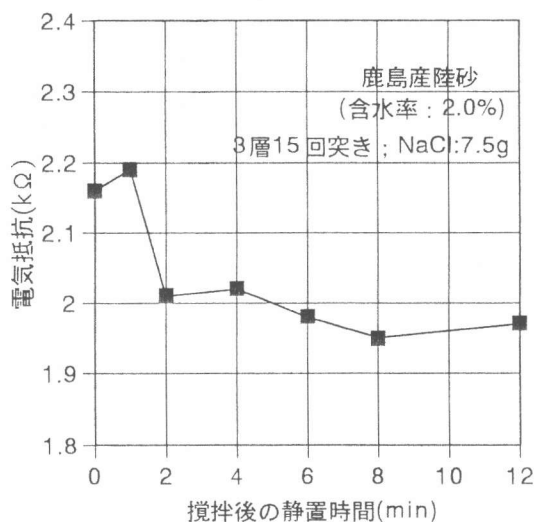


図-5 静置時間と電気抵抗値

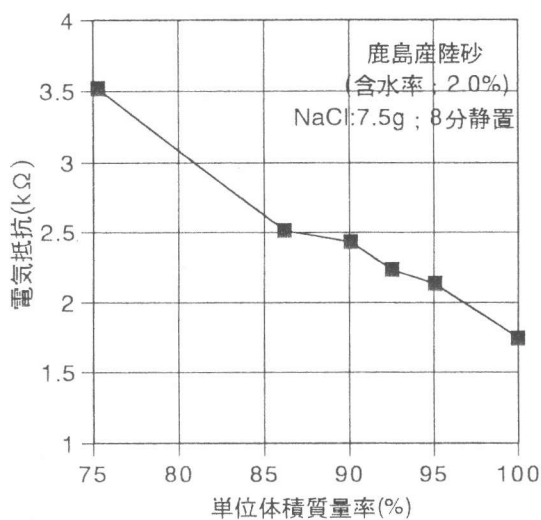


図-6 単位体積質量率と電気抵抗値

(4)容器内の充填体積

容器内に充填されている試料の体積（高さ）と電気抵抗の関係を図-7 に示す。この図から容器内に充填されている試料が多ければ電気抵抗値は小さくなることがわかる。これは、充填状態を変化させた実験と同様に、試料が多ければ電気が通りやすくなるためであると考えられる。

3-2 含水状態の変化にともなう安息角および電気抵抗値の変化

(1)画像解析装置による粒形の評価

試料の粒径ごとの円形度係数を図-8 に示す。実験に使用した 0.6~1.2mm の粒径の範囲では、鹿島産陸砂の粒子形状が最も円に近く、浜岡産陸砂、上野原産砕砂の順に粒子形状が角張っていくことがわかる。

(2)動的条件下での安息角

遠心脱水機によって脱水された試料の含水率と動的な条件下での安息角の関係を図-9 に示す。鹿島産陸砂および浜岡産陸砂の場合、含水率が大きくなっていくと、安息角はある含水率で急に大きくなることがわかる。上野原産砕砂の場合、他の 2 試料ほど急激ではないが、ある含水率で安息角が若干大きくなる傾向があると思われる。この現象は、2-2(4)で述べた安息角の理論と一致する傾向であると思われる。また、フローコーンによって比較的表乾状態を判定しやすいと考えられる鹿島産陸砂の表乾状態における含水率（吸水率）は 0.89%であり、ほぼこの程度の含水率レベルで安息角に変化が現れていることが分かる。

ただし、含水状態によっては粒子が互いに付着し、塊となって崩れてくるため、結果として角度の測定が困難になる場合があり、試験方法として改善していく必要があると思われる。

(3)含水率の変化にともなう電気抵抗値の変化

脱水後の試料の含水率と電気抵抗値の関係を図-10 に示す。この図から含水率が小さくなると

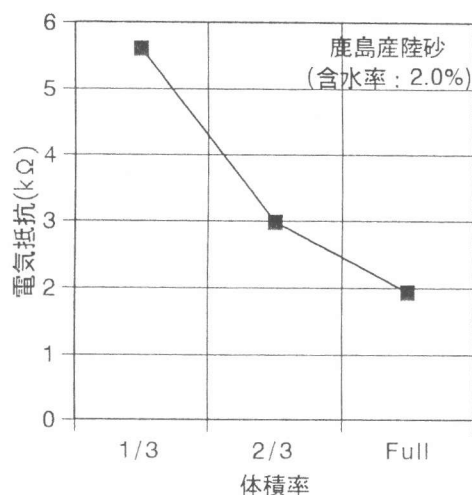


図-7 試料体積と電気抵抗値

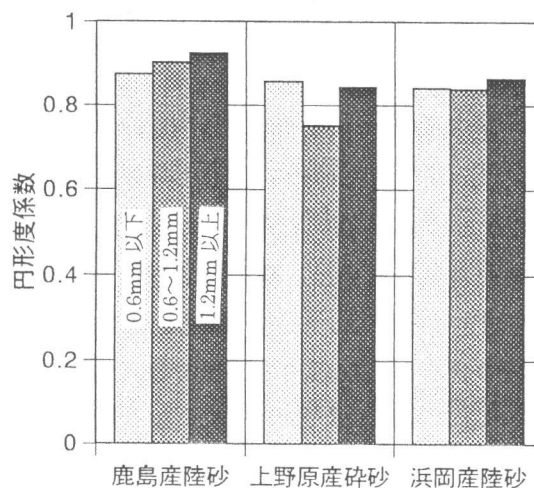


図-8 粒径ごとの円形度係数

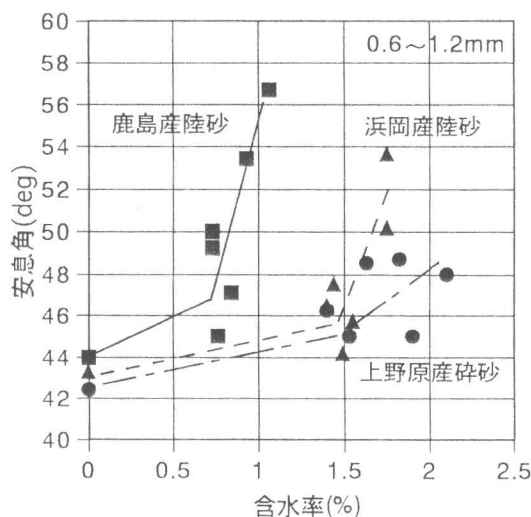


図-9 含水率と安息角

電気抵抗が大きくなることが分かる。鹿島産陸砂の場合、フローコーンによる表乾状態での吸水率程度以下の含水率では電気抵抗値が急に大きくなる傾向があると思われる。しかし、電気抵抗値測定試験においても、このような変化の傾向が必ずしも現れていない場合もあり、試験方法を改善していく必要があると考えられる。

4.まとめ

細骨材の表乾状態判定方法に関する基礎的な検討として、電解質を添加した条件下での試料の電気抵抗値と動的な条件下での試料の安息角に着目して基本的な検討を行った。この結果、以下のようなことがわかった。

- (1) 試料の電気抵抗は、電解質の添加によって急激に減少し、NaCl添加率が試料の約1.5%程度以上であれば安定することがわかった。またNaCl添加攪拌後の静置時間は、本実験の範囲では、約3～5分程度以上あれば安定することがわかった。しかし、細骨材粒子表面に付着している水分量によって溶解できるNaCl量が変化すると考えられるので、今後は試料の含水状態によって静置時間を考慮する必要があると考えられる。
- (2) 試料の電気抵抗値は、測定容器内の充填状態および試料の量に影響される。したがって、電気抵抗を測定する際は、一定の締め固め方法によって一定体積に試料を充填する必要がある。
- (3) 試料の含水率と安息角の関係で整理すると、試料によって程度の差はあるものの、ある含水率レベル以上で安息角が急に大きくなる傾向がある。しかし、含水状態によっては粒子が互いに付着し、塊となって崩れてくるため、結果として角度の測定が困難になる場合がある。
- (4) 試料の電気抵抗値は、試料によって程度の差はあるが、含水率レベルがある程度以下になると急に大きくなる傾向がある。

5.今後の課題

以上のように、安息角測定試験、電気抵抗値測定試験ともに細骨材粒子の表面に存在する水分量の程度を知るヒントにはなりうると考えられる。すなわち、両試験ともに表乾状態の判定に適用できる可能性があると考えられるが、現段階では明確でない部分が多く、試験方法を改善していく必要がある。その上で、本実験で使用した試料以外の種類および粒径の試料についても試験を行う必要があると思われる。また、粒子表面の親水性や粒度分布による影響についても検討する必要があると思われる。

参考文献

- [1] 吉兼 享・中島佳郎：遠心脱水による細骨材の表面乾燥飽水状態について、土木学会論文集、第396号/V-9、pp.151-158、Aug.1988
- [2] 粉体工学の基礎編集委員会編：粉体工学の基礎、日刊工業新聞社、1992

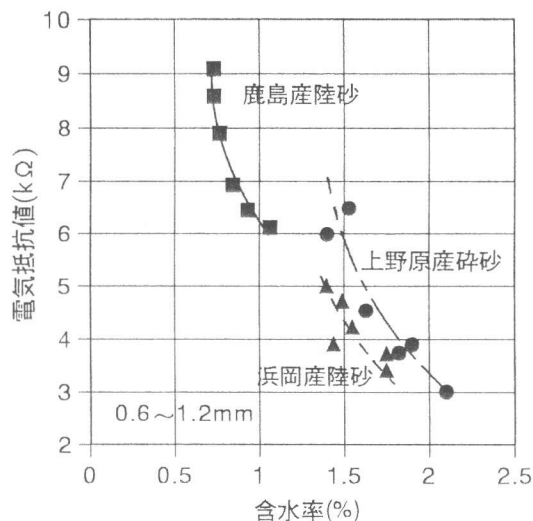


図-10 含水率と電気抵抗値