

論文 細骨材の表乾判定試験方法に関する基礎的研究

竹内 一真^{*1}・武若 耕司^{*2}・奥地 栄祐^{*3}・山口 明伸^{*4}

要旨:近年,示方書が仕様規定型より性能照査型へと移行したことにより,細骨材としてJIS規格外の骨材も含め,より幅広い骨材が使用される可能性が出てきた。しかし,現在の細骨材の表乾判定方法はこれら規格外骨材をその対象としていない。そこで本研究では,原理的にどのような種類の骨材にも有効に使用できると考えられる赤外線や電気抵抗を利用した方法などいくつかの表乾判定方法について,その精度や使用性等を比較検討した。

キーワード:低品質骨材,表乾判定,赤外線,電気抵抗,表乾判定用コーン

1. はじめに

近年,コンクリート用細骨材は,川砂の枯渇化および示方書が仕様規定型より性能照査型へと移行したことにより,より幅広い範囲の細骨材の使用が検討されはじめている。特に,JISに規定される品質の全てを満足しない,いわゆる低品質な骨材の有効活用は今後の大きな課題である。そしてこのような骨材の多様化に伴い,JISにおける細骨材の表乾状態判定方法(JIS A 1109;細骨材の密度および吸水率試験方法)の限界も指摘されている。

そこで本研究においては,まず,低品質骨材の表乾状態は,従来のJIS A 1109に規定された試験方法では判定が困難といわれており,その原因が,コーン形状および試験方法であると考えられていることから¹⁾,コーンの種類を数パターン用意し,コーンの形状が表乾判定に与える影響について検討を行った。さらに,原理的にどのような種類の細骨材においても適用が可能であると考えられる方法として,赤外線の原理を利用した表乾判定試験方法を新たに開発し²⁾,最近実用化が進められている電気抵抗の測定による表乾状態判定試験方法³⁾とともに,その精度や使用範囲について検討を行った。なお,

検討にあたっては,南九州に多量に存在し細骨材として利用が検討されているシラスを用いた。

2. 使用骨材の概要

本実験では,低品質骨材の対象として鹿児島県においてコンクリート用細骨材としての実用化が進められているシラスを使用した。検討には,産地の異なる3種類のシラス(シラスA,シラスB,シラスC)を使用し,比較用として川砂を用いた。シラスおよび川砂の粗粒率,微粒分含有量,単位容積質量を表-1に示す。表より,シラスが微粒分を非常に多く含み,骨材としては低品質な材料であることが確認できる。このような状況から,シラスに対しては,従来までの表乾判定方法であるJIS A 1109の適用は困難であると考えられた。

表-1 使用骨材の物性表

種類	シラスA	シラスB	シラスC	川砂
微粒分含有量(%)	24.9	23.7	16.6	2.3
粗粒率	1.33	1.41	1.38	2.88
単位容積質量(kg/l)	1.06	1.11	0.99	1.76

*1 鹿児島大学大学院理工学研究科 (正会員)

*2 鹿児島大学助教授 工学部海洋土木工学科 工博 (正会員)

*3 鹿児島大学大学院理工学研究科 工修 (正会員)

*4 鹿児島大学助手 工学部海洋土木工学科 工博 (正会員)

3. 表乾判定用コーンによる表乾判定試験

3.1 試験方法

上記 2. で示したシラスの表乾判定に細骨材の表乾判定方法として一般的に用いられてきた JIS A 1109 の適用が困難であると考えた理由は、シラスの粒子形状の悪さおよび多量の微粒分を含むということにある。従来のフローコーンによる判定方法は、表乾状態となることによって、粒子間の液体橋による付着力がなくなり、すべりが生じることを利用したものである。ところが、川砂とシラスの内部摩擦角を比較すると、川砂が約 28° であるのに対して、シラスは約 38° と 10° 程度大きく、すべりにくい状況にある。

そこで、この内部摩擦角を考慮し、コーンを図-1 に示す JIS コーン形状から図-2 に示す直立あるいは直立に近いコーンに変え、試験方法も表-2 に示す様に JIS A 1109 から直立コーン仕様に改良することにより、微粒分が多く、粒子形状が角張っている骨材においても、コーンによる表乾の判定が可能であろうと考えた。そこでここでは、骨材の自立角が 90° となる 3 種類のフローコーンならびに、コーンを引抜きやすくするために、骨材自立角を 90° よりも若干小さくした 84 コーンおよび 88 コーンを作製した。以上、5 種類のコーンについて、その測定精度

や使用性を比較検討し、コーン形状が表乾判定に与える影響を検討するとともに、表乾判定用コーンとして最も適していると考えられるコーン形状の選定を行った。

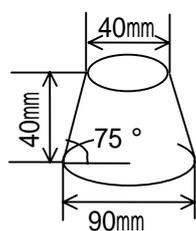
なお、比較用試験方法として、フローコーンによる判定が困難な場合の代替試験方法として ASTM に規定されている仮表面テストを用いた。その試験概要を表-3 に示す。

3.2 表乾判定用コーンによる表乾判定結果

図-3 に、各コーンを用いた表乾判定試験で得られたシラスの吸水率を示す。なお、試験はそれぞれについて 3 回行い、試験結果の再現性を検討した。なお、ここで検討に用いたシラスは B および C 種である。この結果、コーンの直径を変えた直立コーン 1 と 3 を用いた試験結果では、コーンの直径が表乾判定結果に及ぼす影響

表-2 表乾判定用コーンによる表乾判定試験方法

試験方法		JIS A 1109	直立コーン仕様
使用器具	コーン	図-2に示す	図-2に示す
	突き棒	質量(340 ± 15g, 一端が直径25 ± 3mm)	
試料充てん方法		コーンに緩く詰め、上面を均す	コーンに緩く詰める(ただし、突き固め後に試料の再充てんを行わないでよい程度の余盛りを行う)
突き固め方法		突き棒の自重のみで25回突く	
表乾判定		試料が最初にスランプしたとき	

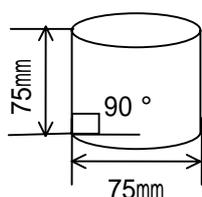


JIS 規定

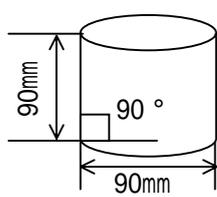
図-1 JIS コーン概要

表-3 仮表面テスト試験概要

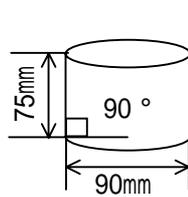
規格名	ASTM
試験名	仮表面テスト
使用機器	平面板(非吸水性素材)(水平, 乾燥, 清浄, 暗い色)
試験方法	約100gの砂を、試験用平面板の上で軽くたたき、1~3秒後に試料を取り除く。
判定	試料除去1~2秒後に板上に水分が存在しなくなったとき。



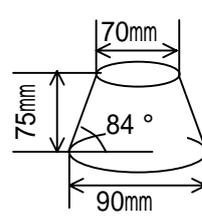
直立コーン 1



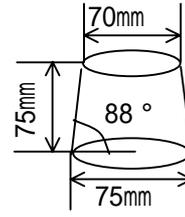
直立コーン 2



直立コーン 3



84 コーン



88 コーン

図-2 形状を変化させた表乾判定用コーン概要

はほとんど見られず，コーンの高さを変えた直立コーン2と3の試験結果からは，コーンの高さを高くすると吸水率が大きく判定されるという結果が得られた。また，骨材の自立角が表乾判定に及ぼす影響については，自立角が90°に近づくほど，判定される吸水率の値が大きくなるという結果となった。

次に，判定された吸水率の値を JIS 法あるいは仮表面テストと比較してみると，JIS 法による結果は，他のいずれの方法よりも明らかに小さな値を示した。また，仮表面テストで判定された吸水率は，シラス B においては直立コーン1および2が比較的近い値となっていた。しかし，シラス C においては直立コーン2で判定された吸水率は，仮表面テストに比べ非常に大きな値となり，結果的には直立コーン1の結果と仮表面テストの結果が最も近いと判断された。

また，それぞれの表乾判定用コーンについて

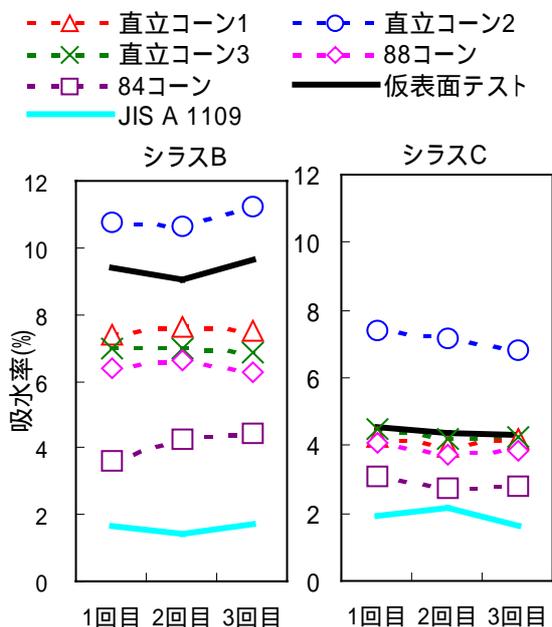


図-3 表乾判定用コーンを用いた表乾判定試験により得られた吸水率

表-4 コーンおよび ASTM 仮表面テストにより判定された吸水率

種類	川砂	シラスB	シラスC
	吸水率(%)		
コーン	2.05 ¹	7.53 ²	4.13 ²
ASTM仮表面テスト	2.25	9.62	4.39

1 JIS A 1109 による判定結果

2 直立コーン1による判定結果

行った，3回の表乾判定試験の結果には大きなばらつきは認められず，いずれのコーン形状であっても十分な再現性を有することが確認された。以上のことから，シラスのような粒形が悪く，微粒分を多く含むような低品質骨材に対しては，内部摩擦角等の影響を考慮し，従来のコーンより自立角や寸法を変えることにより適切な表乾判定が可能になると考えられた。

表-4に今回のコーンを用いた表乾判定試験結果より，試料の吸水率として適切と考えられる値を仮表面テストの試験結果と比較して示した。

4. 赤外線による表乾判定試験

4.1 試験方法

赤外線による表乾判定試験方法に使用した赤外線装置の仕様を表-5に示す。表における測定方式の2波長とは，水に吸収されやすい波長(1.46μm)とされにくい波長(1.6μm)を意味する。

表-5 赤外線装置の仕様

測定方式	赤外線反射形2波長方式
測定距離	50mm
使用温度範囲	0~50

試験概要を図-4に示す。図における実線の赤外線は，照射された赤外線，破線は，試料にぶつかり反射された赤外線を示す。また，太線の赤外線は，水に吸収されにくい赤外線を示し，細線は水に吸収されやすい赤外線を示す。

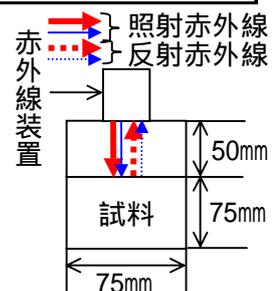


図-4 赤外線による表乾判定試験概要

試験は，骨材試料を乾燥させながら適時，その一部をコーンに1層25回で突き詰め，試料上面50mmの距離から2種類の赤外線を同量同時に照射し，それぞれの赤外線の反射量を測定し，式(1)により，2つの赤外線の反射量比を算出

する。その後、コーンに詰めた試料は炉に入れて絶乾にさせ、式(2)によりその試料の含水率 Z_i (%) を算出する。

$$I_d = I_{wn} / I_{wy} \quad \dots(1)$$

ここで、 I_d ; 赤外線反射量比(V)

I_{wn} ; 水に吸収されにくい波長の赤外線の反射量

I_{wy} ; 水に吸収されやすい波長の赤外線の反射量

$$Z_i = \{(m - m_d) / m_d\} \times 100 \quad \dots(2)$$

ここで、 Z_i ; 含水率(%)

m ; 試験試料質量 (g)

m_d ; 試験試料絶乾質量 (g)

残った試料はさらに乾燥させながら、上記の試験を繰り返し、含水率 Z_i (%) と赤外線反射量比 I_d (V) の関係を図にプロットし、その関係の変化の状況から表乾状態を判定するものである。

4.2 赤外線による表乾判定試験結果

本検討においては、再現性の確認を行うため、同一の試料において赤外線による表乾判定試験を2回行った。図-5に、それぞれの試料における含水率と赤外線反射量比の関係を示す。

この結果、川砂およびシラスCの場合には両者の関係は、赤外線反射量比に最小値を有する、下に凸の関係を示した。一方、シラスAおよびBにおいては、高含水率で右肩上がり、低含水率ではほぼ一定となる結果となった。

本試験方法の原理では、高含水率においては水に吸収されやすい波長の赤外線が骨材表面に付着している水に吸収されるため、含水率が高くなると式(1)で算出される赤外線反射量比は大きくなる。しかし、表乾状態よりも乾燥すると骨材表面に水がないため、水に吸収されやすい波長の赤外線は水に吸収されなくなり、赤外線反射量比は一定になると考えられる。

図-5の結果より、シラスAおよびBの結果は、この赤外線の原理と一致するものであった。したがって、赤外線反射量比が一定となる点、すなわち図中の高含水率および低含水率それぞれの範囲における近似直線の交点が表乾状態と判定できる。一方、川砂およびシラスCにおい

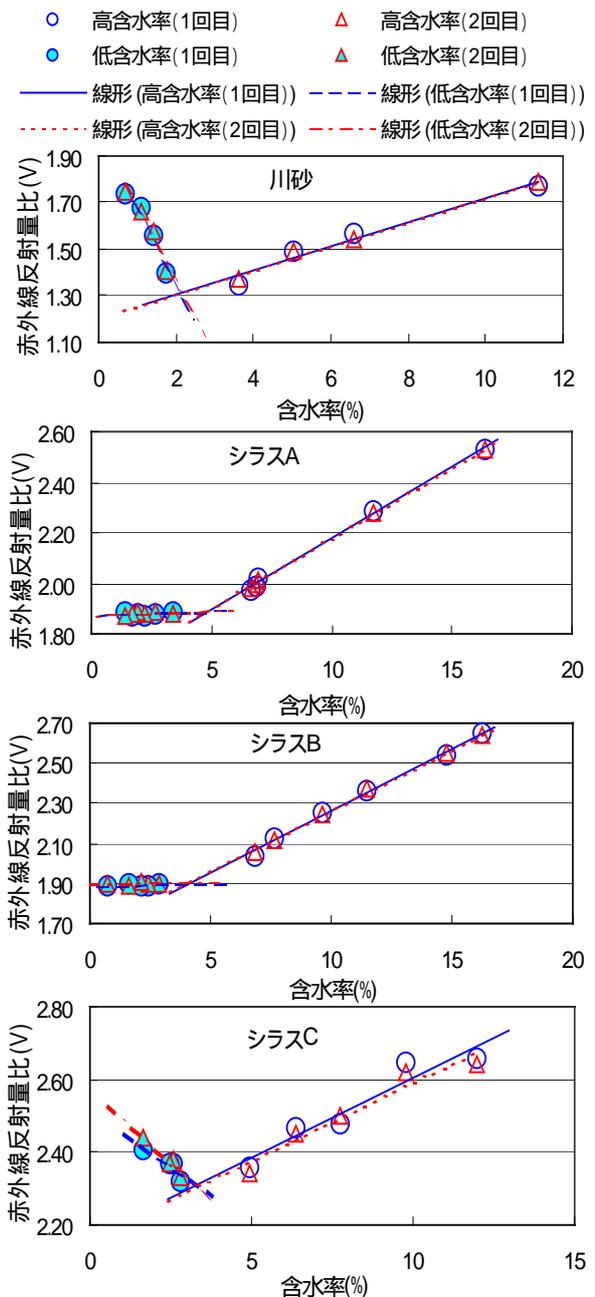


図-5 含水率と赤外線反射量比の関係

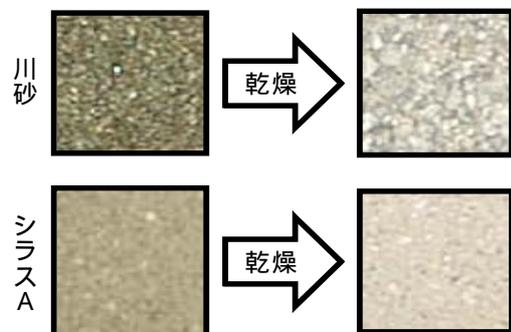


図-6 骨材の含水率による色の变化

ては、低含水率において左肩上がりとなり、かえって含水率の低下に伴って赤外線反射量比が

増加する傾向にあった。この原因については、表乾状態以降の乾燥過程における骨材の色の変化の影響が考えられた。図-6に、川砂およびシラスAの含水状態の変化に伴う色の変化を比較して示す。

図より、シラスAにおいては、含水状態の変化に伴う骨材の色の変化はそれほど大きくないが、川砂においては骨材の色が黒色から灰色へと大きく変化した。したがって、黒色に吸収されていた水に吸収されにくい赤外線の一部が、灰色には吸収されず、結果として赤外線反射量比を高めた可能性がある。ただし、この状況においても、前述の場合と同様に、高含水率および低含水率それぞれの領域の含水率と赤外線反射量比の関係を直線近似し、その交点を表乾状態と判定することには、支障はないものと思われる。

以上のことから、高含水率および低含水率における近似直線の交点を表乾状態として算出した吸水率を表-6に示す。

表-6 赤外線による表乾判定結果

種類	吸水率(%)		
	1回目	2回目	平均
川砂	2.10	2.14	2.12
シラスA	4.90	4.89	4.90
シラスB	4.14	4.12	4.13
シラスC	3.27	3.29	3.28

なお、本測定方法ではいずれの試料においても吸水率試験の条件である2回の測定結果の差が0.05%以内でなければならないという条件を満足していた。

5. 電気抵抗法による表乾判定試験

5.1 試験方法

電気抵抗法による表乾判定試験は、既往の研究結果に基づいて実施した³⁾。

試験概要を図-7に示す。

試験にあたっては、まず、吸水率判定用の試料を用意し、これを上記の赤外線による試験と同様に徐々に乾燥させながら適時、電気抵抗の

測定を行った。

電気抵抗の測定にあたっては、300gの試料を測定容器に3層15回で突き詰め、銅板電極を介して、アナログテスターによ

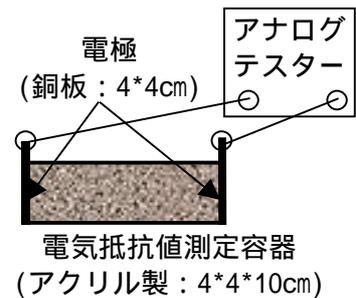


図-7 電気抵抗法試験概要

り試料の電気抵抗を測定した。なお、容器に詰めの際、あらかじめ試料に電解質としてNaClを5g添加し、1分攪拌、3分静置した状態の試料を再度攪拌して用いた。

5.2 電気抵抗法による表乾判定試験結果

図-8に試料の電気抵抗の対数値と含水率(式(2)により算出)の関係の一例を示す。なお、図中の×マークは、試料の含水率が低下しすぎたことにより電気抵抗が測定できなくなったことを示す。

川砂においては、図-8の上図に示すように高含水率と低含水率、それぞれの領域で電気抵抗と含水率の関係に明確な差が見られた。このため、それぞれの領域における両者の関係を直線

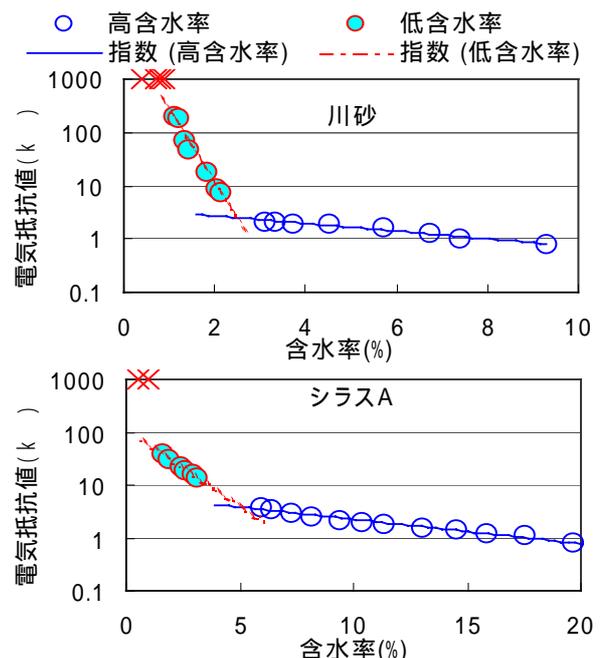


図-8 電気抵抗値と含水率の関係 (上図; 川砂, 下図; シラスA)

近似し、その交点を表乾状態と判定した。なお、シラスCにおいても川砂と同様の傾向が見られた。一方、シラスAにおいては、図-8の下図に示すように川砂に比べて低含水率における電気抵抗値が低いため縦軸を対数メモリでとると、高含水率と低含水率における差が多少見分けにくくなったが、このことが吸水率の判定に影響を及ぼすほどではなかったため、同様に表乾状態の判定を行った。なお、シラスBにおいてもシラスAと同様の傾向が見られた。

表-7 に電気抵抗法によって得られた各試料の吸水率をとりまとめて示す。表乾判定を電気抵抗法で行った場合の吸水率の値は、シラスについては、赤外線によって得られた吸水率とほぼ等しくなったが、川砂においては、JIS A 1109によって判定された方法や赤外線を用いた方法よりも0.5%程度大きな値となった。

表-7 電気抵抗法により得られた吸水率

試料	川砂	シラスA	シラスB	シラスC
吸水率(%)	2.53	5.03	4.19	3.12

6. まとめ

低品質骨材等においても表乾判定が可能な、JIS A 1109 に替わる新たな表乾判定試験方法について検討を行った。今回検討を行ったそれぞれの試験方法による表乾判定結果をもとに得られた各試料の吸水率を図-9に示す。この結果からも明らかなように、川砂においては、仮表面テストも含め赤外線法および電気抵抗法ともJIS A 1109 とほぼ同程度の結果が得られることが確認された。一方、低品質骨材の例として検討対象としたシラスにおいては、仮表面テストおよび直立コーンによって判定された表乾と、赤外線および電気抵抗法によって判定された表乾状態とが異なる結果が得られた。これについては、次のように考えられる。すなわち、シラスのようなポーラスな骨材の場合、粒子表面に開口を持つ空隙が存在するが、赤外線法あるいは電気抵抗法では、これらの空隙中の水につい

ても表面水と判定するものと考えられる。これに対して、コーン法あるいは仮表面テスト法では、この空隙水を表面水とは判定しないために、このような差が生じたのではないと思われる。

ただし、同時に行った目視観察の結果では、赤外線法および電気抵抗法によって判定された表乾状態は、やや乾きすぎの状態であるとみられる状況も確認しており、いずれの状態を表乾状態として定義するかについては、さらに検討が必要である。

参考文献

- 1) 竹内一真ほか：高吸水率で微粒分を多く含む低品質骨材の表乾状態判定方法に関する基礎的研究，土木学会第57回年次学術講演会概要集，V-426，pp851-852，2002.9
- 2) 竹内一真ほか：しらすの細骨材としての特性とその評価に関する基礎的検討，土木学会第56回年次学術講演会概要集，V-172，pp344-345，2001.10
- 3) 上野敦ほか：細骨材の表乾燥状態判定方法に関する基礎的検討，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.18，1，pp.423-428，1996.6

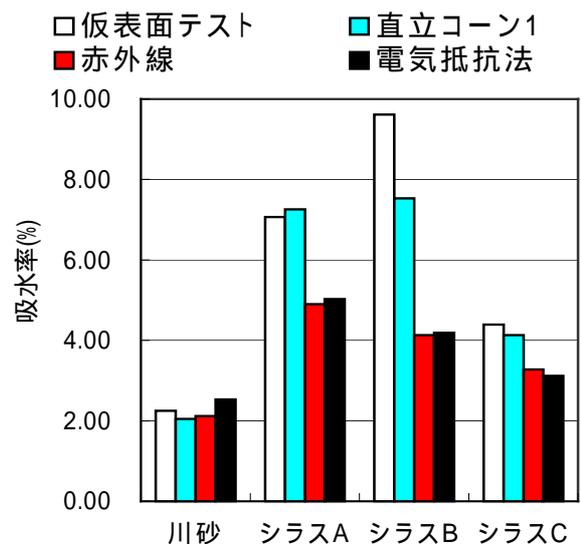


図-9 各種判定方法において判定された吸水率

- 1) ただし、川砂における直立コーン1の結果は、JIS A 1109によって判定されたものである。
- 2) シラスAにおける直立コーン1およびASTM仮表面テストで判定された吸水率は、参考文献1)において判定された吸水率を引用した