報告　細骨材の表面水率自動測定装置の測定精度向上と社内標準化

福岡　康弘[*1]・新居　宏美[*2]・古田　満広[*3]・橋本　親典[*4]

要旨：生コンは使用材料を質量で計量し一定時間練混ぜ，製品化するのが基本である。すべての材料を配合設計どおりに計量することができればよいが，骨材に水分が付着しているため，その補正が必要になる。特に細骨材には通常数%から 10%の表面水が付着している。そのため，1 日に複数回の測定を行うが，変動が大きいと測定回数も多くなる。そこで，表面水率自動測定装置の精度を検証し実用化に向けて検討した。その結果，JIS A 1111[1)]による測定値に対し±0.7%の範囲で測定できることが確認できた。また，これまでのデータおよび製造に関する社内規定を整理することにより社内標準化を実現することができた。

キーワード：骨材の表面水率，表面水率自動測定装置，検量線，社内標準化，生産性向上，労働環境改善

1. はじめに

近年，人口減少および高齢化に伴い若年層の労働者不足が懸念され，労働環境の改善，あるいは女性が活躍できる環境づくり等が推進されている。特に建設業界ではそのことに対する問題意識が強く，2015 年には国土交通省において i-Construction（アイ・コンストラクション）委員会が設置され，「ICT の全面的な活用（ICT 土工）」等の施策を建設現場に導入することにより建設生産システム全体の生産性向上を目的に取り組んでいる。生コンに関してはスランプ 8cm から 12cm への変更および納入書の電子化等については検討されている。しかしながら，生コンの製造，あるいは品質管理のシステム改善については主要なテーマとして取り組まれていないと考えられる。本報告では，生産者の立場から対応可能な範囲で実行できる方策について検討することとした。

1990 年台には，生コンの製造関連の生産性向上技術としては練混ぜミキサのバッチ毎自動洗浄装置が，試験方法ではコンクリートの圧縮強度試験において端面処理が不要になるアンボンドキャッピング等が開発され，一部普及している。また，細骨材の表面水率を計量中に自動測定する装置が開発されている [2)]。

生コンの品質管理規定である JIS Q 1011[3)]によると，細骨材の表面水率試験方法は，普通骨材の場合 JIS A 1111，JIS A 1125，JIS A 1802，または連続測定が可能な簡易試験方法によると規定されている。また，測定頻度は普通コンクリートの場合，午前と午後にそれぞれ 1 回以上と規定され，表面水率の変動が少ない場合でも 2 回以上の測定が要求されている。一般的な試験方法である JIS A 1111 だと，最初に試料をサンプリングしなければならない。また，通常はプラントの計量室（4 階）において計量中にサンプリングすることになる。細骨材の表面水率の変動が大きければ測定回数も適宜増加することになり，1 日に 5 回以上の測定が必要な場合も散見される。

1 日 5 回以上の測定の場合，表面水率が大きく変動しても変動前の測定値を操作盤に設定しているので，早急な対応ができず，製品の品質の適切性を確保できないことが想定される。さらに，プラント 4 階までの往復は重労働であり，落下等の危険も考えられる。

著者が所属する香川県生コンクリート工業組合技術委員会では，細骨材の表面水率自動測定装置の有効利用を目的として，装置の精度向上ならびに社内標準化を重点課題として取り組むこととした。

2. 現状調査

2.1 測定時間

試験方法を JIS A 1111，細骨材の種類を 2 種類とし表面水率測定に要する時間を確認した。

・計量室までの往復：7 分
・サンプリング（2 種類）：2 分
・試料および水の計量（2 種類×2 回）：4 分
・表面水率測定（2 種類×2 回）：4 分
・後片付け：3 分

1 回の表面水率測定には最短でも 20 分要することになり，その間に生コンを製造している場合はリアルタイムに対応できていないことになる。

2.2 自動測定装置の設置および活用状況

2016 年度全国統一品質管理監査結果によると，受審した 2,564 工場（2 プラントを有している工場があるので 2,620 プラント）のうち，表面水率自動測定装置（以下，「水分計」という。）を設置しているのは 935 プラント

*1 讃和生コンクリート(株)　工務課長　(正会員)
*2 香川県生コンクリート工業組合　技術課長　(正会員)
*3 香川県生コンクリート工業組合　専務理事　(正会員)
*4 徳島大学　大学院社会産業理工学研究部　教授　工博　(正会員)

であり，このうち工程管理に反映させているのは 207 プラントと約 8%である [4]。また，香川県における監査結果では，29 工場中 6 工場が設置しているが，反映させているのは 1 工場と極めて少ない。その主な理由を確認した結果，JIS の試験方法による測定値と大きく異なることがある，また，水分計を校正し測定精度を向上させるには多くのデータが必要になるため，参考として活用しているとの回答が得られた。

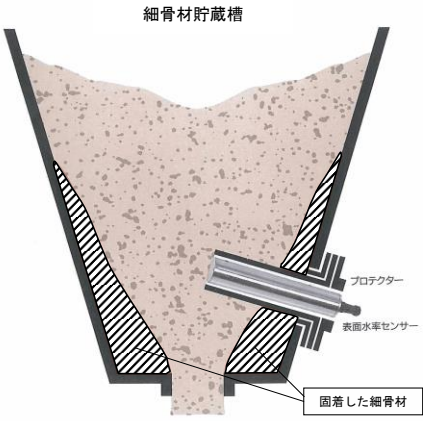
3. 工場の選定と水分計による測定値の検証

前述の工程管理に反映させていない 5 工場のうち 1 工場（以下，「A 工場」という。）を選定し，社内標準化に取り組むこととした。

3.1 水分計の概要

A 工場では砕砂と海砂の 2 種類の細骨材を使用しており，それぞれ 1 基ずつ水分計が設置されている。設置状況を**写真－１**および**図－１**に示す。測定原理はマイクロ波によるセンサーを利用したものであり，プラント 4 階の貯蔵槽の放出口上約 600mm の位置に取り付けられている。また，計量開始後約 2 秒で電子信号を操作盤に送信し，独自に設定した検量線により感知したセンサー電圧を表面水率に変換・表示するシステムになっている。

写真－１　水分計の設置状況

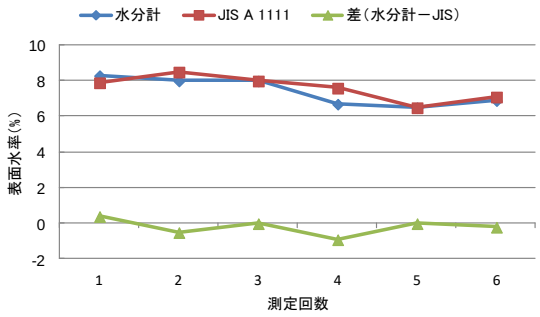


図－１　貯蔵槽の概要および水分計の設置状況

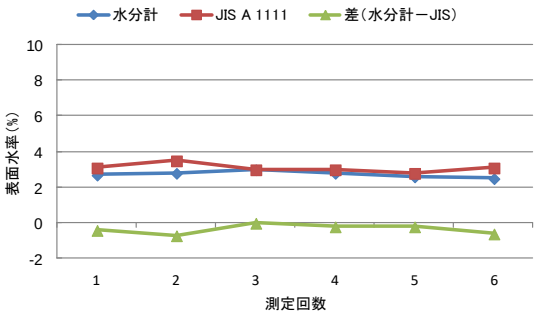
3.2 水分計の測定精度の検証

現在，水分計による表面水率測定値を参考とし，十分な活用がなされていない A 工場の製造 1 日分において，水分計による表面水率と JIS A 1111 により得られた表面水率を比較し，現状における測定精度を検証した。なお，JIS 法による測定数は 6 回とし，測定間隔は 1～2 時間とした。また，水分計で感知した細骨材とほぼ同じ試料とするため，計量開始後 2 秒後にサンプリングを行った。砕砂と海砂の結果を**図－２**および**図－３**に示す。

砕砂および海砂ともに水分計による表面水率は JIS 法と比べ，小さい傾向である。しかしながら，両者の差は±1%以内であり，水分計の校正を繰り返し行うことで更なる精度向上が可能であると考えられる。



図－２　水分計と JIS 法の比較（砕砂）



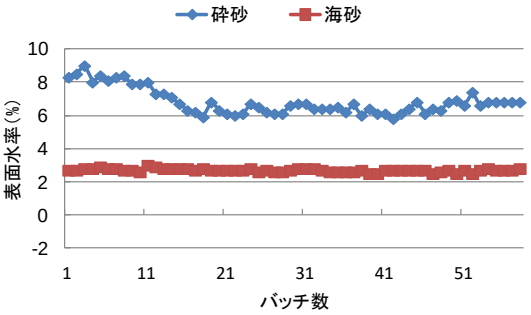
図－３　水分計と JIS 法の比較（海砂）

3.3 表面水率の日内変動の検証

前述の比較試験実施日において製造した 58 バッチの水分計による表面水率の推移を**図－４**に示す。なお，総製造量は 90.6m^3 であり，1 バッチあたりの平均練混ぜ量は 1.56 m^3 であった。

砕砂は最大値が 9.0%，最小値が 5.8%，平均値は 6.8%であった。一方，海砂は最大値が 3.0%，最小値が 2.5%，平均値は 2.7%であった。前述したとおり JIS 認証工場においては JIS 法により 1 日に 2 回以上の測定が義務付けられているが，今回測定した表面水率の日内変動から海砂では午前 1 回，午後 1 回の測定でも生コンの品質は確

保できると考えられるが，砕砂では困難であるといえ，3～5 回程度の測定が必要と考えられる。

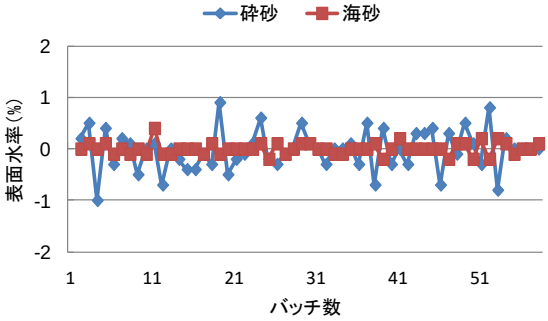


図－４　表面水率の日内変動

3.4 表面水率のバッチ間変動の検証

A 工場の水分計による表面水率は次バッチに反映されるのでバッチ間の変動が大きければ，品質管理上問題になることが想定される。前述の 58 バッチについて前バッチと現バッチとの表面水率の差を求め**図－５**に示す。

海砂は安定しており，変動はほとんどが 0.2%の範囲内である。一方，砕砂は 1%前後変動したのが数バッチ認められる。しかし，海砂との併用によりその影響は半減され，また数バッチの生コンを 1 台のミキサ車に積み込むことから品質変動の影響はさらに小さくなると考えられ，品質保証の観点から許容される範囲であると考える。



図－５　表面水率のバッチ間変動

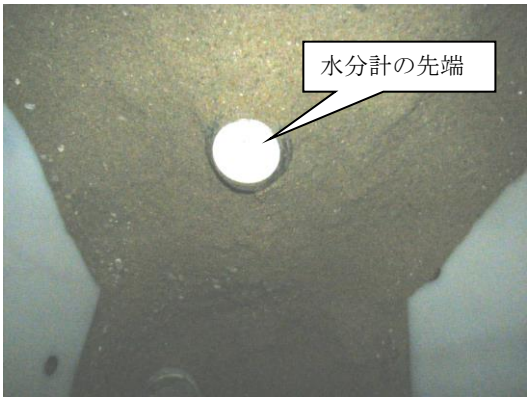
4. 社内標準化への取組み

以下の項目について取り組み，社内標準化について検討した。

・水分計の清掃
・検量線の見直し（キャリブレーション）
・コンクリート試験

4.1 水分計の清掃

細骨材には微粒分および表面水が含まれており，また貯蔵槽の下部では，最大時に貯蔵量 20t の細骨材の圧力を受けることになり水分計および貯蔵槽側壁に付着することが避けられない。付着物による感知度合いへの影響は未検証であるが，センサー付近に付着すると正確な測定データが得られなくなると考え，清掃することから始めた。側壁および水分計に多量の細骨材が付着している状況を**写真－２**に，側壁への付着分を取り除いた状況を**写真－３**に，取り外し清掃した水分計を**写真－４**に示す。約 10 年間清掃していなかったが，予想を超える付着量であった。また，清掃後には新品のような輝きがあり，海砂の塩分による影響はないことが明らかになった。



写真－２　水分計周辺の付着状況

写真－３　付着物除去状況

写真－４　清掃後の水分計

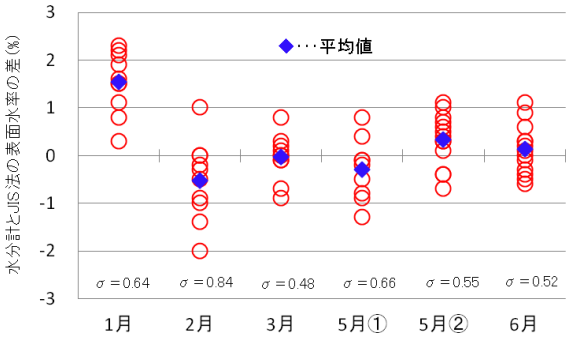
4.2 検量線の作成および見直し

計量中に水分計が感知したセンサー電圧と同時に採取した細骨材の表面水率を JIS 法により測定し，最小二乗法により両者の関係を一次式で求め，検量線を作成した。

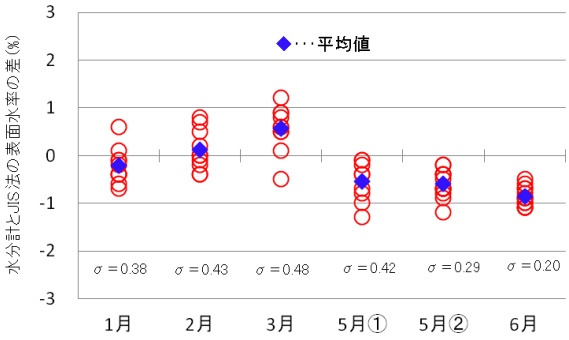
(1) 詳細見直し

前述した方法により 1 か月に 1 回の頻度で製造量 1 日分に対し 10 回前後測定した。なお，4 月は測定ができなかったので 5 月に 2 回実施した。また，本結果および後述する工程管理から得られた値の中から水分計と JIS 法の表面水率が近似するデータを抽出し検量線の見直しに活用した。その結果，一次式の相関係数は，1 月の 10 個だけで作成すると砕砂 0.57453，海砂 0.37887 であるのに対し，1 月の見直し後は砕砂 0.99674，海砂 0.99165 と飛躍的に向上した。さらに，6 月の見直し後でも砕砂が 0.99983，海砂が 0.99995 と強い相関が維持できているといえる。水分計の表面水率から JIS 法による表面水率を差し引いた値を**図－６**および**図－７**に示す。

砕砂は，1 月から 5 月①までは 3 月を除きばらつきが大きく，1 月分は，水分計による表面水率は JIS 法と比べ大きい傾向に偏っている。また，5 月②と 6 月はばらつきが小さくなっていることが分かる。しかし，一部を除き 5 月②は，水分計による表面水率は JIS 法と比べ大きい傾向に，6 月は，水分計による表面水率は JIS 法と比べ小さい傾向に集中しており，傾向に一貫性は認められないが，検量線を調整することにより両者の差を±0.5%以内にすることが可能であると考える。



図－６　詳細比較（砕砂）



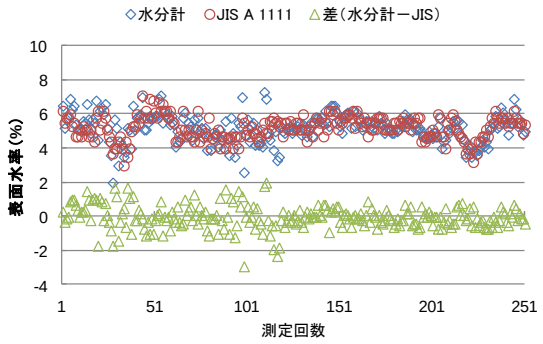
図－７　詳細比較（海砂）

一方，海砂では 1 月と 2 月は中心付近であるが，3 月は，水分計による表面水率は JIS 法と比べ大きい傾向，5 月以降は，水分計による表面水率は JIS 法と比べ小さい傾向であることが分かる。また，6 月ではばらつきが非常に小さくなっており，JIS 法と比べ小さい傾向である水分計の表面水率を，偏りを調整できる補正値を入力することにより海砂についても両者の差の標準偏差から判断し±0.5%以内にすることが可能であると考える。

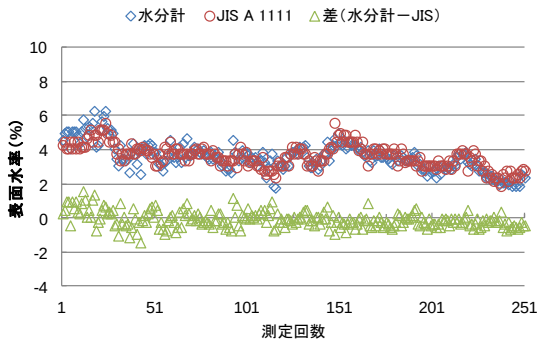
(2) 工程管理による見直し

JIS Q 1011 に規定された工程管理で得られた表面水率測定値 1 週間分を整理し，前述した詳細見直しと同じ手法により検量線の見直しに活用した。4 月中旬から 9 月初旬までの期間に測定した 250 個を整理し，**図－８**および**図－９**に示す。

両細骨材とも 120 回目前後から水分計と JIS 法の差のばらつきが小さくなっており，±1%以内の精度が保たれていることがわかる。



図－８　工程管理における表面水率（砕砂）



図－９　工程管理における表面水率（海砂）

水分計の測定精度の推移をさらに検証するため 50 個毎にデータを整理した。結果を**表－１**に示す。

また，1～125，126～250 にグループ分けし，分布状況を確認した。結果を**図－10～図－13** に示す。

50 個毎では両細骨材とも水分計と JIS 法の差の標準偏差は小さくなる傾向が認められ，125 個で整理した標準偏差は，両細骨材とも前半に比べ後半ではおおよそ半減している。また，±0.7%以内である確率は砕砂では約

表－１　水分計の測定精度（50 個毎）

ロット	測定回数	データ数	砕 砂		海 砂	
			平 均 値 (%)	標準偏差 (%)	平 均 値 (%)	標準偏差 (%)
No.1	1～ 50	50	0.17	0.86	0.23	0.66
No.2	51～100	50	0.01	0.81	-0.05	0.46
No.3	101～150	50	-0.06	0.76	0.04	0.38
No.4	151～200	50	-0.07	0.38	-0.17	0.33
No.5	201～250	50	-0.10	0.43	-0.24	0.25
全体	1～250	250	-0.01	0.68	-0.04	0.47

62%（77/125）から約 98%（122/125）に，海砂では約 82%（103/125）から約 98%（122/125）に向上しており，検量線見直しの効果が認められる。

4.3 コンクリート試験

検量線を繰り返し見直したことにより水分計の測定精度が確保できたと評価し，水分計による表面水率を操作盤に連結して 1 m^3 ずつ練混ぜ，コンクリートの品質を検証した。また，計量中に細骨材を採取し JIS A 1111 により表面水率を測定し，水分計の測定値と比較した。

(1) コンクリートの配合

コンクリートの配合は A 工場で汎用されている標準配合とした。配合を**表－２**に示す。粗骨材の最大寸法は 20mm とし，普通ポルトランドセメントを使用したコンクリートでは，水セメント比 60%でスランプ 8cm と 12cm，55%で 15cm，50%で 18cm の 4 配合とした。また，高炉セメント B 種を使用したコンクリートでは，水セメント比 60%でスランプ 8cm，55%で 12cm，50%で 15cm の 3 配合とした。

表－２　コンクリートの配合

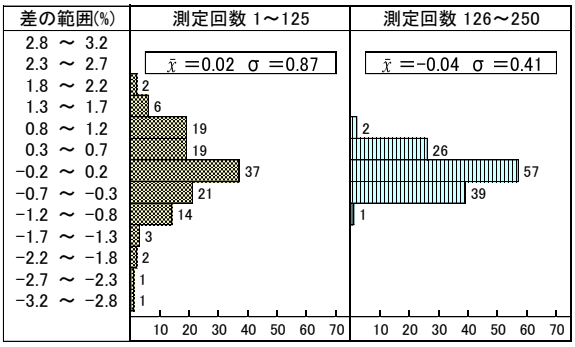
記号	W/C (%)	スランプ (cm)	s/a (%)	単位容積質量（kg/m^3）					
				N 又は BB	W	S1 (砕砂)	S2 (海砂)	G	AE 減水剤
60-8 N	60	8	48.2	265	159	533	354	970	2.38
60-12 N	60	12	48.9	279	167	531	353	939	2.51
55-15 N	55	15	48.5	315	173	514	342	923	2.84
50-18 N	50	18	47.4	358	179	488	324	915	3.22
60-8 BB	60	8	47.0	260	156	521	346	994	2.34
55-12 BB	55	12	47.1	299	164	507	336	963	2.69
50-15 BB	50	15	47.0	340	170	491	326	939	3.06

(2) 検証結果

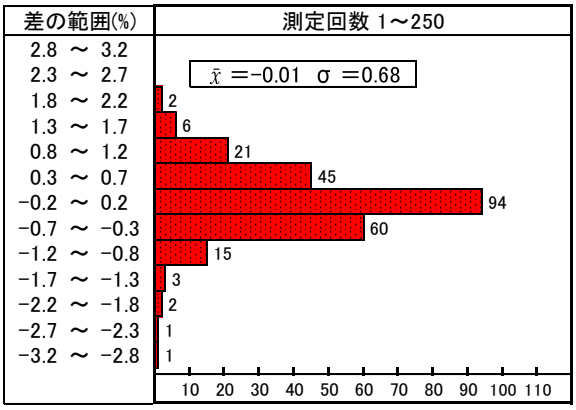
表面水率の測定結果を**図－14** におよび**図－15** に示す。また，フレッシュコンクリートの試験結果を**表－３**に示す。

砕砂，海砂ともに，水分計と JIS 法の差は±0.7%以内であり，水分計の測定精度は維持できていると評価できた。

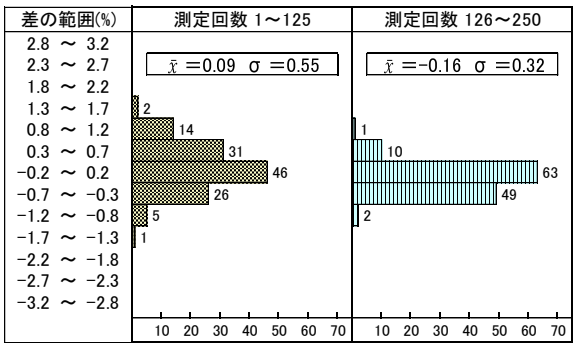
スランプに関しては，普通ポルトランドセメント使用コンクリートは，目標値に対して実測値は大きい傾向，高炉セメント B 種セメント使用のコンクリートは，目標値に対して実測値は小さい傾向が認められた。しかしながら，目標値に対し±1.5cm 以内であった。



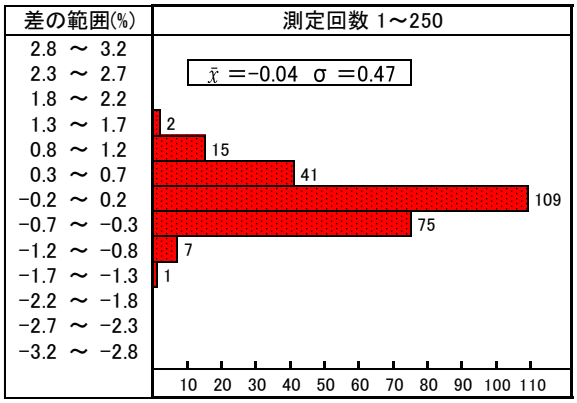
図－10　水分計と JIS 法の差の分布①（砕砂）



図－11　水分計と JIS 法の差の分布②（砕砂）



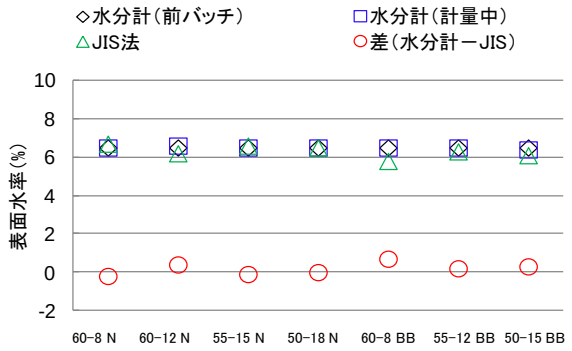
図－12　水分計と JIS 法の差の分布③（海砂）



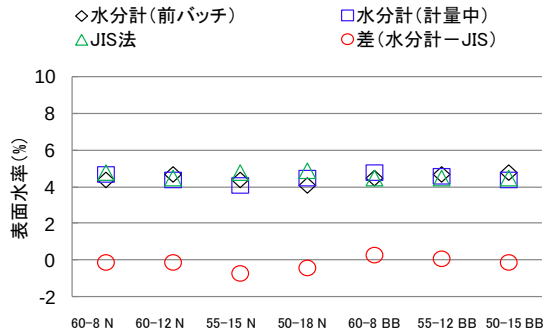
図－13　水分計と JIS 法の差の分布④（海砂）

空気量に関しては，普通ポルトランドセメント使用コンクリートは，目標値に対して実測値は大きい傾向，高炉セメントB種使用のコンクリートは，目標値に対して実測値は小さい傾向が認められた。しかしながら，目標値に対し±1.5%以内であった。スランプ，空気量ともに，同様な傾向を示した。

以上の結果から，細骨材の表面水率自動測定装置の標準化が可能であると評価できる。



図－14　表面水率測定結果①（砕砂）



図－15　表面水率測定結果②（海砂）

表－3　フレッシュコンクリートの試験結果

配　合	フレッシュコンクリートの試験結果				
	採取時間	外気温（℃）	コンクリート温度（℃）	スランプ（cm）	空気量（%）
60-8 N	10:00	14.0	18.1	9.5	4.8
60-12 N	10:25	17.8	18.5	12.5	5.3
55-15 N	11:00	17.1	19.1	16.5	4.7
50-18 N	11:40	17.7	19.8	18.5	4.2
60-8 BB	13:45	19.9	19.3	7.5	3.8
55-12 BB	14:20	20.1	19.9	11.0	3.6
50-15 BB	14:50	20.5	20.1	14.0	4.0

5. まとめ

細骨材の表面水率自動測定装置の社内標準化に向け約1年間活動し，以下の結論が得られた。

(1) 細骨材を2種類混合して使用している場合，JIS法による表面水率測定に約20分の時間を要する。

(2) 細骨材が付着するため細骨材の表面水率自動測定装置を定期的に清掃する必要がある。

(3) 検証した範囲での表面水率のバッチ間変動は小さく，前バッチの表面水率を採用する細骨材の表面水率自動測定装置を使用してもコンクリートの品質への影響は小さい。

(4) 水分計のセンサー電圧と同時にJIS法によって計測した表面水率の関係から求めた検量線の見直しを行った結果，約98%がJIS法に比べ±0.7%以内となり細骨材の表面水率自動測定装置の測定精度が向上した。

(5) 社内標準化に伴い社内規格を以下のとおり改正する。

・工程管理基準において，JIS法による表面水率測定を削除し，細骨材の表面水率自動測定装置による表面水率で管理することを追記する。

・製造設備管理基準において，細骨材の表面水率自動測定装置のキャリブレーションおよび清掃の実施を新たに規定する。なお，その頻度は，直近の検量線見直し以降数か月が経過した現在でも水分計とJIS法の表面水率の差が安定していることから，暫定的に 3か月に1回とする。

最後に，細骨材の表面水率自動測定装置を社内標準化により有効活用することは生産性の向上，労働環境の改善，製品品質の安定化等に繋がると考えられ，本報告が参考になり，今後同様な取組みが拡大することを期待します。

謝辞：本実験は，JCI四国支部の「四国の生コン技術力活性化委員会【第3期】」の活動として実施した。委員の皆様，および多大な応援をして頂いた香川県生コンクリート工業組合の組合員工場の皆様に深甚の謝意を表します。

参考文献

1) 日本規格協会：JIS A 1111，細骨材の表面水率試験方法，2015

2) 全国生コンクリート工業組合連合会：生コン工場品質管理ガイドブック第5次改訂版，pp.37-38，2008

3) 日本規格協会：JIS Q 1011，適合性評価－日本工業規格への適合性の認証－分野別認証指針（レディーミクストコンクリート），2014

4) 全国生コンクリート品質管理監査会議：平成28年度全国統一品質管理監査結果報告書，p.14，2017.3