

碎砂の表乾状態調整の個人差が単位水量迅速測定結果に及ぼす影響

平成19年1月

全国生コンクリート工業組合連合会

東海地区本部 技術委員会

目 次

1. はじめに	-----	1
2. 共同試験の実施方法および実施数	-----	1
3. 試料の微粒分量	-----	2
4. 表乾調整の方法	-----	2
5. 試験結果とその考察	-----	2
5.1 吸水率に関して	-----	3
5.2 密度に関して	-----	5
6. 遠心脱水方法による吸水率との関係	-----	5
7. まとめ	-----	6
砕砂の共通試験実施グループメンバー	-----	7

砕砂の表乾状態調整の個人差が単位水量迅速測定結果に及ぼす影響

要旨：単位水量の迅速測定方法のうち生コン工場で多用されている高周波加熱法および単位容積質量法において、単位水量算出の際に基準とされる、骨材の吸水率や密度の測定に正確性が問われるが、その測定において粒形が稜角に富み微粒分量の多い砕砂あつては、表面乾燥飽水状態の判定に個人差が生じやすく、吸水率や密度の測定における不確かさが大きくなる結果を招いている。

そこで東海地区 4 県下の 8 試料の砕砂を対象に、4 通りの表面乾燥飽水状態の調整方法による共通試験を実施し、個人差を求め方法間の比較を行った。その結果、吸水率や密度において個人差が大きいことと、砕砂によっては個人差に大幅な差が生じ、単位水量の迅速測定結果に大きな影響を及ぼすことが判明した。

また、上記 4 通りの表面乾燥飽水状態の調整方法以外にも JIS A 1802 コンクリートの生産工程管理用試験方法（遠心力による細骨材の表面水率試験方法）があるが、本共同試験と平行して実施してみたところ、現規格のままでは砕砂の表面乾燥飽水状態の調整方法として適正でないことも分かった。

キーワード：表面乾燥飽水状態、吸水率、密度、砕砂、個人差、不確かさ、単位水量迅速測定

1. はじめに

最近では、工場における工程管理や荷卸箇所における検査で、単位水量の迅速測定方法が用いられるケースが多くなっている。この単位水量の迅速測定方法のうち、生コン工場で多用されている高周波加熱法（以下、電子レンジ法）および単位容積質量法（以下、エアメータ法）においては、単位水量算出の際に基準とされる、骨材の吸水率や密度の測定精度が問われるところから、愛知工組の技術委員会において県内の工場で使用する細骨材のうち、石質が同一と見られる 26 試料の細骨材について、産地別の吸水率や密度に関する共通試験を実施した。その結果、砕砂によっては表面乾燥飽水状態（以下、表乾状態という）の判定に個人差が生じやすく、吸水率や密度の測定における不確かさが大きくなる傾向が認められた。そこで表乾状態への調整（以下、表乾調整）における個人差の実態を把握するために、東海四県下の共同試験所および生コン工場の協力を得て、同一試料に対し 12 名での表乾調整による個人差を求める共同試験を実施した。

なお、共同試験の付加的なものとして、砕砂ごとの吸水率と遠心脱水の含水率との関係を示した。

2. 共同試験の実施方法および実施数

- (1) 試料：**表-1**に示したように、愛知・三重・岐阜・静岡の四県下で製造される砕砂のうち、各県産当たりそれぞれ微粒分量の多いものと、少ないものとの 2 試料の合計 8 試料を対象とした。
- (2) 試験の場所：**表-2**の通り共同試験所または、生コン工場の試験室にて実施した。
- (3) 試験の方法：**表-3**示すように 4 通りの方法により比較を行った。
- (4) 1 セット中の表乾調整は、4 試験方法×8 試料の合計 32 回分を同一者が行なった。なお、共同試験所のない愛知工組のみは、セット内の砕砂を 17 ヶ所の工場試験室に分散させたが、1 セット内の 4 通り分の表乾調整は、全て同一者が実施工場の試験室に巡回移動して行った。
- (5) 各工組とも砕砂の 8 試料につき、セットごとに表乾調整者を変えて 3 セット分の試験を実施した。
- (6) 全試験回数は**図-1**に示すように、試料数(8)×実施工組数(4)×1 試料当りの繰り返しセット数(3)×試験方法(4)=384 回。1 回の試験は 2 個の測定数値の平均値であらわされたので、全測定数は 768 になった。

表-1 試料の区分および記号

産地	サンプルの記号	微粒分 (%)	
		12ヶ平均	標準偏差
愛知	A-1	13.4	1.7
	A-2	3.0	0.23
岐阜	G-1	6.4*	0.35
	G-2	2.9	0.31
三重	M-1	4.4	0.41
	M-2	2.5	0.39
静岡	S-1	4.8	0.38
	S-2	0.6	0.15

*) 10データの平均

表-2 試験の場所

工組名	試験の場所	数
愛知	名古屋支部 (1工場) および1研究所	18
	西三河支部 (8工場)	
	東三河支部 (8工場)	
岐阜	工組: 恵那・中濃試験場	3
	協組: 飛騨試験場	
三重	工組: 松坂・伊勢志摩・尾鷲試験場	3
静岡	静岡県コンクリート技術センター・中部生コンクリート協同組合試験所ほか1工場	3

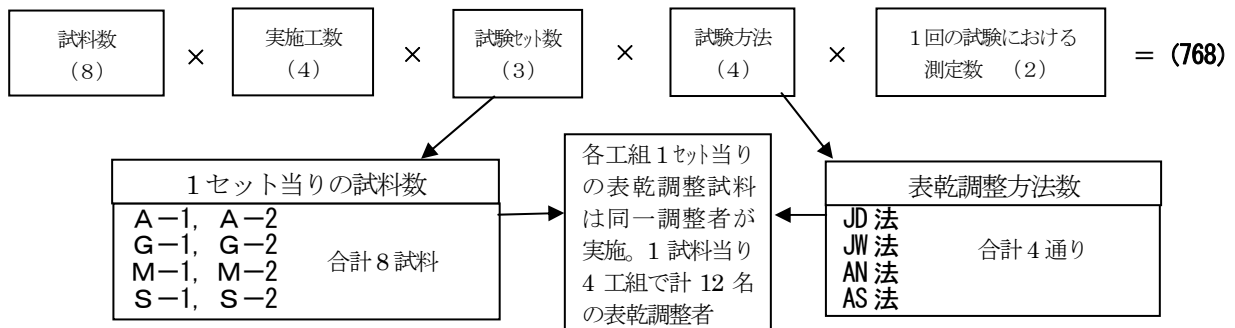


図-1 サンプル数および試験数の内訳

3. 試料の微粒分量

各県ともに微粒分量が多いものと少ないものとの2種類を対象としたが、水洗式(湿式)製の砕砂が大半で、多いものを代表する乾式製の砕砂は1試料しか入手できず、しかも微粒分量が基準値を超えていたが日程の都合もあり試験の対象とした。

試料(砕砂)の微粒分量を表-2に併記した。なお、G-1に関しては平均値からの正規偏差が、3を超える値が12データ中2データあったので集計処理においてはその分を棄却した。また、微粒分量の試験は本共同試験の目的ではないが、標準偏差などからみても大きいと判断され、最大値と最小値の差が1%を超えるデータが8試料中6試料にもおよび、A-1ではその差が4%にも達した。このことから今後において微粒分量試験に関する個人差の低減策を検討すべきと思われる。

4. 表乾調整の方法

表乾調整の方法(以下、表乾調整方法)は表-3に示す4通りの方法を用いた。

5. 試験結果とその考察

試験結果を図-2に示す。この図の表し方において、表乾調整の難易度は微粒分量の多少に影響される可能性が高いと予測されたので、微粒分量の少ないほうから左から右へ順に並べて示した。

なお、G-1の測定値の中に平均値からの偏差が、いずれも正規偏差で3を超える結果が一つあったので、その分をデータ処理の対象外として棄却した。

また、表-5には表乾調整方法ごとの吸水率および密度についての全平均(砕砂ごとの平均値の平均)および標準偏差の全平均(砕砂ごとの標準偏差の平均)を示した。

表一3 試験方法

記号	試験規格	備 考
J D法*)	JIS A 1109	規定通り(非水洗)
J W法*)	JIS A 1109	0.075μふるいで水洗した試料
A N法*)	ASTM C 128-01	8.3の方法 ： 細骨材をモールドの上に溢れるように山盛りに満たした後、モールドの中の細骨材をタンパーの自然落下で25回の締め固めを行なう(注：JIS法のように突き固め前にモールド上面の高さに均さないし、意識的な突き固めをしない)。 各落下は細骨材の上面から、ほぼ5mmの高さよりタンパーの重力による垂直自由落下とする。各落下の都度くぼみを均して細骨材上面の高さを整え(注：新しく細骨材は加えない)、かつ、タンパーの落下位置を上面全体に対し均等に分散させる。
A S法*)	ASTM C 128-01	8.3.1(1)の方法 ： 顕著な稜角に富む粒子あるいは微粒分を多く含む細骨材に適用する。 8.3の方法で10回締め固めた後、次に細骨材を加えて10回、さらに細骨材を加えて3回、最後に同じようにして2回の締め固めをそれぞれ行なう。締め固め後に細骨材の上面をモールド上面に合わせて均す。 このような材料の表乾状態の判定で重要なことは、モールドを動かした場合の上部の1部分のみの僅かなスランプは無視する。

*) 表乾調整用のモールドおよびタンパーはJIS法、ASTM法とも同じ寸法および質量である。

5. 1 吸水率に関して

試料ごとの吸水率の平均値、標準偏差(個人差のみのもの。以下同様)、最大値および最小値を表乾調整方法ごとに示した図一2、および表乾調整方法ごとに集計し示した表一4より以下のことが考察される。

(1) 図一2より

- 1) いずれの表乾調整方法においても吸水率と微粒分量との関係は明確なものではなく、試料すなわち砕砂の違いによる差が大きい。
- 2) 砕砂ごとの、平均値はいずれの表乾調整方法でもほぼ同様の傾向を示していて、G-2、M-1、G-1が大きく、最小値のM-2に比べて吸水率の値が0.8~0.9%ほど大きい。その傾向は調整方法間に大きな差はない。ただし、JW法はM-1、G-1、A-1において他法とはやや異なる値となっている。
- 3) 標準偏差(個人差の)においても、いずれの表乾調整方法の場合でもS-2、M-2で小さく、G-1、G-2で大きく、A-2、M-2、S-1がその中間である。なお、G-2、G-1は最小値のM-2に比べておよそ3倍以上である。また、A-1ではJIS法(JD, JW)とASTM法(AN, AS)とは大幅に異なった値となった。さらに、JW法は他方に比べて、試料によっては大幅に異なる結果が見られる。

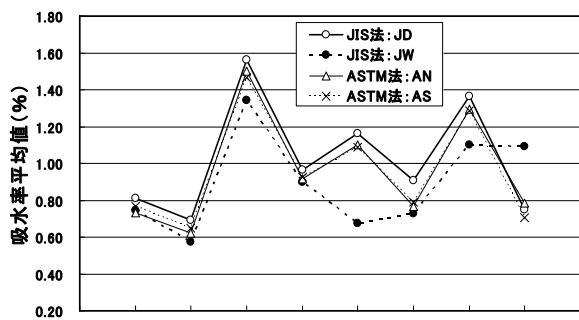
以上のことから、標準偏差(個人差の)は試料の微粒分量にあまり関係なく、砕砂の違いによって大きく差が生じることが伺える。

いずれにしても標準偏差(個人差の)が0.3~0.4%生じているのは、1回の試験における平均値からの許容差(0.05%)に比べて相当に大きな差である。この±2σ分の幅すなわち+2σから-2σまでが生じ得る個人差と考えると非常に大きな値であるといえる。

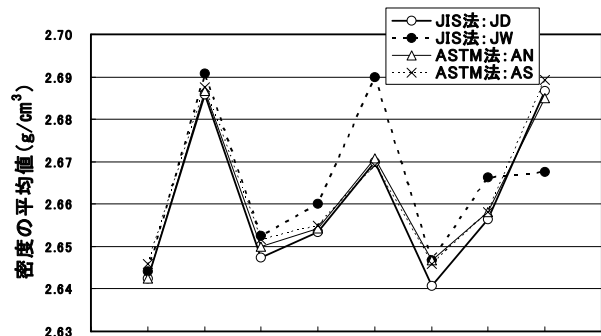
表一4 表乾調整法ごとの集計

(各表乾調整法当り：8試料×12人=96データ)

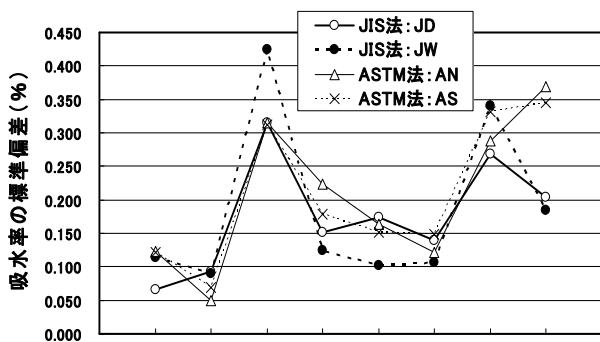
項 目		JD (JIS法)	JW (JIS法)	AN (ASTM法)	AS (ASTM法)
吸 水 率 (%)	平均値	1.027	0.894	0.965	0.960
	標準偏差の平均	0.1760	0.1250	0.2064	0.2071
	同上の2σの値	0.352	0.250	0.413	0.414
	最大値と最小値の差の最大	0.91	1.13	1.00	1.18
密 度 (g/cm ³)	平均値	2.661	2.664	2.663	2.665
	標準偏差の平均	0.0098	0.0125	0.0110	0.0113
	同上の2σの値	0.0196	0.0250	0.0220	0.0226
	最大値と最小値の差の最大	0.05	0.06	0.05	0.05



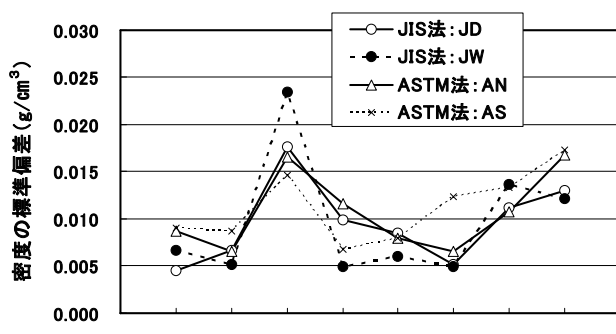
微粒分量(%) 0.6 2.5 29 30 4.4 4.8 6.8 13.4
 サンプル記号 S-2 M-2 G-2 A-2 M-1 S-1 G-1 A-1



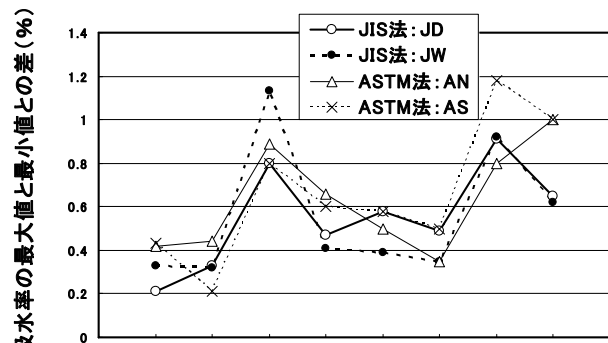
微粒分量(%) 0.6 2.5 29 30 4.4 4.8 6.8 13.4
 サンプル記号 S-2 M-2 G-2 A-2 M-1 S-1 G-1 A-1



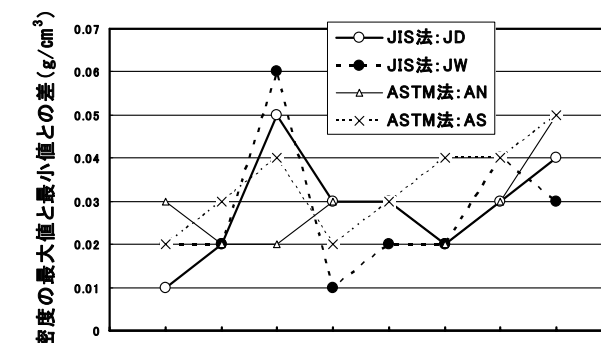
微粒分量(%) 0.6 2.5 29 30 4.4 4.8 6.8 13.4
 サンプル記号 S-2 M-2 G-2 A-2 M-1 S-1 G-1 A-1



微粒分量(%) 0.6 2.5 29 30 4.4 4.8 6.8 13.4
 サンプル記号 S-2 M-2 G-2 A-2 M-1 S-1 G-1 A-1



微粒分量(%) 0.6 2.5 29 30 4.4 4.8 6.8 13.4
 サンプル記号 S-2 M-2 G-2 A-2 M-1 S-1 G-1 A-1



微粒分量(%) 0.6 2.5 29 30 4.4 4.8 6.8 13.4
 サンプル記号 S-2 M-2 G-2 A-2 M-1 S-1 G-1 A-1

図-2 吸水率の結果

図-3 密度の結果

(2) 表-4 より吸水率について

1) 表乾調整方法間の差を全平均値から見ると、JD (JIS法) が最も高く、JW (JIS法) が最も低く、AN・AS (ともに ASTM法) がその中間である。JW法が低いのは洗いにより 75 μm 以下を取り除いた影響と見られ、平均的には吸水率が JD法に比べて 0.133% 低下することになる。

2) 同様に標準偏差(個人差)の全平均値から見ると、JW法がもっとも小さく、JD法はそれよりも 0.05% 高くなる。さらに AN・AS の2方法は JDに比較しても 0.03% 程度高くなる。

以上のことから、個人差の標準偏差を、通常に行われている JD法で見ると、全平均では 0.2% 程度となるが、A-1、G-2 では 0.25~0.3% を超える。また、最大と最小の差の最大値は G-1 で 0.9% になる。こ

れにより電子レンジ法においては、吸水率で±0.2%の差は、単位水量への影響が±2 kg/m³程度と見られるので、吸水率における個人差での最大値0.9%は、単位水量にして9 kg/m³の個人差が生じることになる。

5. 2 密度に関して

試料ごとの密度の平均値、標準偏差(個人差)、最大値および最小値を表乾調整方法ごとに示した図-3および表乾調整法ごとに集計し示した表-4より以下のことが考察される。

(1) 図-3より

- 1) いずれの表乾調整方法においても密度と微粒分量との関係は明確なものではなく、砕砂の違いによる差が大きい。
- 2) 平均値の大小は、いずれの表乾調整方法においてもほぼ同様の傾向を示していて、M-1、M-2 および A-1 が大きく、最小値のS-1 またはS-2 に比べて0.04~0.05 g/cm³ほど大きいのが、その傾向は表乾調整方法間には大きな差異はない。ただし、JW 法ではM-1 とA-2 において他法とは大きな差が見られた。
- 3) 標準偏差(個人差の)は同様にいずれの表乾調整方法においてもG-2、A-2、S-1 が大きく、最小値のS-2、M-2、M-1 に比べてJD(JIS 法)およびJW (JIS 法) では2~3 倍程度大きくなっている。
- 4) 標準偏差(個人差の)において JW 法は他法に比べてG-2 で大きく、S-2、A-2、M-1 で小さい。ただし、G-2 に関してはJIS 法の方がASTM 法に比べ標準偏差が大きい。

以上のことから、個人差としての標準偏差は微粒分量にあまり関係なく、砕砂の違いによって大きく差が生じることが伺える。いずれにしても標準偏差(個人差の)が0.01 g/cm³を超えるものが半数近く生じているのは、1回の試験における平均値からの差の許容値(±0.01 g/cm³)を超えることになる。この±2σ分の幅すなわち+2σから-2σまでが生じ得る個人差と考えると非常に大きな値であるといえる。

(2) 表-5より密度について

- 1) 表乾調整方法間の全平均から見ると、JD (JIS 法) が最も低く、AS (ASTM 法) が最も高い。しかし、その差は0.004 g/cm³であり問題視するほどのものではない。
- 2) 個人差としての標準偏差に関しては、JD が最も小さく、JW が最も高くなっている。水洗した方が密度では個人差が大きくなっていて、吸水率の場合とは逆の傾向になっている。

以上のことから、個人差の標準偏差を通常行なわれているJD法で見ると全平均で0.01 g/cm³程度だが、G-2では0.018 g/cm³程度で、吸水率の場合と同様に個人差の幅を4σと見ると0.07 g/cm³を超えることになる。また、最大と最小の差の最大値では0.05 g/cm³に達している。これによりエアメータ法においては密度の±0.02 g/cm³の差は、単位水量にして±4 kg/m³程度と見られることから、密度における個人差の最大値0.05 g/cm³では単位水量に10 kg/m³の個人差が生じることになる。

6. 遠心脱水方法による吸水率との関係*

表乾調整方法としては、JIS A 1802 コンクリートの生産工程管理用試験方法(遠心力による細骨材の表面水率試験方法)があるが、機材の関係で本共同試験としては行なえなかったが、1箇所を実施した結果について、砕砂ごとの遠心含水率と脱水時間との関係を図-4に、微粒分量と砕砂ごとのJD法による吸水率の平均値に一致する遠心脱水時間との関係を図-5に示した。JIS A 1802では遠心力が4000Gで20分間の脱水時間となっているが、図-4により遠心力が1700Gで、脱水時間が3~4水準において、JD法の吸水率と一致する遠心含水率の得られる脱水時間を求めてみた。

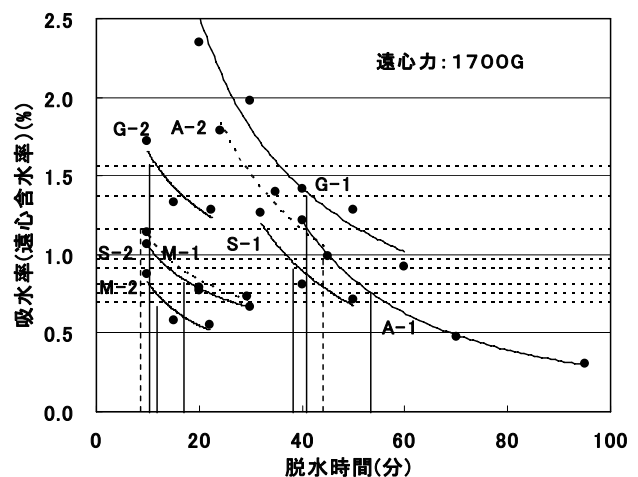


図-4 遠心脱水時間と含水率(吸水率)との関係

それによれば両者の一致する脱水時間は、JIS A 1802 に定められるように一定ではなく、遠心力が 4000G に満たなくても 20 分間以内で表乾状態に達する試料もある。また、**図-5**によれば微粒分量と JD 法の吸水率に達するまでの脱水時間との関係も良いとはいえない。

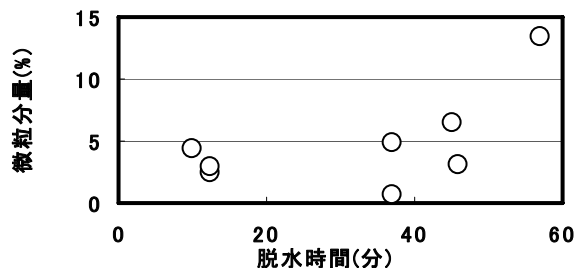


図-5 JD 法吸水率に対応する遠心脱水時間

7. まとめ

以上の結果を総括する。

(1) 4 種類の表乾調整方法について比較してみた結果、8 試料の全平均において吸水率は JW が最も小さく、JD が最も大きい結果となった。個人差(標準偏差)では JW が最も小さいが、AN、AS の 2 方法は JD よりもやや大きい結果となった。密度は AS、JW、AN、JD の順で全平均が小さくなる。ただし、JW 法では吸水率が若干小さくなることと、砕砂の間の比較では他法とは異なる傾向が見られて、安定した方法とはいえないようである。また ASTM 法によっても標準偏差(個人差)が必ずしも小さくなるともいえず、今後は JD における個人差の低減策の開発が必要である。

(2) 吸水率および密度の測定における標準偏差(個人差)は、微粒分量との関係は見られず、むしろ砕砂間の差が顕著にみられ、かつ砕砂によっては個人差が大きく生じることがわかった。

(3) 同じ砕砂の測定値において、最大と最小との差の最大値が単位水量の推定値にあたる影響は、電子レンジ法による場合には 9 kg/m^3 、エアーマータ法による場合には 10 kg/m^3 程度の差が、表乾調整の個人差のみで生じる可能性が見出された。

(4) 個人差だけから考えても単位水量の迅速測定において、その計算根拠となる吸水率や密度の試験における表乾調整が、砕砂の試料によっては非常に大きな影響を及ぼすことが分かった。これに他の不確かさの要因として、再現性やサンプリングエラーなどが加われば、さらに単位水量迅速測定の不確かさが大きくなることが考えられる。この表乾調整方法における不確かさの低減のためには更なる努力が必要である。

(5) 単位水量測定の不確かさの低減においては、吸水率、密度の試験での個人差を小さくするには複数者で、さらに再現性を加味するのに 3~4 回の繰り返しを加えて平均化した値を用いる慎重さが必要と思われる。その上で電子レンジ法およびエアーマータ法の試し練りによるキャリブレーションで偏りの補正値を求めておくことが大切である。

(6) 遠心脱水による表乾調整においても、脱水時間は砕砂ごとキャリブレーションにより求める必要があることが分かり、JIS A 1802 の改正が必要とみられる。

* : 6. の遠心脱水含水率の試験は共同試験でなく大有建設機中央研究所で単独に実施した。

全国生コンクリート工業組合連合会 東海地区本部技術委員会
砕砂の共通試験実施グループメンバー

○ 東海地区本部技術委員会

- | | | | | |
|-------------|------|---------|-------------------|---------|
| | 委員長 | ： 吉兼 亨 | 副委員長 | ： 服部 徳之 |
| ・愛知工組・技術委員会 | 委員長 | ： 吉兼 亨 | (宇部生コンクリート(株)) | |
| | 委員 | ： 金森 茂生 | (名古屋エース(株)) | |
| ・岐阜工組・技術委員会 | 委員長 | ： 堀 道永 | (揖斐川生コンクリート工業(株)) | |
| | 事務局 | ： 硯見 安生 | (岐阜工組) | |
| ・三重工組・技術委員会 | 委員長 | ： 西條 一博 | (株 西條) | |
| | 副委員長 | ： 村川 充良 | (東建生コン(株)) | |
| ・静岡工組・技術委員会 | 委員長 | ： 服部 徳之 | (有)高田建材) | |
| | 委員 | ： 工藤 宏治 | (小野建設(株)) | |

○ 協力試験場所

- ・中部太平洋生コン(株)名古屋 ・(株)河建 ・豊川コンクリート工業(株) ・豊橋小野田レミコン(株) ・コスモ生コン(株)
- ・田原生コン(株) ・白鳥生コン(株) ・渥美生コン(株) ・ハーバー生コン(株) ・宇部生コンクリート(株) ・(株)磯谷組
- ・東海コンクリート工業(株) ・(株)大嶽安城 ・(株)那須第一生コン ・幡豆生コンクリート(株) ・三竹生コンクリート(株)
- ・太田生コン(株) ・大有建設(株)中央研究所
- ・岐阜県生コンクリート工業組合：恵那試験場 ・同：中濃試験場 ・飛騨生コンクリート協同組合：飛騨試験場
- ・三重県生コンクリート工業組合：松坂試験場 ・同：伊勢志摩試験場 ・同：尾鷲試験場
- ・静岡県コンクリート技術センター ・中部生コンクリート協同組合試験所 ・(株)イワタ沼津工場

(27試験場)

○ 試験協力者

愛知県

- ・高木 義廣、水野 喜守、竹下 幸秀 (中部太平洋生コン(株)名古屋) ・森 茂 (東海菱光(株)名古屋)
- ・松本 健次 (宇部生コンクリート(株)名古屋) ・竹内 聖二 (東洋レミコン(株)) ・那須 守 (株)三河屋)
- ・安藤 幸則 (昭和橋宇部生コンクリート(株)玉川) ・森 有二 (株)谷建材) ・山下 浩孝 (名古屋エース(株))
- ・佐藤 敏治 (名古屋生コンクリート協同組合技術部)
- ・永井 金松、羽佐田昌樹、山本 和正 (宇部生コンクリート(株)岡崎) ・小嶋保夫 (幡豆生コンクリート(株))
- ・佐藤 則孝、伊藤 博史、前田 賢一 (三竹生コンクリート(株)) ・山崎 健治 (株)磯谷組)
- ・佐藤 勝美、岩月 健 (東海生コンクリート(株)) ・三浦 進、橋本 敏夫、高橋 友和 (株)太田生コン)
- ・近藤 元治、永木総一郎 (株)大嶽安城) ・近藤 芳明、三田 靖雄、(株)那須第一生コン)
- ・高橋 正信 (西三河生コンクリート協同組合)
- ・菅谷 聡 (株)白鳥生コン) ・小島 宣弘 (豊川コンクリート工業(株)) ・廣田 守利 (コスモ生コン(株))
- ・中嶋 一郎、松下 裕充 (豊橋小野田レミコン(株)) ・松田雄一郎 (田原生コン(株)) ・小川 光久 (株)河建)
- ・岩井 雄輔、五反田賢一、梶山 晃 (ハーバー生コン(株)) ・市川 直孝 (東三河生コンクリート協同組合)

岐阜県

- ・武井 薫、猿渡 祐一 (岐阜工組中濃試験場) ・腰山 国夫 (岐阜工組飛騨試験場)
- ・小木曾和紀、佐藤 勝、林 栄伺 (岐阜工組恵那試験場)

三重県

- ・高垣内仁志、多賀 寛泰 (三重工組共同試験場総括部) ・伊藤 重吉 (三重工組四日市試験場)
- ・中山弥千代、井上 啓次 (三重工組伊勢志摩試験場) ・武川 正巳 (三重工組鈴鹿試験場)
- ・竹本 博、桑山 斉、辻村 匠、中村 圭介 (三重工組松阪試験場)
- ・西村 真史、根来 圭、野田 将樹 (三重工組尾鷲試験場)
- ・平田 昌義、松本 宏哉、森島 幹夫 (三重工組技術部)

静岡県

- ・川尻 伸治、澤木 孝之、宮下 宏隆 (静岡県コンクリート技術センター)
- ・林 末男、水谷 恭之、立花 成、友田 哲郎 (中部生コンクリート協同組合試験所)
- ・野田 俊史、堀田 直樹、近藤 博之 (株)イワタ沼津工場)

事務局

- ・塩谷 勝、小野島三郎 (東海地区本部技術部)

(74名)