

論文 コンクリート中の空気量測定法に関する研究

服部 孝生^{*1}・上原 匠^{*2}・梅原 秀哲^{*3} 吉田 弥智^{*4}

要旨：本論文は、普通コンクリート、高流動コンクリート、および混和材を用いたコンクリートを対象に、圧力方法、容積方法、および重量方法で空気量試験を行い、それらの値を比較することにより、現在最も一般的に試験に用いられている圧力方法の精度についてまとめたものである。その結果、粘性が過剰に高い高流動コンクリートやフライアッシュを高置換したコンクリートについて、圧力方法の空気量は真の値との間に差が生じることが明らかとなった。

キーワード：空気量試験、圧力方法、容積方法、粘性

1. はじめに

コンクリートの空気量は、ワーカビリティ、強度、耐凍結融解抵抗性に非常に大きな影響を及ぼすため、正確に測定することは極めて重要である。現在我が国では、ワシントン型エアメータを使用した圧力方法を空気量試験に採用するケースが多いが、近年様々な用途から開発されている高性能なコンクリートについて、その精度はほとんど確認されていない。

そこで本研究では、普通コンクリート、高流動コンクリート、および混和材を用いたコンクリートを対象に圧力方法、容積方法、および重量方法で空気量の測定を行い、その3つの値を比較することにより精度および適用性についての検討を行った。

2. 空気量試験の概要

圧力方法は JIS A 1128 に準拠し、最も一般的に用いられている無注水式で試験を行った。一方、容積方法および重量方法は、それぞれ JIS A 1118、JIS A 1116 に準拠して試験を行った。

圧力方法に用いるワシントン型エアメータは、比較的故障しやすいことや目盛りに限界があることなど構造上にやや問題がある。これに対

して、容積方法は、図-1のような装置と操作により、コンクリートを十分に水と混ぜ合わせた後、空気が分離して下がった水面を再び標線に一致させるのに必要な水の体積をメスシリンダーで測り、これをもとのコンクリートの体積で割って空気量を求めるもので、強固で故障がなく測定精度

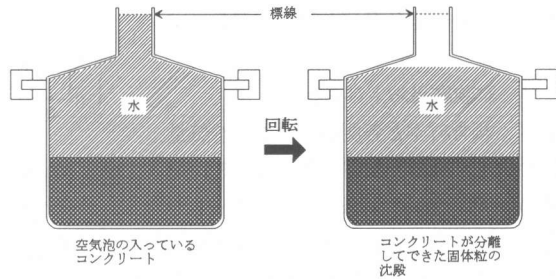


図-1 容積方法の原理概念図

*1 名古屋工業大学大学院 工学研究科社会開発工学専攻 (正会員)

*2 名古屋工業大学講師 工学部社会開発工学科、工博 (正会員)

*3 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科、Ph.D. (正会員)

*4 名古屋工業大学教授 工学部社会開発工学科、工博 (正会員)

が高いなど信頼性の点で極めて優れている。そこで本研究では、容積方法によって得られた空気量を真の値として取り扱い、圧力方法および重量方法の測定精度を検討した。なお、圧力方法、重量方法はそれぞれ2回ずつ測定を行い、その平均値を空気量の値とし、容積方法は1回の測定値をそのまま空気量の値とした。

3. 普通コンクリートの空気量

3.1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント(比重=3.15)を、細骨材は山砂(F.M.=2.76、表乾比重=2.55)を、粗骨材は碎石($G_{max}=20\text{mm}$ 、表乾比重=2.66)を用いた。混和剤には、減水剤(空気非連行型)、およびAE剤を用いた。

表-1 普通コンクリートの示方配合

配合NO.	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m^3)				減水剤 ($\text{C}\times\text{wt}\%$)	AE剤 ($\text{C}\times\text{wt}\%$)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G		
①	50	40	170	340	691	485	0.5	0.005
②		45			777	528	0.5	0.002
③		50			863	570	0.5	0.005
④	55	40		309	700	1096	0.2	0.002
⑤		45			788	1005	0.2	0.003
⑥		50			876	914	0.3	0.003

試験に用いた普通コンクリートの示方配合を表-1に示す。単位水量を $170\text{kg}/\text{m}^3$ 、W/Cを50%、55%の2水準、s/aを40%、45%、50%の3水準、あわせて6種類の配合のコンクリートを対象とした。また、目標空気量を $4.5\pm 1.5\%$ とし、AE剤による調整を行った。

練混ぜには容量 100l のパン型強制練りミキサを用い、3分間練り混ぜた後、ただちに試験を行った。

3.2 試験結果および考察

図-2に、細骨材率と各測定法による空気量の関係を示す。なお、左図、右図は、それぞれW/Cが50%、55%の配合のコンクリートで試験を行った結果である。図より、s/aが高くなると、圧力方法で測定される空気量が、容積方法と比較して、わずかではあるが小さいことがわかる。これより、普通コンクリートについて、s/aが大きい場合、圧力方法で測定される空気量は、真の空気量より小さくなる傾向にあると言える。また、重量方法で測定される空気量は他の2つの方法の空気量との差が大きく、精度的に信頼性が低いと言える。

図-3に、圧力方法と容積方法により測定される空気量の相関を示す。図中の回帰直線より、圧力

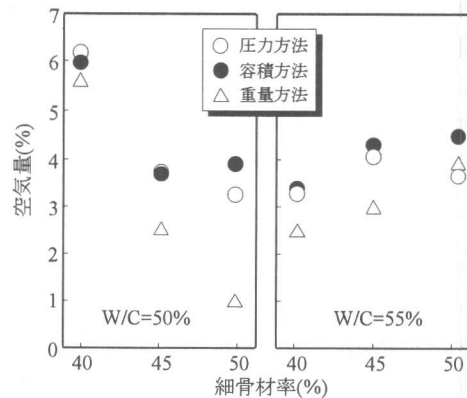


図-2 細骨材率と各測定法による空気量の関係

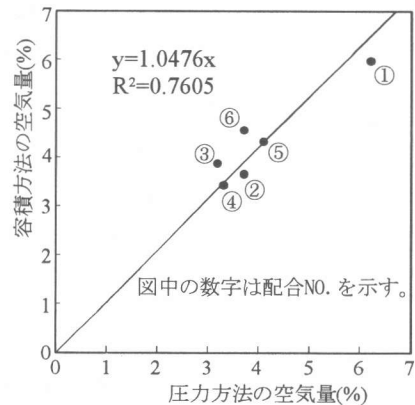


図-3 圧力方法と容積方法の空気量の相関

表-2 高流動コンクリートの示方配合

配合NO.	水セメント比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単体量(kg/m ³)					高性能AE減水剤 (C×wt%)
			水 W	セメント C	細骨材 S	粗骨材 G	増粘剤	
①	40	55	180	450	887	757	0.2	1.6
②							0.4	
③							0.6	
④							0.6	2.5
⑤							0.8	
⑥							1.0	
⑦	35			514	858	732	0	1.4
⑧								1.8
⑨								2.0

方法と容積方法の空気量の間にはほとんど差がないことがわかる。これより、s/a の大きいコンクリートについては真の空気量より小さくなる傾向にあるが、普通コンクリートの空気量を圧力方法で測定することは精度的に何ら問題がないと言える。

4. 高流動コンクリートの空気量

4. 1 使用材料および配合

セメントは普通ポルトランドセメント(比重=3.15)を、細骨材は山砂(F.M.=2.73、表乾比重=2.55)を、粗骨材は砕石(G_{max}=20mm、表乾比重=2.66)を用いた。混和剤には、高性能 AE 減水剤(ポリカルボン酸系)、および増粘剤(セルロースエーテル系)を用いた。

試験に用いた高流動コンクリートの示方配合を表-2 に示す。単位水量を 180kg/m³、s/a を 55%、W/C を増粘剤系は 40%、粉体系は 35%とした。増粘剤系は、増粘剤の添加量と高性能 AE 減水剤の添加量を配合要因とした 6 種類、一方粉体系は、高性能 AE 減水剤の添加量を 1.4%、1.8%、2.0% の 3 水準とし、合計 9 種類の配合の高流動コンクリートを対象とした。

練混ぜには、容量 100ℓ のパン型強制練りミキサーを用い、セメントおよび細骨材で空練りを 30 秒間、水および混和剤を投入して 60 秒間、粗骨材を投入して 90 秒間練り混ぜ、3 分間静置した後、ただちに試験を行った。

4. 2 試験結果および考察

図-4 に、50cm フロー到達時間と各測定法による空気量の関係を示す。なお、粘性が高すぎてスランプフローが 50cm に満たないために、50cm フロー

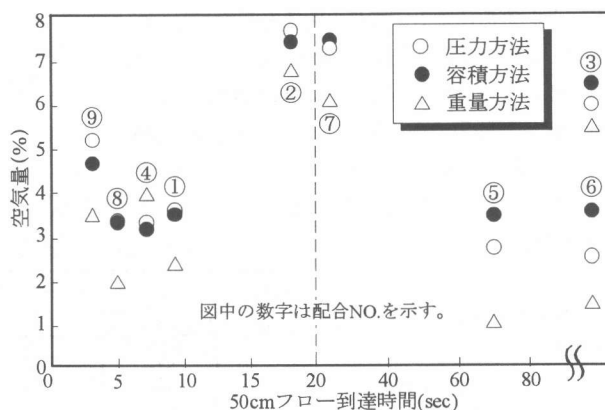


図-4 50cm フロー到達時間と各測定法による空気量の関係

到達時間の測定ができなかったものについても図の右端に併記する。図より、圧力方法と容積方法の空気量の関係について、50cm フロー到達時間が 20 秒に満たないものは、圧力方法が容積方法と比較してわずかに大きいか、もしくは同程度であるのに対して、50cm フロー到達時間が 20 秒以上

のものは、逆に圧力方法が容積方法と比較して小さいことがわかる。これより、通常の高流動コンクリートの空気量を圧力方法で測定した場合については精度的に問題がない。また、高流動コンクリートの50cmフロー到達時間が一般的には、10秒以上であることを考慮すると、50cmフロー到達時間が20秒以上、即ち粘性が過剰に高い高流動コンクリートの空気量を、圧力方法で測定した場合は、真の値よりも小さい値が得られると言える。

図-5に、増粘剤の添加量と各測定法による空気量の関係を示す。なお、左図、右図はそれぞれ、高性能AE減水剤の添加量がC×1.6%、C×2.5%の配合のコンクリートで試験を行った結果である。図より、増粘剤の添加量が高くなるとともに、圧力方法の空気量が容積方法の空気量に比べて小さくなっていく傾向が見られる。これより、高性能AE減水剤および増粘剤を多量に添加した増粘剤系の高流動コンクリート(高性能AE減水剤の添加量=C×2.5%以上、増粘剤の添加量=1.0kg/m³以上)の空気量を圧力方法で測定した場合、真の値に比べ1.0%程度小さい値が得られると言える。

図-6に、粉体系の高流動コンクリートの高性能AE減水剤と各測定法による空気量の関係を示す。図より、圧力方法と容積方法の空気量との差はほとんどないことがわかる。これより、W/C=35%、s/a=55%、単位水量180kg/m³の粉体系の高流動コンクリートの空気量を圧力方法で測定した場合、精度的に何ら問題がないと言える。

また、重量方法で測定される空気量は他の2つの方法の空気量との差が大きく、精度的に信頼性が低いと言える。

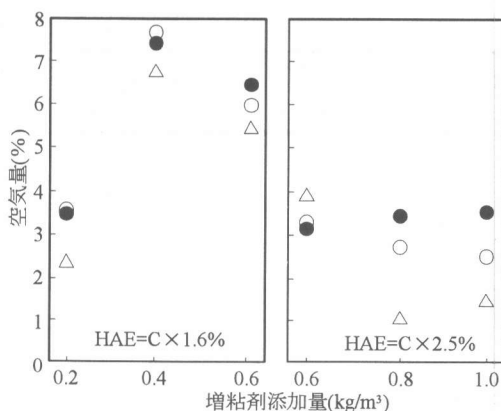


図-5 増粘剤添加量と各測定法による空気量の関係

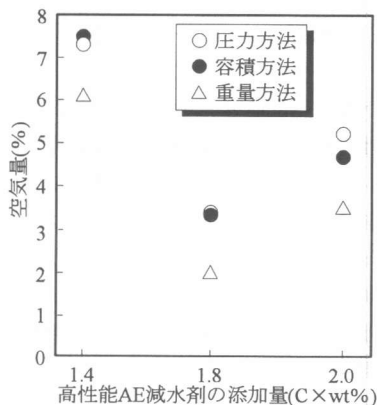


図-6 高性能AE減水剤の添加量と各測定法による空気量の関係

表-4 混和材の物理的性質および化学組成

		シリカフェウム	もみがら灰	フライアッシュ
物理的性質	比重	2.20	2.30	2.25
	比表面積(m ² /g)	20.0	25.4	0.3
化学組成 (%)	強熱減量	2.5	7.9	1.1
	SiO ₂	94	85.4	61.5
	Fe ₂ O ₃	0.03	0.3	5.4
	CaO	0.5	1.0	2.1
	Al ₂ O ₃	0.06	0.5	25.1
	K ₂ O	0.05	3.9	1.2
その他	2.86	1.0	3.6	

5. 混和材を用いたコンクリートの空気量

5.1 使用材料および配合
セメントは普通ポルトランドセメント(比重=3.15)を、細骨材は山砂(F.M.=2.76、表乾比重=2.55)を、

粗骨材は碎石(G_{max}=20mm、表乾比重=2.66)を用いた。混和剤には、減水剤(空気非連行型)、およびAE剤を用いた。混和材として、シリカフェウム、もみがら灰、およびフライアッシュの3種類を

表-5 混和材を用いたコンクリートの示方配合

配合 NO.	混和材の種類	置換率 (%)	水結合材 比 W/P (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)					減水剤 (C×wt%)	AE剤 (C×wt%)	スランプ (cm)
					水 W	セメント C	混和材	細骨材 S	粗骨材 G			
①	—	0	50	45	170	340	0	777	991	0.5	0.0020	19.0
②	シリカフューム	10				306	34	772	984	0.5	0.0030	10.0
③		20				272	68	766	978	0.5	0.0040	6.5
④		30				238	102	761	970	0.5	0.0050	6.2
⑤		もみがら灰				5	323	17	775	984	0.5	0.0750
⑥	10					306	34	767	978	0.5	0.0100	14.0
⑦	15					289	51	762	972	0.5	0.0150	14.2
⑧	フライアッシュ	10				306	34	772	984	0.5	0.0050	18.9
⑨		20				272	68	767	978	0.5	0.0050	18.5
⑩		30				238	102	762	972	0.5	0.0075	19.0

用い、それらの化学組成および物理的性質を表-4 に示す。

試験に用いたコンクリートの示方配合を表-5 に示す。W/P(水結合材比)を 50%、s/a を 45%、単位水量を 170kg/m³、シリカフュームの総結合材量に対する置換率を 10%、20%、30%の 3 水準、もみがら灰の置換率を 5%、10%、15%の 3 水準、フライアッシュの置換率を 10%、20%、30%の 3 水準、混和材を何も混入しない基準の配合を加えて合計 10 種類の配合のコンクリートを対象とした。また、目標空気量を 4.5±1.5%とし、AE 剤による調整を行った。

練混ぜには容量 100ℓ のパン型強制練りミキサーを用い、3 分間練り混ぜた後、ただちに試験を行った。

5. 2 試験結果および考察

図-7、図-8、および図-9 に、混和材の置換率と各測定法による空気量の関係を示す。なお、図-7、図-8、および図-9 はそれぞれシリカフューム、もみがら灰、フライアッシュを混和材として用いたコンクリートで試験を行った結果である。

図-7 より、シリカフュームを用いたコンクリートでは、圧力方法の空気量は容積方法の空気量

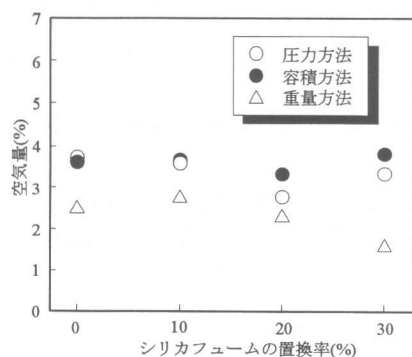


図-7 シリカフュームの置換率と各測定法による空気量の関係

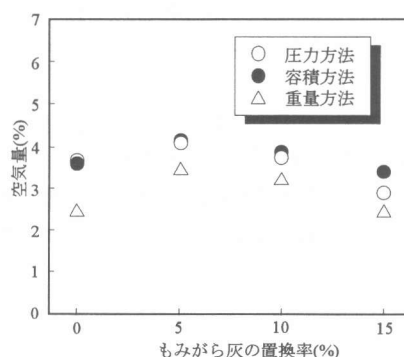


図-8 もみがら灰の置換率と各測定法による空気量の関係

に比べて、わずかに小さいことがわかる。しかしその差はほとんどなく0.5%以内である。また、図-8に示すもみがら灰を用いたコンクリートは、図-7と同様の傾向を示していることがわかる。これより、シリカフェーム、もみがら灰を混和材として用いたコンクリートについて、圧力方法で測定される空気量は、精度的にほとんど問題がないと言える。なお、高流動コンクリートの場合、増粘剤の添加により生じた粘性と、粉体により生じた粘性は、フレッシュ性状に与える影響が異なる。シリカフェーム、もみがら灰は超微粉の混和材であるため、このような影響が得られたと考えられる。

図-9より、フライアッシュを用いたコンクリート

では、圧力方法の空気量は容積方法の空気量に比べて大きいことがわかる。特に置換率10%と30%の場合には、1%程度の差がある。これより、フライアッシュを用いたコンクリートについて、圧力方法で測定される空気量は、真の空気量に比べて1%程度大きいと言える。なお、今回の研究ではフライアッシュの置換率の上限が30%のコンクリートを対象としたため、近年注目されている置換率が50%以上の多量にフライアッシュが混入されているコンクリートについては、更なる研究が必要であると考えられる。

また、重量方法で測定される空気量は他の2つの方法の空気量との差が大きく、精度的に信頼性が低いと言える。いずれのコンクリートにおいてもこのような結果が得られたが、これは、重量方法によって空気量を正しく求めるためには、各材料の比重、および骨材の含水量についての正確な試験結果が必要であり、ここに誤差の入る要素が数多く含まれているためと考えられる。^[1]

6. まとめ

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1)普通コンクリートの空気量を圧力方法で測定すると、s/aの大きい場合に真の値より小さくなる傾向にあるが精度的に何ら問題がないと言える。
- (2)高流動コンクリートの空気量を圧力方法で測定する場合、通常では精度的に問題がないが増粘剤により過剰に粘性を高くしたものについては、真の値よりも1%程度小さい値が得られる可能性がある。
- (3)シリカフェームおよびもみがら灰を混和材として用いたコンクリートの空気量を圧力方法で測定する場合は精度的にほとんど問題がないが、フライアッシュを混和材として用いたコンクリートの空気量を圧力方法で測定する場合、真の値より1%程度大きい値が得られる可能性がある。
- (4)重量方法で測定される空気量は他の2つの方法の空気量との差が大きく、精度的に信頼性が低い。

参考文献

- [1]岩崎訓明：コンクリートの試験方法(空気量、単位容積重量試験)、コンクリートジャーナル、Vol.11、No.2、pp.31-36、1973.2

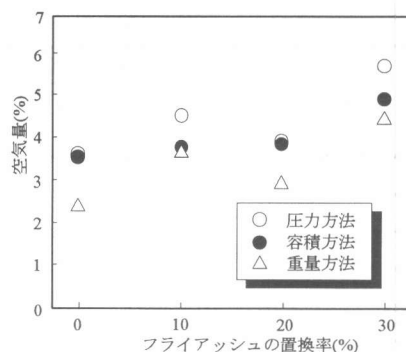


図-9 フライアッシュの置換率と各測定法による空気量の関係