

論文 硬化コンクリートの単位セメント量判定試験方法における コンクリート試料の影響

中田 善久*¹・笠井 芳夫*²・横山 滋*³・西山 直洋*⁴

要旨：本論文は、小径コンクリート試料（ $\phi 30 \times 200\text{mm}$ ）を用いて単位セメント量を判定する試験において、コンクリート試料の採取方法およびコンクリート粉末試料の調整が推定単位セメント量に及ぼす影響を調べるために行ったものである。実験は、①分析回数低減のため、コンクリート粉末試料を混合した試料の分析、②コンクリート塊を粗破碎したときの各ふるいにとどまる粒のセメント量の分布を明らかにするため、各ふるいにとどまる粒を粉碎した試料の分析、③構造体コンクリートからの試料の採取方法を検討するため、構造体壁面から採取したコンクリート試料の分析の3項目について実験を行った。

キーワード：構造体コンクリート，単位セメント量，小径コア，セメント量の分析，試料採取方法

1. はじめに

硬化コンクリートの単位セメント量の判定は、コンクリートの品質を明らかにするために有効な手段の一つである。筆者らは、今までに単位セメント量を判定する試験方法としてグルコン酸ナトリウムによる方法^{1), 2)} ならびに ICP による方法³⁾ について研究を行ってきた。これらの試験方法は、比較的精度良く単位セメント量を判定できるが、採取したコンクリート試料が推定単位セメント量にどのような影響を及ぼしているか不明確な点が多い。そこで、本研究は、コンクリート試料の採取方法およびコンクリート粉末試料への調整が単位セメント量の判定試験に及ぼす影響を明らかにするために行ったものである。

ここでは、非破壊検査に準ずる小径コンクリート試料（ $\phi 30 \times 200\text{mm}$ ）を用いて ①コンクリート粉末試料を混合した試料の分析、②コンクリート塊を粗破碎したときの各ふるいにとどまる粒を粉碎した試料の分析および ③構造体壁面から採取したコンクリート試料の分析について実験を行い、コンクリート試料の調整ならびに採取方法の検討を行った。

2. 実験概要

2. 1 実験項目

硬化コンクリートの単位セメント量判定試験方法のフローを図-1に示す。推定単位セメント量に影響を及ぼすと考えられる操作手順としてコンクリート試料の採取、粗粉碎およびコンクリート粉末試料の3つの要因について着目し実験を行った。

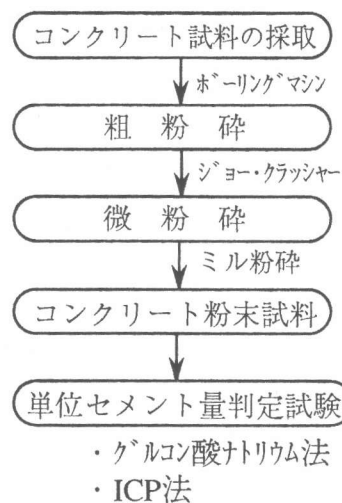


図-1 単位セメント量判定試験方法のフロー

- * 1 西松建設(株)技術研究所研究員，工修（正会員）
- * 2 日本大学生産工学部建築工学科，工博（正会員）
- * 3 秩父小野田(株)セメント・コンクリート研究所解析グループリーダー，工修（正会員）
- * 4 西松建設(株)技術研究所主任研究員（正会員）

表-1 実験概要

実験項目	コンクリート試料採取箇所	コンクリート試料の種類					コンクリート粉末試料
		骨材の種類	粗骨材最大寸法 (mm)	w/c (%)	コアの直径 (mm)	コアの個数	
(1)コンクリート粉末試料を混合した試料の分析	調合の異なるコンクリート供試体 (800×500×200mm) 2種類 (材齢3年)	石灰石骨材	20	65	30	6	- 各コアを105μm以下に調整したもの - 各コアを105μm以下に調整し、10gずつ採取し混合したもの (混合試料10g) - 各コアを105μm以下に調整し、20gずつ採取し混合したもの (混合試料20g) - 各コアを105μm以下に調整し、30gずつ採取し混合したもの (混合試料30g)
		石灰石骨材	40	65	30	6	
(2)コンクリート塊を粗破碎したときの各ふるいにとどまる粒を粉碎した試料の分析	調合の異なるコンクリート供試体 (800×500×200mm) 8種類 (材齢3年)	石灰石骨材	20	65	30	1	2.5mmのふるいにとどまる試料 1.2mmのふるいにとどまる試料 0.6mmのふるいにとどまる試料 0.3mmのふるいにとどまる試料 0.15mmのふるいにとどまる試料 - 受け皿にとどまる試料
				45		1	
			40	65	30	1	
				45		1	
		硬質砂岩骨材	20	65	30	1	
				45		1	
(3)構造体壁面から採取したコンクリート試料の分析	日本大学生産学部津田沼校舎10号館5階東側壁面(9,000×2,695×150mm) (竣工昭和43年)	川砂利川砂	25	不明	30	26	各コアを105μm以下に調整したもの

実験概要を表-1に示す。

(1) コンクリート粉末試料を混合した試料の分析

グルコン酸ナトリウムによる方法では、同一コンクリート粉末試料から3回の試験を行い、これらの平均値を用いて単位セメント量を判定しているが、この方法では同一母集団と見なされる多数のコンクリート試料がある場合、コンクリート粉末試料の調整および分析の回数により多くの時間が必要となる。そこで、試験時間を短縮するために多数のコンクリート試料 (ϕ 30 × 200mm) を105 μ m以下のコンクリート粉末試料に調整した後、混合した試料について単位セメント量判定試験を行えば、分析の回数低減が可能となる。ここでは、粗骨材最大寸法 (20, 40mm) を変えた2種類の調合のコンクリート供試体 (800 × 500 × 200mm) から直径30mmのコアを各6個ずつ採取し、これを全量105 μ m以下に調整し、各コアの推定単位セメント量と各コアのコンクリート粉末試料から各10, 20および30gずつを採取して混合した混合試料の推定単位セメント量の比較を行い、混合試料による分析回数低減およびその混合試料の量について検討した。

単位セメント量判定試験方法は、グルコン酸ナトリウムによる方法およびICPによる方法を行った。なお、混合試料による推定単位セメント量の算定に際しては、採取コア6個の体積の平均を用いた。

(2) コンクリート塊を粗破碎したときの各ふるいにとどまる粒を粉碎した試料の分析

ここでは、コンクリート塊を粗破碎したときの各ふるいにとどまる粒に含まれるセメント量の分布を明らかにするために、模擬的に骨材の種類、粗骨材最大寸法および水セメント比を変えた8調合のコンクリート供試体から直径30mmのコンクリート試料を各1個ずつ8個採取し、ジョークラッシャーを用いて2回粗破碎した。次に、これらをふるい分け試験 (JIS A 1102) を行った後、各ふるい (2.5, 1.2, 0.6, 0.3, 0.15mmおよび受皿) にとどまる粒を105 μ m以下に調整し、グルコン酸ナトリウムによる単位セメント量判定試験を行った。

(3) 構造体壁面から採取したコンクリート試料の分析

構造体コンクリートからの試料の採取方法を検討するために構造体壁面におけるセメント量の分布を調べた。調査建物は、日本大学生産工学部津田沼校舎10号館とし、東側壁面 (9,000 × 2,695

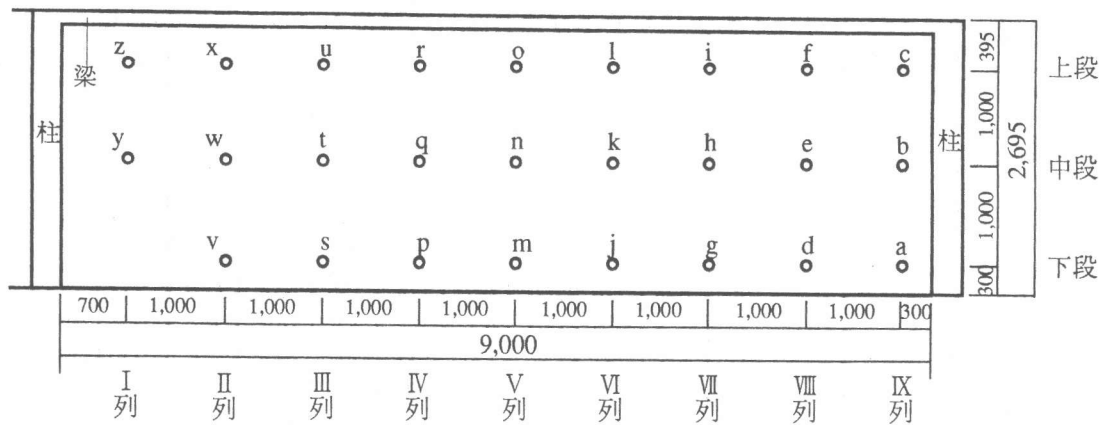


図-2 コンクリート試料の採取箇所

×150mm) から直径30mm, 長さ150mmの小径コンクリート試料を26個採取し、グルコン酸ナトリウムによる単位セメント量判定試験を行った。この小径コンクリート試料の採取箇所を図-2に示す。

2. 2 単位セメント量判定試験方法の概要

①グルコン酸ナトリウムによる方法^{1), 2)}

セメントは溶解するが、海砂中の貝殻や石灰石骨材の主成分である炭酸カルシウムを溶解しがたいグルコン酸ナトリウムを用い、コンクリート粉末試料2gについて溶解試験を行い、不溶残分を用いて単位セメント量を算出する。

②ICPによる方法³⁾

セメント中の SiO_2 の量に着目し、コンクリート粉末試料1gをぎ酸処理した後、ろ液を誘導結合プラズマ発光分光分析装置(ICP)を用い、 SiO_2 の定量分析を行い単位セメント量を算出する。いずれの試験方法も詳細は、参考文献を参照されたい。

3. 結果および考察

3. 1 コンクリート粉末試料を混合した試料の分析

同一母集団を有すると見なされるコンクリート粉末試料を混合した試料の単位セメント量判定試験結果を表-2に示す。各コンクリート試料の単位セメント量は、調合による単位セメント量に対しグルコン酸ナトリウムによる方法において、-9.3~+14.3%の範囲に、ICPによる方法において-3.7~+8.0%の範囲に判定された。なお、グルコン酸ナトリウムによる方法と、ICPによる方法において用いたコンクリート試料は同一粉末試料から採取したものであった。6個の試料の推定単位セメント量の平均値と混合試料の推定単位セメント量を比較すると、混合試料の量にかかわらずいずれも調合による単位セメント量に対して±5%の範囲で判定されている。この各コンクリート試料より求めた推定単位セメント量は、若干のバラツキはあるが、分析方法にかかわらず同じ傾向を示している。この若干のバラツキの原因は、試験方法の精度ならびにコンクリート粉末試料のバラツキや採取のバラツキが考えられる。また、このφ30mm, 長さ200mmにおける単位セメント量判定試験結果とφ100mm, 長さ200mmにおける単位セメント量判定試験結果の比較⁹⁾を図-3に示す。各φ30mmの単位セメント量判定試験結果は、φ100mmの単位セメント量判定試験結果と同程度の精度で判定ができ、φ30mmによる混合試料の推定単位セメント量は、かなり高い精度で単位セメント量を判定している。

表-2 コンクリート粉末試料および混合試料の単位セメント量試験結果

試験方法	粗骨材 最大寸法 (mm)	調合による 単位セメント量 (kg/m ³)	コンクリート試料 No.						平均	標準 偏差	混合 試料 10g	混合 試料 20g	混合 試料 30g
			1	2	3	4	5	6					
グルコン酸ナトリウムによる方法	20	274	287 4.6	260 -5.2	270 -1.5	272 -0.9	270 -1.3	314 14.7	279 1.7	19.3 7.1	282 2.8	277 1.2	276 0.7
	40	246	262 6.5	223 -9.3	225 -8.4	231 -5.9	228 -7.5	241 -1.9	235 -4.4	14.7 5.9	237 -3.7	244 -0.8	247 0.1
ICPによる方法	20	274	268 -2.2	270 -1.5	266 -2.9	287 4.7	278 1.5	296 8.0	278 1.3	11.9 4.3	278 1.5	275 0.4	282 2.9
	40	246	247 0.4	237 -3.7	252 2.4	250 1.6	251 2.0	252 2.4	248 0.9	5.8 2.4	250 1.6	247 0.4	250 1.6

上段：推定単位セメント量 (kg/m³)，下段：調合による単位セメント量との誤差の割合 (%)

以上のことから、同一母集団を有すると見なされる大きさが同程度のコンクリート試料が多数ある場合、これらの各コンクリート粉末試料を10g以上等量混合して用いれば、単位セメント量判定試験結果の精度を落とさず分析回数を混合試料1回分の分析に減らし、試験時間の短縮が可能である。

3. 2 コンクリート塊を粗破碎したときの各ふるいにとどまる粒を粉砕した試料の分析

コンクリート塊を粗破碎したときの各ふるいにとどまる粒を粉砕した試料の質量百分率および溶解量百分率を表-3に示す。コンクリート塊をジョー・クラッシャーを用いて2回粗破碎した場合、粗粒率は、3.53~3.72程度となった。この各ふるいにとどまる粒を粉砕

した試料の溶解量百分率（セメント含有率）は、ふるいの目が小さくなるにつれて大きくなり、破碎時の粒の大きさにより含まれるセメント量が異なることがわかる。特に、受皿にとどまる試料の溶解量百分率は、26.0%~35.1%となり、コンクリートの微粉末にはセメント量が多く含まれていることがわかる。また、2.5mmのふるいにとどまる粒は、W/Cが小さい方が溶解量百分率は大きくなり、その中に含まれるセメント量が多いことがわかる。これは、従来⁴⁾から言われているコンクリート強度が高いと原粗骨材への付着モルタル量が多くなることを示している。

次に (1) 式によりコンクリート塊全体の溶解量百分率を求めた。

$$C_0 = \frac{S_{2.5} \cdot C_{2.5} + S_{1.2} \cdot C_{1.2} + S_{0.5} \cdot C_{0.6} + S_{0.3} \cdot C_{0.5} + S_{0.15} \cdot C_{0.15} + S_u \cdot C_u}{S} \quad \dots\dots(1)$$

ここに、 C_0 ：コンクリート塊全体の溶解量百分率(%)

S_i ： i ふるいにとどまる試料の質量(g)

C_i ： i ふるいにとどまる試料の溶解量百分率(%)

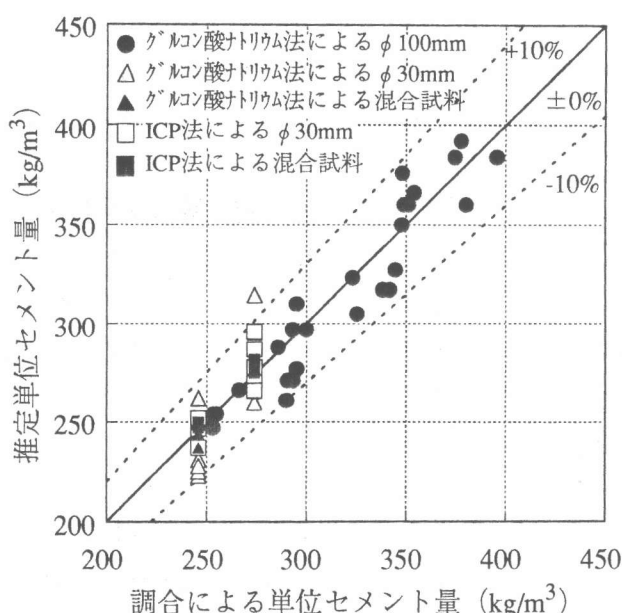


図-3 $\phi 100\text{mm}$ と $\phi 30\text{mm}$ の単位セメント量判定試験結果の比較

表-3 各ふるいにとどまる粒を粉碎した試料の質量百分率および溶解量百分率

試料名	粗粒率 (F.M)	材齢28日 圧縮強度 (kgf/cm ²)	調合による C/(C+S+G)およ び単位セメント量	各ふるいにとどまる試料の質量百分率および 溶解量百分率						計算による コア全体の 結果*
				2.5 mm	1.2 mm	0.6 mm	0.3 mm	0.15 mm	受皿	
石灰-65-20	3.58	279	—	36.8	25.6	15.6	9.4	5.6	7.0	—
			12.9	7.4	13.4	15.4	17.5	25.6	26.7	13.5
			274	169	304	349	397	582	608	291
石灰-45-20	3.62	391	—	34.6	29.1	16.5	8.9	5.3	5.6	—
			18.8	16.6	14.2	20.3	23.1	26.9	29.6	18.3
			400	367	314	451	512	598	657	406
石灰-65-40	3.69	214	—	38.4	27.3	15.2	8.5	4.8	5.8	—
			11.4	9.0	11.0	16.5	17.9	23.2	26.0	13.1
			246	200	245	368	399	519	580	228
石灰-45-40	3.55	283	—	33.8	28.9	15.9	8.9	5.8	6.9	—
			17.0	10.5	11.8	17.9	22.3	25.4	27.9	15.2
			367	241	271	410	510	580	639	348
硬質-65-20	3.72	310	—	45.9	19.8	13.6	8.5	5.7	6.6	—
			12.9	7.9	13.3	19.8	20.7	26.7	29.6	14.2
			274	175	292	435	455	588	651	297
硬質-45-20	3.71	440	—	41.8	24.6	14.1	8.1	5.2	6.2	—
			18.8	10.6	17.5	23.6	29.1	32.8	35.1	18.3
			400	234	386	521	643	724	774	429
硬質-65-40	3.54	233	—	38.1	23.6	14.8	9.0	6.3	8.2	—
			11.4	6.5	10.4	14.8	17.2	25.8	25.8	12.4
			246	145	231	329	383	574	575	268
硬質-45-40	3.53	295	—	36.2	25.8	14.9	9.0	6.2	8.0	—
			17.0	9.3	17.8	22.5	28.0	31.9	32.7	18.4
			367	205	393	498	618	705	723	371

上段：質量百分率 (%), 中段：溶解量百分率 (%), 下段：推定単位セメント量 (kg/m³)

* (1) 式により、各ふるいにとどまる試料の量と各ふるいにとどまる試料の溶解量百分率から、コア全体の溶解量百分率を算定した。

表-4 採取箇所別による単位セメント量 (kg/m³) の分布

	I列	II列	III列	IV列	V列	VI列	VII列	VIII列	IX列	平均	標準偏差	変動係数
上 段	277	277	212	239	245	229	290	284	310	247.0	29.25	11.84
中 段	272	272	292	239	277	284	227	190	228	253.4	33.99	13.41
下 段	212	266	209	260	304	233	250	254	235	260.8	34.21	13.12
平均	242.0	271.7	237.7	246.0	275.3	248.7	255.7	242.7	257.7	253.2	13.11	5.18

これらの計算により求めた溶解量百分率を調合による C/(C+S+G) と比較すると、ほぼ同様な値を示していることがわかる。若干の差の原因は、各ふるいにとどまる試料中のセメント量を累積したためと考えられる。

以上のことから、コンクリート微粉末 (0.15mm以下) は、原材料の種類ならびに破碎方法によりその発生量は異なるが、その中にセメント分が約30%程度含まれ、また、この結果は一般的に再生骨材を製造するときに発生するコンクリート微粉末の品質を確認するときなどに本試験方法が役に立つものと考えられる。

3. 3 構造体壁面から採取したコンクリート試料の分析

構造体壁面 (9,000 × 2,695 × 150mm) から 26 個採取した直径 30mm, 長さ 150mm の小径コンクリート試料についてセメント量判定試験を行い、この採取箇所別による単位セメント量の分布を表-4 に示す。この結果から、壁面に打設したコンクリートの推定単位セメント量は、253kg/

m³と判定された。この結果は、各列ごとの推定単位セメント量はバラつきが大きい、上段、中段および下段の推定単位セメント量は、サンプル数の影響はあるが比較的バラつきが小さい。また、中段の推定単位セメント量は、全体の推定単位セメント量とはほぼ同じ値となった。この原因は明らかではないが、壁面のような場合、コンクリート打設時に生ずる品質のバラつきが比較的少ない箇所であったためと考えられる。これらの結果は、若干のバラつきは見られるが、従来のようにφ100mmのコンクリート試料を少数採取するより、打設したコンクリートの推定単位セメント量の信頼性は高いものと考えられる。

以上のことから、構造体壁面における単位セメント量を判定するためのコンクリート試料採取方法は、130cm程度の同一高さ（人間が立ってドリルを操作するときの高さ）から直径30mmの小径コンクリート試料を適当な間隔（1m程度おき）に多数採取すべきものと考えられる。

4. まとめ

推定単位セメント量に影響を及ぼすと考えられるコンクリート試料について、実験をコンクリート試料の調整ならびに採取方法について、小径コンクリート試料（φ30×200mm）を用いて単位セメント量判定試験を行った。これらの結果から次のことがいえる。

(1) 同一母集団を有すると見なされる大きさが同程度のコンクリート粉末試料が多数ある場合、これらの各コンクリート粉末試料を10g以上等量混合して用いれば、単位セメント量判定試験結果の精度を落とさずに分析試験の回数を混合試料1回についての分析に減らし、試験時間の短縮が可能となる。

(2) コンクリート試料の破砕物は、粒度の小さくなる程セメント量が多くなり、微粉末（0.15mm以下）は原材料の種類ならびに破砕方法によりその発生量は異なるが、その中にセメント分が約30%程度含まれている。

(3) 構造体壁面における単位セメント量判定の際のコンクリート試料採取方法は、130cm程度の同一高さから直径30mmの小径コンクリート試料を適当な間隔（1m程度おき）に多数採取するのが適切と考えられる。

今後は、構造体コンクリートからのサンプリング方法、コンクリート打設方法の影響等を考慮し、小径コンクリート試料を用いた単位セメント量の変化からコンクリートの品質を検討していく予定である。

【謝 辞】 実験の一部は、(社)日本非破壊検査協会、009特別研究会WG4「小孔による構造体コンクリートの品質評価手法に関する研究」において行ったものであり、野田良平氏（コンテック）、喜多一弘氏（中研コンクリート）、富田嘉雄氏（セメント協会）、江口清氏（前田建設工業）、深山清六氏（ピーシー橋梁）をはじめとする委員各位に感謝の意を表します。また、日頃よりご指導、ご助言を頂いている日本大学松井勇教授ならびに湯浅昇助手に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 中田善久・笠井芳夫・松井勇・湯浅昇；「硬化コンクリートの単位セメント量判定試験方法に関する研究—グルコン酸ナトリウムによる試験方法の確立—」、日本建築学会構造系論文集、第460号、pp.1~10、1994.6
- 2) 笠井芳夫・松井勇・湯浅昇・中田善久；「石灰石骨材コンクリートにも適用できる簡易なセメント量判定試験方法」、セメント・コンクリート、No.572、pp.16~23、1994.10
- 3) 吉田八郎・横山滋・高野豊；「石灰石骨材を使用した硬化コンクリート中のセメント量推定試験方法」、コンクリート工学年次論文報告集、12-1、pp.347~352、1990
- 4) 笠井芳夫・加賀秀治；「コンクリート破砕物の再利用 その1 コンクリート破砕骨材の性状」、セメント・コンクリート No.347、pp.20-28、1976.6