

構造体コンクリートの品質評価手法に関する研究 (グルコン酸ナトリウムによる単位セメント量判定試験方法の確立と用途) A Study Estimated Test Method of Quality in Structural Concrete (Establishment and Purpose of Test Method for Cement Content by Sodium Gluconate)

中田 善久*
Yoshihisa Nakata

西山 直洋**
Naohiro Nishiyama

要 約

本研究は、構造体コンクリート等より採取した硬化コンクリートの単位セメント量を判定する試験方法の確立を目的としたものである。この試験方法は、石灰石や海砂を溶解しがたくセメントのみを溶解するグルコン酸ナトリウム溶液を用いたもので、ポルトランドセメントおよび近年より使用が増加している石灰石骨材を用いたコンクリートに適用することができる。また、この試験方法は、比較的簡易に試験が行うことができ、試験の精度は、調合による単位セメント量に対し、±10%で推定することが可能である。この試験方法は、当社におけるビルディング・ドックシステムに取入れ、コンクリートコア強度との併用により建物の診断・検査を幅広く実施できるものと考えられる。本報は、この試験方法の確立までの実験結果、試験方法および用途を述べたものである。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 試験方法の原理
- § 3. 試験方法確立のための条件の検討
- § 4. グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートのセメント量判定試験方法の提案
- § 5. グルコン酸ナトリウムによるセメント量判定試験方法確認試験
- § 6. グルコン酸ナトリウムによるセメント量判定試験の用途
- § 7. むすび

§ 1. はじめに

構造体コンクリートの品質を保証するための要素として、単位セメント量は大きな役割を占めている。硬化した構造体コンクリートの単位セメント量を明らかにすることにより、構造体コンクリートの品質はもとより、耐久性診断の有効な資料を得ることができる。

硬化コンクリートの単位セメント量を判定する方法として、既に稀塩酸を用いてコンクリート中のセメントを溶解する方法¹⁾がある。この方法は、石灰石骨材を用いたコンクリートに対しては、石灰石を溶解するため適用できない。

本研究は、石灰石や海砂中の貝殻などの炭酸カルシウムを溶解しがたくセメントのみを溶解するグルコン酸ナトリウム溶液を用いて、硬化コンクリートの単位セメン

* 技術研究所建築技術課

** 技術研究所建築技術課副課長

表-1 試験項目および試験の概要

試験項目	粉末試料	グルコン酸ナトリウム溶液の条件			ろ紙の洗浄*5	強熱温度 (℃)
		量 (mℓ)	質量濃度 (%)	溶液の温度 (℃)		
① グルコン酸ナトリウム溶液の量、質量濃度、溶液の温度の検討	未水和セメント (g) ; 0.2, 0.4, 0.6, 1.0	100, 150 200, 250 300, 350	5, 10 15, 20 25, 30	20 40 60	・洗浄方法C	500
	水和セメント*1 (g) ; 0.2, 0.4, 0.6, 1.0	300	15	60	・洗浄方法C	
② 不溶残分の洗浄方法の検討	未水和セメント (g) ; 0.2	300	15	60	・未洗浄 ・洗浄方法A ・洗浄方法B ・洗浄方法C ・洗浄方法D	500
③ 強熱温度の検討	コンクリート*2, 水和セメント*3, 標準砂, 石灰石碎石骨材 (強熱減量試験のみ行なった)	—	—	—	—	200, 300, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 800, 900, 1000
	水和セメント*4 (g) ; 0.3, 0.4	300, 400, 500	15	60	・洗浄方法C	

*1: W/C; 30, 40, 50, 60%, 材齢2年封かん養生, *2: W/C; 65%, 材齢6ヶ月, 硬質砂岩碎石骨材および石灰石碎石骨材,
*3: W/C; 30, 40, 50, 60%, 材齢2年封かん養生, *4: W/C; 60%, 材齢3ヶ月封かん養生
*5: 洗浄方法A; 温湯洗浄3回, 洗浄方法B; アンモニア溶液洗浄3回,
洗浄方法C; 温湯洗浄3回→アンモニア溶液洗浄3回→温湯洗浄2回

ト量を判定する試験方法を確立することを目的としている。

本試験方法は、当社におけるビルディング・ドックシステムに取入れ、コンクリートコア強度との併用により建物の診断・検査を幅広く行うことができるようになる。本報は、この試験方法の確立までの実験結果、試験方法および用途を述べたものである。

§ 2. 試験方法の原理

本試験方法の原理は、所定濃度のグルコン酸ナトリウム溶液を用いて、コンクリート粉末試料中のセメントのみを溶解し、その溶解量から単位セメント量を算出するものである。本試験方法で用いるグルコン酸ナトリウム ($C_6H_{11}NaO_7$) は、食品、医薬品、表面処理、さらにはコンクリート用混和剤などに用いられる白色の結晶性粉末である。水に対する溶解性は高く（水100mlに対し約59g溶解する）、その溶液は淡黄色澄明で、中性を示し、刺激性や腐食性を有さない。本試験方法は、グルコン酸ナトリウム溶液がアルカリ性条件下で酸化カルシウムおよび水酸化カルシウムと反応し錯塩を生じ、セメントを溶解するが、骨材中の炭酸カルシウムはセメント水和物中の水酸化カルシウムより反応性が劣るため、石灰石骨材を用いたコンクリートや海砂を用いたコンクリートの場合でもセメントのみを溶解し、骨材中の炭酸カルシウムや貝殻を溶解しがたいという特徴を利用したものである。

§ 3. 試験方法確立のための条件の検討

この試験は、構造体コンクリートから採取したコンクリート試料中の単位セメント量を求めるものである。

ここでは、試験方法確立のために試験の主要な部分を構成する①グルコン酸ナトリウム溶液の量、質量濃度、溶液の温度、②不溶残分の洗浄方法および③水和セメントの結合水の離脱およびろ紙灰化のための強熱処理温度について、検討を行った。

3-1 検討項目および試験の概要

検討項目および試験の概要を表-1に示す。

(1) 試料

試験に用いたセメントの種類は、研究用普通ポルトランドセメントである。試験は、未水和セメントおよび水和セメントの2種類とした。未水和セメントは、粉体の普通セメントをそのまま試料とした。水和セメントは、所定の材齢まで水和させたものでセメント協会F-18法に準じ、 $105\mu m$ 以下の粉末状に調整して用いた。結合水の離脱量を検討するために用いたコンクリート、標準砂および石灰石碎石骨材も水和セメントと同様に微粉砕し試料とした。

(2) グルコン酸ナトリウム溶液の量、質量濃度、溶液の温度の検討

本試験は、単位セメント量が $250\sim 600kg/m^3$ 程度のコンクリートを対象としており、試験に用いるコンクリート粉末試料の量を $2.000g$ とし、この中に含まれるセメント量を、 $0.2\sim 0.6g$ と想定した。この量を溶解するのに必要なグルコン酸ナトリウム溶液の量、質量濃度、溶液

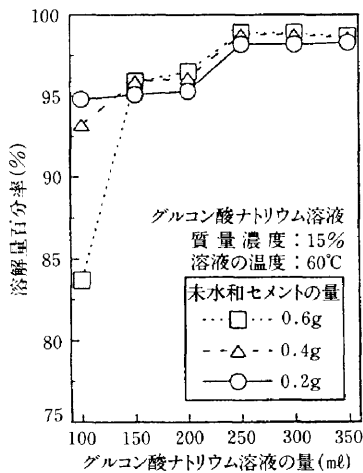


図-1 グリコン酸ナトリウム溶液の量と溶解量百分率との関係

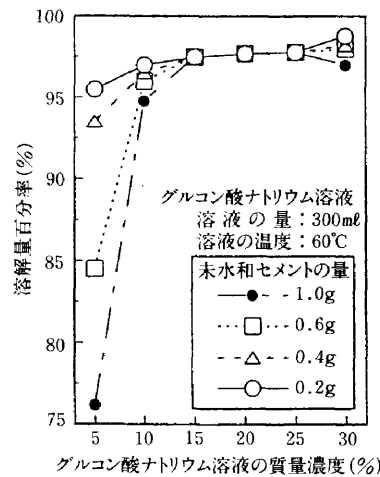


図-2 グリコン酸ナトリウム溶液の質量濃度と溶解量百分率との関係

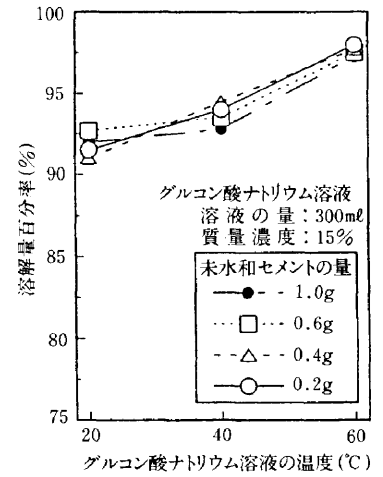


図-3 グリコン酸ナトリウム溶液の温度と溶解量百分率との関係

の温度を明らかにするための試験を行った。グルコン酸ナトリウム溶液の量 6水準，質量濃度 6水準，溶液の温度 3水準およびセメントの量 4水準として試験した。また，水和セメントは，材齢2年，封かん養生したセメントペースト硬化体を粉末にしたものである。セメントを溶解する際の溶液の攪拌時間は，全て30分間一定とした。試験は500℃で強熱した粉末試料 (Sa) を所定のグルコン酸ナトリウム溶液を用いて溶解し，これをろ過，洗浄後500℃で強熱したのち，不溶残分量 (Rs) を求めた。試験の結果は，粉末試料の溶解量百分率で示し，(1)式により算出した。

$$Sd = \frac{Sa - Rs}{Sa} \times 100 \dots\dots\dots(1)$$

ここで，

Sd：粉末試料の溶解量百分率 (%)

Sa：強熱後 (500℃) の粉末試料の質量 (2.000g)

Rs：粉末試料の不溶残分量 (g)

(3) 不溶残分の洗浄方法の検討

不溶残分は，グルコン酸ナトリウム溶液を用いてコンクリート粉末試料を溶解した後，ろ過した残分を強熱処理を行って求めるが，ろ紙に付着したグルコン酸ナトリウムを洗浄するため，温湯 (約90℃) とアンモニア溶液 (1+1) を用いた洗浄方法を検討した。洗浄方法は，次の4種類とした。

洗浄方法 A：温湯洗浄3回

洗浄方法 B：温湯洗浄10回

洗浄方法 C：アンモニア溶液洗浄3回

洗浄方法 D：温湯洗浄3回→アンモニア溶液洗浄2回→温湯洗浄2回

ここで示した洗浄回数1回とは，ロートに洗浄液を満

し，洗浄液が全量ろ過した状態をいい，1回の洗浄液の量は220ml程度である。なお，この洗浄はアンモニアを扱うため，風通しのよい室内で行った。このときの室温は20±5℃であった。

試験に用いた試料は，未水和セメント0.2gおよび水和セメント (水セメント比50%，材齢6ヶ月，封かん養生) 0.2, 0.6gとし，これらをグルコン酸ナトリウム溶液 (溶液量300ml，質量濃度15%，溶液の温度60℃) で溶解した後に洗浄方法を変えて前項 (2) と同様に試験し，不溶残分量を比較した。

(4) 強熱処理温度の検討

本試験方法においては，コンクリート粉末試料の結合水の処理およびろ紙灰化のために強熱処理を行う。この強熱処理温度の高低が試料の結合水の離脱量およびろ紙の灰化程度が不溶残分量に及ぼす影響を調べるために強熱処理温度の検討を行った。

強熱処理温度と結合水の離脱量 (強熱減量) の関係を明らかにするために，表-1に示したコンクリート，水和セメント，標準砂および鳥形山産石灰石碎石骨材の粉末試料1.0gを用いて各強熱処理温度における強熱減量百分率を(2)式を用いて算出した。

$$Wst = \frac{Sa_{105} - Sat}{Sa_{105}} \times 100 \dots\dots\dots(2)$$

ここで，

Wst：強熱処理温度t℃における粉末試料の強熱減量百分率 (%)

Sa₁₀₅：105℃絶乾後の粉末試料の質量 (g)

Sat：強熱処理温度t℃における強熱後の粉末試料の質量 (g)

また，本試験で用いたろ紙は，700℃で強熱処理する

表一 水セメントを加えた水和セメントの溶解量百分率 (%)

W/C (%)	水和セメント量(g)			
	0.2	0.4	0.6	1.0
30	97.2	97.9	97.2	95.7
40	97.2	98.1	97.5	96.1
50	98.1	98.4	97.2	95.8
60	98.6	98.1	97.4	96.1

表一 3 洗浄方法を変えた場合の不溶残分量

洗浄方法	不溶残分量:Rs (g)	平均 (g)
未洗浄	0.238 0.257 0.248	0.248
洗浄方法A (温湯のみ)	0.008 0.008 0.009	0.008
洗浄方法B (アンモニア溶液のみ)	0.013 0.021 0.021	0.018
洗浄方法C (温湯3回→アンモニア溶液2回→温湯2回)	0.004 0.005 0.005	0.005
洗浄方法D (アンモニア溶液3回→温湯2回)	0.005 0.005 0.006	0.005

試料：未水和セメント0.2g

表一 4 水和セメントの強熱温度500℃および1000℃における強熱原料百分率 (%)

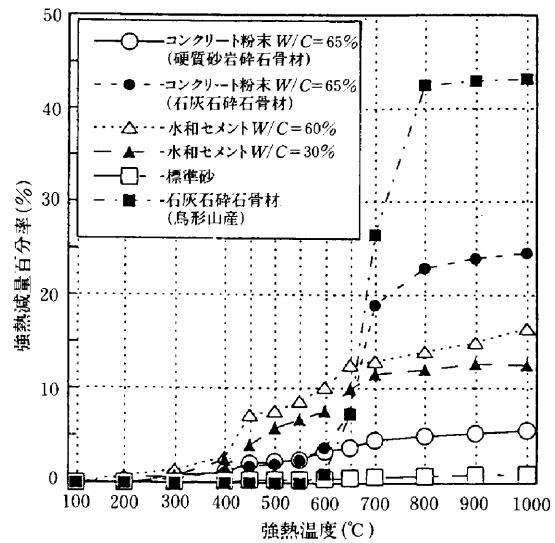
W/C (%)	①500℃	②1000℃	$\kappa \cdot (①-②)$
30	5.6	12.3	6.7
40	6.8	13.1	6.3
50	7.3	15.2	7.9
60	7.6	16.3	8.7

試料：水和セメント，材齢2年，封かん養生
 κ ：強熱温度500～1000℃におけるセメントの結合水の離脱分

ように規定されている。しかし、本試験では石灰石骨材の強熱減量百分率を考慮する必要があることから、比較的低い温度で強熱処理を行うため、ろ紙が完全に灰化せずに若干の残留灰が生じてしまう。そこで、この強熱処理温度とろ紙の残留灰および不溶残分量に与える影響を調べるために、表一 1に示した水和セメント（水セメント比60%，材齢3ヶ月，封かん養生）0.3および0.4gを用いて前項（2）と同様に試験し、溶解量百分率を求めた。ただし、この際、グルコン酸ナトリウム溶液（質量濃度15%，溶液の温度60℃）の量を300,400および500mlと変えて試験した。

3-2 結果および考察

(1) グルコン酸ナトリウム溶液の量，質量濃度，溶液の温度
 グルコン酸ナトリウム溶液（質量濃度15%，溶液の温

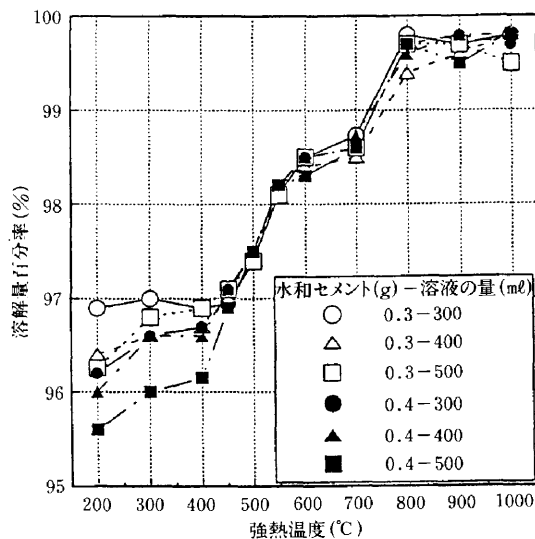


図一 4 各種試料の強熱温度と質量減少百分率との関係

度60℃)の量と未水和セメントの溶解量百分率との関係を図一 1に示す。溶解量百分率は、溶液の量が250ml以上になると、未水和セメントの量0.2～0.6gの範囲で98%程度となる。溶液の量が250mlより少ない場合、溶液の量に対しセメント量が過剰になり全量溶解することができないため、溶解量百分率が小さくなると考えられる。この結果、試験に必要なグルコン酸ナトリウム溶液の量は300mlと決定した。

グルコン酸ナトリウム溶液（溶液の量300ml，溶液の温度60℃）の質量濃度と未水和セメントの溶解量百分率との関係を図一 2に示す。溶解量百分率は、グルコン酸ナトリウム溶液の質量濃度15～25%の範囲において未水和セメントの量0.2～0.6gの範囲で98%程度となった。質量濃度が30%以上になるとグルコン酸ナトリウムがろ紙に付着し、洗浄できずに再結晶するため、試験結果にばらつきを生じたと考えられる。また、質量濃度が低い場合、グルコン酸ナトリウム溶液がセメントの全量を溶解できずに、溶解量百分率が若干小さくなったと考えられる。この結果、溶液の質量濃度を15%と決定した。

グルコン酸ナトリウム溶液（溶液の量300ml，質量濃度15%）の温度と未水和セメントの溶解量百分率との関係を図一 3に示す。溶解量百分率は、溶液の温度が高い程大きくなる傾向がある。これは、グルコン酸ナトリウム溶液とセメントの反応が促進されるためと考えられる。また、グルコン酸ナトリウム溶液の温度を80℃程度にするとセメントと反応した溶液がゲル状になることを確認した。そこでグルコン酸ナトリウム溶液の温度は、60℃とした。グルコン酸ナトリウム溶液の条件が、溶液の量300ml，質量濃度15%および溶液の温度60℃のとき、未



図一五 強熱温度と溶解量百分率との関係

水和セメントの量0.2～0.6gの範囲で、溶解量百分率が約97.5%となっている。この主な原因は、ろ紙が完全に燃焼しないためであろう。

水セメント比および水和セメントの量と溶解量百分率との関係を表一2に示す。水和セメントの量が0.2～0.6gの範囲では、溶解量百分率は97～99%程度であり、水和セメントの量が1.0gでは、溶解量百分率は95～96%程度であった。水和セメントも未水和セメントと同様に溶解するが、未水和セメントの場合と同様に、主としてろ紙の残留灰によると思われる不溶残分が、セメントの量に対し、2.5%程度あった。

(2) 不溶残物の洗浄方法

洗浄方法と未水和セメントの不溶残分量との関係を表一3に示す。残留物の洗浄は、温湯のみ（洗浄方法A,B）あるいはアンモニア溶液のみ（洗浄方法C）で洗浄するより、温湯とアンモニア溶液とを組み合わせる洗浄（洗浄方法D）した方が不溶残分量が小さくなっており、洗浄効果が良いことを示している。しかし、温湯とアンモニア溶液を組み合わせる洗浄しても0.005gの不溶残物が残る。これは先に述べたとおり主としてろ紙の残留灰の影響と思われる。この量は、未水和セメント0.2gに対して2.5%程度である。この量は、セメント量を少なく判定する原因になるため、推定単位セメント量を求めるときには、補正する必要がある。

以上の結果、残留物の洗浄方法は、洗浄方法Dの温湯洗浄3回→アンモニア溶液洗浄2回→温湯洗浄3回とした。

(3) 強熱処理温度

各種試料の強熱処理温度と強熱減量百分率との関係を図一4に示す。石灰石砕骨材は、600℃を超えると主成

分である炭酸カルシウムが分解し、強熱減量百分率が急激に増加している。石灰石骨材を用いたコンクリート粉末も同様に600℃辺りから急激な強熱減量百分率の増加が見られる。このように強熱処理温度を高くすると石灰石が分解するため、前処理における強熱処理温度を500℃とした。しかし、強熱処理温度を500℃とした場合、表一4に示すようにいずれの水セメント比においても結合水は完全に離脱せず、強熱処理温度1000℃に対して7～9%程度の結合水が残っている。この結合水量は、セメント量を7～9%程度少なく判定する原因になるため、推定単位セメント量を求めるときには、この値を補正する必要がある。

水和セメントの強熱処理温度と溶解量百分率との関係を図一5に示す。強熱処理温度500℃では、水和セメントの量0.4g、溶液の量が500ml程度において溶解量百分率は、97.5%程度になっている。強熱温度を800℃以上になると、溶解量百分率が99.0%以上となり、ろ紙がほぼ完全に燃焼していることを示している。しかし、強熱温度600℃を越えると石灰石骨材が急激に分解を起こすため、ろ紙灰化のための強熱処理温度は、500℃とした。

これらの結果、石灰石骨材の分解を考慮して結合水の離脱のための強熱処理温度は500℃とした。しかし、この強熱処理温度ではセメントの量に対し2.5%程度の残分が残る。この値を試験方法中の算定式で補正することとした。

3-3 まとめ

コンクリート中のセメントを溶解するためのグルコン酸ナトリウム溶液の条件は下記のように決定した。

- ①グルコン酸ナトリウム溶液の量；300ml
- ②グルコン酸ナトリウム溶液の質量濃度；15%
- ③グルコン酸ナトリウム溶液の温度；60℃
- ④グルコン酸ナトリウム溶液の温度攪拌時間；30分

また、攪拌後の残留物の洗浄方法は、温湯洗浄3回→アンモニア溶液（1+1）洗浄2回→温湯洗浄2回とし、結合水の離脱およびろ紙の灰化のための強熱処理温度を500℃とした。

これらの条件でコンクリートの粉末試料を用いて試験するとセメントの溶解量百分率は、97.5%程度となる。この原因は、強熱処理温度500～1000℃におけるセメントの結合水の未離脱分（セメント量に対し約8%）およびろ紙の未燃焼分（セメントの量に対し約2.5%）が、残留分の中に含まれているためである。この量は、推定単位セメント量を求めるためには、補正する必要がある。

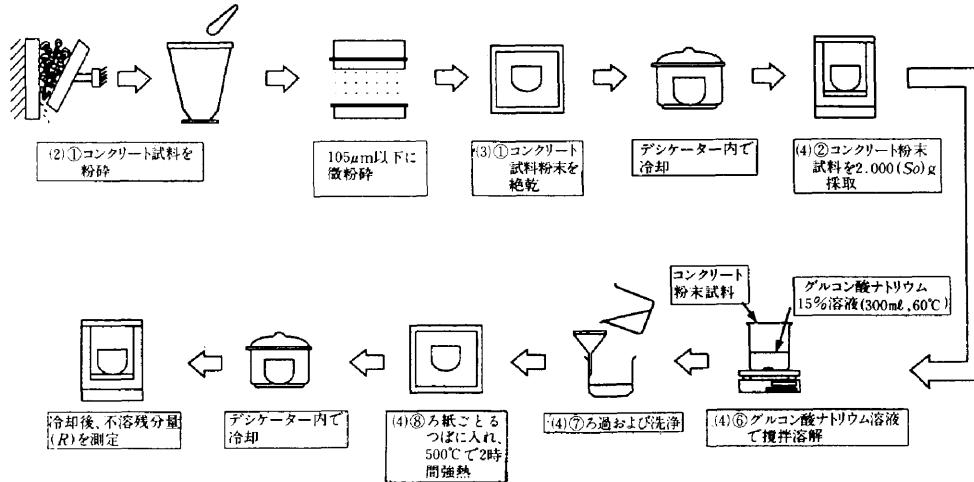


図-6 実験操作手順

§ 4. グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートのセメント量判定試験方法の提案

4-1 適用範囲

この試験方法は、ポルトランドセメントを使用した硬化コンクリートの単位セメント量の判定に適用する。この方法は、通常の骨材はもとより貝殻や石灰石を含む骨材を用いたコンクリートに適用するが、中性化した部分には適用できない。

4-2 試験用器具および試薬

(1) 試験用器具：乾燥炉，ジョー・クラッシャー，乳鉢，網ふるい105 μ m，デシケーター，500ml ビーカー，1000ml メスシリンダー，はかり（ひょう量210g，感量0.001g），ホットティングスターラー，温度計，ろうと（口径120mm，足長120mm），ろ紙（JIS P 3801 5種C 185mm），電気炉（使用温度範囲100～1150 $^{\circ}$ C，温度調節精度 \pm 5 $^{\circ}$ C，温度分布精度 \pm 3 $^{\circ}$ C），ろつば，ノギス，磁石

(2) 試薬：グルコン酸ナトリウム（ $C_6H_{11}NaO_7$ ）一級試薬，アンモニア水（ NH_4OH ）一級試薬，蒸留水

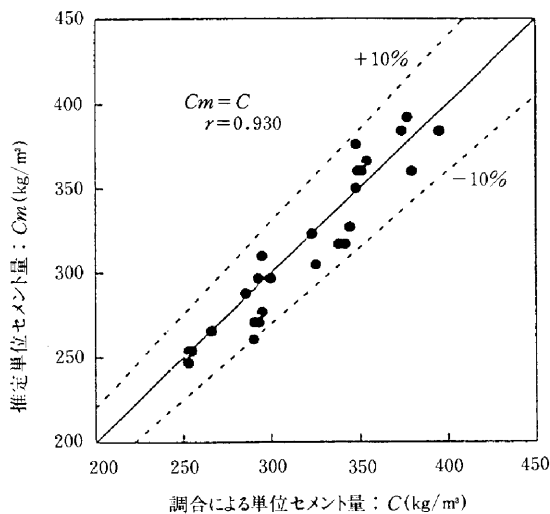
4-3 試験方法

試験方法の実験操作手順を図-6に示す。

- (1) コンクリート試料の体積および絶乾質量の測定
- ①構造体コンクリートからコアドリルなどにより採取したコンクリート試料の体積は，コンクリート試料を水中に静置し，十分吸水させた後，空气中質量と水中見かけの質量を測定し，その差から体積（ $V:m^3$ ）を求める。
 - ②コンクリート試料を，乾燥炉を用いて105 $^{\circ}$ Cで絶乾とし，その後デシケーター内で冷却する。
 - ③冷却したコンクリート試料の絶乾質量（ $Cd:kg$ ）を計る。
- (2) コンクリート粉末試料の調整
- ①前項（1）のコンクリート試料をジョー・クラッシャー

を用いて2.5mm以下に全量粗粉碎する。

- ②全量粗粉碎した粉を四分法により500g程度まで縮分し，乳鉢などを用いて微粉碎し，105 μ mのふるいを全量通過させる。
 - ③この粉末試料中には，鉄粉が粉碎時に混入しているため，磁石を用いてこの鉄粉を取り除く。これをコンクリート粉末試料とする。
- (3) コンクリート粉末試料の500 $^{\circ}$ C強熱減量の試験
- ①前項（2）のコンクリート粉末試料を乾燥炉を用い105 $^{\circ}$ Cで絶乾とする。その後，デシケーター内で冷却する。
 - ②この試料を2.000g（ S_{C105} ）を計り取る。
 - ③あらかじめ500 $^{\circ}$ Cに保った炉中で2時間強熱する。
 - ④次に，デシケーター内で冷却した後，この試料の質量（ S_{C500} ）を計る。
- (4) コンクリート粉末試料の溶解量の試験
- ①前項（2）のコンクリート粉末試料をあらかじめ500 $^{\circ}$ Cに保った炉中で2時間強熱する。
 - ②これをデシケーター中で冷却した後，コンクリート粉末試料の質量2.000g（ S_0 ）を計る。
 - ③蒸留水を温度約90 $^{\circ}$ Cに温め，935ml計り取り，これにグルコン酸ナトリウム165gを入れ攪拌し，質量濃度15%の溶液を作る（この量は，3回分の量である）。
 - ④調整したグルコン酸ナトリウム15%溶液をメスシリンダーを用い300ml計りとり，これを500mlビーカーに注ぐ。
 - ⑤コンクリート粉末試料（ S_0 ）を④のビーカーに入れる。
 - ⑥これをホットティングスターラーを用いて30分間攪拌し，コンクリート粉末試料中のセメントを溶解する。このとき，グルコン酸ナトリウム15%溶液の温度は60 $^{\circ}$ Cに保つ。



図一七 割合による単位セメント量と推定セメント量との関係

- ⑦ろ紙5種Cを用いてこの溶液をろ過する。残留物を温水(約90℃)で3回洗浄する。次にアンモニア水溶液(1+1)を用いて、ろ紙をよく洗うように2回洗浄する。最後に温水(約90℃)で2回洗浄する。洗浄回数1回とは約220mlの洗浄液をろうとに満たし全量ろ過したことをいう。
- ⑧ろ過終了後、残留物をろ紙ごと、るつぼに入れ、500℃に保った電気炉で2時間強熱する。
- ⑨電気炉からるつぼごと取り出し、これをデシケーター内で冷却し、残留物の質量を秤で計る。これをコンクリート粉末試料の不溶残分量(R)とする。

4-4 試験結果の算定

(1) コンクリート粉末試料の強熱減量百分率

コンクリート粉末試料の強熱減量百分率(Wc)の算定は、(3)式による。

$$Wc = \frac{Sc_{105} - Sc_{500}}{Sc_{105}} \times 100 \dots\dots\dots (3)$$

ここで、

- Wc : コンクリート粉末試料の強熱減量百分率 (%)
- Sc₁₀₅ : 105℃絶乾後におけるコンクリート粉末試料の質量 (2.000g)
- Sc₅₀₀ : 500℃強熱後におけるコンクリート粉末試料の質量 (g)

試験は、4-3(2)の試料を用いて3回行い、平均値を求める。

(2) 絶乾状態のコンクリート粉末試料の溶解量百分率の算定

絶乾状態のコンクリート粉末試料の溶解量百分率(Co)の算定は、(4)式による。

$$Co = \frac{1.025 \cdot (So - R) \left(1 - \frac{Wc}{100}\right)}{So / \left(1 - \frac{Wc}{100}\right)} \times 100 \dots\dots\dots (4)$$

ここで、

- Co : 105℃絶乾状態におけるコンクリート粉末試料の溶解量百分率 (%)
- So : 500℃強熱後におけるコンクリート粉末試料の質量 (2.000g)
- R : コンクリート粉末試料の不溶残分量 (g)
- Wc : コンクリート粉末試料の強熱減量百分率 (%) (3回の平均値)
- κ : 500~1000℃におけるセメントの結合水の離脱分 (%) (不明な場合、8%を用いる)

(4)式の分子の定数の1.025は、3-2(3)で求めた水和セメント単味の残留灰の補正值である。

試験は、4-3(2)の試料を用いて、3回行い、平均値を求める。

(3) コンクリート試料中の推定単位セメント量の算定
コンクリート試料中の推定単位セメント量(Cm)は、(5)式による。

$$Cm = \frac{Co \cdot Cd}{100 \cdot V} \dots\dots\dots (5)$$

ここで、

- Cm : コンクリート試料の推定単位セメント量 (kg/m³)
- Co : 105℃絶乾状態のコンクリート粉末試料の溶解量百分率 (%) (3回の平均値)
- Cd : コンクリート試料の105℃絶乾質量 (kg)
- V : コンクリート試料の体積 (m³)

§ 5. グルコン酸ナトリウムによるセメント量判定試験方法の確認試験

5-1 試験項目および試験の概要

前項4で提案したグルコン酸ナトリウムによるセメント量判定試験方法の適用性を確認するため、石灰石骨材コンクリートを用いて試験した。石灰石骨材を使用したコンクリートの適用性を確認するため産地の異なる石灰石骨材を用いたコンクリートの単位セメント量の判定試験を行った。これらのコンクリートは、普通ポルトランドセメント、鳥形山、八戸、大叶、青梅および山梨産の石灰石砕石5種類、青梅および秩父産の石灰石砕砂2種類を使用し、水セメント比50,55,60および70%で調合した26種類である。コンクリートはφ10×20cmの型枠に打設し、材齢6ヶ月間水中養生したものである。コンクリート試料(φ10×20cm)は、高さ方向に3等分に切断し、

各箇所の推定単位セメント量を求め平均値で表した。セメント量の判定に当たっては(4)式の κ は、表-4に示すセメントの500~1000℃における強熱減量百分率 κ (②-①値)の値を用いてコンクリートの水セメント比ごとに補正した。

5-2 結果および考察

石灰石骨材コンクリートの調合による単位セメント量と推定単位セメント量との関係を図-7に示す。調合による単位セメント量と推定単位セメント量との関係は、実験結果に基づき関係式を1次式として求めると、原点を通る式とはならないが、工学的な処理として(6)式によって代表されるものとした。これは、調合による単位セメント量200~400kg/m³程度の範囲において原点を通るように定めたものである。

$$C_m = C \dots\dots\dots(6)$$

ここで、 C_m : 推定単位セメント量 (kg/m³)

C : 調合による単位セメント量 (kg/m³)

両者の関係は、(6)式に対して相関係数0.930となっている。

この結果、グルコン酸ナトリウムによるセメント量判定試験方法は、調合から求めた単位セメント量に対し±10%の範囲で硬化コンクリート中の単位セメント量を推定できることが確認された。ただし、本試験を適用するに当たり、水セメント比が明かなときは、表-4のセメントの500~1,000℃における結合水の離脱分 κ (②-①値)を用いるとよい。また、水セメント比が不明な場合、表-4に示す500~1,000℃における結合水の離脱分 κ の平均値8%を用いて補正を行えば、かなりの精度で推定できる。しかし、 κ は、水セメント比、練り混ぜ条件および養生条件、材齢などにより異なるため κ の取扱いについては注意しなければならない。

5-3 まとめ

本試験方法の確認試験では、 $\phi 10 \times 20$ cmの石灰石コンクリート試料を用いた場合、調合による単位セメント量に対して±10%程度の範囲でセメント量が判定された。

§ 6. グルコン酸ナトリウムによるセメント量判定試験方法の用途

構造体コンクリートの品質評価を実施する場合、単位セメント量を求めることは必要不可欠な手法である。現場において下記のような問題が発生した場合、本試験方法を適用してセメント量を明らかにし、原因究明への大きな手がかりを得ることが可能である。

①構造体コンクリートに強度不良あるいはひび割れが発

生した場合、本試験方法より求められた単位セメント量から、調合に依存するものか、環境条件によるものか、あるいは施工法に起因するものかを特定できる。

②ジャンカなどのコンクリート打設不良箇所においては、本試験方法から求めた値と調合による単位セメント量との差および強度試験などの併用によりコンクリートの品質評価が可能である。

③構造体コンクリートの耐久性を調査する場合、本試験方法で得られた単位セメント量の値より判断して、劣化原因が推測できる。

今後は、本試験方法の現場適用事例を増やしてデータを蓄積していくとともに、当社におけるビルディング・ドックシステムの中で充実させていく予定である。

§ 7. むすび

グルコン酸ナトリウムによる硬化コンクリートのセメント量判定試験方法を確立するためにコンクリート粉末試料の量、溶液の量、質量濃度および温度、水和セメントの溶解性、石灰石骨材の溶解性、強熱減量に関する検討などの基礎実験を行った。これらの結果に基づいて硬化コンクリート中の単位セメント量の判定試験方法を提案した。さらに、石灰石骨材コンクリートを用いて本試験方法の確認試験を行った結果、推定単位セメント量(C_m)は調合による単位セメント量(C)に対し±10%程度の範囲内でセメント量を推定できることがわかった。

今後、構造体コンクリートの単位セメント量を判定するためにコンクリート試料のサンプリング方法などの検討を行い、構造体コンクリートの品質評価を精度よく、より簡易に試験する方法を考え、当社のビルディング・ドックシステムに取り入れたい。

謝 辞

本研究は、日本大学生産工学部笠井芳夫教授並びに松井勇教授との共同研究で行ったもので、両教授の指導に対し、感謝の意を表します。また、その他にご助言を頂いた笠井順一名誉教授(日本大学)、露木尚光助教授(日本大学)並びに実験にご協力して頂いた長野基司氏(元セメント協会)、杉山雅氏(藤沢薬品工業)、横山滋氏(秩父セメント)にも心から感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社)セメント協会コンクリート専門委員会:F-18及びF-23硬化コンクリートの配合推定に関する共同実験報告,1974.