希釈法による超高強度コンクリートの塩化物イオン濃度試験に関する研究

STUDY ON THE DILUTION METHOD FOR MEASUREMENT OF
CHLORIDE CONCENTRATION IN FRESH CONCRETE WITH
LOW WATER BINDER RATIO

寺内 利恵子*, 早川 光 敬**, 小山 善行***, 陣内 浩****, 黒岩 秀 介*****

Rieko TERAUCHI, Mitsutaka HAYAKAWA, Yoshiyuki KOYAMA,

Hiroshi JINNAI and Shusuke KUROIWA

Using bleeding water gathered by pressurized and filtered of diluted concrete sample with purified water, some methods were suitable to test for chloride concentration in water of fresh concrete with low-water binder ratio and with few bleeding water. As a result, the following conclusions were obtained. 1) In case of high-strength concrete, which W/B is 16% and 18%, using diluted concrete sample by purified water 50cc against fresh concrete 3kg, it is possible to test in about 15 minutes for chloride concentration in water of fresh concrete with low-water binder ratio. 2) It is preferable to gather a quantity of filtered water necessary for examine within 4 hours, while the change of density is small. 3) Among the methods by JASS5T-502, Coulometric titration and Mohr's method may have applicability to test for chloride concentration in water of fresh concrete with low water binder ratio, with dilution method. It is possible to examine for chloride concentration in water of fresh concrete with low water binder ratio at the construction site.

Keywords : High strength concrete, Chloride quantity, Coulometric titration, Mohr's method, Ion chromatographic analysis

高強度コンクリート, 塩化物量, 電量滴定法, モール法, イオンクロマトグラフ分析

1. はじめに

近年, 高層建築物が増加するなか, 設計基準強度(以下, F_c と記す) 100N/mm^2 以上の高強度コンクリートについて, 実用化に向けた研究開発^{例え1)}が進められた。現在では, $F_c 150\text{N/mm}^2$ として, 水結合材比(以下, W/B と記す) 16%の極めて低い W/B のコンクリートが実施された報告がある²⁾。

一方, 海砂に対する塩化物量の規制が始まった頃より, それまで一般に化学的な滴定法により分析していた細骨材, 特に海砂中の塩化物量を簡便な方法で測定できる機器の開発が始められた^{3)~10)}。昭和61年6月2日には建築指導課長通達においてコンクリート中の塩化物の総量が規制¹¹⁾され, 原則として, 工事現場において打込み前のフレッシュコンクリートについて塩化物量の測定を行うことになっている。しかしながら, W/B が 20%を下回るような高強度コンクリートは, ブリーディング量が少なく, 塩化物量の測定に必要な液などの採取に時間のかかる場合や困難な場合が多く, 迅速に塩化物量を測定する方法がないのが現状である。

そこで本論では, W/B が 20%を下回るような高強度コンクリートについて, フレッシュコンクリートを純水で希釈した試料を加圧ろ過した測定用試料により, コンクリート中の水に含まれる塩化物イオン濃度を簡便に測定する手法を検討した。

2. 試験方法について

フレッシュコンクリートを純水で希釈した試料を加圧ろ過した測定用試料による塩化物イオン濃度の測定について, 以下にその具体的な手順を述べる。

希釈コンクリート試料は, ステンレス製の円筒形の容器を用いフレッシュコンクリートと純水をそれぞれ規定量計量した後, ステンレス製の葉さじを用いてコンクリートが均質に希釈されるように攪拌して作製した。

測定用試料は, 希釈コンクリートのモルタル部分を加圧ろ過器用の容器に移して穴開き加圧板とモルタルの間にろ紙をはさんだ状態で加圧し, 加圧板の穴から浮き出たブリーディング水とした。このブリーディング水の塩化物イオン濃度測定値に対して, 希釈前の塩化物イオン濃度に補正するための係数を, 調合計画値より補正する式(1)より求めた。

$$\text{希釈補正係数} = \frac{(\text{試料質量} \times \frac{\text{単位水量}}{\text{単位量の合計}(W, B, S, G)} + \text{加水量})}{\text{試料質量} \times \frac{\text{単位水量}}{\text{単位量の合計}(W, B, S, G)}} \quad \dots (1)$$

フレッシュコンクリートの計量, 加える純水の計量・攪拌, 加圧ろ過およびろ液採取などの一連の作業は, 室温 $20 \pm 2^\circ\text{C}$, 湿度 $60 \pm 5\%$ の室内で行い, コンクリート製造後 15 分程度で加圧を開始する。

* 大成建設(株)建築本部 主任

** 東京工芸大学工学部建築学科 教授・博士(工学)

*** 東京検査(株) 代表取締役

**** 大成建設(株)技術センター 主任研究員・博士(工学)

***** 大成建設(株)技術センター 主任研究員・工修

Assistant Manager, Building Construction Div., Taisei Corp.

Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Eng., Tokyo Polytechnic Univ., Dr. Eng. President, Tokyo Kensa Co., Ltd.

Senior Research Engineer, Technology Center, Taisei Corp., Dr. Eng.

Senior Research Engineer, Technology Center, Taisei Corp., M. Eng.

ことを基本とした。

図1に使用したろ過器を示す。ステンレス製の容器に移したコンクリート試料のモルタル部分を加圧し、プラスチック製加圧板に開けられた直径2mmの孔から浮き出たブリーディング水を塩化物イオン測定用の試料とした。希釈前のコンクリート試料は、粗骨材が加圧に影響することを防ぐため、約0.25リットルの試料を加圧することとした。一方、希釈後のコンクリート試料は液状で、希釈前と同量の試料を容器に入れた場合に加圧作業が困難であったことから、事前検討をもとに、ある程度のブリーディング水が上がると考えられた約0.03リットルの試料を加圧することとした。加圧は手動で、加圧ハンドルを閉め込んだ。

3. 希釈法によるろ液の抽出に関する基本検討

ここでは、まずW/Bが20%を下回るような高強度コンクリートを希釈して得られたろ液を用いて、塩化物イオン濃度を測定することの妥当性について検討した。

検討に用いたコンクリートの使用材料を表1に、調合を表2に示す。これらは、文献2)に示される超高層RC造住宅の建設工事において、実施工に利用されたFc150N/mm²とFc130N/mm²のコンクリートを忠実に再現したものである。セメントには、普通ポルトランドセメント、スラグせつこう系混和材¹²⁾およびシリカフェュームを7:2:1の割合でブレミックスした特殊結合材を使用した。骨材には安山岩系砕石・砕砂を使用した。化学混和剤にはポリカルボン酸系の高性能減水剤と、低級アルコール系の収縮低減剤を使用した。

コンクリートのW/BはFc150を目標とした16%とFc130を目標とした18%の2種類とした。いずれも単位水量は150kg/m³とした。

3.1 希釈によるろ液抽出時間の短縮効果

ここでは、希釈によるろ液の抽出時間の短縮効果を確認するため、加える純水の量を変動要因とした加圧ろ過器1つあたりのろ液量の経時変化を測定した。目標とするろ液の採取量は、後の実験で用いる測定器での最低必要量を満足する1cc程度とした。なお、加圧は手動で行うため、ここでの評価は、同一の試験者が加圧ろ過器を使用した場合の相対評価となる。

測定に使用するコンクリートはW/B=16%のものとした。希釈水を加えるコンクリートの量は3kgとし、これに、25cc、50ccおよび100ccの3水準の純水を加えることとした。希釈後のコンクリートのW/Bは、純水25ccを加えた場合が18.2%、純水50ccを加えた場合が20.4%、純水100ccを加えた場合が24.7%となる。

図2に加圧後の経過時間と採取したろ液量の関係を示す。今回の実験条件では、希釈前のコンクリートに対し、純水50ccを加えた場合(W/B=20.4%)は約2倍、純水100ccを加えた場合(W/B=24.7%)は約3倍のろ液が得られた。しかし、純水25ccを加えた場合は、今回用いた加圧方法では効率的なろ液の採取が難しかった。また、目標の1cc程度のろ液を得る時間は、希釈前のコンクリートが60分であったのに対し、純水50ccもしくは100ccを加えた場合は15分以内に短縮できた。これより、加える純水の量が多くなれば、加圧後の早い時間帯で測定に必要なろ液を得ることができるといえる。

筆者らの経験では、W/B=20%程度で製造されるFc100クラスのコンクリートでは、ろ液の抽出が困難となることはない。したがって、希釈後のW/Bを20%以上とすれば、問題なくろ液が抽出できると考

えられる。ただし、必要以上に希釈を行えば液中の塩化物イオン量が少なくなり、試験方法によっては塩化物イオンを検知できなくなる恐れがあるため、本論の範囲においては、加える純水の量は、コンクリート3kgに対して50cc程度が理想的であると判断した。また、本研究では希釈前コンクリートと希釈後のコンクリートの比較検討を行うため、測定用試料の採取時間は、希釈前のコンクリートでも1ccのろ液が採取可能であった加圧後1時間を基本として検討を進めることとした。

図1 加圧ろ過器

表1 使用材料

結合材	高強度結合材（普通ポルトランドセメント：スラグせつこう系混和材：シリカフェューム＝7：2：1）
細骨材	大月産安山岩砕砂 （表乾密度 2.60g/cm ³ ，吸水率 2.41～2.74％）
粗骨材	大月産安山岩砕石 2005 （表乾密度 2.60g/cm ³ ，吸水率 1.84～2.58％）
混和剤①	収縮低減剤（低級アルコール系）
混和剤②	高性能減水剤（ポリカルボン酸系）
練混ぜ水	上水道水以外の水（地下水）

表2 調合計画

目標Fc (N/mm ²)	W/B (%)	単位量 (kg/m ³)					混和剤② Ad/B (%)
		結合 材 B	水 W	細骨 材 S	粗骨 材 G	混和 剤①	
150	16	938	150	550	817	7	2.0～3.0
130	18	834	150	642	817	—	3.0

図2 ろ液測定結果

3.2 ろ液の採取時期と塩化物イオン量の関係

コンクリートの塩化物量と注水からの時間経過の関係は、5時間後まで変化がないとされる報告¹³⁾と、注水1時間以内にすでにフリーデル氏塩の固定が始まり、測定値が変わるという報告^{14)や15)}がある。前節の結果より、本論では加圧後1時間でのろ液採取を行

うこととしたが、ここではその妥当性を実験的に検討しておくこととした。検討実験では、W/B=16%のコンクリートを準備し、1時間後、2時間後、3時間後、4時間後、および5時間後にろ液の採取を行い、塩化物イオン濃度の測定を行った。測定による誤差を小さくするため、測定方法は、JISA 1144 に規定されているイオンクロマトグラフ法とした。

図3にろ液採取時期による塩化物量の変化を示す。縦軸は、測定値に計画単位水量を乗じて求めた塩化物量とした。ろ液の塩化物量は、加圧より1~4時間までの範囲であれば比較的安定した傾向にあったが、それを超えると希釈前コンクリートの塩化物量が減少した。その理由は、測定誤差、ろ液の乾燥による濃度変化などが考えられるが、明確ではない。図中にはJISA 1154によって測定した硬化後のコンクリートの全塩分測定結果も示した。これと比べても加圧後4時間までは希釈前後を問わず安定した測定結果が得られると考えられる。

3.3 加える純水の量の検討

コンクリートを希釈する場合、測定値は希釈後のコンクリートの均質性などが影響することになる。特に、希釈水が少ない場合には、攪拌作業も困難であり、希釈後のコンクリートの均質性に疑問が残る。そこで、ここでは同一のフレッシュコンクリートから同じ作業によって7つの希釈後のコンクリートを作製し、これらの塩化物イオン量測定値の変動を調べることにした。前節と同様に、希釈水を加えるコンクリートの量は3kgとし、これに、25cc、50ccおよび100ccの3水準の純水を加えることとした。測定による誤差を小さくするため、塩化物イオン量の測定方法は、JISA 1144 に規定されているイオンクロマトグラフ法とした。

図4に試験結果を示す。縦軸は、測定値に計画単位水量を乗じて求めた塩化物量とした。希釈前のコンクリートから採取したろ液中の塩化物量の変動係数は2.8%程度であった。これに対し、50ccおよび100ccの純水を加えたコンクリートの塩化物量測定結果の変動係数は希釈前とほぼ同様の2.2~2.5%程度であった。一方、25ccの純水を加えたコンクリートでは、変動係数が8.9%程度とややばらつきが大きくなった。この結果より、十分な希釈水を加えて攪拌を行えば、希釈後のコンクリートは均質になるものと考えられる。

3.4 試料とするコンクリートの量の検討

JISA 1115 (フレッシュコンクリートの試料採取方法)によれば、コンクリートの試料の採取は20リットル以上と規定されている。しかし、一般の工事現場で20リットル以上のフレッシュコンクリートに純水を加えて均質になるまで攪拌するのは容易ではない。本論で用いたコンクリートの単位容積質量が2.4~2.5kg/リットルであることを考えれば、20リットルのコンクリートを攪拌するということは、質量にして50kg程度のコンクリートを攪拌することになる。

そこで、試料とするコンクリートの量を減らした場合の測定誤差を検討し、試料の量を検討することとした。ここでは、試料とするコンクリートの量を0.6kg、3kg、6kgの3水準とし、同一のフレッシュコンクリートから同じ作業によって7つの希釈後のコンクリートを作製し、これらの塩化物イオン量測定値の変動を調べた。加える純水の量は、コンクリートの量が3kgの場合を50ccとし、これを基本として、試料の量と希釈水の質量比が等しくなるように、0.6kgの場合は10cc、6kgの場合は100ccとした。

図3 ろ液抽出時期による塩化物量の変化

図4 加えた純水の量を変動要因とした試験結果

図5 フレッシュコンクリート量を変動要因とした試験結果

図5に試験結果を示す。縦軸は、測定値に計画単位水量を乗じて求めた塩化物量とした。希釈前のコンクリートから採取したろ液中の塩化物量測定結果の変動係数は4.2%程度であった。これに対し、試料を3kgおよび6kgとした場合のコンクリートの塩化物量測定結果の変動係数はこれを下回るものであった。したがって、最低3kg程度の試料を用いれば、希釈後のコンクリートは均質になるものと考えられる。

試料の量による試験結果がばらつく原因のひとつにフレッシュコンクリート採取時点での試料中のセメントペースト分量の差が考えられることから、測定に用いた試料から粗骨材を洗い出し、その絶乾質量を比較した。

表3に洗い出した粗骨材の絶乾質量を示す。試料の量に関わらず変動係数は3~5%程度であり、当初予想した採取量が少ない試料での粗骨材量のばらつきは見られなかった。このことから、前述の実験時に採取したコンクリート試料中のセメントペースト量は、ほぼ一定であったと言える。試料が0.6kgの場合の試験結果がばらつく理由は、計量誤差や試料中の水の絶対量が少なくブリーディング水が出にくいことなどの影響と考えられる。

4. JASS5T-502の希釈法への適用

フレッシュコンクリート中の水の塩化物イオン濃度試験方法はJIS A 1144で規格化されているが、この方法は特殊な分析機器や測定能力が必要とされるため、工事現場での適用は難しい。したがって、ほとんどの工事で、日本建築学会のJASS5T-502フレッシュコンクリート中の塩化物量の簡易試験方法（以下、JASS5T-502と記す）による塩化物量の測定が行われている。

JASS5T-502で用いる塩化物量測定器には、精度、再現性、取り扱いの簡便性および通常の使用に対する耐久性などについて公的な機関の評価を受けた15の測定器があるとされる。ここでは、一般的に使用されることが多い表4に示す4種類の測定原理の異なる測定器について基礎的傾向を把握し、実施工時に使用する機器を選定することとした。

4.1 既知の濃度のNaCl溶液による基礎実験

まず、測定器A~Dを用いて既知の濃度のNaCl溶液中に含まれる塩化物イオン濃度を測定し、その結果を比較した。なお、全ての測定器は（財）国土開発技術センターの技術評価を取得しており、測定範囲はコンクリートの塩化物総量規制で設定された値 0.30kg/m^3 および 0.60kg/m^3 を考慮した $0.05\sim0.5\%$ (Cl^-/water) である。W/B=20%以下の高強度コンクリートを測定対象とした場合、 Cl^- 濃度領域は0.1%前後と考えられるため、測定用試料は、NaCl 0.1mol 溶液 (Cl^- 濃度 0.354%)、NaCl 0.01mol 溶液 (Cl^- 濃度 0.0354%) および NaCl 0.1mol 溶液を純水で2倍希釈した溶液 (Cl^- 濃度 0.177%) の3種類とした。

図6に測定結果を示す。 Cl^- 濃度が低いNaCl 0.01mol溶液については、全ての測定器がそれぞれ設定した Cl^- 濃度に近い値を測定値として示した。しかし、 Cl^- 濃度が高くなるにつれ、測定器C（イオン電極法）およびD（電極電流測定法）は設定した Cl^- 濃度に対して1.2~1.5倍大きい測定値を示した。一方、測定器ごとの傾向から、測定器A（電量滴定法）が Cl^- 濃度にかかわらず、測定用試料に対し設定した値とほぼ同じ測定値を示し、誤差のない測定ができるといえる。また、測定器B（モール法）は設定濃度の1.1倍程度の測定値を示した。機器の測定誤差を考慮すると実務上も問題なく使用できると考えられる。測定器C（電極電流測定法）および測定器D（イオン電極法）は1.2~1.5倍の測定値を示し、 Cl^- 濃度が高い場合、測定値がやや高め示される傾向にあった。本実験では、測定器A（電量滴定法）および測定器B（モール法）を使用するのが望ましいという結果が得られたが、各測定器は所定のキャリブレーションを行っており、本来はばらつきの少ない測定値が得られると考えられることから、本論では各測定器の測定値に表4に示す機器補正係数を乗じ、その値を試験値とすることとした。

表3 洗い出した粗骨材の絶乾質量（単位：g）

試料の量 試料 No.	0.6kg+10cc	3kg+50cc	6kg+100cc
1	233.2	976.3	2001.8
2	219.7	941.9	1735.2
3	214.1	886.2	1859.1
4	227.4	924.8	1874.2
5	229.6	935.4	1899.3
6	219.8	903.8	2008.8
7	205.5	936.5	1899.7
平均 (g)	221.3	929.3	1896.9
σ (g)	9.61	28.8	92.8
変動係数 (%)	4.34	3.10	4.89

表4 測定原理と機器補正係数

機器 No.	測定原理	機器補正係数
測定器 A	電量滴定法	1
測定器 B	モール法	0.9022
測定器 C	電極電流測定法	0.6985
測定器 D	イオン電極法	0.6437

図6 既知の濃度のNaCl溶液の塩化物イオン濃度測定結果

図7 希釈した高性能減水剤の塩化物イオン濃度測定結果

4. 2 高性能減水剤の影響

JASS5T-502 で用いる塩化物量測定器の中には、 Br^- や I^- などの妨害イオンを Cl^- として測定してしまう機器がある可能性もある⁴⁾。また、筆者らは、あらかじめイオンクロマトグラフによる分析により $\text{W/B}=16\%$ の高強度コンクリートで使用する高性能減水剤に微量の Br^- が入っていることを確認した。そこで、高性能減水剤の Cl^- 濃度を測定し、測定器ごとの試験値を比較した。測定用試料は、実際の調査範囲を想定して、結合材に対する高性能減水剤の濃度として1%、2%および3%の3種類とした。

図7に高性能減水剤の塩化物イオン濃度測定結果を示す。高性能減水剤の濃度が高くなるほど各測定器により測定値が大きく異なった。特に測定器D（イオン電極法）は対数的に測定値が上昇していることから、4.1で得られた結果と合わせると妨害イオンを塩化物として計測している可能性があると考えられる。4.1で高い測定値を示した測定器C（電極電流測定法）であるが、ここでは低い測定値を示した。この結果より、測定器D（イオン電極法）は使用せず、測定器A（電量滴定法）、測定器B（モール法）および測定器C（電極電流測定法）を用いて研究を進めることとした。

4. 3 各測定器を用いて測定した塩化物量の比較

ここでは、JIS A 1144 のイオンクロマトグラフ法を用いて測定したフレッシュコンクリート中の塩化物量と、表4に示した各測定器を用いて測定したフレッシュコンクリート中の塩化物量の比較を行った。測定では、同じ材料を用いて同じ調合のコンクリートを5回練混ぜ、それぞれについて、各測定器によるフレッシュコンクリート中の塩化物イオン量を測定した。比較対象は $\text{W/B}=16\%$ および $\text{W/B}=18\%$ の2調合とした。

図8に各測定値の比較結果を示す。いずれの水結合材比においても、測定器A（電量滴定法）および測定器B（モール法）の2種類は概ねJIS A 1144 のイオンクロマトグラフ法と同等かやや高い値を示したが、測定器C（電極電流測定法）は明らかに低い値を示した。そこで、ここでの結果に、4.1および4.2の結果も考慮し、以降は測定器A（電量滴定法）および測定器B（モール法）の2種類で検討を進めることとした。

5. 実施工のコンクリートを用いた希釈法の妥当性の検証

希釈コンクリートから加圧ろ過したろ液について、塩化物量測定用の試料としての妥当性を明らかにするため、同じアジテータトラックから採取した希釈前のコンクリートと希釈後のコンクリートについて、抽出したろ液の試験結果を比較検討した。

表5に実施工時の試験項目を示す。試料は、希釈前のフレッシュコンクリートとフレッシュコンクリート3kgに対し純水を50g加えて攪拌した希釈後のコンクリートの2種類とし、それぞれ加圧ろ過して抽出したろ液を用いた。測定方法は、JASS5T-502の電量滴定法およびモール法とした。さらに、JIS A 1154により硬化コンクリートの全塩分量も測定した。測定したアジテータトラック数は、 $\text{W/B}=16\%$ は60台、 $\text{W/B}=18\%$ は30台である。フレッシュコンクリートの計量、加える純水の計量・攪拌、加圧ろ過およびろ液採取などの一連の作業は、これまでの測定と同様に室温 $20\pm 2^\circ\text{C}$ 、湿度 $60\pm 5\%$ の室内で行い、同一の試験者が試料作成および測定を行った。試験結果を図9に示す。ここでは測定方法ごと、 W/B ごとに結果をま

図8 計算値と測定値の比較

表5 実施工時の試験項目

塩化物量測定用試料	試験方法
電量滴定法	希釈前のコンクリート
	希釈後のコンクリート
モール法	希釈前のコンクリート
	希釈後のコンクリート

図9 塩化物量（計画単位水量）

とめた。試験値は、希釈前のコンクリートと希釈後のコンクリートそれぞれのろ液で測定した測定値に、希釈補正係数および機器補正係数を乗じた。塩化物量を求めるために乗ずる単位水量は、計画単位水量 150kg/m^3 一律として求めた。

また、塩化物量を求めるためにはフレッシュコンクリート中の水の量を正確に求めておく必要があることから、単位水量を実測単位

水量で補正した試験値でも検討した。ここでの単位水量試験方法は、水中質量法¹⁶⁾とした。結果を図10に示す。出荷時の単位水量試験結果が 150kg/m^3 の目標値に対して平均値 149.8kg/m^3 、変動係数2%程度と非常に安定しており、補正係数や塩化物量計算に用いる水量を計画単位水量としても実測単位水量としてもほとんど変わらない結果となった。

図9および図10より、希釈前後の試験結果は高い相関性が見られ、測定方法や水結合材比に関わらず原点回帰直線上に分布した。これより、希釈コンクリートのブリーディング水を測定することでフレッシュコンクリートの塩化物量試験を行うことが可能と言える。

図10 塩化物量 (実測単位水量)

6. まとめ

水結合材比が20%を下回るようなブリーディングの少ない高強度コンクリートについて、フレッシュコンクリートを純水で希釈した試料を加圧ろ過した測定用試料により、コンクリート中の水に含まれる塩化物量を簡便に測定する手法を検討した結果、以下の結論を得た。

- 1) W/B=16%および W/B=18%の高強度コンクリートの場合、フレッシュコンクリート 3kg に対して純水 W/B を 50cc 加えて加圧ろ過することで、15分程度で塩化物量測定に必要なろ液を得られ迅速に測定を行うことが可能である。
- 2) 製造直後に加圧したフレッシュコンクリートについて、コンクリート試料加圧からろ液採取まで4時間以内であれば、ろ液の塩化物イオン濃度の変化が小さいと考えられる。
- 3) 今回検討を行った JASS5T-502 (フレッシュコンクリート中の塩化物量の簡易試験方法) の測定方法のうち、電量滴定法とモール法は低水結合材比の高強度コンクリートの希釈法による塩化物量測定に適用できる可能性がある。他の方法の適用については今後の検討による。工事現場においても、希釈コンクリートを作製することで塩化物イオン量を簡便に測定することが可能である。

謝 辞: 本研究にあたり、横浜ディ・エム生コン株式会社港北工場、第一コンクリート株式会社川崎工場、株式会社ディ・シイ、株式会社ボゾリス物産、太平洋マテリアル株式会社、株式会社中研コンサルタント、吉川産業株式会社、東京工芸大学早川研究室の学生諸氏などの皆様の多大なご協力をいただきました。ここで改めて本研究に関わった方々に深謝いたします。

参考文献

- 1) 小室 努・黒岩秀介・渡辺英義・陣内 浩: 150N/mm²級の超高強度コンクリートを用いたRC柱の実用化研究, コンクリート工学, Vol.139, No.10, pp.9-16, 2001.10
- 2) 陣内 浩・渡邊悟士・寺内利恵子・阿部剛士: 設計基準強度 150N/mm²の低収縮型高強度コンクリートの打設と品質管理, コンクリートテクノ, Vol.25, No.9, 2006.9
- 3) 大橋雄二: コンクリート用細骨材の塩分について, 建築技術, No.317, pp.101-103, 1978.1
- 4) 梶田佳寛: フレッシュコンクリートの塩化物含有量の試験方法, コンクリート工学, Vol.25, No.2, pp.26-32, 1987.2
- 5) 小林明夫・長田晴道・児玉育雄: 簡易な方法による海砂 生コン中の塩分測定, セメント・コンクリート, No.456, pp.29-33, 1985.2
- 6) 山田明文・橋田長一: 海砂およびコンクリート中の塩化物の測定方法—技術の現状, 電気化学, 52, No.11, pp.728-733, 1984
- 7) 蒔田 実・坂本浩行: 海砂および海砂使用コンクリート中の塩分の測定法, コンクリート・ジャーナル, Vol.12, No.10, pp.47-52, 1974.10
- 8) 笠井芳夫・金井和夫・小川良一郎: 試験紙による生コンクリート中の塩化物含有量判定方法, 日本建築学会学術講演梗概集 (構造系), pp.203-204, 1973.10
- 9) 小柳成男: 体温計の要領で生コンや骨材中の塩分を測る, 建築技術, pp.94-97, 1984.5
- 10) 橋田長一: 化学知識のいらない海砂中の塩分測定器, 建築技術, pp.98-100, 1984.5
- 11) 日本建築防災協会・日本建築センター: コンクリートの塩化物総量規制及びアルカリ骨材反応対策講習会 資料, 1986
- 12) 日本建築学会: 高強度コンクリート施工指針 (案)・同解説, 2005.1
- 13) 草野昌夫・渡辺夏也・村松良展: 凝結硬化過程における塩分挙動, セメント技術年報, 42, pp.375-378, 1988
- 14) 浜辺謙吉・瀬上光男: 簡易塩化物測定器によるフレッシュコンクリート中の塩化物量の測定例と誤計算に対する補正方法, 日曹マスタービルダーズ研究所報, No.8, pp.78-81, 1988
- 15) 平尾 宙・羽原俊祐・久米美穂子: セメントサスペンションにおける塩化物イオンの挙動, セメント・コンクリート論文集, No.52, pp.74-81, 1998
- 16) 丸嶋紀夫・黒羽健嗣・並木 哲・久保田浩: 水中質量法によるフレッシュコンクリートの単位水量試験方法, Vol.20, No.2, pp.313-318, 1998

(2006年9月7日原稿受理, 2006年12月5日採用決定)