

ISSN 0386-5878

土研資料 第1987号

土木研究所資料

コンクリート中塩分の定量および形態に関する研究

昭和58年1月

建設省土木研究所
地質化学部・化学研究室



目 次

まえがき	1
1. 研究の概要	1
1.1 研究目的	1
1.2 塩分と表現方法	1
2. 研究方法	3
2.1 研究の進め方	3
2.2 実験項目	3
2.3 試料の作成と分析方法	4
3. コンクリート中の塩分定量法を確立するための実験	6
3.1 硝酸抽出実験	6
3.2 水抽出実験	7
3.2.1 抽出条件を求めるための実験	7
3.2.2 抽出条件を一定にしての実験	11
4. コンクリート中に含まれる塩分の定量方法に関する標準試験案の提案	15
4.1 提案理由	15
4.2 標準試験方法	15
5. コンクリート中の塩化物の形態に関する実験	15
5.1 セメントペーストを用いた実験	15
5.2 コンクリートを用いた実験	19
あとがき	25
附 属 資 料	
1. 標準試験案	29
2. 塩分量計算に用いた電子計算機プログラム	33

まえがき

コンクリートに含まれる塩分は水に溶けやすい形で存在するものからセメント成分と反応して水に溶けにくい形に変化して存在するものまで種々の形態で存在すると考えられる。

水に溶けにくい形で存在する塩分は鉄筋の腐食に直接的な影響をもたないが、イオンまたはイオンになりやすい形で存在する塩分は鉄筋の腐食を促進する作用が大きいので有害である。

本報告はこのような塩分の形態をさまざまなコンクリートの品質のもとで定量的に明きらかにしたものであり、コンクリート構造物に関する今後の腐食対策を検討する上で基礎的な資料となることを期待するものである。

1. 研究の概要

1.1 研究目的

本研究の目的は次の2点にある。

(1) コンクリート中の塩分の定量方法を確立すること。

塩分の定量方法についてはその重要性にもかかわらず確立されたものがなく試験機関ごとに異なる方法を用いている現状であり、得られた結果について検証したり相互に比較することが難しいだけでなく正当な評価を下しえていない。このため早急に標準的な定量方法を提案する必要がある。

(2) コンクリート中の塩分の形態を明きらかにすること。

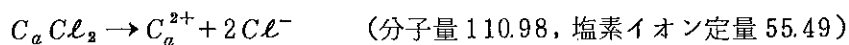
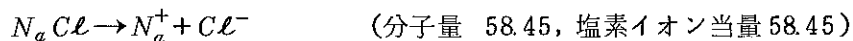
コンクリート中での塩分の存在状態を明きらかにし、それをふまえて鋼材の腐食に関与する塩分量を定量的に把握して構造物の耐久性を判断できるようにし、また土木学会標準示方書などで規制されている塩分規制値についても見直しを行い、より合理的な規制値を得るための技術資料を得ようとする。

1.2 塩分と表現方法

(1) 塩 分

本報告で対象とするのは、いわゆる塩分のなかでも塩素イオン(Cl)であり、海水や海砂に含まれる塩化ナトリウム($NaCl$)や混和剤等に含まれる塩化カルシウム($CaCl_2$ または $CaCl_2 \cdot 2H_2O$)の形で含まれる。

$NaCl$ や $CaCl_2$ は水(H_2O)の存在下で Cl^- を生じる。



湿潤なコンクリート中では塩素イオンは、次の3つの形で存在するといわれている。

① 容易に遊離していて鋼材の腐食に直接関与するもの(遊離塩分)

② なかば固着して容易には遊離しないもの

③ セメントと結合して全く遊離しないもの

(2) 塩分の表現方法

本資料ではコンクリート中の塩分は次のように表現する。

塩分は塩化ナトリウム量 ($NaCl$ 量) に換算する。また、塩分濃度はコンクリート中単位容積あたりの重量 (kg/m^3)、あるいは、砂換算重量濃度 (%) で表示する。

この他にも食塩水濃度表示、セメント重量換算表示等があるので塩分の換算表を表1-1に示した。

表1-1 塩 分 換 算 表

食 塩 水 濃 度 %	砂換算塩分濃度 %	コンクリート中塩分 重量 kg/m^3	コンクリート中塩分 濃 度 %	セメント換算塩分 濃 度 %
0.16	0.04	0.24	0.011	0.08
0.40	0.10	0.60	0.028	0.20
0.64	0.16	0.96	0.045	0.32
0.66	0.17	1.00	0.046	0.33
0.80	0.20	1.20	0.056	0.40
1.00	0.25	1.50	0.070	0.50
1.28	0.32	1.92	0.089	0.64
2.00	0.50	3.00	0.139	1.00
3.20	0.80	4.80	0.223	1.60
4.00	1.00	6.00	0.279	2.00
8.00	2.00	12.00	0.559	4.00
14.31	3.58	21.47	1.000	7.16
40.00	11.00	60.00	2.800	20.00

コンクリート配合例 (単位重量: kg/m^3)

W	C	S	G	合 計
150	300	600	1,100	2,150

σ_{28} , 350 kg , スランプ 8 cm を目標値とする。

2. 研究方法

2.1 研究の進め方

研究の一連の流れ（フローチャート）を図2-1に示す。このうち本研究は図中太実線部に該当する。

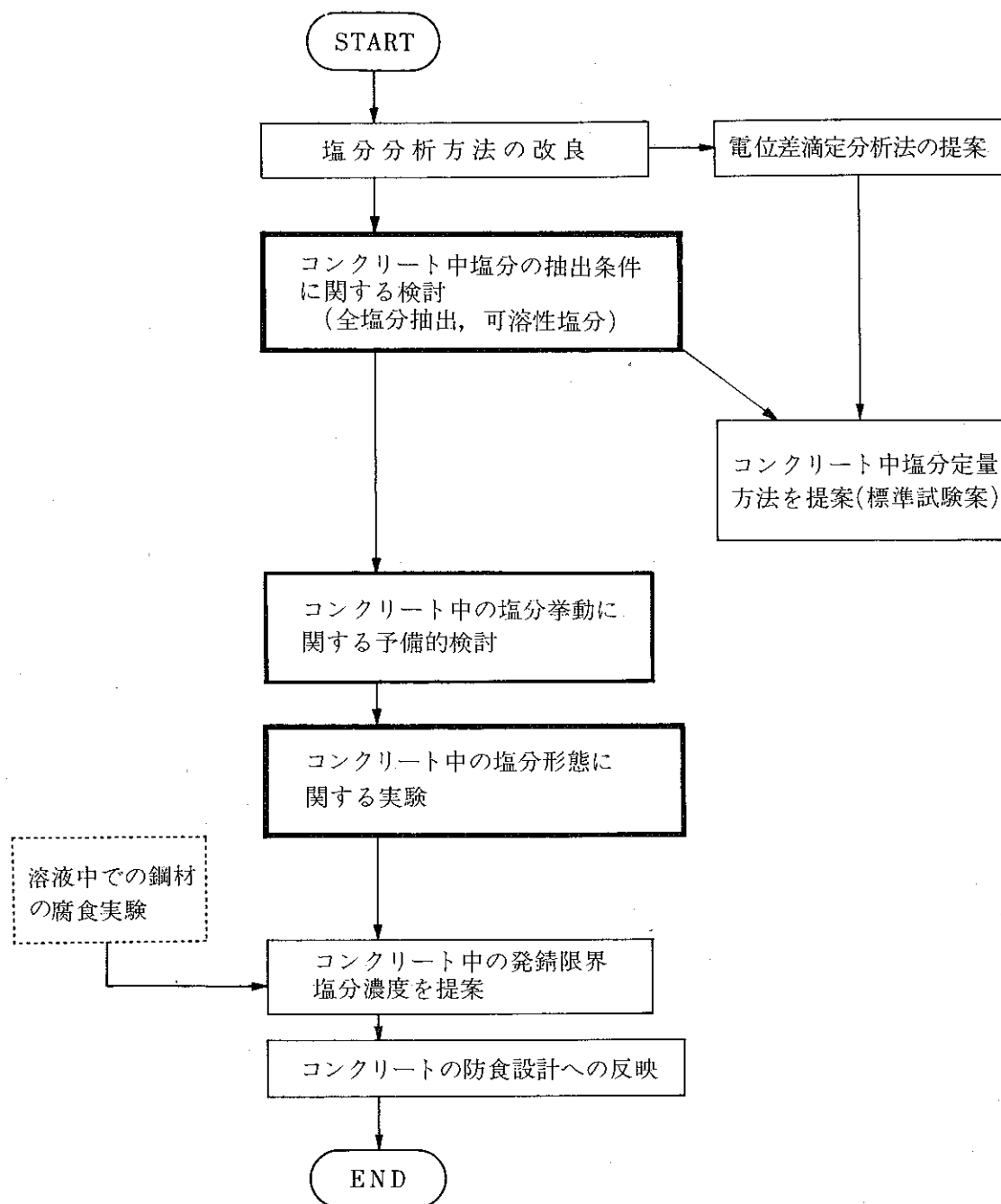


図2-1 本研究のフロー

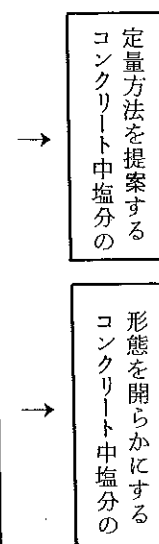
2.2 実験項目

試料の作成条件, 分析条件, 試料の配合等コンクリート中の塩分形態に影響を及ぼす要因を対象に実

験項目と設定した。これらの実験項目を表にして表2-1に示す。

表2-1 本研究における実験項目

実験項目		定量法に関する実験	形態に関する実験	
		モルタル試料	セメントペースト試料	コンクリート試料
抽出条件に関する実験	(1) 養生時間	○		
	(2) 抽出回数	○		
	(3) 水量との比	○		
	(4) 抽出液の種類	○		
	(5) 抽出時間	○		
	(6) 抽出温度	○		
形態に関する実験	(1) X線分析実験		○	
	(2) 抽出実験		○	◎
	① セメントの種類			
	② セメント量の大小			
	③ 水セメント比			
	④ 混和剤			
	⑤ 塩化物の種類			



2.3 試料の作成と分析

セメントモルタル（以下モルタルという）、セメントペースト（以下ペーストという）、セメントコンクリート（以下コンクリートという）を試料として各々の材料を実験項目に応じて使い分けた。

(1) 材 料

水 イオン交換水（純水）

セメント 普通ポルトランド（H社製昭和57年購入）

砂 川砂（富士川産）

砂 利 川砂利（富士川産）

塩化ナトリウム試薬（特級）

塩化カルシウム試薬（特級）

混和剤 A E減水剤（必要に応じて）

(2) 配 合

配合は水セメント比の大小を中心に設定した。このうちコンクリートについては土木用途の標準的配合を用いて8日強度はほぼ 350 kg/cm^2 を目標としている。

塩分の混入は所定量が試料に含まれるように、塩化ナトリウムあるいは塩化カルシウム試薬を水に溶かして作った食塩水を塩分濃度を調整してねりまぜ水に用いた。

(3) ねりませと養生

モルタルとペーストのねりませにはモルタルミキサーを、コンクリートのねりませにはコンクリートミキサーを用いた。

脱型後、養生は特に記した場合を除いて3週間の湿潤養生を行った。

(4) 保 管

分析のための粉碎処理を行うまでに試料はすくなくとも30日間恒温室(20±2℃)に保管した。

(5) 前 処 理

試料の粉碎や乾燥操作。詳細は附属資料参照。

(6) 抽 出

試料からの塩分抽出であり、硝酸液を用いた抽出と水による抽出とがある。詳細は附属資料参照。

(7) 分 析

コンクリートそのものに多くの物質を含むことから、コンクリートからの抽出液には塩分だけでなく多くの共存物を含んでおり、精密な分析は難しい部類に入るとされている。そこで本実験においては塩素イオンのみに感知するイオン選択性電極を用い、しかも電位差滴定方式を用いることで分析精度を向上させている。

電位差滴定装置は図2-2に示す形式であり、電位差滴定方式の特徴や精度は既に報告した通りである。信頼性が高く満足できる方式といえる。

滴定液には、標準溶液で標定した1/200規定硝酸銀溶液を用い抽出液中の塩分の中和に要した滴定液量は装置パネル上にデジタル表示され、電極の電位変化および微分曲線は記録計チャート上に表示される。

(8) 塩分量計算

中和に要した滴定液量から抽出液中の塩分量と算出するが、この計算にはデスクトップコンピューター(キャノンBX-1)を用いておりこのための計算式をプログラム言語で作成している。(なお、この計算プログラムを附属資料に収載した。)

計算結果は塩分の種類にかかわらず N_aCl 重量に換算し表示している。

求められた塩分抽出量にもとずいて塩分抽出率を算出する。

$$\text{塩分抽出率 (\%)} = \frac{\text{抽出塩分量 (g)}}{\text{当初塩分量 (g)}} \times 100$$

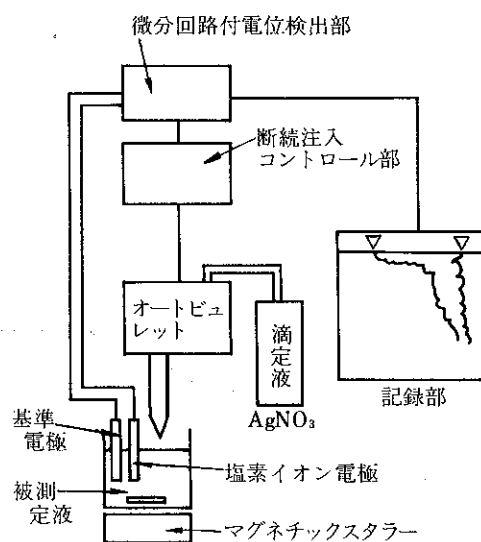


図2-2 電位差滴定装置

3. コンクリート中の塩分定量法を確立するための実験

塩分の定量にあたっては2つの目的がある。そのひとつはコンクリート中の塩分の全量を知りたい場合である。この場合を全塩分測定という。他のひとつは、コンクリート中の塩分全体のうちから水に溶ける塩分の全量を知りたい場合である。この場合を可溶性塩分測定という。

両者のちがいをひきおこすのは抽出条件のちがいであり、前者には抽出液に強酸を用いた硝酸抽出を、後者には水を用いた水抽出を各々適用して実験を進めることにした。

3.1 硝酸抽出実験

抽出液（硝酸）の規定度を変えた場合の抽出率の差異を図3-1に示した。モルタル練りませ時の初期塩分含有量は 0.60 kg/m^3 (0.1%)で、2, 4, 6規定の硝酸を用い、コンクリート量と抽出液量を変えている。

100%の抽出率を得るには、実験的には2規定硝酸を抽出液に用いた場合コンクリート量と液量の比を1:5以上を必要とする。なお液量の少ない場合にも硝酸濃度が濃い程、抽出率が高くなる傾向にある。

抽出液（硝酸）を加熱しふっとう時間を変えた場合の抽出率の差異を図3-2に示した。

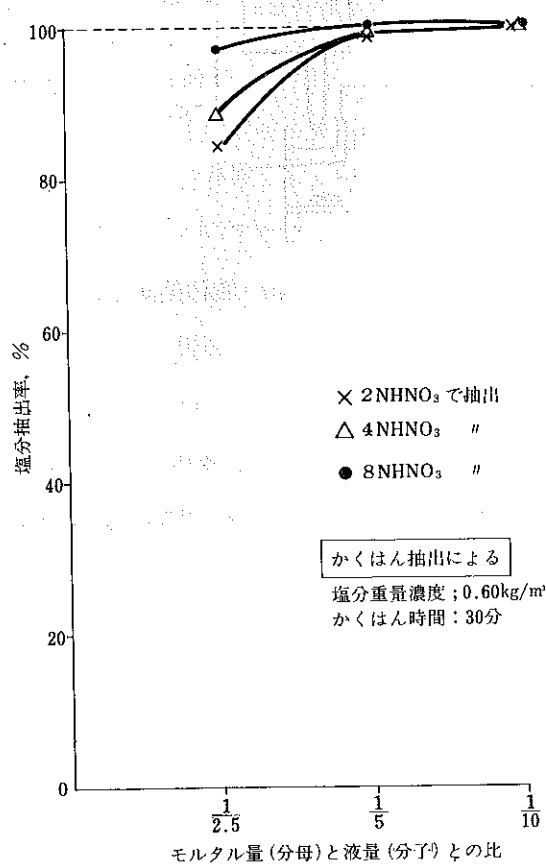


図3-1 硝酸抽出実験 (常温強制抽出)

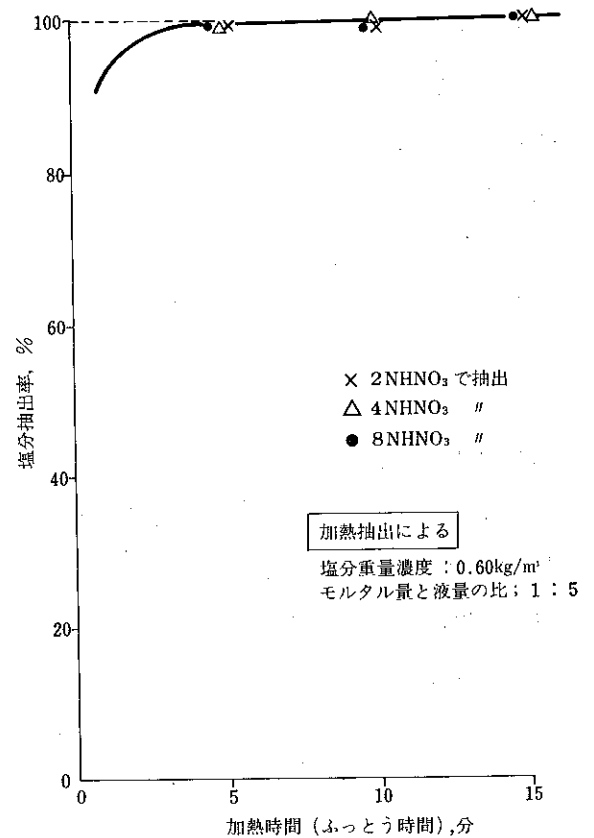


図3-2 硝酸抽出実験 (加熱抽出)

ふっとう時間は5分と短時間でも塩分抽出率は100%と良好な結果を得ている。

同種の実験からも、硝酸抽出で全量塩分の抽出を可能とするには、酸性度が低いこと（ $\text{pH} < 3$ ）が条件であることがたしかめられた。

また、5分間のふっとうによる抽出が30分のかくはん抽出時間に相当する。

硬化時に混入した塩分が、この程度の酸によって全量抽出されるということは、塩分の結合度合が予想程強くないことを示している。

以上、硝酸抽出実験結果を表3-1にまとめた。

表 3-1 硝酸抽出実験結果

水セメント 比 砂換算 塩分濃度 %	0.40		0.55		0.70	
	測定値%	抽出率%	測定値%	抽出率%	測定値%	抽出率%
0.04			0.042	105		
0.10			0.101	101		
0.20	0.203	101	0.208	104	0.199	100
0.30			0.299	100		
0.50			0.526	102		

（2規定 HNO_3 を用いて抽出した。）

3.2 水抽出実験

3.2.1 抽出条件を求めるための実験

文献調査によれば水抽出の場合には多くの抽出要因によって測定結果が影響されることが知られている。要因の全てについて実験を行うことはできないので、次の主要と考えられる要因について検討することとした。

- ア) コンクリート硬化度合と養圧時間
- イ) 抽出回数
- ウ) 抽出水量（モルタル粉末量を一定として）
- エ) 抽出液の種類
- オ) 抽出時間
- カ) 抽出温度

実際の構造物の条件においては、コンクリートの品質はもちろん周囲環境の気温、湿潤度（濡れ時間）暴露年数もさまざまに異なる。

そこで次のようにコンクリート構造物暴露条件を考えて実験を計画した。

コンクリートはたえず漏れている（塩分は溶出の方向）ものとする。抽出温度は国内の気温およびコンクリート表面温度を考慮して0～60℃の範囲とする。抽出回数については数回（少なくとも3回）を繰り返すことにする。というのは塩分は既に1.2で述べたようにさまざまな形態でコンクリート中に

存在すると考えられており、そうであれば塩分はセメントペースト中に吸着されている状態にある場合には、1回の抽出で全量が溶出せず抽出を繰返す度に更に溶出することが予想されるためである。抽出回数ごとの抽出量は平衡定数の形で解析されるのが通常であるが、この平衡定数は温度、水量、抽出時間などで決定されることが知られている。ここでは定量方法を標準化に必要な安定した値を再現で考えて平衡をもたらす要因の検討をおこなっている。

(1) 養生時間

モルタルを作成して抽出するまでの時間を変化させて塩分の抽出率がどのように変るかを調べた。モルタル作成時よりの経過時間は、1、6、24、54、72、120時間である。

養生時間と抽出率との関係を図3-3に示す。水抽出の場合、最初の数時間までは抽出率が100%に

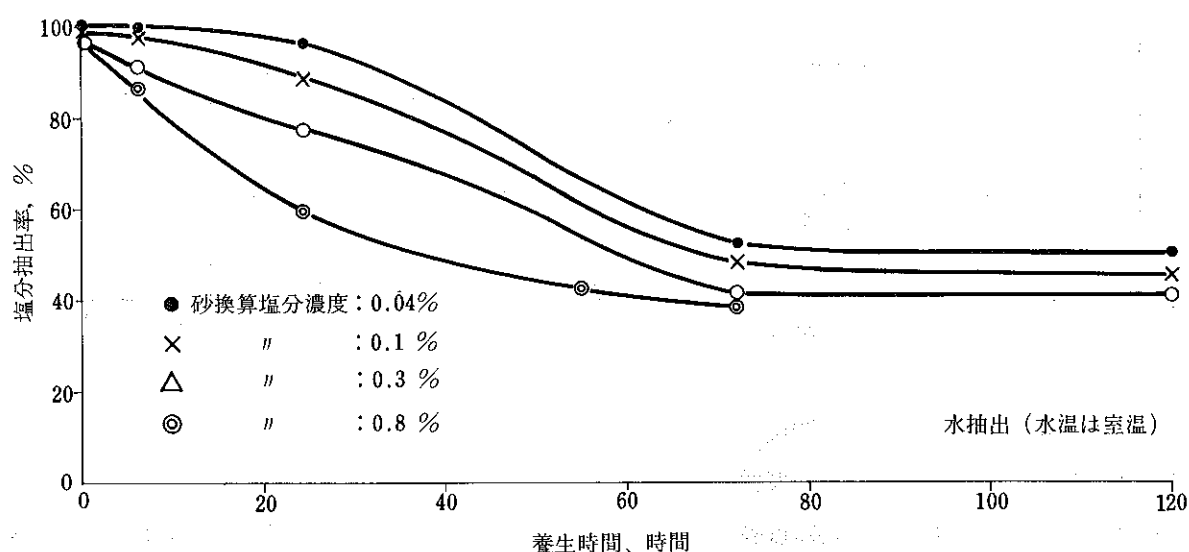


図3-3 養生時間と抽出率

近い値であるがコンクリート養生時間が長くなるにつれて抽出率が低下し、養生時間72時間をすぎると抽出率はほぼ一定となることがわかる。

養生時間が長くなるにつれて抽出率が低下するのは、モルタル中の塩分の一部がモルタルと結びついて溶出しにくくなるためであろう。また72時間以後抽出率が安定となるのは、硬化反応がこれまでにほぼ終了したためと考えられる。

(2) 抽出回数

抽出時間を一定時間に定めて抽出をくり返した場合の抽出率（累積値）を図3-4に示した。

さて、塩分の固着がきわめてゆるやかであれば図3-5(a)のように1回で抽出率は100%となるであろう。また塩分の固着がきわめて強ければ、抽出を繰り返しても(c)のようになるであろう。

ところが水抽出実験によれば100日を経過しても抽出回数が増すとともに抽出率（累積値）は増えており、図3-5の(b)のようになることから塩分の固着は比較的ゆるやかなものでありとえられる。

このため抽出条件を定めるだけでなく、抽出回数の規定も必要となる。

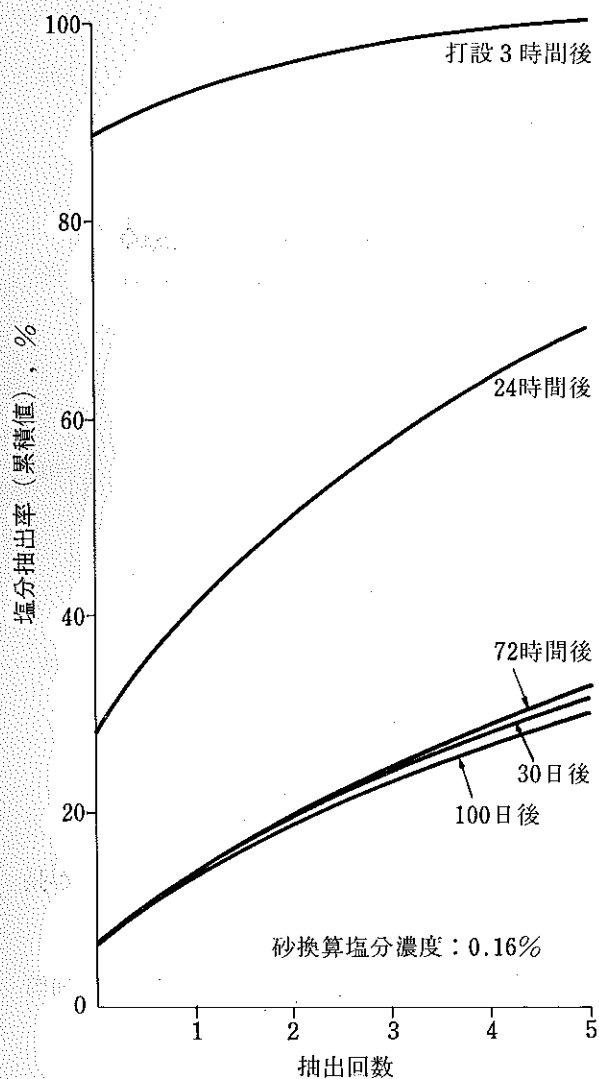


図 3-4 抽出回数と抽出率（累積値）

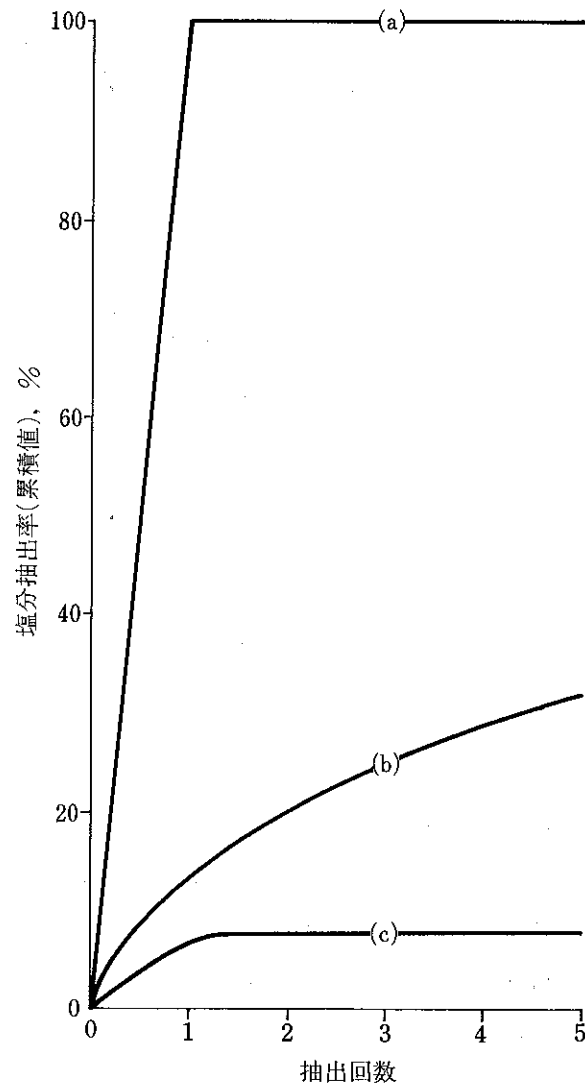


図 3-5 抽出回数と抽出率（累積値）との関係のパターン

(3) 水量との比

水量と抽出率との関係を図 3-6 に示す。

図によれば、水量は粉末量の 5 倍を必要とし抽出時間は 30 分、60 分、180 分と増やしてもほぼ同じ抽出率の値が得られている。すなわち、安定した値を得るには溶媒は溶質の 5 倍程度を必要とする。

(4) 抽出線の種類

石灰飽和水（アルカリ性溶液）で抽出した場合と純水（中性溶液）とで抽出した場合を比較すると抽出率の差異はなかった。（図は省略）

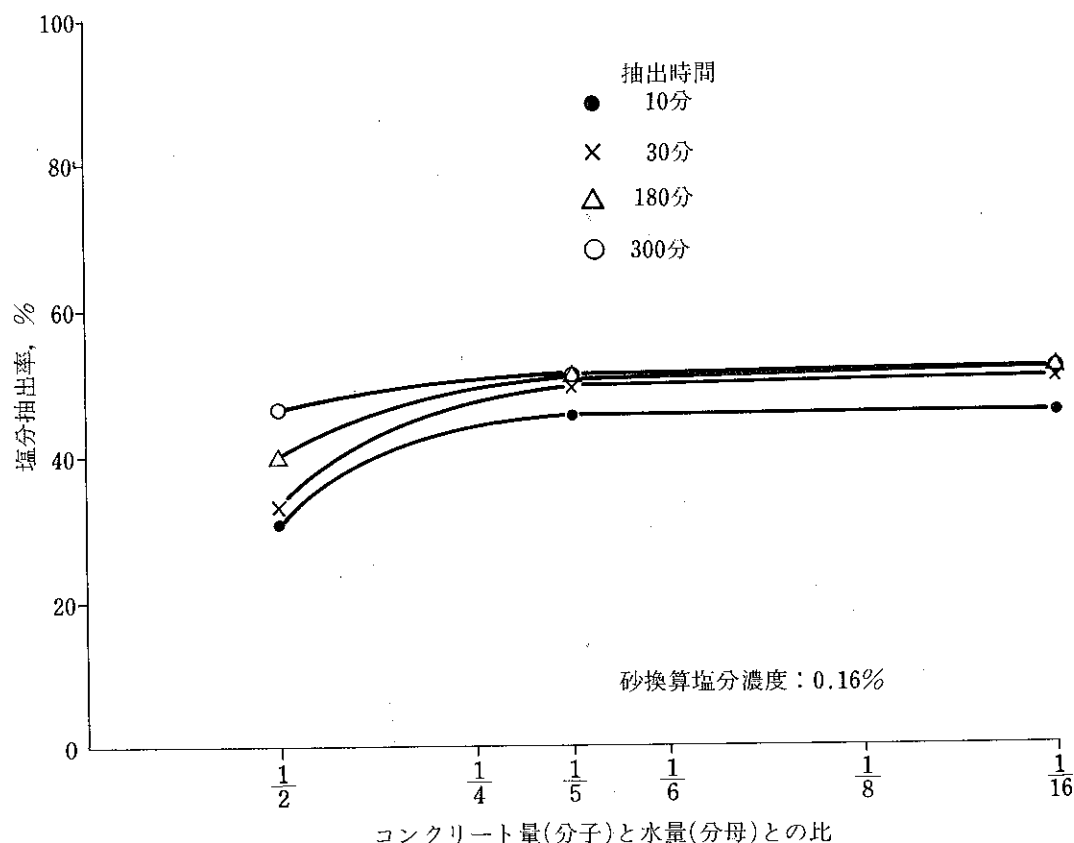


図3-6 抽出水量と抽出率との関係

(5) 抽出時間

溶液 20℃, 50℃での抽出時間と塩分の抽出率との関係を図3-7に示した。図より、抽出時間が長くなるにつれ抽出率は増加するが、30分以内に抽出率は一定となっていることがわかる。

50℃の場合にも同様であるが、安定した値を示すのにさらに時間がかかり、ほぼ30分を越えて抽出率は一定となる。

最初に抽出されやすい塩分が溶け出し、次にモルタルと弱く結びついている塩分が溶け出すと考えられるが、この（溶け出し／溶け出さない）関係を決定する平衡定数が温度に影響されるためであろう。

(6) 抽出温度

モルタルを水抽出する時に0℃から100℃まで抽出温度を変えて抽出率の受ける変化を調べた。得られた結果を図3-8に示す。抽出温度100℃の場合には、抽出液が水であっても全量抽出される。抽出温度が低くなれば抽出率は低下し0℃ではほぼ20%しか抽出されない。すなわち、抽出温度が高いほど抽出率は高くなり、さらに塩分含有率が高いほど温度差による抽出率の大きくなることがわかる。

温度が高くなるほど塩分抽出率が高くなるのは温度の上昇により、塩分とモルタルの結びつきが弱くなるためと考えられる。塩分含有率が高いほど温度差による抽出率の差が大きくなるのは、塩分含有率の高いほど結びつきの弱い塩分が多くなるため塩分が溶け出し易くなり抽出率が上るためである。塩分含有率が小さい場合には結びつきの強い塩分が多くあり、塩分の鋼材腐食に及ぼす影響は、高塩分濃度の場合よりもはるかに小さくなるであろう。

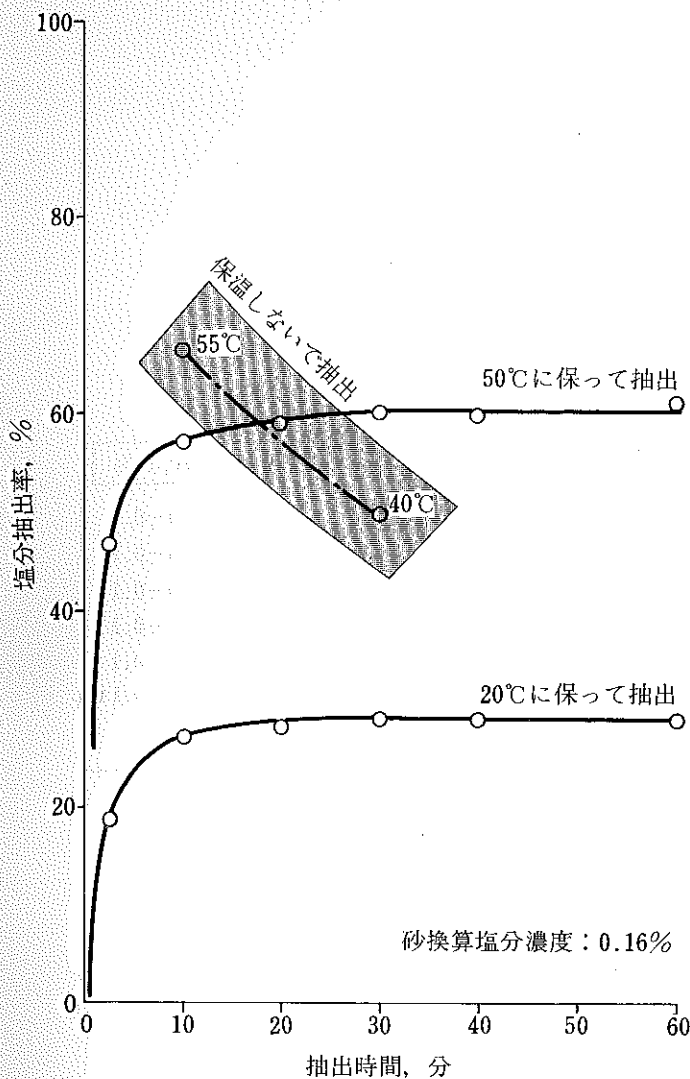


図3-7 抽出時間と抽出率との関係

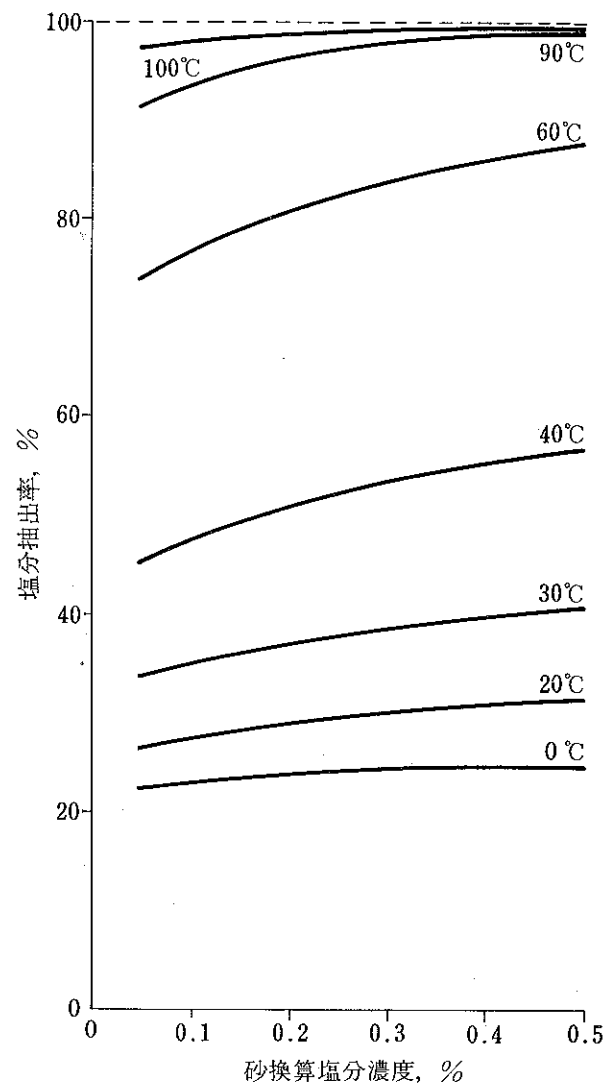


図3-8 抽出温度と抽出率との関係

3.2.2 抽出条件を一定にしての実験

可溶性塩分量を知るためにモルタルを用いて次のような条件下で水抽出を行い、塩分量を測定した。

- モルタル粉末40gに抽出水200mlを加えて抽出する。
- 水温は常温(25℃前後)に保つ。
- かくはん時間は各30分とする。
- かくはん後5分間放置して上ずみ液とゲル状物質を分離し、上ずみ液のほぼ全量(160ml)を採取する。
- 採取液より20mlを採取し、溶液の中和処理後に塩分量を分析する。

(1) 抽出率

塩分濃度0.04%, 0.1%, 2%, 10%の場合の3回までの抽出率を図3-9に示す。

また早強性混和剤混入時(塩分濃度は砂換算で0.13%に相当)の抽出率を図3-10に示す。

いずれの場合にも、抽出回数を増すごとに塩分抽出率は増えており、塩分濃度が高くなるにつれて抽出される塩分は多くなる傾向を示している。同じ抽出条件でも砂換算塩分量0.04%では、抽出率の最大

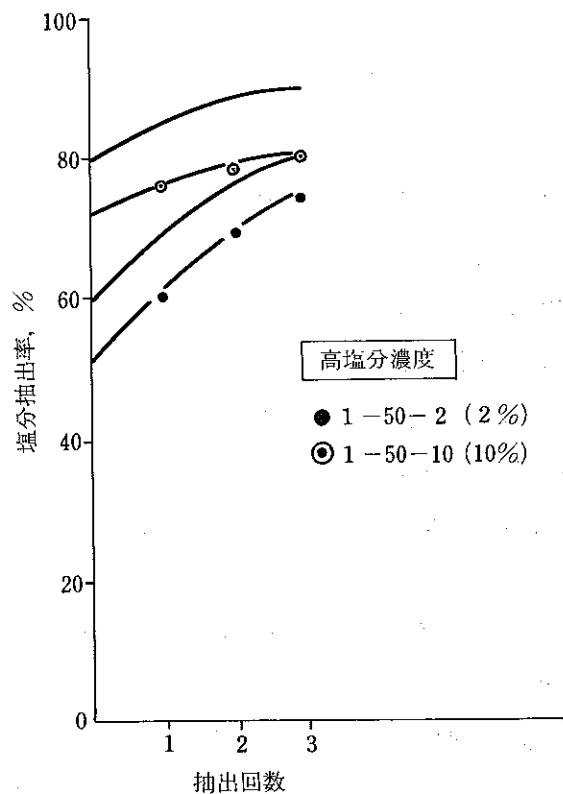
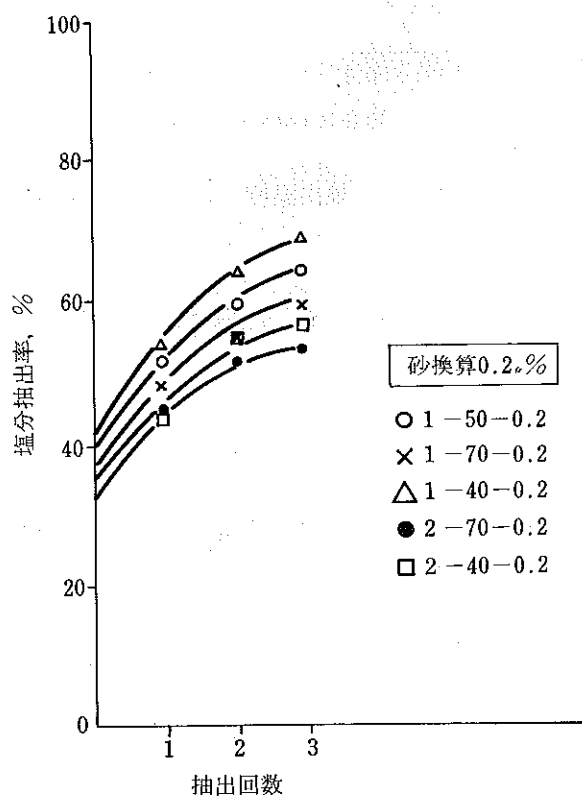
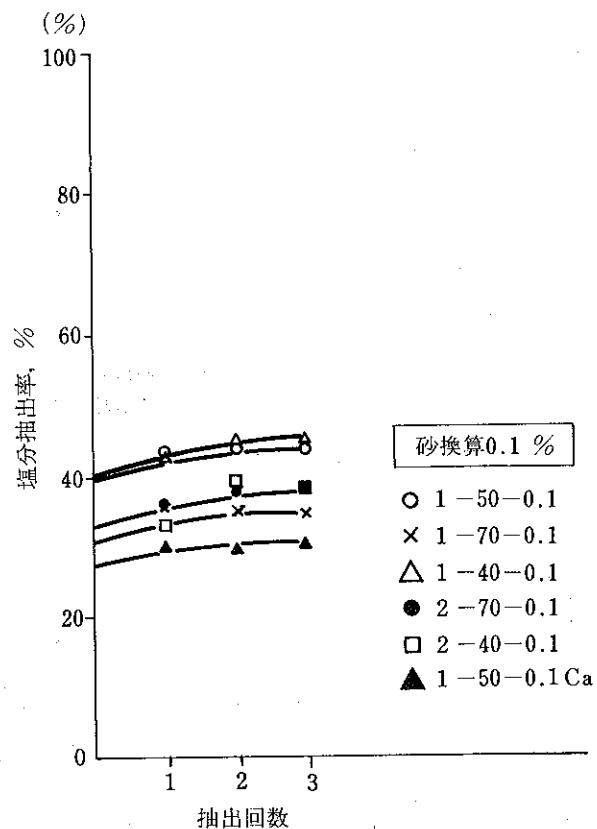
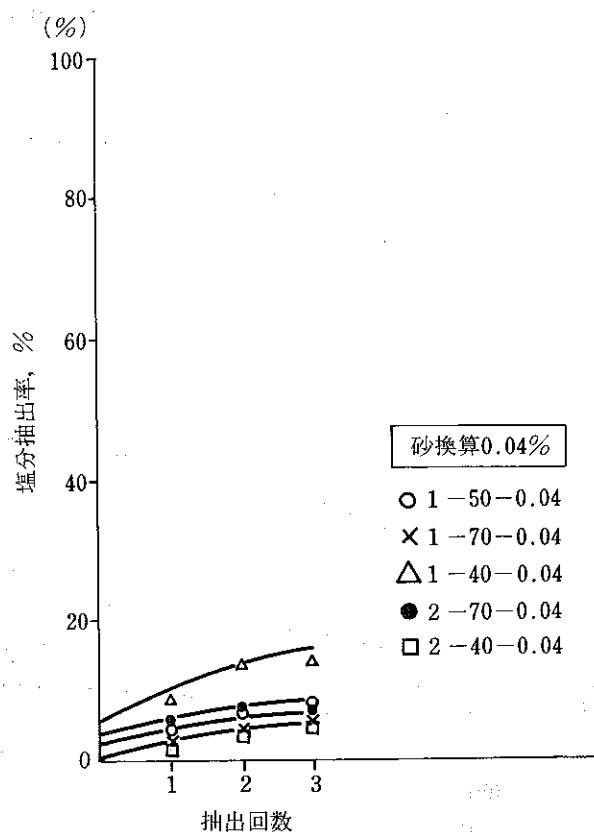


図3-9 可溶性塩分の抽出率 ($NaCl$, $CaCl_2$ 混入時)

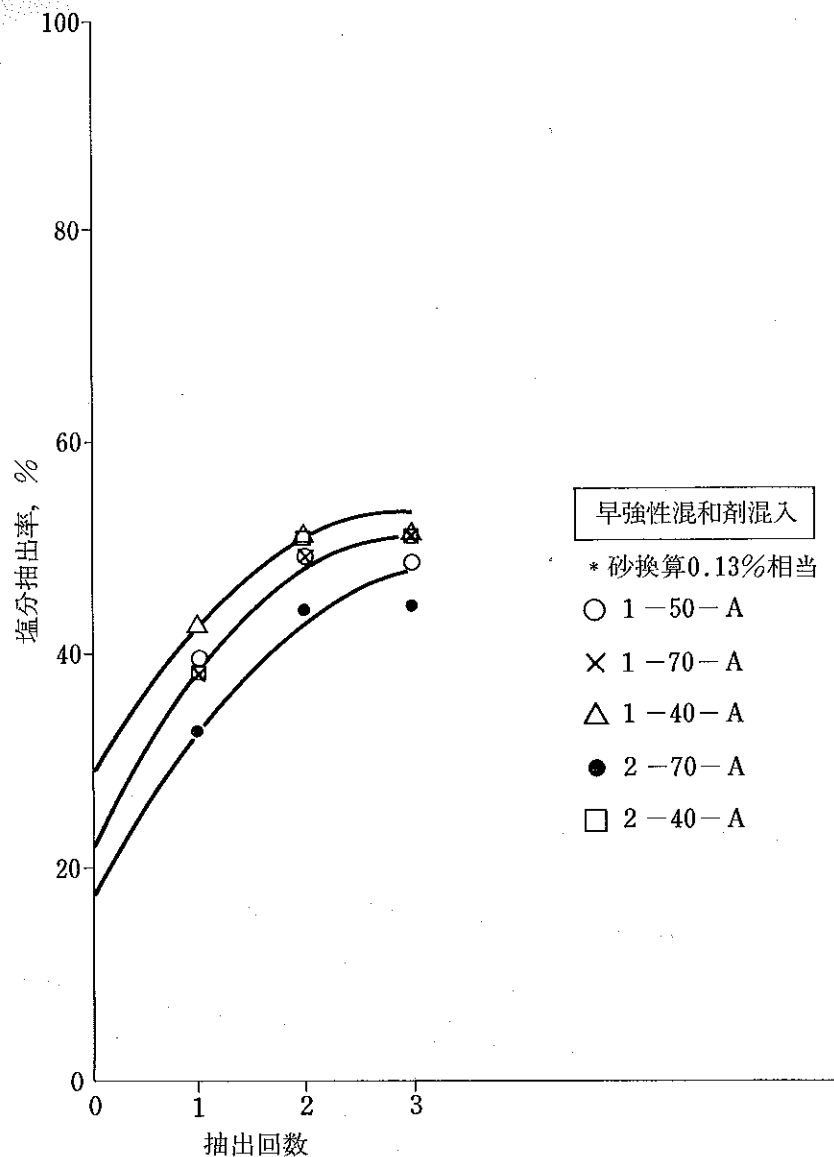


図 3-10 可溶性塩分の抽出率（早強性混和剤混入時）

値は約20%、（塩分量0.008%が溶出）にすぎないのに砂換算塩分量10%では、抽出率の最大値は90%（塩分量9%が溶出）を超える。

(2) 抽出回数0での抽出率

抽出回数1, 2, 3回でのモルタルからの塩分抽出率は既に明らかにした。

抽出操作を行わない状態での塩分を想像するために抽出回数0での抽出率を考えることにする。そこであらためて抽出温度を定めて抽出回数1, 2, 3での抽出率（累積値）を結ぶ曲線（2次曲線）を描き抽出回数0へと外挿してその値を求めた。

結果を図3-11に示す。

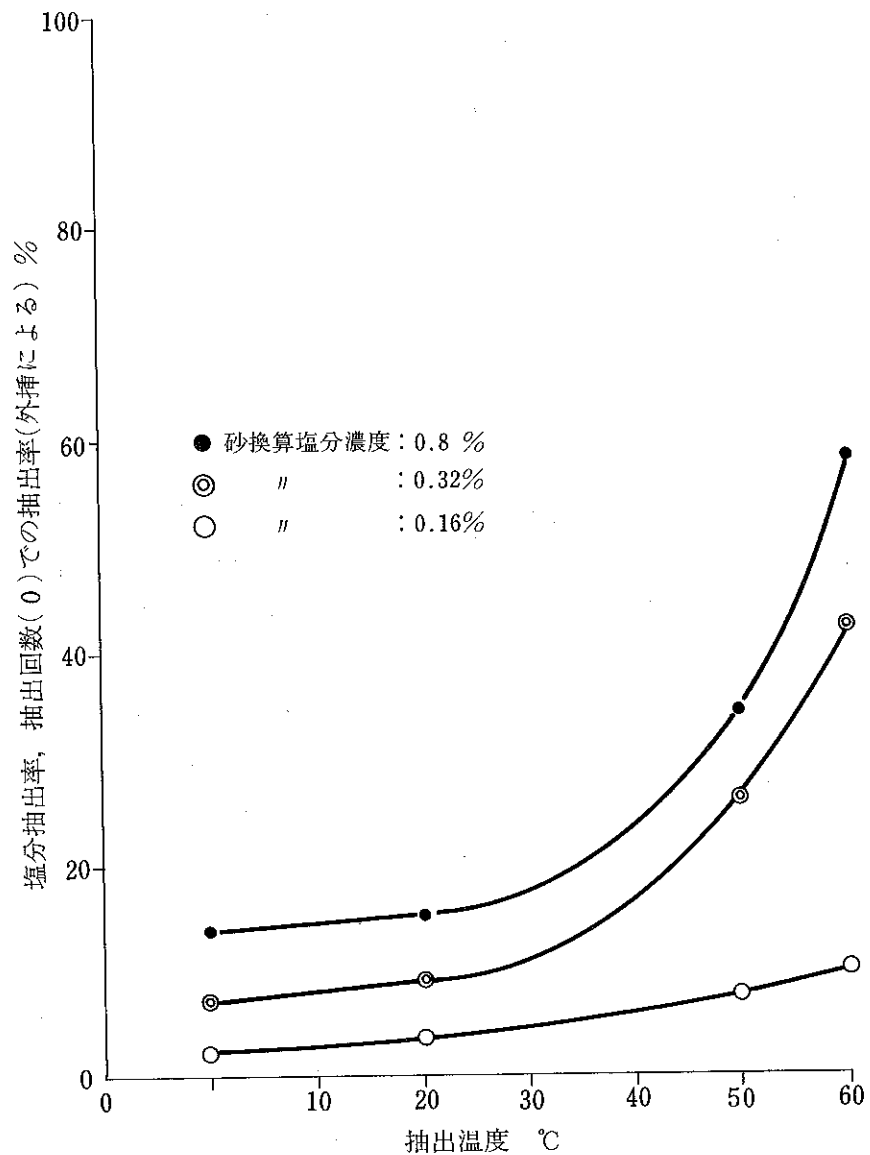


図 3-11 抽出温度と抽出率（抽出回数 0）との関係

抽出温度による抽出率の差異が特徴的にあらわれている。

含有塩分量が小さい場合には、抽出温度による変化は小さいが含有塩分量が大きい場合には 0℃で 15%の抽出率が（20℃では 18%とあまり変わらないが）60℃では 60%と抽出温度による変化が著しくあらわれる。この傾向は更に塩分濃度が大きくなればより顕著と考えられる。

4. コンクリート中に含まれる塩分の定量方法 に関する標準試験案の提案

4.1 提案理由

すでに述べたようにコンクリート中の塩分を把握することは環境の腐食性を把握するために、また腐食機構を考えるうえできわめて重要である。にもかかわらず、コンクリート中の塩分についての試験法は確立されたものがなく試験機関ごとに異なる定量方法を用いている現状である。このため得られた結果について検証した相互に比較することが難しいだけでなく正当な評価を下しえていない。このように試験法が確立されなかった理由のひとつは塩分の抽出条件が定まらない、すなわち塩分の形態が定量的にとらえられていなかったためと考えられる。

前節までにモルタル中の含有塩分量をさまざまに変えて抽出条件を検討してきた。

この検討結果をふまえることによって標準的と考えられる定量方法を提案しうる時期に至ったと考えている。

そこで、全塩分分析および可溶性塩分分析についてそのコンクリートからの定量方法を取りまとめた。調査目的に応じて全塩分分析あるいは可溶性塩分分析のいずれかを選択できるように、また可溶性塩分分析については抽出条件を適切に選定できるように調査手順に柔軟性をもたせている。

4.2 標準試験方法

標準試験案「コンクリート中に含まれる塩化物の定量方法」は、附属資料に掲載しているので参照されたい。

5. コンクリート中の塩化物の形態に関する実験

まずセメントペーストを用いてセメントペースト中での塩化物の挙動を明らかにした。

次に、実際のコンクリートを用いて、土木研究所の標準試験案にもとづいてコンクリート中の塩加物の抽出率を実験的に求めた。

5.1 セメントペーストを用いた実験

(1) セメントペーストよりの抽出実験

塩分濃度0.04%, 0.16%, 0.64%のセメントペーストからの可溶性塩分の抽出率を図5-1に示した。図中数字1, 2, 3は抽出回数である。

抽出温度が100℃(ふっとう時)では、全量が抽出される。

塩分濃度によっても抽出率が異なり、塩分濃度が大きい場合にはより多くの可溶性塩分が抽出される。

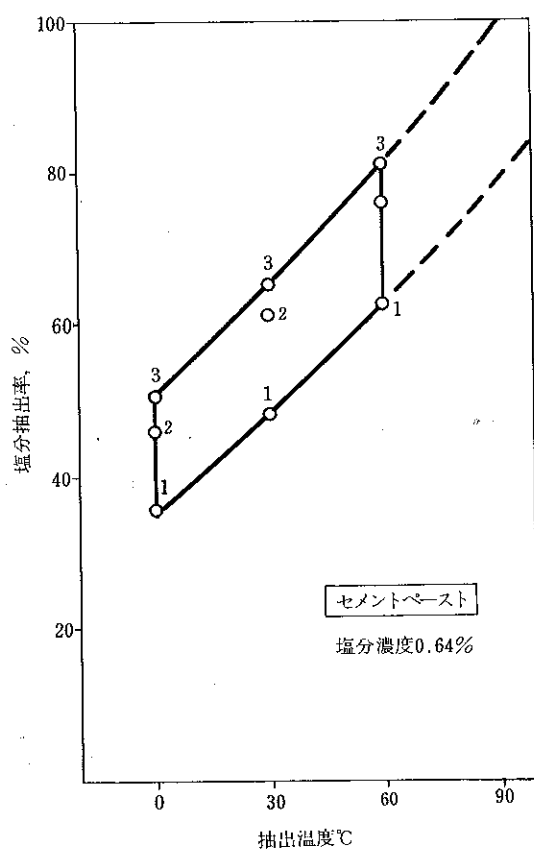
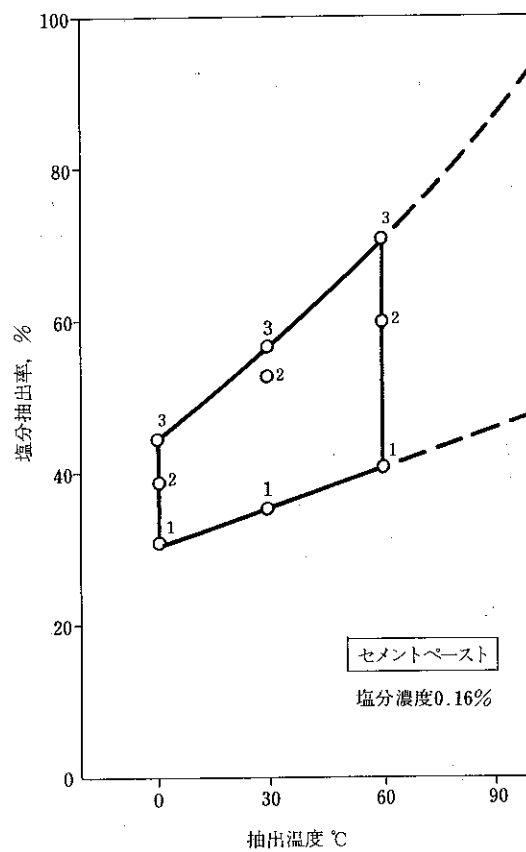
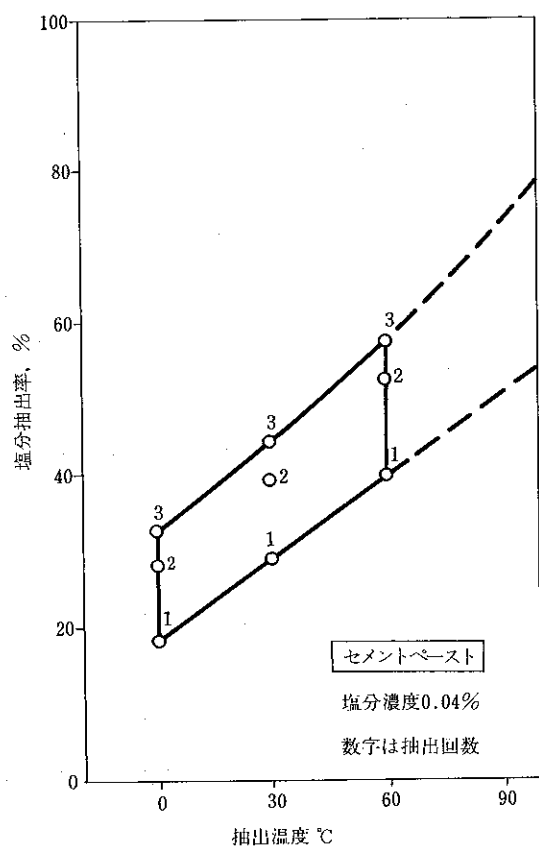


図 5 - 1 セメントペーストからの塩分抽出実験結果

同じ塩分濃度では、抽出温度が高い程、抽出されやすくなる。

このような傾向はモルタルでの測定結果を裏付けるものであり、モルタルでの抽出傾向すなわち、そのなかのセメントペーストでの挙動はセメントペースト中での挙動と同じと考えてよいことが確かめられた。

その他の分析結果を含めてセメントペーストからの塩分抽出量を表5-1に示した。

表5-1 セメントペースト試料を用いた塩分抽出実験結果

			抽出塩分量 (砂換算塩分濃度%)								
抽出温度			0℃			30℃			60℃		
抽出回数			1回	2回	3回	1回	2回	3回	1回	2回	3回
セメントの種類	塩分の種類	砂換算塩分濃度%									
ポルトランドセメント	$NaCl$	0.16	0.0163	0.0206	0.0240	0.190	0.0283	0.0317	0.020	0.024	0.026
ポルトランドセメント	$NaCl$	0.64	0.0820	0.1033	0.1197	0.101	0.115	0.125	0.139	0.164	0.178
ポルトランドセメント	$CaCl_2$	0.16	0.0397	0.0774	0.0103	0.0057	0.0138	0.015	0.0040	0.054	0.066
ポルトランドセメント	$CaCl_2$	0.64	0.0141	0.0178	0.0205	0.0200	0.0260	0.0293	0.022	0.0281	0.030
高炉セメントA種	$NaCl$	0.64							0.100	0.130	0.140
高炉セメントA種	$CaCl_2$	0.64							0.0267	0.0407	0.0967
高炉セメントC種	$CaCl_2$	0.64							0.0579	0.0757	0.086
ポルトランドセメント	海水を1/5に希釈した	—							0.0962	0.126	0.145

(2) セメントペーストのX線分析実験

塩分濃度0.16, 0.64, 3.2%を含むセメントペーストおよび塩分を含まないセメントペーストに前処理を行った後X線分析装置によりセメントペースト化合物に関する定性分析を行った。

1) X線分析条件

X線管球 銅管球
管電圧 40 kV
管電流 30 mA
カウント数 2,000 cps と 400 cps
PHAを使用
検出器 シンチレーションカウンター

2) 分析結果

各塩分濃度のセメントペーストのX線回折チャートを図5-2に示す。また、回折角(θ)とピーク強さ(L)との関係を各塩分濃度ごとに表5-2に示す。

塩素イオンによってあらたな化合物が生じたが否かをX線回折上から判定しようとするのであるから、塩分を含まないセメントペーストと塩分を含むセメントペーストを比較して考察する。

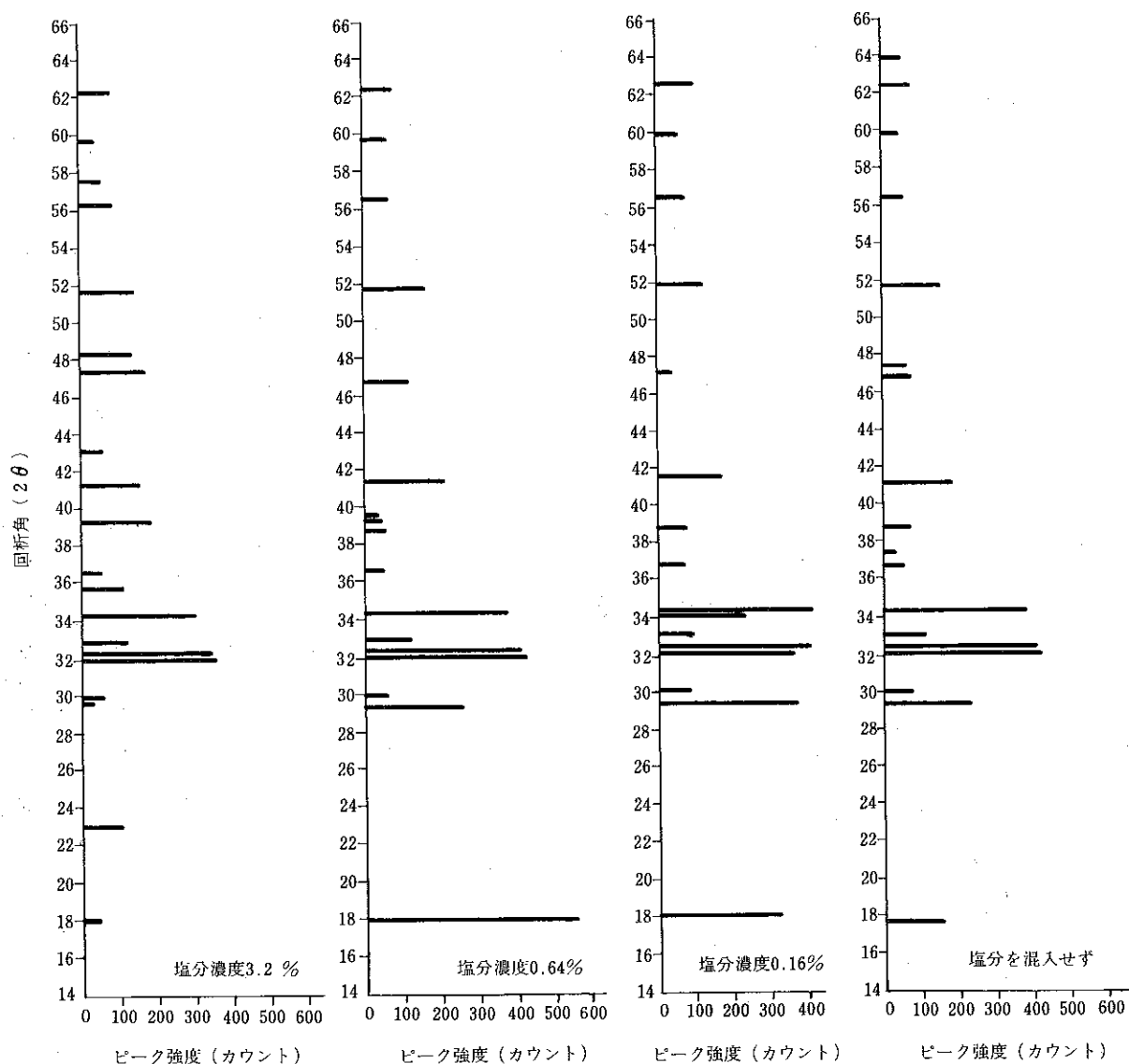


図5-2 X線分析結果 (X線分析チャート)

X線回折チャートによれば塩分を含まないセメントペーストのチャート図形と塩分0.16, 0.64%を含むセメントペーストのチャート図形は同じである。塩分濃度3.2%のチャート図では、新たな回折角として22.90(100), 35.80(100), 43.10(140), 47.30(180), 48.30(150), 57.30(70)が出現している。出現した回折角の一部は N_aCl の結晶と推定される。塩分濃度が高いために前処理乾燥時にペースト中の塩分が結晶化したものであろう。

文献によれば、塩化物とセメントとの化合物、一般にFriedel氏塩とよばれているものはX線チャート図上に特有のピークをもつとされる。本実験によれば、多量に塩素イオンを含むセメントペーストにおいてもFriedel氏塩に相当する位置にはピークは見当らず、その周囲の位置における強度も不規則であった。

抽出実験の結果でも高温の水でセメントペースト中の全塩分が抽出されることから塩素イオンがセメント成分と反応して特別に塩素化合物が生じているとは考えにくいようである。

表5-2 塩分濃度の異なるセメントペースト試料のX線分析結果

ピーク番号	塩分を含む試料 (砂換算塩分濃度)						塩分を含まない試料 (塩分混入なし)	
	3.2%		0.64%		0.16%		2 θ	ピーク強さ
	2 θ	ピーク強さ	2 θ	ピーク強さ	2 θ	ピーク強さ	2 θ	ピーク強さ
1	17.90	44.00	17.80	160.00	17.90	540.00	17.90	330.00
2	22.90	100.00	29.30	240.00	28.50	80.00	22.90	30.00
3	29.30	1,120.00	29.90	80.00	29.30	260.00	28.40	90.00
4	29.90	60.00	32.00	430.00	29.90	60.00	29.30	380.00
5	30.80	40.00	32.40	420.00	30.80	60.00	29.90	90.00
6	32.00	360.00	33.00	120.00	32.00	430.00	32.00	370.00
7	32.40	350.00	34.20	390.00	32.40	400.00	32.40	420.00
8	33.10	120.00	36.60	60.00	33.10	120.00	33.00	100.00
9	33.70	100.00	37.20	40.00	34.20	380.00	33.90	240.00
10	34.20	300.00	38.60	80.00	36.60	50.00	34.20	420.00
11	35.80	100.00	41.10	190.00	38.60	60.00	36.60	60.00
12	36.60	50.00	46.80	80.00	41.20	200.00	38.60	80.00
13	37.20	40.00	47.30	70.00	46.80	120.00	39.30	60.00
14	38.60	60.00	51.60	150.00	49.50	40.00	41.20	180.00
15	39.30	180.00	56.40	60.00	50.60	60.00	46.80	1,000.00
16	41.20	160.00	59.80	50.00	51.60	160.00	50.60	60.00
17	43.10	140.00	62.20	80.00	56.40	60.00	51.60	130.00
18	47.30	180.00	63.50	30.00	62.20	80.00	56.40	80.00
19	48.30	150.00					59.80	60.00
20	51.60	150.00					62.20	110.00
21	56.40	100.00						
22	57.30	70.00						
23	59.80	50.00						
24	60.50	50.00						
25	62.20	104.00						

以上の結果は、これまでいわれてきた「塩素イオンを含む場合のコンクリート中にはFriedel氏塩が形成し、これが難溶性の塩化物となる」との説を疑わせるものである。

5.2 コンクリートを用いた結果

(1) 試料の作成と分析

(ア) セメントの種類 ポルトランドセメント

高炉セメントC種

(イ) 水セメント比 0.40, 0.55, 0.70 (水量を一定としセメント量を変えている)

(ウ) 塩分濃度 0.1, 0.2, 0.3, 0.5%

高炉セメントC種の場合は0.2%のみ

(四) 分 析

分析方法は、附属資料に示す土木研究所試料案「コンクリート中に含まれる塩化物の定量方法」にもとづく。なお、抽出温度は0、30、60℃ また抽出回数は3回までとした。

(2) 実験結果

実験結果を図5-4に示した。水抽出でのコンクリートよりの塩分（可溶性塩分）の抽出結果を示したものである。図はコンクリート中の塩分について、定量的にあらわしたものであり、次のようなことがいえる。

1) 抽出温度

抽出温度0℃で抽出率は25%，抽出温度30℃では30%，抽出温度60℃では50%といえるであろう。（塩分濃度0.2%の場合）

抽出温度が高くなるにつれ含有塩分中にしめる溶解性塩分の割合が大きくなっており、このことは周囲環境の気温が高い程、同じ塩分量を含む場合でも遊離塩分量が多くなることを示している。

2) 含有塩分量

含有塩分量が多くなるに伴ない塩分抽出率が高くなり遊離塩分量が多くなる。この傾向は抽出温度が高くなるほどさらに大きくなる。

抽出率が高くなることは実際の量としてはさらに多くの溶解性塩分が存在することである。

3) 水セメント比

水セメント比に関する実験は、抽出温度60℃の時しか行わなかったが他の抽出温度でも傾向は同じであると考えてよい。

やはり水セメント比によっても塩分抽出率は異なる。水セメント比が大なる程溶出量が小となる、すなわちセメント量が大なる程遊離塩分は小さくなっている。これは、塩分がセメント成分と結合したと考えるよりは溶出してくる塩分の大半がセメント水和物に吸着していたものとするのが合理的である。

4) セメントの種類

抽出温度60℃でポルトランドセメントと高炉セメントC種とを比較するとその差異は明らかである。

水セメント比40、55、70%のいずれの場合でも、高炉セメントでは溶解性塩分の抽出率は高い。これは、塩分の吸着能力が劣ることを示しており、高炉セメントの使用にあたっては何らかの考慮が必要となるであろう。

以上の結果を塩分の固着の点から図にまとめてみると図5-5のようになる。塩分の自由度のある順に遊離塩分、吸着塩分^(I)、吸着塩分^(II)、と3つに分類すれば各々黒色、灰色、白色と塗り分けられる。

つけ加えていえば塩分の腐食への影響を考える場合には少なくとも、遊離塩分だけでなく吸着^(I)塩分も考慮すべきであり、構造物の重要性によっては当然、吸着^(II)塩分も含めて考えることになるであろう。この際には、本実験で抽出温度および抽出回数の検討をして組合わせて各塩分形態について定量的な値を得たことが役立つことになる。

なお以上の測定結果をまとめて表5-3に示した。

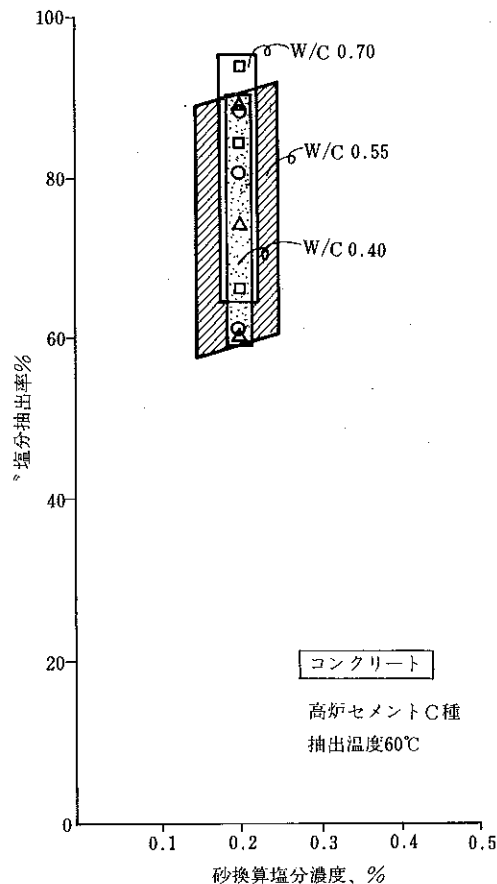
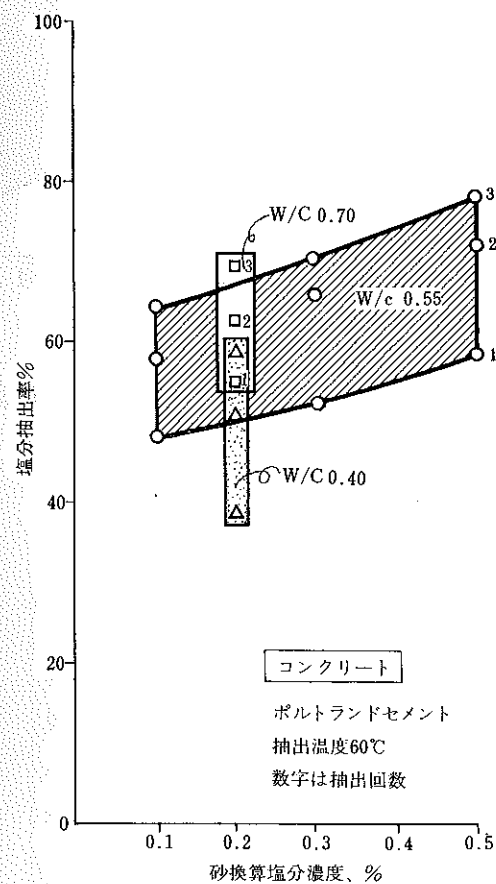
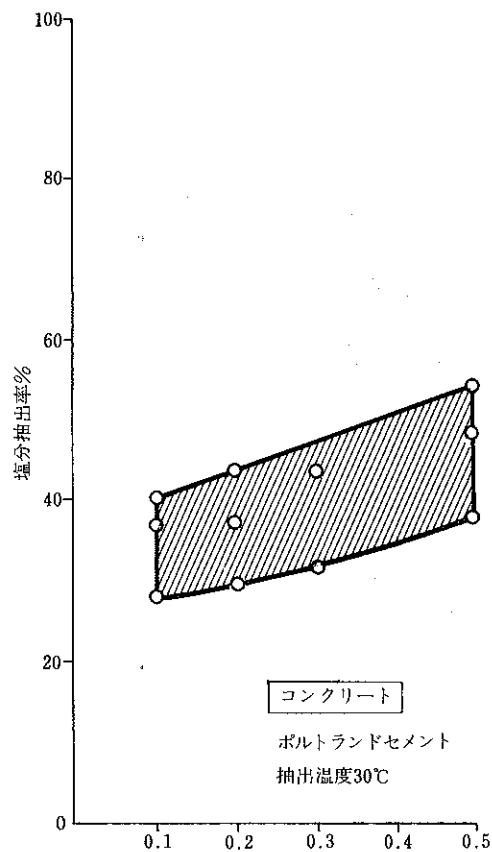
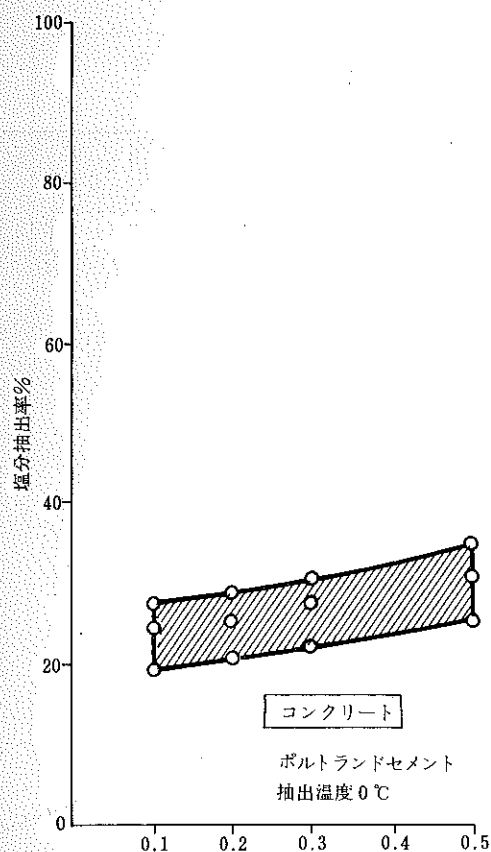


図5-4 コンクリート中の可溶性塩分の抽出率 (塩分が N_aCl の場合)

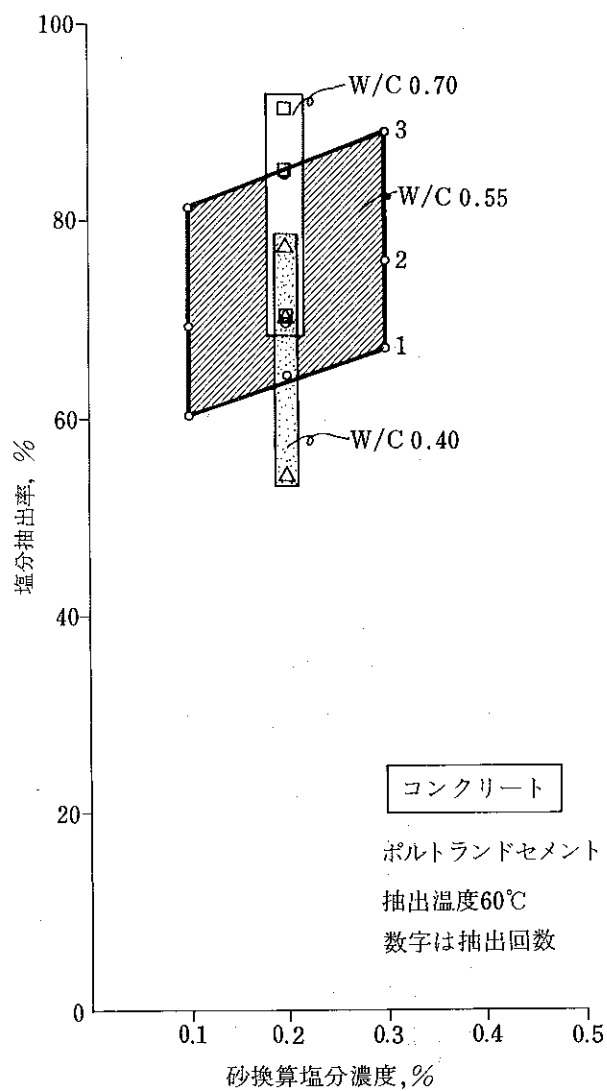


図5-5 コンクリート中の可溶性塩分の抽出率 (塩分が C_aCl_2 の場合)

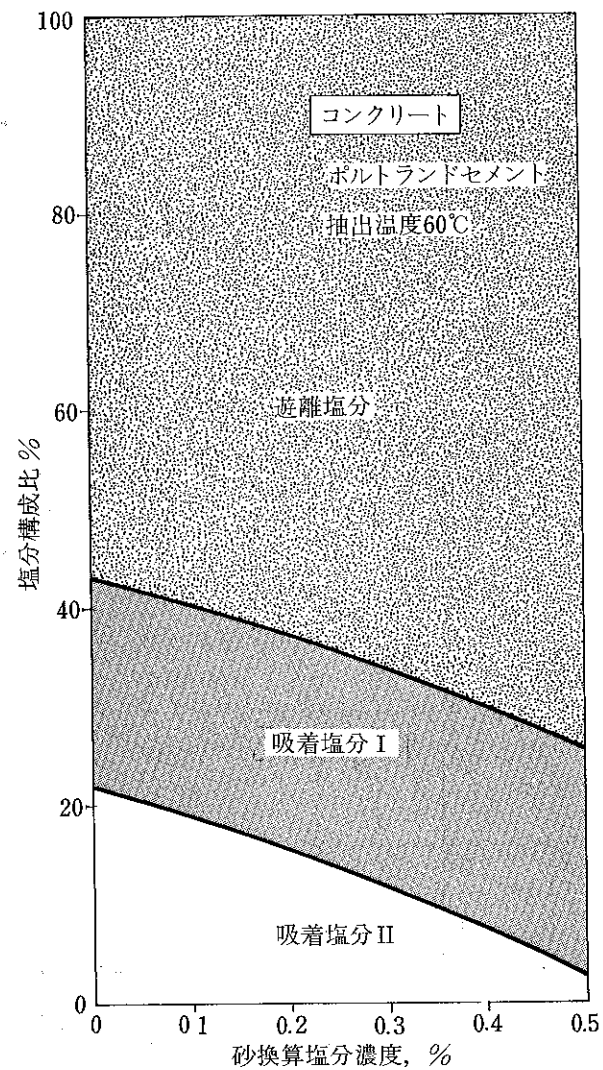


図5-7 コンクリート中の塩分の形態 (塩分が C_aCl_2 の場合)

表5-3 コンクリート中の可溶性塩分の抽出率

抽出温度		0℃			60℃		
セメントの種類		ポルトランドセメント			ポルトランドセメント		
W/C		55%			70%		
塩分の抽出率 (%)	砂換算塩化物濃度 (%)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
	抽出回数	22.8	20.9	22.7	60.0	63.2	66.4
	1	24.1	25.7	27.6	68.5	69.8	77.3
	2	27.8	29.5	31.8	82.0	84.2	89.5
抽出温度		30℃			60℃		
セメントの種類		ポルトランドセメント			高炉セメントC種		
W/C		55%			70%		
塩分の抽出率 (%)	砂換算塩化物濃度 (%)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
	抽出回数	28.2	27.0	27.8	66.8	60.0	59.5
	1	37.2	37.5	35.7	84.6	80.2	75.0
	2	44.0	42.1	40.7	94.7	88.2	88.1
抽出温度		30℃			60℃		
セメントの種類		ポルトランドセメント			高炉セメントC種		
W/C		55%			70%		
塩分の抽出率 (%)	砂換算塩化物濃度 (%)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
	抽出回数	22.8	20.9	22.7	60.0	63.2	66.4
	1	24.1	25.7	27.6	68.5	69.8	77.3
	2	27.8	29.5	31.8	82.0	84.2	89.5

抽出温度		0℃			60℃		
セメントの種類		ポルトランドセメント			ポルトランドセメント		
W/C		55%			70%		
塩分の抽出率 (%)	砂換算塩化物濃度 (%)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
	抽出回数	22.8	20.9	22.7	60.0	63.2	66.4
	1	24.1	25.7	27.6	68.5	69.8	77.3
	2	27.8	29.5	31.8	82.0	84.2	89.5
抽出温度		30℃			60℃		
セメントの種類		ポルトランドセメント			高炉セメントC種		
W/C		55%			70%		
塩分の抽出率 (%)	砂換算塩化物濃度 (%)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
	抽出回数	28.2	27.0	27.8	66.8	60.0	59.5
	1	37.2	37.5	35.7	84.6	80.2	75.0
	2	44.0	42.1	40.7	94.7	88.2	88.1

抽出温度		0℃			60℃		
セメントの種類		ポルトランドセメント			ポルトランドセメント		
W/C		55%			70%		
塩分の抽出率 (%)	砂換算塩化物濃度 (%)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
	抽出回数	22.8	20.9	22.7	60.0	63.2	66.4
	1	24.1	25.7	27.6	68.5	69.8	77.3
	2	27.8	29.5	31.8	82.0	84.2	89.5
抽出温度		30℃			60℃		
セメントの種類		ポルトランドセメント			高炉セメントC種		
W/C		55%			70%		
塩分の抽出率 (%)	砂換算塩化物濃度 (%)	0.1	0.2	0.3	0.1	0.2	0.3
	抽出回数	28.2	27.0	27.8	66.8	60.0	59.5
	1	37.2	37.5	35.7	84.6	80.2	75.0
	2	44.0	42.1	40.7	94.7	88.2	88.1

(1), (2), (3), (5) の場合には塩分は N_aCl を使用(4) の場合には塩分は $CaCl_2$ を使用

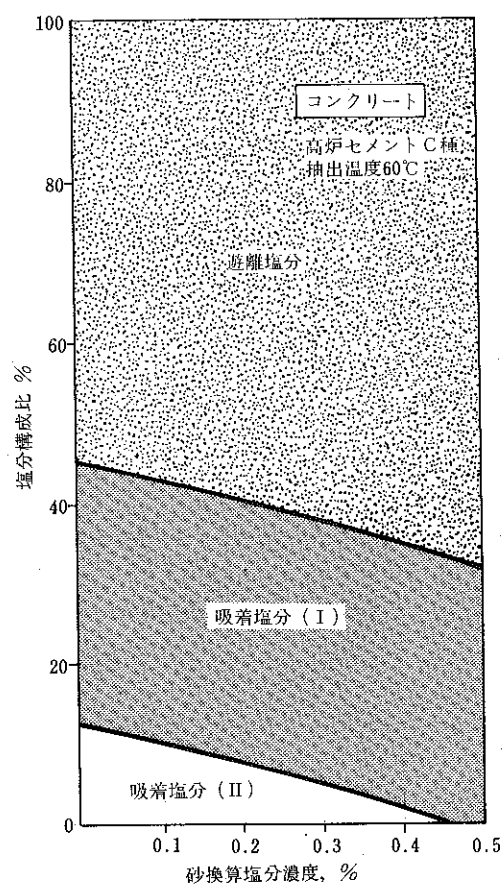
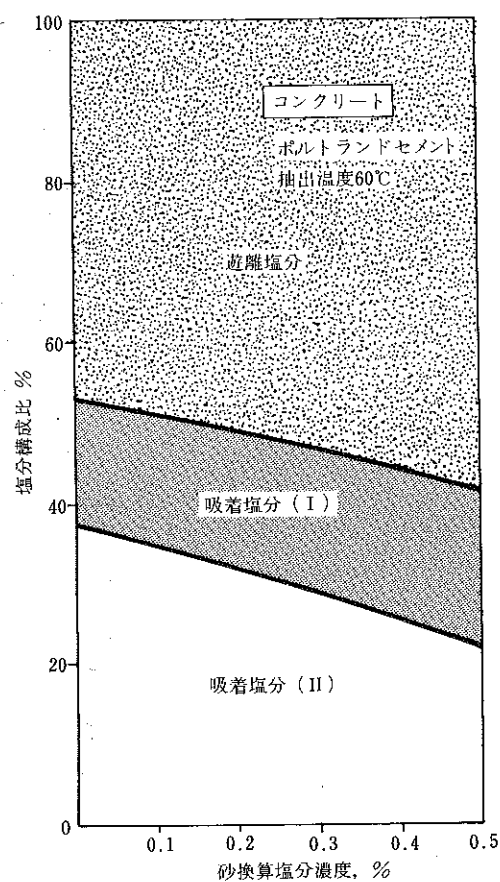
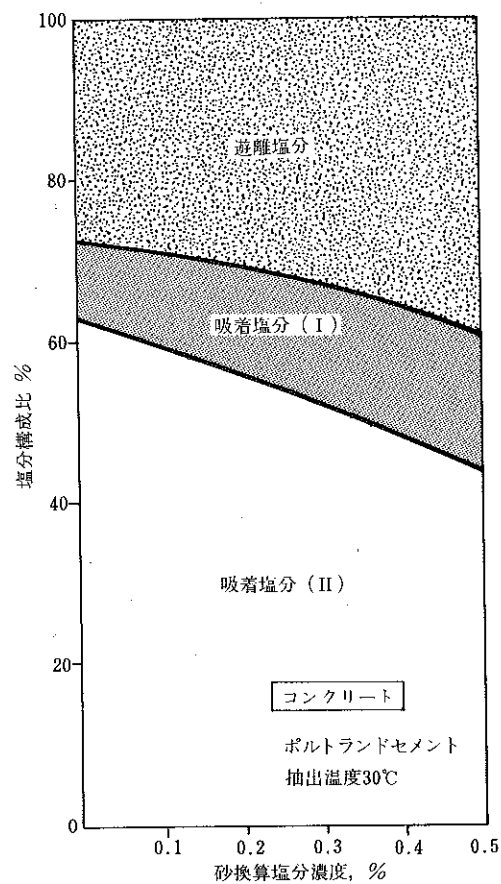
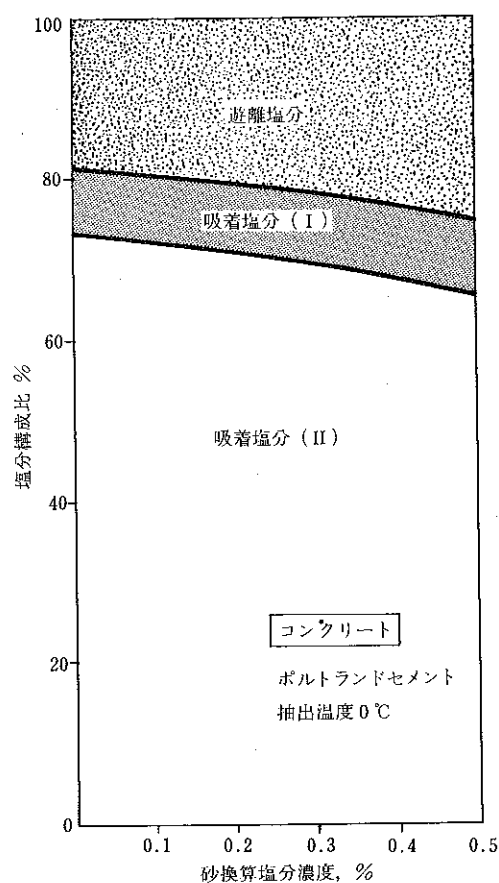


図 5-6 コンクリート中の塩分の形態 (塩分が N_aCl の場合)

あ と が き

コンクリート中の塩素イオンの分析方法に関する実験はきわめて基礎的な部類に入るが、これまであ
いまいな測定を行ってきたことについて、はじめて数量化に耐えうる方法を提示することができた。

地域性や構造物の寿命を考慮した構造物の耐久性評価において、ここで提案した塩分の試験案は、実
用性にすぐれた定量方法であるから広く利用をおすすめしたい。

コンクリート中に含まれる塩化物の定量法 (土木研究所標準試験案)

片 脇 清 士 (建設省土木研究所)

まえがき

土木研究所においては、これまで塩化物の挙動を明らかにするための実験を数多く行ってきたが、その過程で定量方法についても実験的検討を行っており、その成果をまとめたものが本試験方法である。

本方法の特徴は次の点にある。

- (1) 実用性を損なわずに測定値の厳密性を確保しようとしたこと。
- (2) コンクリート中の塩分の形態に基づき、目的に応じて全塩分分析と可溶性塩分分析の2種類の手法を選択できるようにし、しかも各方法の分析の意義を明らかにしたこと。
- (3) 新しい分析手段であるイオン選択性電極を用いた滴定手法を採用して妨害イオンに左右されず信頼性を

を高めたこと。

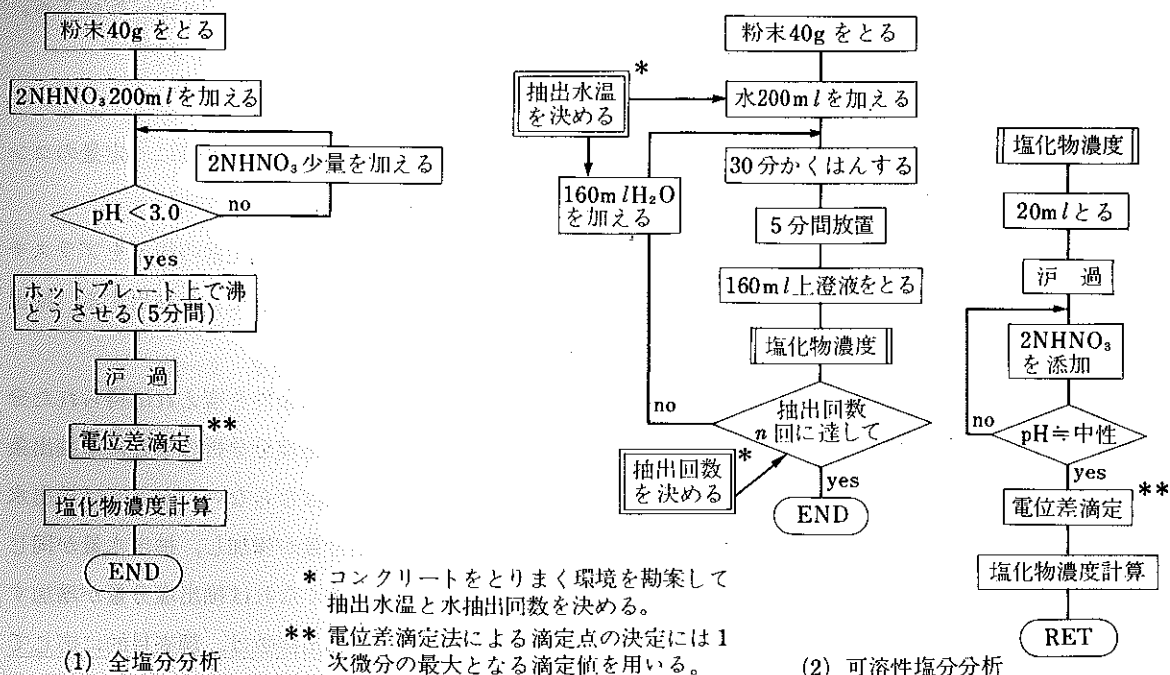
なお、コンクリート中の塩化物は挙動が複雑であるだけでなく、形態も未解明の部分があることから、その定量は一般に難しい分析範囲に属する。本方法ではできるだけ簡便にするように努めたが実際の作業にあたっては分析に関する多少の経験と知識を必要とすることをあらかじめおことわりしておく。

1. 適用範囲

本方法はコンクリート中に含まれる塩化物を定量する際に適用する。

2. 用語

○塩化物(塩分) 塩素イオンそれ自体あるいは塩素イオン化合物を意味する。本



図一1 全塩分分析および可溶性塩分分析のフローチャート

方法では塩化物と塩分とを同義語としている

○全 塩 分 コンクリート中に含まれる塩分の全量

○可溶性塩分 コンクリート中に含まれる塩分のうち水に可溶性の塩分量。

本方法では抽出条件を規定しているため、この条件に基づいた抽出操作により水に溶け出てくる塩分量に相当する。

3. 定量方法の選択

調査目的に応じて全塩分分析または可溶性塩分のいずれかを選択するものとする。

(1) 全塩分分析

コンクリート中に含まれる塩分の全量を知るために行う。

(2) 可溶性塩分分析

コンクリート中に含まれる塩分のうち水に可溶性の塩分量を測定するために行う。可溶性塩分は鉄筋の腐食に直接関与するものと考えられている。

全塩分分析および可溶性塩分分析のフローチャートを前頁に示した(図-1)。

4. 器具および試薬

4.1 採取時および前処理時に用いる器具

- ① コンクリートコア採取器
- ② コンクリート切断器
- ③ コンクリート粉砕器
- ④ 振とう器
- ⑤ 乾燥器

4.2 分析時に用いる器具と試薬

(1) 器 具

- ① 塩素イオン選択性電極を利用した自動電位差滴定装置
- ② マグネチックスターラー
- ③ ビーカー
- ④ ホールピペット
- ⑤ 天秤(感量0.01 mg)

(2) 試 薬

- ① 1/200規定塩化ナトリウム溶液：標準試薬塩化ナトリウムを120℃で一昼夜乾燥させたものをデシケーター中で放冷し、0.29225 gを正確に0.01 mgまで測りとり水に溶かして1 lとする。
- ② 1/200規定硝酸銀溶液：試薬特級硝酸銀0.850 gを水に溶かして1 lとする。

5. 採取および前処理

コンクリートよりコンクリートコアを抜きとったり表面をはつるなどしてサンプルを採取する。

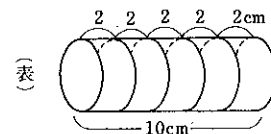
1) コアの採取

直径3.5~3.0 cm 長さ10 cm 前後のコンクリートコアを採取する。コアは、汚染されないように容器に入れて運搬・保管する。

なお、コア採取地点(位置)を記録する。

2) 切 断

下図のように切断する。



3) 粉 砕

粉砕器(コーヒーマルなど)で小片毎に粉砕する。粉砕度は、ふるい0.15 mm 以下とする。

4) 抽 出

全塩分分析の場合は、ガラス製容器に一定量のコンクリート粉末を入れ抽出操作を行う。

可溶性塩分分析の場合は、一定量の粉末をプラスチック製ロートに入れ振とう器を用いて抽出する(抽出時間は1回当たり30分)。

コンクリートの場合抽出条件を変えれば得られた分析値が異なる。特に可溶性塩分分析の場合には抽出条件を慎重に検討しなければならない。たとえば抽出水温が高くなって抽出塩分量が増加し、抽出水量が同じであっても抽出回数が多くなれば抽出塩分量が増加する。そこで抽出水温と抽出回数は、調査目的に応じてあらかじめ決めておく必要がある。抽出水温については周囲環境の最高気温または平均気温とするのもよい。抽出回数についていえば、コンクリート中の水や塩分

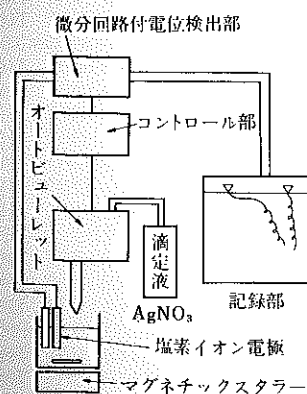
の挙動がまだよくはわかっていないために抽出回数
の選択方法には不明な点が残されている。しかし、実際
の構造物の使用年数と抽出回数は比例の関係にあると
考えられ、これまでの実験結果では、短期間の予測に
は1～2回の抽出回数、長期間の予測には3～4回の
抽出回数が適当であると考えている。

全塩分抽出の場合には、硬化したセメントペースト
部分からの塩素イオンの離脱が短時間ですみやかに行
われることが必要であり、これには抽出時の溶液の酸
性度の大小が重要となる。実験によれば、pHが3以上
では不十分な抽出しか行えない。

6. 分 析

抽出液よりホールピペットで20 ml をビーカーに分
取し、自動電位差滴定装置に設定する。分取液をマグネ
チックスターラーで攪拌しながら硝酸銀溶液を滴下し、
滴定終了後、電位差の記録より電位差が最大になったと
きを終点とし、それまでの滴下量を滴定量とする。

1/200規定硝酸銀溶液の力価の決定は1/200規定
塩化ナトリウム溶液をホールピペットで20 ml ビーカ
ーに取り、以下、測定と同様の操作を行う。



図一 2 電位差滴定装置

測定値の信頼性が高いことと測定の自動化が容易で
あることから塩素イオン選択性電極を用いた電位差滴
定法が適切である（図一 2）。他の電極（銀電極など）
を用いる場合にはコンクリートより生ずる妨害イオン
（ S^{2-} など）の悪影響があるので、これらを事前に除去
しなければならない。

また、選択性電極は製品によるばらつきのある場合
があり長期間安定した性能であることを確かめる。な
お、塩素イオン選択性電極を用いて電位直読で塩分を
定量するのはコンクリートの種類によっては測定値の
信頼性が乏しくなることがある。

7. 計算と結果の表示

溶液中の塩分量は次式で表わす。

$$\text{溶液中の塩分量 (mg)} = 1.461 \times 10^{-5} \times f \times v_1 \times V$$

1/200規定硝酸銀溶液の力価

$$f = \frac{a}{0.29225} \times 20 \times v_0$$

ただし、a は秤りとした塩化ナトリウム量 (g)、 v_0 、 v_1 はそれぞれ力価 f の決定、試料溶液の滴定に要した
硝酸銀溶液量 (ml)、V は抽出液量 (ml) とする。

得られた数値を次のように換算し表示する。

塩害の場合の主要因は潮風や海水なので塩分 (NaCl)
重量に換算し、コンクリート配合が既知の場合はコン
クリートに対する重量濃度百分率 (%) に単位体積当
りの重量 (kg/m³) を併記し、配合が不明の場合には
コンクリートに対する重量濃度百分率 (%) で表す。

【 付属資料 2 】

塩分量計算に用いた電子計算機プログラム

その 1

```

PROG @
10 COM A(5,15),H(9),C(5),B(5),D(3),E(3),S3,SN,ET,HA,KL,KT,NC
20 COM SC,TE,EX
30 LET SC=0
40 DISP "マイコウ Y:1 N:0"
50 INPUT HA
60 DISP "WATER:0 ACID:1"
70 INPUT KL
80 IF HA=0 GOTO 110
90 LET KT=0
100 GOTO 200
110 IF KL=0 GOTO 200
120 DISP "HNO3 2: Y:1 N:0"
130 INPUT KT
140 NO-INPUT 160
150 GOTO 170
160 LET KT=0
170 IF KT=1 GOTO 200
180 DISP "HNO3/水/コンクリート"
190 INPUT NC
200 DISP "シロウ マンコウ"
210 INPUT D(1,3)
220 DISP "カンパル マンコウ"
230 INPUT E(1,3)
240 DISP "カクシゲル"
250 INPUT TE
260 NO-INPUT 280
270 GOTO 290
280 LET TE=30
290 DISP "チュウツツキ オト"
300 INPUT ET
310 NO-INPUT 330
320 GOTO 340
330 LET ET=60
340 IF HA=1 GOTO 360
350 GOSUB 410
360 IF KL=0 GOTO 380
370 LINK W
380 IF KL=1 GOTO 400
390 LINK N
400 END
410 DISP "スライファリY:1 N:0"
420 INPUT SC
430 NO-INPUT 450
440 GOTO 460
450 LET SC=0
460 IF SC=0 GOTO 490
470 LET H(1)=0
480 GOTO 510
490 DISP "インパン ノド スナ"
500 INPUT H(1)
510 DISP "W/C"
520 INPUT H(2)
530 DISP "S/A"
540 INPUT H(4)
550 DISP "スラン"
560 INPUT H(3)
570 DISP "WATER"
580 INPUT H(5)
590 DISP "CEMENT"
600 INPUT H(6)
610 DISP "スナ"
620 INPUT H(7)
630 DISP "シヤリ"
640 INPUT H(8)
650 DISP "コンサイ"
660 INPUT C(1,5)
670 DISP "コンサイリョウ"
680 INPUT B(1,5)
690 RETURN
700 END
P 1282 / 3856
U 0
C 880

```

その2

```

PROG N
10 COM A(5,15),H(9),C*(5),B*(5),D*(3),E*(3),S3,SN,ET,HA,KL,KT,NC
20 COM SC,TE,EX
30 DISP "R3N03ノウト ノブコウ"
40 INPUT TC
50 DISP "FACTOR"
60 INPUT FA
70 DISP "サンプルリョウ"
80 INPUT S3
90 DISP "チュウシュツイキリョウ"
100 INPUT EL
110 DISP "SAMPLE VOLUME"
120 INPUT SU
130 DISP "テキイリョウ"
140 INPUT TU
150 IF SC=0 GOTO 180
160 LET E=H(7)*H(1)/100
170 LET SN=E*S3/(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))
180 LET EQ=FA*5.845*TV/(TC*SU)
190 LET EU=EQ*EL/100
200 IF SC=0 GOTO 220
210 LET ER=EU/SN*100
220 LET CC=EU/S3*100
230 IF HA=0 GOTO 260
240 LET CD=CC*(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))/H(7)
250 LET CE=CC*(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))/1000*10
260 PRINT FEED(6)
270 PRINT TAB(6);"シヨウ ノブコウ";TAB(34);D*(1,3)
280 IF HA=0 GOTO 370
290 PRINT TAB(6);"ノブコウ"
300 PRINT TAB(6);" エンフンノウト W/C スラック S/A W C S
   G"
310 PRINT TAB(6);" スナカンザン (%) (cm) (%)"
320 PRINT TAB(6);
330 PRINT USING 340 H(1),H(2),H(3),H(4),H(5),H(6),H(7),H(8)
340 FORMAT
   ###,#### ###,### ###,## ###,### ####,## ####,## ####,##
350 PRINT TAB(6);" エンフン";TAB(34);C*(1,5)
360 PRINT TAB(6);" エンフンイリョウ";TAB(34);B*(1,5)
370 PRINT TAB(6);"サンプル ノブコウ";TAB(34);E*(1,3)
380 PRINT TAB(6);"サンプルリョウ (g)";TAB(34);S3
390 IF SC=0 GOTO 410
400 PRINT TAB(6);"サンプルチュウ J NaCl (g)";TAB(34);SN
410 PRINT TAB(6);"チュウシュツイ";TAB(35);"2N NITRIC ACID"
420 PRINT TAB(6);"チュウシュツイキリョウ (mL)";TAB(34);EL
430 PRINT TAB(6);"チュウシュツイキリョウ (°C)";TAB(35);"Room Temp"
440 PRINT TAB(6);"カクシツカン (min)";TAB(34);TE
450 PRINT FEED(1);TAB(6);"タイサンツカ"
460 PRINT TAB(8);"チュウシュツリョウ (g)";TAB(34);EU
470 IF SC=0 GOTO 490
480 PRINT TAB(8);"チュウシュツリツ (%)";TAB(34);ER
490 PRINT TAB(8);"エンフンノウト"
500 PRINT TAB(8);" エンクリートカンザン (%)";TAB(34);CC
510 IF HA=0 GOTO 540
520 PRINT TAB(8);" スナカンザン (%)";TAB(34);CD
530 PRINT TAB(8);" タンイ エンフンリョウ (kg/m3)";TAB(34);CE
540 LINK @
550 END
P 2248 / 3856
U 88
C 880

```

その3

```

PRGM W
10 COM A(5,15),H(9),C(5),B(5),D(3),E(3),S3,SN,ET,HA,KL,KT,NC
20 COM SC,TE,EX
30 DISP "キュウシュウカイズ(1-5)"
40 INPUT EX
50 IF EX<1 GOTO 30
60 IF EX>5 GOTO 30
70 DISP "ホリポート"
80 INPUT PF
90 DISP "+サンプリング"
100 INPUT S4
110 DISP "+I#1"
120 INPUT L1
130 DISP "-I#1"
140 INPUT L2
150 LET A(1,2)=L1-S4
160 LET S3=S4-PF
170 LET A(1,3)=L1-L2
180 IF EX=1 GOTO 280
190 FOR I=2 TO EX
200 DISP "+I#", " ",I
210 INPUT L1
220 LET L3=L2
230 DISP "-I#", " ",I
240 INPUT L2
250 LET A(I,2)=L1-L3
260 LET A(I,3)=L1-L2
270 NEXT I
280 DISP "A(1,3)の外に 1/1000"
290 INPUT TC
300 DISP "FACTOR"
310 INPUT FA
320 IF SC=0 GOTO 350
330 LET E=H(7)*H(1)
340 LET SN=E/100*S3/(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))
350 IF KT=0 GOTO 370
360 LET SN=NC*S3/100
370 FOR I=1 TO EX
380 DISP "SAMPLE VOLUME",I
390 INPUT SU
400 DISP "1/1000",I
410 INPUT U
420 LET A(I,1)=FA*5.845*U/(TC*SU)
430 NEXT I
440 LET A(1,6)=A(1,2)
450 LET A(1,7)=A(1,6)*A(1,1)/100
460 LET A(1,4)=A(1,2)-A(1,3)
470 LET A(1,5)=A(1,4)
480 LET A(1,8)=A(1,5)*A(1,1)/100
490 LET A(1,9)=A(1,7)
500 LET A(1,10)=A(1,9)
510 IF KT+SC=0 GOTO 550
520 LET A(1,11)=A(1,10)/SN*100
530 IF SC=0 GOTO 550
540 LET A(1,12)=A(1,1)/((SN-A(1,10))/S3*100)
550 IF HA=0 GOTO 580
560 LET A(1,14)=A(1,10)/S3*100*(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))/H(7)
570 LET A(1,15)=A(1,10)/S3*100*(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))/1000*10
580 LET A(1,13)=A(1,10)/S3*100
590 IF EX=1 GOTO 770
600 FOR I=2 TO EX
610 LET A(I,4)=A(I,2)-A(I,3)
620 LET A(I,5)=A(I-1,5)+A(I,4)
630 LET A(I,6)=A(I,2)+A(I-1,5)
640 LET A(I,7)=A(I,6)*A(I,1)/100
650 LET A(I,8)=A(I,1)*A(I,5)/100
660 LET A(I,9)=A(I,7)-A(I-1,8)
670 LET A(I,10)=A(I,9)+A(I-1,10)
680 IF KT+SC=0 GOTO 720
690 LET A(I,11)=A(I,10)/SN*100
700 IF SC=0 GOTO 720
710 LET A(I,12)=A(I,1)/((SN-A(I,10))/S3*100)
720 IF HA=0 GOTO 750
730 LET A(I,14)=A(I,10)/S3*100*(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))/H(7)
740 LET A(I,15)=A(I,10)/S3*100*(H(5)+H(6)+H(7)+H(8))/1000*10
750 LET A(I,13)=A(I,10)/S3*100
760 NEXT I
770 LINK P
780 END
P 2813 / 3856
U 64
C 880

```

その4

```

PROG P
10 COM A(5,15),H(9),C(5),B(5),D(3),E(3),S3,SN,ET,HA,KL,KT,NC
20 COM SC,TE,EX
30 PRINT FEED(6)
40 PRINT TAB(6);"シロウ バンコウ";TAB(30);D(1,3)
50 IF HA=0 GOTO 140
60 PRINT TAB(6);"マイコウ"
70 PRINT TAB(6);" エンブリウト W/C スランプ S/A W C S
   G"
80 PRINT TAB(6);" スカランゲン (%) (Cm) (%) "
90 PRINT TAB(6);
100 PRINT USING 110 H(1),H(2),H(3),H(4),H(5),H(6),H(7),H(8)
110 FORMAT
   ##.#### ##.### ###.## ###.### ####.## ####.## ####.## ####.##
120 PRINT TAB(6);" エンブリウト";TAB(30);C(1,5)
130 PRINT TAB(6);" エンブリウト";TAB(30);B(1,5)
140 PRINT TAB(6);"カンパル バンコウ";TAB(30);E(1,3)
150 PRINT TAB(6);"カンパルリョウ (g)";TAB(30);S3
160 IF KT+SC=0 GOTO 180
170 PRINT TAB(6);"カンパルリョウ NaCl (g)";TAB(30);SN
180 PRINT TAB(6);"チュウシュツイ";TAB(30);"WATER"
190 PRINT TAB(6);"チュウシュツイ オント (°C)";TAB(30);ET
200 PRINT TAB(6);"カクハシヨカン (min)";TAB(30);TE
210 PRINT TAB(6);"タイカン"
220 GOSUB 670
230 FOR I=1 TO 9
240 PRINT TAB(10);I;TAB(19);
250 LET L=I
260 GOSUB 600
270 NEXT I
280 PRINT FEED(1);TAB(6);"タイカンテッカ"
290 PRINT TAB(38);"チュウシュツカイスウ"
300 GOSUB 670
310 PRINT TAB(6);"ルイキエンブリウト"
320 PRINT TAB(12);" (g)";TAB(19);
330 LET L=10
340 GOSUB 600
350 IF KT+SC=0 GOTO 400
360 PRINT TAB(6);"チュウシュツリツ"
370 PRINT TAB(12);" (%)";TAB(19);
380 LET L=11
390 GOSUB 600
400 IF SC=0 GOTO 450
410 PRINT TAB(6);"チュウシュツエンブリウト /"
420 PRINT TAB(6);"カンリョウエンブリウト";TAB(19);
430 LET L=12
440 GOSUB 600
450 PRINT TAB(6);"エンブリウト (%) "
460 PRINT TAB(7);"エンブリウトカンゲン";TAB(19);
470 LET L=13
480 GOSUB 600
490 IF HA=0 GOTO 580
500 PRINT TAB(6);"エンブリウト (%) "
510 PRINT TAB(7);"スカランゲン";TAB(19);
520 LET L=14
530 GOSUB 600
540 PRINT TAB(6);"エンブリウト (kg/m3)"
550 PRINT TAB(7);"カンイ エンブリウト";TAB(19);
560 LET L=15
570 GOSUB 600
580 LINK @
590 END
600 FOR K=1 TO EX
610 PRINT USING 650 A(K,L),
620 NEXT K
630 PRINT
640 RETURN
650 FORMAT
   ##.#### ^^^^
660 END
670 FOR K=1 TO EX
680 PRINT TAB(K*12+12);K;
690 NEXT K
700 PRINT
710 RETURN
720 END
P 2202 / 3856
U 0
C 880

```