

再生粗骨材の塩化物濃度の簡易測定手法 に関する検討

(独) 寒地土木研究所 耐寒材料チーム ○下谷 裕司
吉田 行
田口 史雄

近年コンクリート用再生骨材の日本工業規格が整備され、今後その需要が増加することが予測される。これに伴い、再生骨材の効率的な品質検査が重要となるが、特に塩化物(NaCl)濃度の検査にあたっては種々の薬品や器材が必要であり、またその方法も煩雑である。このため、現場等でも簡易に実施出来る検査手法が必要である。

本研究では試験紙タイプの塩化物濃度測定計を用いる簡易法を考案し、その適用性を検討した。この結果、簡易法により再生粗骨材の塩化物濃度の管理指標である全塩化物濃度を推定でき、簡易法が塩化物濃度の検査に適用できることが明らかとなった。

キーワード：再生粗骨材、塩化物イオン濃度、簡易評価手法

1. はじめに

現在、コンクリート解体材から製造される再生骨材は主に路盤材などに利用されており、その再資源化率は高い水準を保っている。しかしながら、道路建設等の大型公共事業の縮減に伴い、路盤材需要は減少傾向にある。さらに高度経済成長期に大量に建設されたコンクリート構造物の老朽化に伴い、コンクリート解体材の発生量が増加することが予測されている。

このため、再生骨材の新たな用途の開発が必要とされており、資源の循環利用の観点からもコンクリート用骨材としての利用に向けた研究が様々な機関で行われている。また、平成17年から平成19年にかけては、コンクリート用再生骨材および再生骨材を使用したコンクリートに関する日本工業規格(JIS)の整備が進められ、今後その需要は増加していくと考えられる。これに伴い、再生骨材の効率的な品質管理がさらに重要となるが、再生骨材は一般的に多数のコンクリート構造物を取り壊して製造されるため品質のバラツキが大きく、JIS Q 1012¹⁾においては、再生骨材の品質検査頻度を碎石・砂利等の普通骨材の2倍程度に定めている。従って再生骨材の品質管理を効率的に行うためには、コンクリート製造工場や現場で簡易に実施出来る検査手法が必要である。

一方、北海道のような積雪寒冷地のコンクリート構造物は、海岸部の飛来塩分の影響に加え、冬期に散布されている塩化物系凍結防止剤の影響を受けており、このような構造物を取り壊して製造される再生骨材には塩化物が残存している恐れがある。このため、積雪寒冷地のコ

ンクリート構造物より製造された再生骨材の利用にあたっては、特に塩化物(NaCl)濃度の管理が重要となると考えられる。しかし、現状の再生骨材の塩化物濃度の検査では、種々の薬品や器具を使用するため、現場等では実施しづらいことから、薬品や特殊な器具が不要で、省力的に検査できる方法が必要であった。

そこで本研究においては、再生粗骨材中の塩化物の抽出過程を省力化し、塩化物の定量に試験紙タイプの塩化物濃度測定計を用いて塩化物濃度を定量する方法(以下、「試験紙法」と記す)を考案し、その適用性を検討した。

2. 再生粗骨材の塩化物濃度の測定方法

(1) 再生骨材の塩化物濃度管理の現状

再生骨材の塩化物濃度は、再生骨材中に含まれる塩分の全量である全塩化物濃度で管理することとされている。その測定にはJIS A 5002「構造用軽量コンクリート骨材」²⁾に準拠して求めた塩化物濃度に一定係数(4.0)を掛けて全塩化物濃度とする方法(以下、「JIS法」と記す)が用いられている。しかしながら、同方法には、塩化物濃度の定量に各種薬品や滴定器具が必要となるため、試験機関等で無ければ測定が困難である。

また、他の塩化物濃度の測定方法としては、硬化コンクリートの塩化物濃度の測定について一般的に用いられているJCI-SC4「硬化コンクリート中に含まれる塩分の分析方法」³⁾(以下、「JCI法」と記す)が挙げられる。同方法の全塩化物濃度の測定方法は、分析試料を酸で溶解して粗骨材中の全塩化物を抽出し、それを直接定量する方法であるため、全塩化物量を確実に把握することが

できる。しかしながら、この方法では塩化物の定量時に加え、塩化物の抽出の際にも薬品を使用することから、JIS法と同様に試験機関等で無ければ実施が困難である。

(2) 考案した試験紙法の概要

先述したとおり、既存の試験方法では、塩化物の抽出過程および塩分の定量過程で種々の薬品や滴定装置、分析装置を使用するため、現場では実施しづらい。このため、本研究では、塩化物濃度測定計以外の器具や薬品を使用しなくても再生粗骨材の塩化物濃度が測定可能な試験紙法を考案した。

具体的方法は、再生粗骨材と水を混合・振とうして塩化物の抽出を行い、次に図-1に示す現場等でフレッシュコンクリートの塩化物濃度の検査に一般的に用いられている塩化物濃度測定計を使用して塩化物を定量した。なお、この測定計は差し込み後、5~10分程度と比較的迅速に塩化物濃度の定量ができる。また、この測定計で求めた塩化物濃度は、塩化物の定量方法の中で比較的高精度な電位差滴定法で求めた塩化物濃度と比較しても±10%以内であり、塩化物濃度を精度良く定量出来る。

3. 試験紙法における塩化物抽出条件の検討

(1) 試験概要

先述した通り、試験紙法は再生粗骨材と水を混合・振とうすることで塩化物の抽出を行う方法である。このため、塩化物の抽出条件として、試料の状態（粒径および乾燥程度）、抽出水の温度、振とう時間を考慮することとし、表-1に示す各抽出条件を組み合わせた試験水準を設定して、これらの条件が塩化物の抽出量に及ぼす影響を検討した。

ケース1では試料の状態に着目して、試料に未破碎試料（5-15mm）、粗碎試料（5mm以下）、粉末試料（0.15mm以下）の3種類を使用し、抽出水の温度は80℃、振とう時間は5分間とした。ケース2では抽出水の温度に着目して、20℃、50℃、80℃の3条件とし、試料には粉末試料を使用し、振とう時間は5分間とした。ケース3では振とう時間に着目して、1分間、5分間、15分間の3条件とし、試料には粉末試料を使用し、抽出水の温度は80℃とした。なお、振とう回数は、いずれのケースにおいても80~100回/1minとした。

表-2に試験に用いた再生粗骨材の原コンクリート（再生粗骨材の原料として使用したコンクリート）の諸元と物理的品質を示す。本試験においては、試験法の適用性の検討を行うことから、再生粗骨材自体の塩化物濃度のバラツキの影響を出来るだけ除外する必要があった。このため、原コンクリートには実験室において塩化ナトリウムを添加して作製した水セメント比50%のコンクリートブロックを使用した。再生粗骨材は、塩化物の溶脱を防ぐためコンクリートブロックを乾式で破碎・摩砕処

理して製造し、5-15mmにふるい分けた。再生粗骨材の物理的品質は、JIS A 5022付属書1「コンクリート用再生骨材M」⁴⁾に規定される品質（絶乾密度2.3g/cm³以上、吸水率5.0%以下）相当であった。

分析試料は、再生粗骨材を所定の粒径になるまで破碎・粉碎した後、一昼夜、風乾して使用した。試験は、試料と抽出水200mlを保温容器（魔法瓶）内で混合し、直ちに振とうした後ろ過処理を行い、ろ過した抽出水の塩化物イオン(Cl⁻)濃度を塩化物濃度測定計を用いて測定した。なお、塩化物濃度測定計は、1試料につき3本の測定計を使用した。

また、塩化物濃度測定計で測定される値は抽出水の塩化物イオン濃度であり、骨材においては規制値として塩化物（NaCl）濃度が用いられていることから、式(1a)に



図-1 塩化物濃度測定計の外観

表-1 予備試験における抽出条件の組み合わせ

試験ケース	試料の状態	抽出水の温度	振とう時間
ケース1	未破碎試料 200g (5-15mm)	80℃	5分間
	粗碎試料 200g (5mm以下)		
	粉末試料 40g (0.15mm以下)		
ケース2	粉末試料 40g (0.15mm以下)	20℃	5分間
		50℃	
		80℃	
ケース3	粉末試料 40g (0.15mm以下)	80℃	1分間
			5分間
			15分間

表-2 原コンクリートの諸元と再生粗骨材の物理的品質（再生粗骨材 Ra）

再生粗骨材	原コンクリート		再生粗骨材	
	水セメント比 (%)	塩化ナトリウム添加量 (kg/m ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
Ra	50	1.420	2.52	3.22

よって分析試料の塩化物濃度に換算 (NaCl原子量58.5、Cl原子量35.5より、NaCl=1.65Clとして計算) した。

$$NaCl'(\%) = \frac{W_g(g)}{R_g(g)} \times Cl^-(\%) \times 1.65 \quad (1a)$$

ここに、 $NaCl'$: 分析試料の塩化物(NaCl)濃度 (%)
 W_g : 抽出水の質量 (g)
 R_g : 分析試料の質量 (g)
 Cl' : 3本の塩分量測定計の読み値より求めた塩化物イオン(Cl⁻)濃度の平均値 (%)

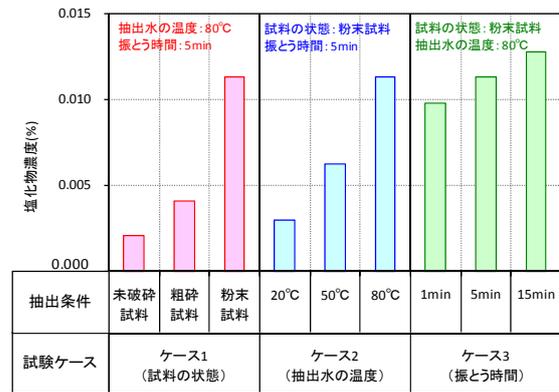


図-2 各試験ケースにおける塩化物濃度

(2) 試験結果

図-2に各試験ケースにおける塩化物濃度を示す。ケース1の結果を見ると、試料が細かいほど塩化物の抽出量は増加する傾向があり、粗碎試料の塩化物濃度は未破碎試料の約2倍、粉末試料の塩化物濃度は粗碎試料の約3倍であった。これは試料の比表面積が増加し、試料に抽出水が浸透しやすくなったためと考えられる。

ケース2の結果を見ると、抽出水の温度が高いほど塩化物の抽出量は増加する傾向があり、抽出水の温度が50℃の場合の塩化物濃度は20℃の約2倍、80℃の場合の塩化物濃度は50℃の約2倍であった。

ケース3の結果を見ると、振とう時間が長いほど塩化物の抽出量は増加する傾向があるものの、5分間振とうの場合の塩化物濃度は1分間振とうの場合の約1.2倍、15分間振とうの場合の塩化物濃度は5分間振とうの場合の約1.1倍と他の条件を変えた場合に比べ、塩化物の抽出量の変化が小さいかった。このため、振とう時間が塩化物の抽出量に及ぼす影響は比較的小さいものと考えられる。

以上から、塩化物の抽出量は試料が細かく、抽出水の温度が高い方が多くなる傾向を確認した。しかしながら、粉砕ミル等の特殊な器具を使用せず、短時間に試料を0.15mm以下に微粉砕するのは困難であるため、試験紙法では未破碎試料よりも多くの塩分抽出が可能で、粉末

試料よりも簡便に作製出来る粗碎試料を用いることとした。さらに、塩化物の抽出量をより多くするため、試料と抽出水を混合した後、24時間静置する工程を設けた。また、抽出水の加熱には、簡便性の観点から市販の電気ポットを用いることとし、その温度設定を一般的な電気ポットに共通する温度である98℃に設定し、蒸留水を加熱して使用することとした。さらに振とう時間が塩化物の抽出量に及ぼす影響は比較的小さかったことから、振とう器等を使用せずに振とうできる時間を想定して5分間 (振とう回数は80~100回/1min) とした。

4. 試験紙法の適用性に関する検討

(1) 既存の方法と試験紙法で測定した塩化物濃度の関係

試験紙法の適用性を検討するため、試験紙法、JIS法、JCI法による塩化物濃度測定を実施し、その結果を比較した。また、塩化物濃度の測定可能領域を調べる目安として、再生粗骨材Raと塩化物濃度の異なる再生粗骨材Rbを新たに製造し、再生粗骨材Ra、Rbを対象に各試験法による塩化物濃度測定を実施した。

表-3に試験紙法、JIS法、JCI法の試験条件を示す。試

表-3 各試験法の試験条件

試験条件		試験紙法	JIS法	JCI法	
				可溶性塩化物濃	全塩化物濃度
分析試料	状態	破碎試料 (5mm以下、風乾)	未破碎試料 (5-15mm、絶乾)	粉末試料 (0.15mm以下、風乾)	
	量	200g	1000g	40g	
	温度	常温	常温	50℃	—
抽出方法		試料と抽出水 (200ml、96.5℃以上*) を保温ビン内で混合 ↓ (24時間静置) 5分間振とう後、ろ過	試料と抽出水 (1000ml、常温) を混合 ↓ (24時間静置) 5分間隔で3回転倒振とう後、上澄み液を採取	試料と抽出水 (200ml、50℃) を混合・保温 ↓ (30分間振とう) 5~10分静置・ろ過	硝酸溶液で試料を溶解 ↓ 不溶解残分をろ過
定量方法		塩化物濃度測定計	硝酸銀滴定法	電位差滴定法	

※電気ポットの温度を98℃に設定して加熱

試験紙法およびJIS法は、抽出過程で24時間静置を行うため、JCI法に比べて時間がかかるが、その分塩化物の抽出工程を省力化している。また、試験紙法は、試料の乾燥状態の調整や塩化物の定量の過程において、各種薬品や特殊な器具（乾燥機、滴定器具）が不要な方法である。

表-4に新たに製造した再生粗骨材の原コンクリートの諸元と物理的品質を示す。原コンクリートは、再生粗骨材Raの原コンクリートと同一配合のコンクリートに、塩化ナトリウムを再生粗骨材Raよりも多く添加量して作製したコンクリートブロックを使用した。また、再生粗骨材の製造方法も、再生粗骨材Raと同様とした。なお、再生粗骨材の物理的品質は、JIS A 5022付属書1⁴⁾に規定される品質相当であった。

また、測定結果のバラツキの影響を除外するため、変動係数（平均値を1とした際の、測定値の平均値に対する変動を示す指標）が一定値になるまで各試験法による測定を繰り返した。このため、試験紙法では8回、JIS法では3回、JCI法では10回測定を行い、その平均値を用いて比較を行った。また、各試験法で測定した再生粗骨材の塩化物イオン濃度は塩化物濃度に換算して評価した。

(2) 各試験法で測定した塩化物濃度の比較と試験紙法の適用性評価

図-3に各試験法で測定した塩化物濃度を示す。試験紙法とJIS法で測定した塩化物濃度を比較すると、試験紙法で測定した塩化物濃度はJIS法の1.5倍～1.9倍であり、試験紙法によって現行の再生粗骨材中の塩化物濃度測定法であるJIS法と同等以上の塩化物を抽出できることが明らかとなった。

また、試験紙法とJCI法で測定した塩化物濃度を比較すると、試験紙法で測定した塩化物濃度は可溶性塩化物濃度の0.9倍、全塩化物濃度の0.3倍～0.4倍と比較的低く、また、試験紙法で測定した塩化物濃度は可溶性塩化物濃度に近い値を示した。既往の研究⁹⁾より、再生粗骨材中の塩化物は製造段階で除去しきれなかった旧セメントペースト分に存在していることが明らかとなっており、再生粗骨材中の塩化物はコンクリートと同様に可溶性塩化物と非可溶性塩化物（セメント水和物に物理的・化学的に固定されている塩化物等）の形で存在しているものと考えられる。試験紙法は可溶性塩化物の測定法と同様に水を使用して塩化物を抽出することから、本試験で実施した試験紙法の抽出条件で抽出できる塩化物は再生粗骨材中の可溶性塩化物の一部であり、試験紙法で測定した塩化物濃度は可溶性塩化物濃度に近い値を示したと考えられる。

また、試験紙法により抽出できる塩化物量は、既存の試験法で抽出した塩化物量と同様に、再生粗骨材の塩化物濃度の高低に対応して変化していたことから、試験紙法は再生粗骨材の塩化物濃度測定に適用できる可能性があることが明らかとなった。

5. 試験紙法による全塩化物濃度の推定方法の提案

(1) 追加製造した再生粗骨材の品質

冒頭で述べた通り、再生粗骨材中の塩化物は全塩化物濃度で管理されるため、試験紙法の測定結果より全塩化物濃度を推定する必要がある。このため、塩化物濃度の異なる複数種類の再生粗骨材を追加製造し、試験紙法とJCI法により測定した塩化物濃度の比較を行い、試験紙法の適用性を検討することとした。

表-5に追加製造した原コンクリートの諸元および再生粗骨材の物理的品質を示す。原コンクリートは再生粗骨材Ra、Rbの原コンクリートと同一配合のコンクリートブロックを使用することとし、塩化ナトリウムの添加量を変えた6種類(Rc～Rh)を作製した。また、再生粗骨材の製造方法は、再生粗骨材Ra、Rbと同一とした。再生粗骨材の物理的品質は、いずれもJIS A 5022付属書1⁴⁾に

表-4 原コンクリートの諸元と再生粗骨材の物理的品質
(再生粗骨材 Rb)

再生粗骨材	原コンクリート		再生粗骨材	
	水セメント比 (%)	塩化ナトリウム添加量 (kg/m ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
Rb	50	6.670	2.44	4.54

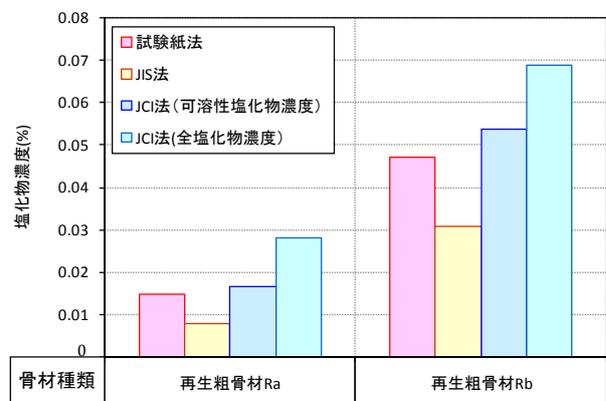


図-3 各試験法で測定した塩化物濃度

表-5 原コンクリートの諸元と再生粗骨材の物理的品質
(再生粗骨材 Rc～Rh)

再生粗骨材	原コンクリート		再生粗骨材	
	水セメント比 (%)	塩化ナトリウム添加量 (kg/m ³)	絶乾密度 (g/cm ³)	吸水率 (%)
Rc	50	0.900	2.46	3.63
Rd	50	1.500	2.47	3.45
Re	50	2.000	2.47	3.59
Rf	50	2.500	2.46	3.72
Rg	50	7.148	2.48	3.38
Rh	50	12.540	2.48	3.19

規定される品質相当であった。

(2) 試験紙法による全塩化物濃度の推定方法の検討

製造した8種類の再生粗骨材 (Ra~Rh) を対象とし、試験紙法で測定した塩化物濃度とJCI法で測定した全塩化物濃度の比較を行った。併せて、再生粗骨材中の塩化物の存在状態を確認するため、JCI法による可溶性塩化物の測定も実施した。

なお、4(1)で述べた通り再生粗骨材Ra、Rbについては試験紙法で8回、JCI法で10回測定を繰り返したが、この測定の際、試験紙法については測定6回目から、JCI法については測定5回目から変動係数が概ね一定値に収束する傾向がみられた。このため、追加製造した再生粗骨材 (Rc~Rf) については、試験紙法では6回、JCI法では5回測定を繰り返し、その平均値を求めた。

(3) 再生粗骨材中の塩化物イオンの存在状態

図-4にJCI法により測定した再生粗骨材の全塩化物濃度と可溶性塩化物濃度および非可溶性塩化物濃度 (=全塩化物濃度-可溶性塩化物濃度) の関係を示す。

可溶性塩化物濃度は全塩化物濃度の増加に概ね比例して増加する傾向が見られた。一方、非可溶性塩化物濃度は、全塩化物濃度が増加しても、全体として大きな変化見られなかった。再生粗骨材中の非可溶性塩化物としては、コンクリートと同様に骨材に付着した旧セメントペースト中のセメント水和物 (C-S-H ゲル) に物理的に吸着されている塩化物やセメント水和物相に化学的に結合される塩化物 (フリーデル氏塩等) などがあるものと考えられる。他方、Stark らによると、いずれのセメント水和物にも塩化物を結合出来る限界量が存在することが示されている⁹⁾。このことから、再生粗骨材中の非可溶性塩化物濃度に変化が見られなかったのは、非可溶性として存在する塩化物量が限界に達したためである可能性が考えられる。

そこで、JCI法により測定した全塩化物濃度と全塩化物濃度に対する非可溶性塩化物濃度の割合の関係を整理した。結果を図-5に示す。再生粗骨材中の全塩化物濃度が約0.1%以下の範囲においては、非可溶性塩化物濃度の割合は全塩化物濃度に比例して減少しており、全塩化物濃度が約0.1%より大きくなると、非可溶性塩化物濃度の割合は概ね10%で一定となっていた。この結果からも再生粗骨材中の非可溶性として存在する塩化物量は全塩化物濃度が増加するに従って減少し、全塩化物濃度がある値以上になると一定割合になる傾向が認められた。

(4) 試験紙法による全塩化物濃度の推定

図-6に試験紙法で測定した塩化物濃度とJCI法で測定した全塩化物濃度の関係を示す。なお、赤丸は実測値、実線は直線回帰により求めた推定式を示している。

両者の関係を見ると、再生粗骨材の全塩化物濃度の増

加に伴い、試験紙法で測定した塩化物濃度も増加する傾向があり、良い相関が確認できる。しかしながら、詳細に見ると、塩化物濃度が低い領域と高い領域における両者の関係には異なる傾向があり、塩化物濃度が高い領域における増加割合 (推定式の傾き) は比較的小さくなっていた。これは先述したとおり再生粗骨材中に非可溶性として存在する塩化物量に限界値があること及び試験紙法により抽出測定できる塩化物が可溶性塩化物であるこ

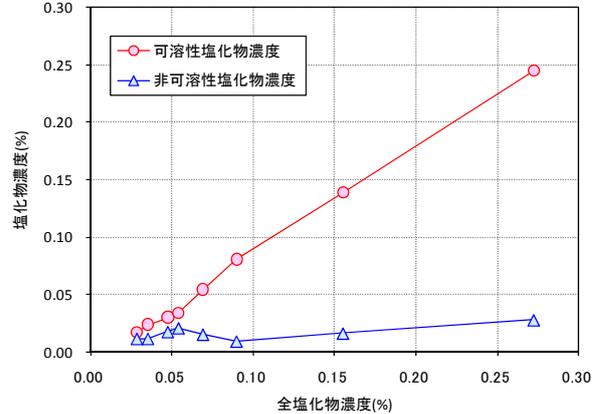


図-4 JCI法により測定した塩化物濃度の関係

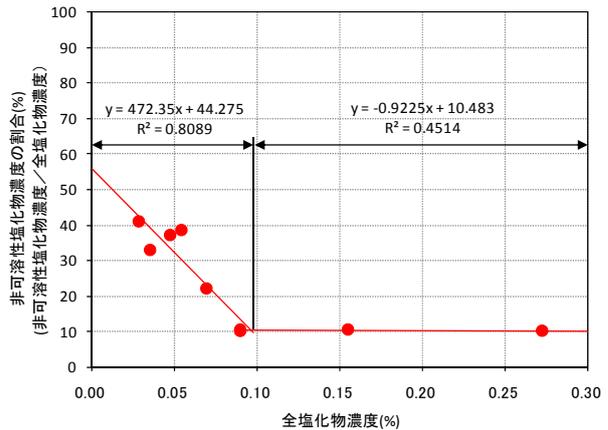


図-5 全塩化物濃度に対する可溶性塩化物濃度の割合

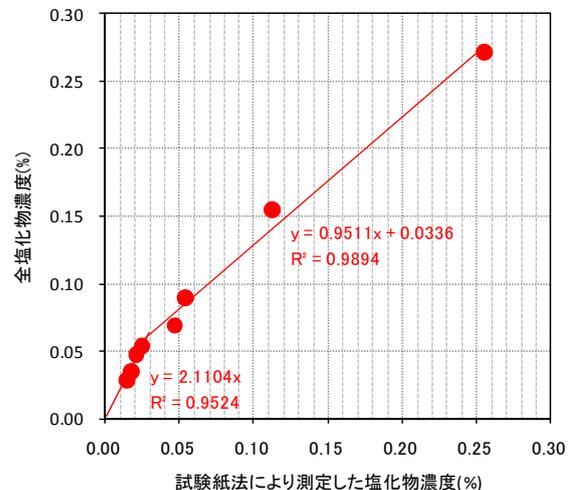


図-6 試験紙法で測定した塩化物濃度と全塩化物濃度の関係

とが影響しているものと考えられる。

他方、再生粗骨材中の全塩化物濃度の規制値は0.04%に定められており⁴⁾、試験紙法を実際に塩化物濃度の管理に適用する場合、試験紙法の測定値より推定した再生粗骨材中の全塩化物濃度がこの規制値を満足するかを確認することとなる。

試験紙法で測定できる塩化物濃度は全塩化物濃度に比べて小さいことから、試験紙法で測定した再生粗骨材中の塩化物濃度が規制値を超えている場合、コンクリート用骨材として使用不可という判定になる。また、試験紙法で測定した再生粗骨材中の塩化物濃度が規制値以下であれば、図-6に示した推定式に基づき、全塩化物濃度を推定することとなる。しかしながら、この推定式は、試験紙法で測定した塩化物濃度が0.03%の点を変曲点とする直線で表され、試験紙法で測定した塩化物濃度が0.03%以下の範囲と0.03%より大きい範囲で式が異なるため、実際の運用が煩雑となる。このため、試験紙法で測定した再生粗骨材の塩化物濃度が規制値以下の場合には、安全側を考慮し、式(1b)によって全塩化物濃度を求めることを提案する。

$$NaCl(\%) = \frac{W_g(g)}{R_g(g)} \times Cl^-(\%) \times 1.65 \times \alpha \quad (1b)$$

ここに、 $NaCl$: 全塩化物濃度 (%)

W_g : 試験紙法で用いた抽出水の質量 (g)

R_g : 試験紙法で用いた分析試料の質量 (g)

Cl^- : 3本の塩分量測定計の読み値より求めた塩化物イオン(Cl^-)濃度の平均値 (%)

α : 一定係数 = 2.11

6. まとめ

本研究の結果をまとめると、以下のことがいえる。

- (1) 現場等でも簡易に実施出来る再生粗骨材の塩化物濃度の検査法として、各種薬品や特殊な器具が不要で、各工程の省力化を図った試験紙法を考案した。
- (2) 試験紙法は、5mm以下に粗砕した再生粗骨材と高温の蒸留水を混合し、24時間静置後に5分間振とうを行って塩化物を抽出し、現場で一般的に用いられている塩化物濃度測定計を使用して塩化物を定量する方法である。

- (3) 試験紙法により現行の再生粗骨材の塩化物濃度測定法であるJIS法と同等の塩化物濃度が測定出来る。
- (4) 試験紙法により抽出できる塩化物は、再生粗骨材中の可溶性塩化物の一部であると考えられる。
- (5) 再生粗骨材中の非可溶性塩化物の割合は、全塩化物濃度に比例的に減少し、ある全塩化物濃度に達すると、非可溶性塩化物として結合できる量が一定割合になる。
- (6) 本研究で提案した推定式を用いることで、試験紙法により測定した塩化物濃度より、再生粗骨材中の塩化物濃度の管理値である全塩化物濃度が推定できる。

7. 今後の課題

本試験により、試験紙法で再生粗骨材の塩化物濃度の管理指標である全塩化物濃度を推定でき、簡易法が塩化物濃度の検査に適用できる可能性があることが明らかとなった。しかしながら、本試験で使用した再生粗骨材は、塩化物濃度が均一になるよう調整したものであることから、今後は実構造物より製造された再生粗骨材の塩化物濃度の検査に対する試験紙法の適用性を検討する必要がある。

参考文献

- 1) 財団法人 日本規格協会 : JIS Q 1011 「適合性評価 - 日本工業規格への適合性の認証 - 分野別認証指針 (レディーミクストコンクリート)」、pp.11-12、2009年3月20日
- 2) 財団法人 日本規格協会 : JISA 5005 構造用軽量コンクリート骨材、2005年3月
- 3) コンクリート構造物の腐食・防食に関する試験方法ならびに基準 (案)、pp.17-39、社団法人日本コンクリート工学協会、1987年4月
- 4) 財団法人 日本規格協会 : JISA 5022 「再生骨材Mを用いたコンクリート」、2007年3月
- 5) 下谷裕司、吉田行、田口史雄 : 再生粗骨材中の塩化物イオンが鉄筋コンクリートの鋼材腐食に及ぼす影響、寒地土木研究所月報第648号、pp.2-11、2007年5月
- 6) Jochen Stark、Bernd Wicht : コンクリートの耐久性 (第2版)、pp.73-75、2003年8月