

塩素固定化材と膨張材を併用したコンクリートの塩分浸透抵抗性評価

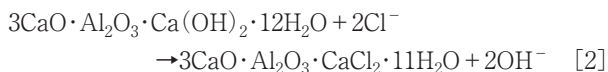
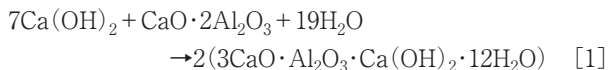
伊藤慎也^{*1} 保利彰宏^{*1} 浴陸真^{*2} 伊代田岳史^{*3}^{*1} デンカ株式会社 セメント・特混研究部(〒949-0393 新潟県糸魚川市大字青海 2209)^{*2} 元芝浦工業大学 工学部土木工学科(〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)^{*3} 芝浦工業大学 工学部土木工学科(〒135-8548 東京都江東区豊洲 3-7-5)

要旨：塩素固定化材および膨張材を添加したコンクリートに関し、物理的特性および塩分浸透抵抗性について検証を行った。その結果、塩素固定化材と膨張材を併用することによる圧縮強度への影響はほとんどない一方、同一添加量であっても膨張材を単独添加した場合と比較して膨張ひずみが小さくなる傾向が認められた。また、浸漬試験および非定常状態の電気泳動試験において、塩素固定化材を添加することで塩化物イオンの浸透が抑制され、膨張材と併用した場合でも、導入される膨張ひずみが適正範囲内であれば塩分浸透抵抗性に影響がないことが確認された。

キーワード：塩素固定化材、膨張材、塩化物イオン、非定常電気泳動、拡散係数

1. はじめに

寒冷地においては、冬季の凍結防止剤散布などに起因するコンクリート構造物の塩害劣化が多く報告されている。塩害は、可溶性塩化物イオンがコンクリート内部に浸透することで鉄筋腐食を引き起こすものであるが、近年ではこの可溶性塩化物イオンを固定化し、無害化するカルシウムアルミネートが開発され、多くの研究成果が報告されている。盛岡らは、カルシウムアルミネートの一種 $\text{CaO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (以下 CA_2 と称す) をポルトランドセメントに混和することにより、塩害対策に有効な混和材となることを見出した¹⁾。この物質は、式[1]に示すようにセメント水和物である $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (以下 CH と称す) と反応して hidrocalumite (以下 HC と称す) を生成する。そして式[2]に示すように、HC が塩化物イオンをフリーデル氏塩として化学的に固定化し、可溶性塩化物イオンを減少させる。



また、この反応によって水酸化カルシウムが消費されるため、塩化物イオンの作用を受けた際の Ca の溶脱とそれに伴う多孔化²⁾も抑制できる³⁻⁵⁾。これら作用により、コンクリート中の細孔溶液を經由した塩化物イオンの浸透を抑制することが可能となる⁶⁾。

一方、膨張材は、コンクリート構造物の乾燥収縮ひび割れを低減する目的で、土木、建築分野で広範に利用さ

れている。膨張材の反応機構⁷⁾は、セメントの水和初期に積極的に CH もしくはエトリンガイトを生成するものであり、これによってコンクリートに膨張ひずみを導入するものである。膨張材の利用によってひび割れの本数やひび割れ幅を抑制できるため⁸⁾、ひび割れを経路とする塩化物イオンのコンクリート内部への拡散を抑制できる。これら塩素固定化材と膨張材は、それぞれ単独でコンクリート混和材として用いた場合の性能評価は多く報告されているが、両者併用による効果についての報告は少なく、これら材料の効果を耐久性設計等へ反映させるためにはデータが不足しているのが実情である。

そこで本研究では、塩素固定化材 CA_2 と膨張材とを併用したコンクリートの基本性能評価と、耐久性照査において重要な塩化物イオンの拡散挙動を把握することを目的とし、コンクリートの基礎物性試験と塩分浸透抵抗性について検討を行った。

2. 実験概要

2.1 使用材料

本研究におけるセメントは、普通ポルトランドセメント (以下 OPC) および高炉セメント B 種 (以下 BB) を用いた。 CA_2 は、工業原料の炭酸カルシウムと酸化アルミニウムを用いて $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ モル比が 0.5 となるように調製した原料を 1,750~1,850 °C に保持したロータリーキルンにて焼成し、徐冷して得られたクリンカーを粉砕したものを使用した。膨張材は、石灰・エトリンガイト複合系のものを使用した。 CA_2 および膨張材 (表中は Ex と表記) の化学成分値および密度を Table 1 に示す。なお、後述する一部試験を除きコンクリート試験用の細骨材には千葉県君津市法木産の山砂 (密度

Table 1 Chemical and physical properties

	Chemical composition (%)					Density (g/cm ³)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	SO ₃	Fe ₂ O ₃	
OPC	64.1	20.5	5.2	2.1	3.0	3.16
CA ₂	24.0	0.6	67.7	0.01	7.1	2.96
Ex	70.6	1.0	7.2	18.5	0.8	3.10

Table 2 Mix design of concrete for expansion test

No.	W/C (%)	Unit weight (kg/m ³)					
		W	C	CA ₂	Ex	S	G
Ex20	55	170	269	20	20	864	946
Ex22					22	863	945
Ex24					24	862	944

Table 3 Specified mix design of concrete

No.	W/B (%)	s/a (%)	Air (%)	Unit weight (kg/m ³)					
				W	C	CA ₂	Ex	S	G
N	55	48	4.5±1.5	170	309	—	—	864	965
BB					310			859	959
NC					289	20	—	864	964
NE					287	—	22		
NCE55					267	20	22		
NCE45					45			336	20

2.56g/cm³)を、粗骨材には大分県津久見市青江胡麻柄山系の石灰石砕石(密度 2.70g/cm³)を用いた。また、フレッシュ性状の調整用として市販のポリカルボン酸系 AE 減水剤および AE 剤 (I 種)を用いた。

2.2 試験項目および測定方法

(1) 基準配合の設定

本試験においては、コンクリートに配合する CA₂ の単位量を 20kg/m³ 一定とし、かつ膨張材の混和により土木学会の収縮補償用コンクリートの基準である材齢 7 日の膨張量が 150~250×10⁻⁶ の範囲となるコンクリートでの性能評価を目的とした。そのため、所定の膨張ひずみを得るために適した膨張材添加量の確認を実施した。通常、膨張材の標準添加量は 20kg/m³ であるのに対し、10%、20%増量した場合の膨張ひずみの確認を行った。試験配合を Table 2 に示す。試験方法は JIS A 6202 膨張コンクリートの拘束膨張及び収縮試験方法(A 法)に準拠した。なお、本試験のみ新潟県姫川水系の川砂(密度 2.62g/cm³)および川砂利(密度 2.65g/cm³)を使用した。

(2) コンクリートの基礎物性評価

コンクリートの基礎物性および耐塩性評価に用いたコンクリート計画配合を Table 3 に示す。なお、セメント、CA₂ および膨張材は結合材(表中は B と表記)とみなした。CA₂ および膨張材をそれぞれ単独で所定量配合した場合と両者を併用した場合とでコンクリート物性の測定を行った。なお、比較として高炉セメント B 種を用いたコンクリートについても試験を実施した。コンクリートの基礎物性としては、フレッシュ性状の確認として JIS A 5308 に準拠したスランプおよび空気量の測定を行った。物理試験としては、JIS A 1108 に準拠した圧縮強度試験により材齢 28 日の圧縮強度の測定を行った。また、膨張材を用いた配合に関しては、日本コンク

リート工学会基準「円筒型枠を用いた膨張コンクリートの拘束膨張試験方法(JCI-S-009-2012)」に準拠して材齢 7 日の膨張率を測定した。

(3) 塩分浸透抵抗性評価

本試験におけるコンクリートの塩分浸透抵抗性評価としては、通常の塩水浸漬試験と非常電気泳動試験の 2 種類にて評価を行った。塩水浸漬試験は、10cm×10cm×40cm の角柱供試体を材齢 28 日まで 20℃水中養生した後、10cm×40cm の 1 面のみを除いた残り 5 面をエポキシ樹脂でコーティングし、1 面曝露とした状態で 20℃10%濃度の NaCl 水溶液に浸漬した。その後、所定の材齢で供試体を順次割裂し、割裂面に硝酸銀溶液(0.1N)を噴霧することで、曝露表面から呈色部までの深さを測定した。

また、非常状態電気泳動試験は各配合における塩化物イオンの拡散係数を比較する目的で実施した。試験装置としては Fig. 1 に示す従来の電気泳動試験と同じ装置を用いた。また、非常電気泳動試験に用いた供試体は、全てφ100mm×50mm の塩化ビニル管で作製した型枠を用いて作製し、前処理として飽和水酸化カルシウムを用いた真空飽水処理を行った。試験装置の陽極側に NaOH 水溶液(0.3mol/L)、陰極側に NaCl 水溶液(3%)をそれぞれ注入し、印加電圧を 30V 一定として通電を行い、通電終了後、供試体を取り出して割裂し、硝酸銀溶液(0.1mol/L)の噴霧により塩化物イオン浸透深さを測定した。

3. 結果と考察

3.1 基準配合の設定

Fig. 2 に基準試験として実施した膨張材添加量別のコンクリートの長さ変化を示す。結果より、膨張材の添加量に応じて膨張ひずみが増大していることが確認

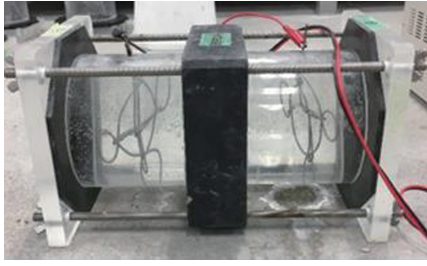


Fig. 1 Test equipment for unsteady-state electrophoresis test

Table 4 Fresh properties

	SP (B×%)	AE (B×%)	Slump (cm)	Air (%)
N	0.6	0.004	17.5	4.8
BB		0.01	18.0	4.0
NC		0.003	13.0	4.9
NE		0.002	14.5	3.9
NCE55		0.004	18.5	5.0

された。一方で膨張材を単独で添加する場合、概ね $20\text{kg}/\text{m}^3$ の添加量で材齢 7 日の膨張率が土木学会基準の $150\sim 250\times 10^{-6}$ を満足するのに対し、 CA_2 を併用した本試験配合においては下限値である 150×10^{-6} を下回る結果となった。これは、既往の研究^{9, 10)}において報告されているとおり、 CA_2 の反応によって膨張ひずみ導入の元となる CH が消費され、膨張ひずみの導入に寄与しない HC になったことによるものと推察される。なお、膨張材の添加量を通常よりも 10% 増加させた $22\text{kg}/\text{m}^3$ とした場合、土木学会基準の範囲内となる膨張ひずみが確認された。本試験では所定の膨張ひずみを導入した上で CA_2 による塩素固定化を複合したコンクリートの評価を目的としたため、以降の試験における膨張材添加量は $22\text{kg}/\text{m}^3$ とした。なお、本試験結果より、 CA_2 と膨張材を併用する際には、事前試験により所定の膨張ひずみを得ることができる最適添加量を確認することが必要であることが示唆された。

3.2 コンクリートの物性評価

(1) コンクリートのフレッシュ性状

水結合材比 55% の各種配合におけるフレッシュ性状の結果を Table 4 に示す。なお、表中の「SP」は AE 減水剤を、「AE」は AE 剤を表している。本試験においてはいずれの配合においても AE 減水剤の添加量を一定としたが、NC 配合および NE 配合のスランプがやや小さい結果となった。既往の研究¹¹⁾において CA_2 の添加によってスランプがやや小さくなることは報告されているものの、膨張材に関しては通常スランプや空気量への影響がほとんどないため原因詳細は不明であるが、いずれも減水剤の添加率によって調整可能な範疇であり、取り扱い上の影響は小さいものとする。なお、本

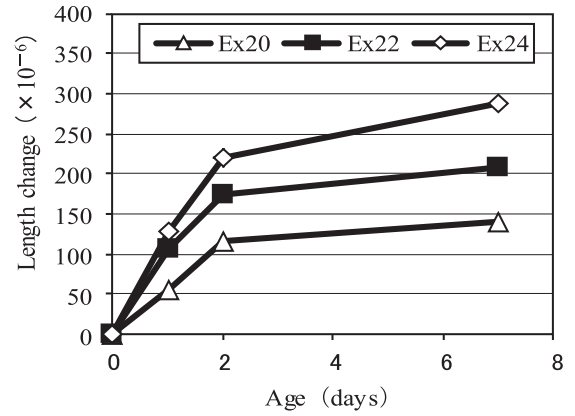


Fig. 2 Expansion test

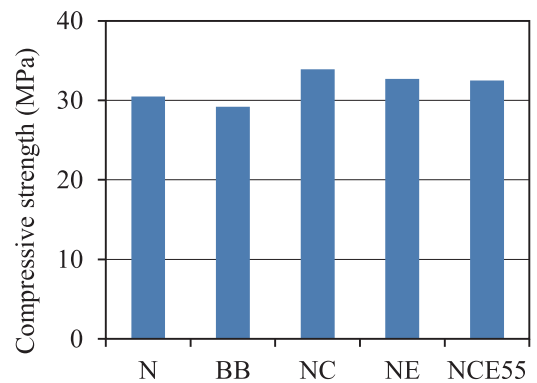


Fig. 3 Compressive strength

試験において NCE55 配合は N 配合および BB 配合と同等な結果となっており、 CA_2 と膨張材の併用によるフレッシュ性状への影響は認められなかった。

(2) コンクリートの強度特性

Fig. 3 に材齢 28 日における圧縮強度測定結果を示す。基準となる N 配合および BB 配合が約 30MPa であるのに対し、混和材を使用した NC 配合、NE 配合および両者を併用した NCE55 配合において 1 割程度圧縮強度が高い結果となっている。ただし、NE 配合は空気量が 1% 程度低かったため、実質の強度発現性は同程度であると考えられる。一方、 CA_2 を用いた NC 配合および NCE55 配合は、空気量がほぼ同等であることから、 CA_2 の添加により強度が増加したものと考えられる。既往の研究¹⁰⁾において、 CA_2 の添加によりペースト硬化体の細孔量が減少することが報告されていることから、ペースト部の緻密化が強度増加に寄与したものと推察される。いずれにしても、 CA_2 や膨張材の混和材を添加することにより強度に悪影響を及ぼすことはなく、両者の併用にも問題がないことが確認された。

(3) 膨張特性

Fig. 4 に膨張材を配合した NE 配合および NCE55 配合、および水結合材比が異なる NCE45 配合における材齢 7 日の膨張ひずみ測定結果を示す。NCE55 配合にお

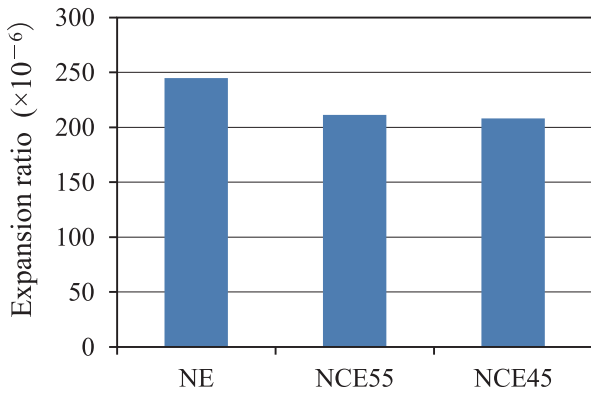


Fig. 4 Expansion test

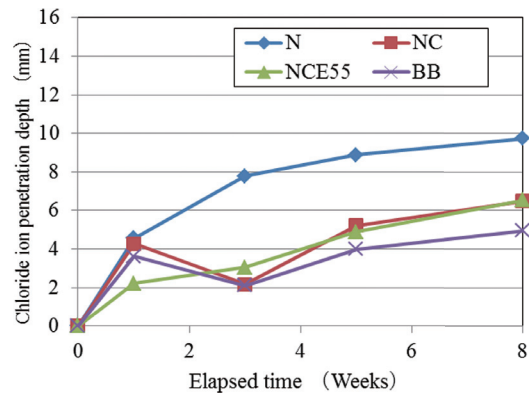


Fig. 5 Chloride ion penetration depth

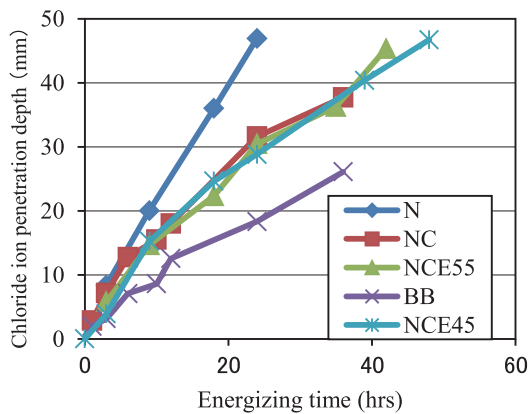


Fig. 6 Unsteady-state electrophoresis test

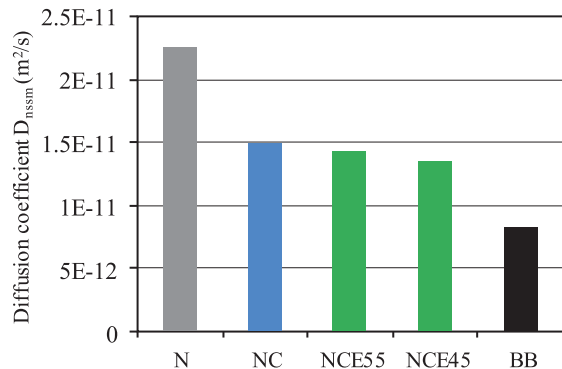


Fig. 7 Diffusion coefficient

いては、材齢 7 日の膨張ひずみが 211×10^{-6} となっており、事前に実施した基準試験と同程度であり、且つ土木学会基準を満足する膨張ひずみが得られていることを確認した。また、NCE45 配合においても同程度の膨張率を示しており、本試験の範囲においては水結合材比による影響も認められない。一方、膨張材を単独で同一量添加した NE 配合においては材齢 7 日の膨張ひずみが 245×10^{-6} 得られており、 CA_2 との併用により 15% 程度膨張ひずみが低下することが確認された。既往の研究¹²⁾において、セメント種は異なるものの、膨張材を単独で添加した場合と CA_2 と膨張材を同一量併用した場合とでセメントペースト中の CH 量を測定しており、材齢 7 日時点では併用系の CH 量の方が減少していることが報告されている。本試験においても同様な反応が起きたことにより、膨張ひずみの低下に繋がったものと推察される。

(4) 塩水浸漬試験

Fig. 5 に 10% 濃度の NaCl 溶液に浸漬したコンクリート供試体の塩化物イオン浸透深さを示す。基準となる N 配合の浸漬期間 8 週における浸透深さが約 10mm であるのに対し、NC 配合および NCE55 配合が 6mm 程度の浸透となっており、混和材の使用により塩化物イオンの浸透が抑えられる傾向が認められた。また、比較と

なる BB 配合との差は 1mm 程度であり、本浸漬期間での評価としては浸透深さに大きな差異は認められなかった。これは CA_2 の添加によって生成した HC がフリーデル氏塩として塩化物イオンを固定化したことにより、コンクリート内部への浸透を抑制したことによるものと推察される。一方で浸漬 8 週時点では全体的に塩化物イオンの浸透深さが小さいため、より長期での評価を行い、浸透深さおよび拡散係数での比較による評価を行う予定である。なお、膨張材を併用した場合においても塩化物イオンの浸透深さにほとんど影響がないことから、土木学会基準に適合する範囲の膨張ひずみ導入であれば、塩化物イオンの浸透に与える影響はほとんどないものと考えられる。すなわち、適正膨張ひずみの範囲であれば、両者の併用に問題はなく、ひび割れ抵抗性と塩化物イオンの浸透抑制効果の両立が期待できる。

(5) 非定常状態電気泳動試験

既往の研究¹³⁾を参考に、コンクリート中への塩化物イオンの拡散速度を評価する目的で非定常状態の電気泳動試験を実施した。Fig. 6 に非定常状態の電気泳動試験における通電時間と塩化物イオン浸透深さの関係を示す。また、通電 24 時間時点での浸透深さの結果を用いて NT BUILD 492¹⁴⁾の下式[3]により算出した拡散係数を Fig. 7 に示す。

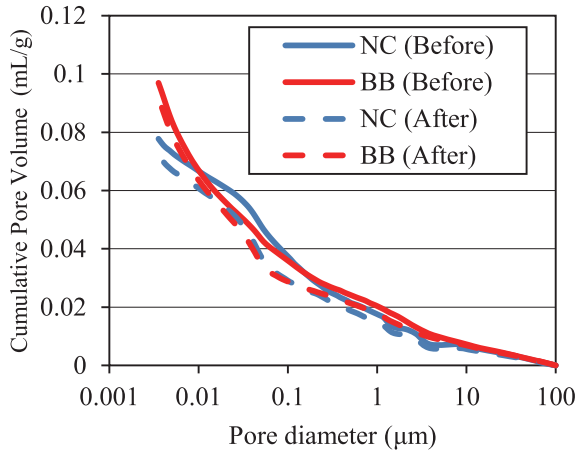


Fig. 8 Pore volume of concrete specimen

$$D_{nssm} = \frac{0.0239(273+T)L}{(U-2)t} \left(X_d - 0.0238 \sqrt{\frac{(273+T)LX_d}{U-2}} \right) \quad [3]$$

ただし、 D_{nssm} : 拡散係数 ($\times 10^{-12} \text{m}^2/\text{s}$)

U : 印加電圧 (V)

T : 温度 ($^{\circ}\text{C}$)

L : 供試体厚さ (mm)

X_d : 塩化物イオン浸透深さ (mm)

t : 試験時間 (hr)

結果より同一通電時間における塩化物イオンの浸透深さは N 配合が最も大きく、次いで NC 配合、NCE55 配合、BB 配合の順となった。また、NC 配合と NCE55 配合においては、N 配合と比較して塩化物イオンの浸透が抑制されており、その効果は Fig. 7 より拡散係数 30~40 % 程度の低減効果であることが確認された。また、NC 配合、NCE55 配合ともに同様な挙動を示していることから、両配合においては塩化物イオンの固定化能力が CA_2 の添加量に依存しており、膨張材を併用した場合においても適正な膨張率の範囲内であればその効果に影響を及ぼさないことが示唆された。一方で W/B が低い NCE45 配合も拡散係数が同程度となっていることや、BB 配合と比較した場合、浸漬期間 8 週までの塩水浸漬試験における塩化物イオンの浸透深さの差が 1~2mm 程度とほぼ同程度であるのに対し、拡散係数では 1.5~2 倍の差異となっており、試験方法による違いが大きい。この原因として、硬化体の空隙構造が影響している可能性が示唆された。そこで、非定常電気泳動試験後の供試体を用い、水銀圧入ポロシメータにて硬化体内部の空隙量について確認を行った。測定には Micromeritics 社の AutoPore IV 9500 を用いた。Fig. 8 に結果の代表例として CA_2 を添加した NC 配合と BB 配合における通電前後の累積細孔量を示す。細孔径 0.002~100 μm の範囲における総細孔量は、NC 配合の通電前が 0.0777mL/g に対し通電後が 0.0720mL/g、BB 配合においては通電前が 0.0969mL/g に対し通電後

が 0.0915mL/g と、いずれも通電前と比較して通電後には細孔量が減少しており、特に 0.1 μm 近辺が減少している傾向が認められる一方、両者に大きな差異は認められない。逆に、0.01 μm 以下の微細な空隙を含めると BB 配合の方が累積空隙量は多くなっており、本結果で得られた空隙量と前述した非定常電気泳動による塩化物イオンの浸透深さおよび拡散係数との関係性は認められない。従って、塩水浸漬試験結果と非定常電気泳動試験における結果の差異は、硬化体内部の空隙構造が直接的に起因したものではないと言える。既往の研究¹⁵⁾において、硬化体中に侵入した塩化物イオンは、フリーデル氏塩として水和物中に固定化される化学吸着塩化物イオンと細孔壁表面に静電引力やファンデルワールス力などの物理的引力によって固定化される物理吸着塩化物イオンとに分類されるとしている。従って、非定常電気泳動試験における塩化物イオンの浸透挙動については、 CA_2 と高炉スラグとの固定化メカニズムの違いにより、固定化した塩化物イオンが通電環境下において異なる移動を示した可能性がある。これについては、水和物の変化や試験条件による影響など、今後の課題として継続検討を行う予定である。

4. まとめ

コンクリートに添加することで塩化物イオンを化学的に固定化する能力を付与する塩素固定化材 CA_2 と、過大な塩化物イオンの浸透経路となり得るひび割れの低減に効果を発揮する膨張材とを併用したコンクリートについて、基本物性の確認および耐塩性の検証を行い、以下の結果を得た。

- (1) CA_2 と膨張材とを併用することにより、同一添加量であっても膨張材を単独添加した場合と比較して膨張ひずみが小さくなった。これは膨張材の反応によって生成する CH の一部が CA_2 の反応で消費されたためと推察された。
- (2) コンクリートの強度特性において、 CA_2 を混和した配合の圧縮強度は、無混和の配合と比較して同等以上であることが確認された。また、適正な膨張率の範囲内であれば、 CA_2 と膨張材の併用による圧縮強度への影響はない。
- (3) 塩水浸漬試験において、 CA_2 および CA_2 と膨張材とを併用した配合では、塩化物イオンの浸透深さが普通セメントと比較して小さく、塩化物イオンの浸透抑制効果が確認された。また、浸漬期間 8 週までは、高炉セメント B 種を用いた場合と比較して浸透挙動に大きな差異は認められなかった。
- (4) 塩水浸漬試験において、膨張ひずみが土木学会基準を満たす適正範囲内であれば、 CA_2 と膨張材の併用が耐塩性に及ぼす影響はほとんどないことが確認された。
- (5) 非定常状態の電気泳動試験より、 CA_2 を混和したコンクリートは、無混和のコンクリートと比較して塩

化物イオンの拡散係数が30~40%程度小さくなる。

- (6) 塩水浸漬試験と非定常電気泳動試験とでは、 CA_2 を混和したコンクリートにおいて塩化物イオンの浸透挙動が異なる。これは、硬化体の空隙構造によるものではなく、塩化物イオンの固定化メカニズムの違いにより通電環境下におけるイオンの移動特性が異なるものと推察された。

参考文献：

- 1) 盛岡実ほか：セメント混和材及びそれを用いたセメント組成物、特開 2005-104828 号公報 (2005)
- 2) 橋本勝文ほか：モルタルの Ca 溶脱に伴う空隙構造の変化が Cl^- の拡散係数に及ぼす影響、土木学会年次学術講演会講演概要集 (CD-ROM)、Vol. 63、Disk 2 (2008)
- 3) 盛岡実ほか： $CaO \cdot 2Al_2O_3$ の塩化物イオンの拡散抑制効果とその機構、土木学会 コンクリート技術シリーズ、No. 89、混和材料を使用したコンクリートの物性変化と性能評価研究小委員会 (333 委員会) 報告書 No. 2、pp. 443-448 (2010)
- 4) 田原和人ほか： $CaO \cdot 2Al_2O_3$ を混和したセメント硬化体の塩化物イオン固定化挙動、セメント・コンクリート論文集、No. 64、pp. 428-434 (2010)
- 5) 田原和人ほか： $CaO \cdot 2Al_2O_3$ を混和した種類の異なるセメント硬化体の水和挙動及び塩化物イオン固定化能力、セメント・コンクリート論文集、No. 65、pp. 427-434 (2011)
- 6) 伊藤孝文ほか：CA 系材料を用いたコンクリートの塩分浸透抵抗性の検討、第 70 回セメント技術大会講演要旨、pp. 250-251 (2016)
- 7) 盛岡実：セメント系膨張材の水和反応と材料設計、東京工業大学学位論文 (1999)
- 8) 細田暁：微視的機構に着目した膨張コンクリートのひび割れ抵抗性およびひび割れ後の軟化性状に関する研究と RC 部材への適用、東京大学学位論文 (2001)
- 9) 伊藤孝文ほか： $CaO \cdot 2Al_2O_3$ と膨張材を併用した低熱ポルトランドセメントの塩分浸透抑制評価、第 69 回セメント技術大会講演要旨、pp. 236-237 (2015)
- 10) 伊藤慎也ほか：塩素固定化材と膨張材を併用した低熱ポルトランドセメントの耐塩性評価、セメント・コンクリート論文集、Vol. 69、pp. 221-227 (2015)
- 11) 伊藤慎也ほか： $CaO \cdot Al_2O_3$ 骨材を用いたコンクリートの耐塩性評価、セメント・コンクリート論文集、Vol. 70、pp. 169-176 (2016)
- 12) 伊藤孝文ほか： $CaO \cdot 2Al_2O_3$ と膨張材を併用した低熱ポルトランドセメントの塩分浸透抑制効果の検証、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、Vol. 15、pp. 269-274 (2015)
- 13) 伊代田岳史ほか：非定常状態電気泳動試験を用いた高炉コンクリートの養生影響評価、セメント・コンクリート論文集、Vol. 68、pp. 275-282 (2014)
- 14) NT BUILD 492, "Chloride Migration Coefficient from Non-steady State Migration Experiment", NORDTEST (1999)
- 15) 丸屋剛ほか：コンクリート表層部における塩化物イオンの移動に関するモデル化、土木学会論文集、No. 585、Vol. 38、pp. 79-95 (1998)

EVALUATION OF SALT RESISTANCE OF CONCRETE WITH COMBINED CHLORIDE ION IMMOBILIZED MATERIAL AND EXPANSIVE ADDITIVE

Shinya ITO^{*1}, Akihiro HORI^{*1}, Rikuma EKI^{*2} and Takeshi IYODA^{*3}

*1 DENKA CO. LTD., Omi Plant, Cement & Special Cement Additives Research Dept. (2209, Omi, Itoigawa-shi, Niigata 949-0393, Japan)

*2 Former SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Dept. of Civil Engineering (3-7-5, Toyosu, Koto-ku, Tokyo 135-8548, Japan)

*3 SHIBAURA INSTITUTE OF TECHNOLOGY, Dept. of Civil Engineering (3-7-5, Toyosu, Koto-ku, Tokyo 135-8548, Japan)

ABSTRACT : Physical properties and salt resistance of the concrete with chloride ion immobilization material and expansive additive added were verified. As a result, there is almost no influence on the compressive strength by using the chloride ion immobilized material and the expansive additive in combination, but there is a tendency that the expansion strain becomes smaller than in the case of adding the expansion material alone even with the same dosage. Further, in the immersion test and the electrophoresis test in the non-steady state, addition of a chloride ion immobilized material suppresses chloride ion permeation. And when used in combination with an expansive additive, the expansion strain was introduced and it was confirmed that there was no effect on salt resistance if the expansion strain is within the proper range. On the other hand, it was confirmed that in the concrete using the chloride ion immobilized material, the chloride ion penetration behaviors differed between the salt water immersion tests. And in the unsteady electrophoresis test, the chloride ion penetration of concrete increased under the energized environment. It was inferred that the movement behavior of ions under the energized environment was different due to the difference in the mechanism of immobilization of chloride ion since no significant difference was found between blending using blast furnace slag and void structure.

KEY WORDS : Chloride ion immobilized material, Expansive additive, Chloride ion, Unsteady-state electrophoresis test, Diffusion coefficient