

論文 低添加型の膨張材を用いたコンクリートの耐塩性に関する研究

保利 彰宏*1・芦田 公伸*2・福手 勤*3・高久豊広*4

要旨：膨張材はひび割れ低減に効果を発揮するため、各種コンクリート構造物に広く適用されている。一方で寒冷地や積雪地帯においては、冬季の凍結対策として凍結防止剤が散布されるため、コンクリート構造物は外来の塩分が多量に供給される環境に置かれる。そこで、本研究ではコンクリートに用いた低添加型の膨張材が、外来の塩分によるコンクリートの劣化に関して影響するか否かを調査すると共に、セメントの種類による影響についても検討を行った。

キーワード：低添加型の膨張材，外来塩分，耐塩性，セメント種類

1. はじめに

膨張材が乾燥収縮，自己収縮および温度応力に起因するひび割れ対策として効果を発揮することは様々な報告が成されている¹⁾。一方で寒冷地や積雪地帯の構造物，主には道路関係の構造体においては，凍結による「すべり」を防止するために塩化物を含有する融雪剤の散布が行われている。膨張コンクリートの耐海水性に関する研究は既になされているが²⁾，外来塩分の供給による影響³⁾については事例が少なく，かつ，低添加型の膨張材⁴⁾を用いた条件での研究はなされていない。そこで本研究では低添加型の膨張材を用いてコンクリートを作製し，外来の塩分によるコンクリートの劣化に関する検討を行った。セメントの種類として普通セメントと高炉セメントを用い，それぞれに低添加型の膨張材を添加した配合と添加しない配合とを設

定することで，低添加型の膨張材が外来塩分によって与えられる影響に関するか否かを検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料および配合

(1)使用材料

本実験における使用材料としては，セメントに普通ポルトランドセメントおよび高炉セメント B 種，細骨材には姫川水系産砕砂（表乾密度 2.55g/cm³），粗骨材には姫川水系産碎石（表乾密度 2.65g/cm³），混和剤にはリグニン系の AE 減水剤標準型（N 社製），膨張材には低添加型のエトリンガイト石灰複合系膨張材（D 社製）をそれぞれ用いた。表 - 1 に本試験にて用いた低添加型の膨張材とセメントにおける化学組成および物理的性質を示した。

表 - 1 低添加型の膨張材とセメントの化学組成および物理的性質（代表値）

	化学組成(%)							ig-loss (%)	密度 (g/cm ³)	ブレン値 (cm ² /g)
	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	SO ₃	MgO	f-CaO			
低添加型の膨張材	1.0	0.8	7.2	70.6	18.5	-	49.8	1.58	3.20	3200
普通セメント	21.0	2.88	5.20	64.4	2.27	1.14	-	1.47	3.15	3260
高炉セメント	25.6	1.99	9.12	55.3	2.16	2.81	-	1.59	3.03	3950

*1 電気化学工業株式会社 特殊混和材事業部，工博

*2 同上 無機材料研究センター，主任研究員，工博

*3 東洋大学工学部 環境建設学科，教授，工博

*4 東洋大学工学部 環境建設学科

表 - 2 コンクリート配合

配合名	セメント種類	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/(C+E) (%)	s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
						水	セメント	膨張材	細骨材	粗骨材
N	普通	8±	4.5±	50.0	45.4	165	330	0	817	1021
NC							310	20		
B	高炉	2.5	1.5	50.0	45.4		330	0		
BC							310	20		

(2)配合

表 - 2 に本実験にて使用したコンクリート配合を、表 - 3 にコンクリートのフレッシュ性状を示した。膨張材はセメントに置換して用いている。

2.2 養生方法

各試験に用いた試験体は、JIS A 1138:1998 に準じて練混ぜおよび成型を行った。本研究の目的は材料自身の耐塩性評価が目的であるため、材齢 1 日以前は 20 ± 80%R.H.の恒温恒湿室にて養生、材齢 1 日にて脱型した後は、材齢 28 日まで 20 ± 一定の水中にて養生した。その後、試験体側面のみから塩化物が浸入するように、試験体の上面および下面をエポキシ系の接着剤にて封緘し、塩水噴霧養生に供した。本試験における塩水噴霧養生とは、試験体を ISO 型塩水噴霧試験機に静置し、塩化物イオン濃度 5%の塩化カルシウム水溶液を 35 °C の環境にて噴霧した状況を指している。所定の期間、塩水噴霧養生を行った試験体は試験機から取り出し、直ちに各試験に供した。

ただし、長さ変化率の測定に供した試験体のみ 材齢 14 日まで 20 ± 一定の水中養生を施し、この時点で測定を終了した。

2.3 試験項目および試験方法

(1) 長さ変化率の測定

膨張材を添加したことによって所定の膨張率が得られていることを確認するため、材齢 1, 3, 7 および 14 日にて JIS A 6202:1997 準ずるコンクリートの長さ変化率を測定した。

(2) 圧縮強度試験

材齢 28 日および材齢 56 日 (塩水噴霧養生期

表 - 3 各配合のフレッシュ性状

配合名	スランプ (cm)	空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)
N	9.0	4.0	22.0
NC	8.5	4.1	22.0
B	9.0	4.0	22.0
BC	9.5	4.1	22.5

間 28 日) にて JIS A 1108:1999 に準ずる圧縮強度試験を行った。

(3) 中性化深さ

材齢 56 日 (塩水噴霧養生期間 28 日) に JIS A 1152:2002 に準じて中性化深さの測定を行った。コンクリートカッタによる切断面を測定面とし、試薬にはフェノールフタレイン 1% 溶液を用いた。試薬噴霧から測定までの時間は 1 時間である。

また、中性化の程度を評価するために、TG-DTA (示差熱重量分析) を用いて水酸化カルシウムの定量分析を行った。試料は中性化を受けていると考えられる試験体の表層部から採取した。

(4) EPMAによる元素分析

EPMA (Electron Probe Micro Analysis) を用い、コンクリート断面の元素分析を行った。試験に際しては写真 - 1 に示されるように試験体を鉛直水平方向に切断し、切断面を研磨した後に測定に供した。測定材齢は 56 日 (塩水噴霧養生期間 28 日) である。

(5) 細孔径分布の測定

材齢 56 日 (塩水噴霧養生期間 28 日) において、水銀圧入法により細孔径の分布を測定した。外来塩分による影響を評価するため、塩分が到

達している試験体表層部と、到達していないと考えられる試験体中心部から試料の採取を行った。

(6) 組織の観察

水和生成物の種類，水和生成物の変化などを評価するために走査型電子顕微鏡（SEM）による顕微鏡観察を行った。測定材齢は56日（塩水噴霧期間28日）である。なお，SEMによる組織の観察は普通セメントを用いた配合に対してのみ実施した。



写真 - 1 EPMA 用試験体の切断状況

3. 試験結果

3.1 長さ変化率

図 - 1 にコンクリートの長さ変化率を示す。膨張材を混和した配合NCおよびBCに関しては、いずれも 200×10^{-6} 程度の膨張率を示しており，所定の膨張ひずみが得られていることが確認できた。

3.2 圧縮強度

図 - 2 にコンクリートの圧縮強度を測定した結果を示す。材齢28日に比較して材齢56日における圧縮強度が増進しており，材齢28日以降材齢56日まで塩水噴霧したことによる圧縮強度への影響は確認されなかった。

3.3 中性化深さ

中性化深さを測定した結果を写真 - 2 に示す。いずれの試験体においても中性化はほとんど進行していない状況であった。

また，図 - 3 および表 - 4 は TG-DTA にて水酸化カルシウムの定量分析を行った結果を示している（図 - 3 は N 配合を用いた測定の一例を示している）。セメントの種類で比較した場合，一般的な傾向と同様，高炉セメントを用いた配合（B，BC）に比較して普通セメントを用いた配合（N，NC）の水酸化カルシウム残存量が多い結果となった。また，膨張材の有無にて比較した場合，N（普通セメント）とNC（普通セメント+膨張材），B（高炉セメント）とBC（高炉セメント+膨張材）とがほぼ同一の値を示したことから，JIS A 1152：2002 に準じて測

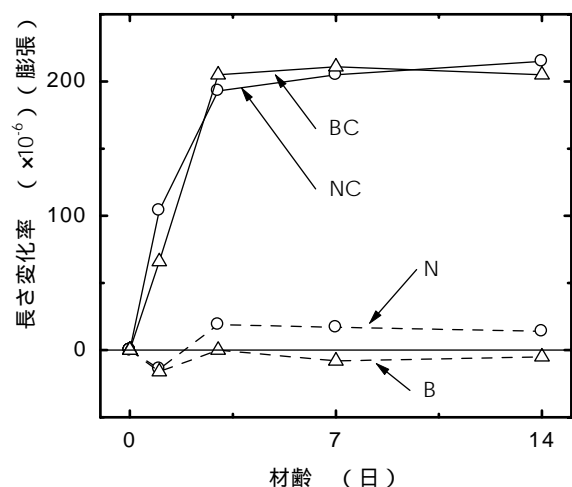


図 - 1 コンクリートの長さ変化率

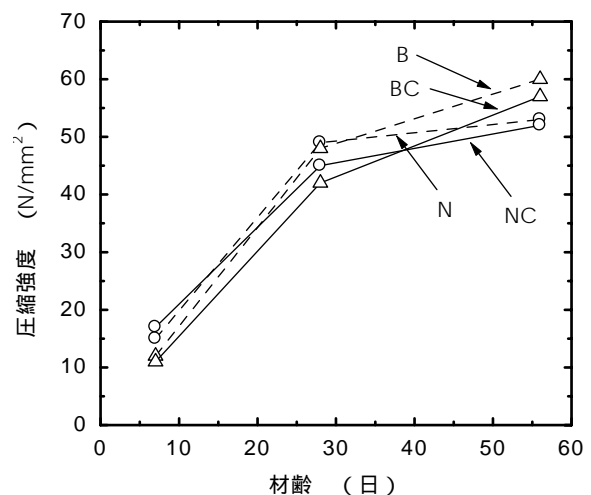


図 - 2 圧縮強度

表 - 4 水酸化カルシウムの含有量

配合	含有量 (質量%)
N (普通セメント)	4.9
NC (普通セメント+膨張材)	5.8
B (高炉セメント)	2.6
BC (高炉セメント+膨張材)	2.7

定した場合と同様⁵⁾、塩化物供給環境下においても、低添加型の膨張材の有無による中性化深さの差はほとんど見られなかった。

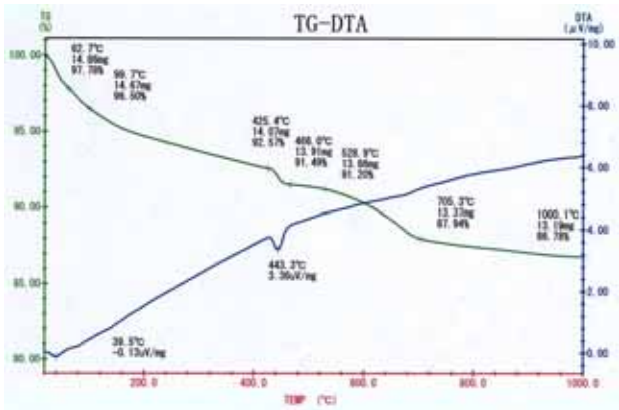
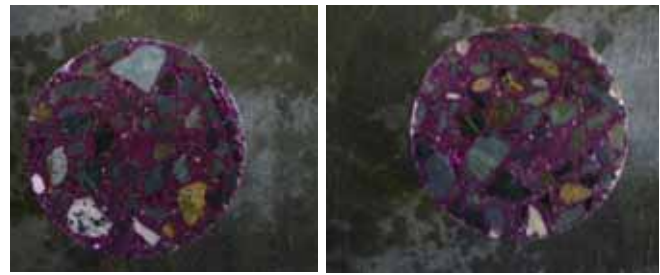
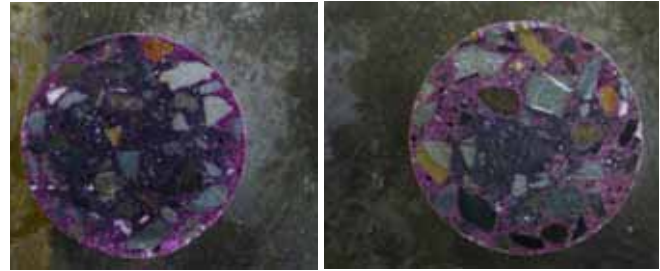


図 - 3 TG-DTA (N 配合による代表例)



N (普通セメント)

NC (普通セメント + 膨張材)



B (高炉セメント)

BC (高炉セメント + 膨張材)

写真 - 2 中性化

3.4 EPMA 観察の結果

EPMA を用いた元素分析の結果を写真 - 3

に示す。配合の種類によらず、いずれの試験体

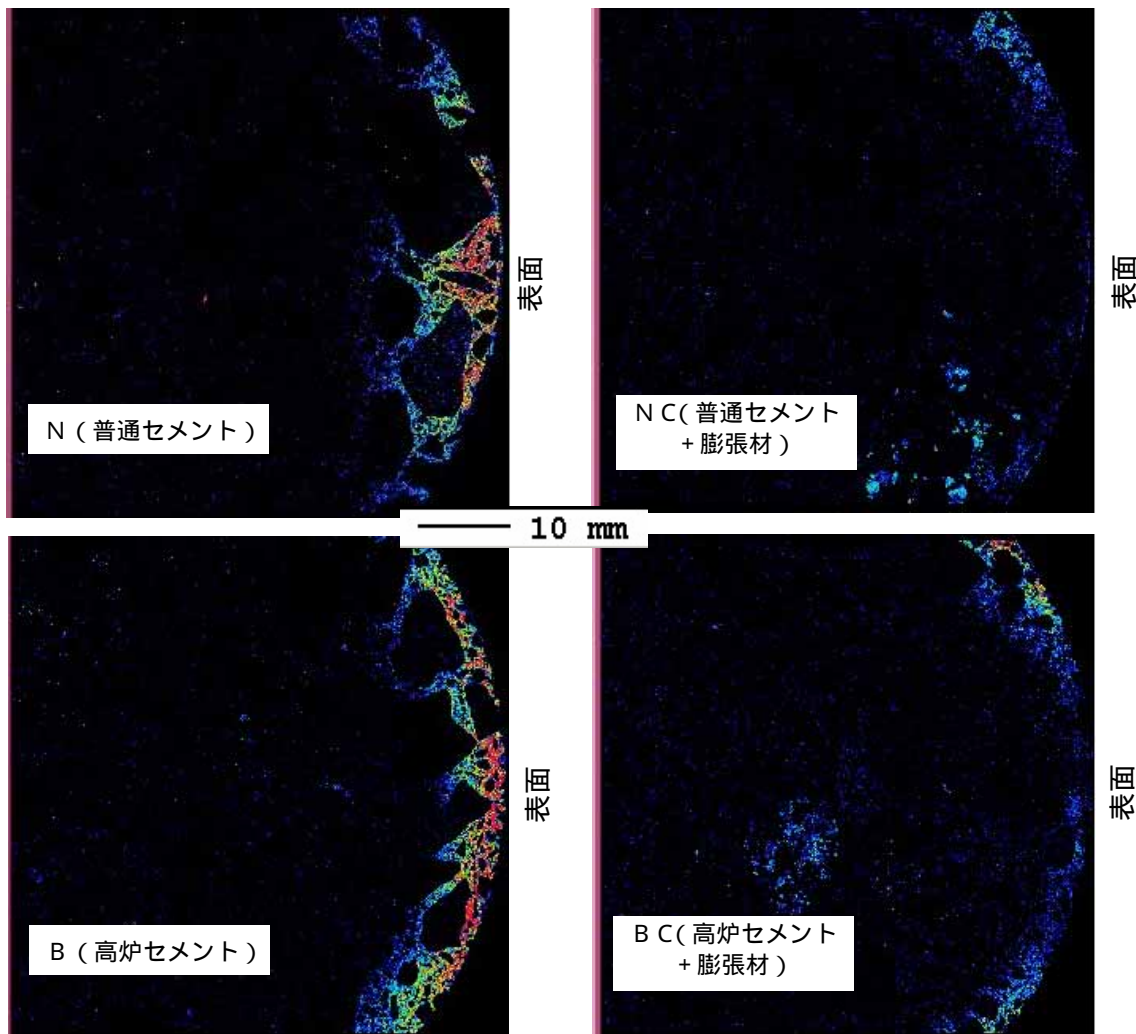


写真 - 3 塩素イオンの分布

も表面に近づくほど塩素イオン濃度が高まる結果となった。セメントの種類で比較した場合、N(普通セメント)とB(高炉セメント)、NC(普通セメント+膨張材)とBC(高炉セメント+膨張材)がほぼ同様の傾向を示していることから、セメントの種類は塩化物イオンの浸透深さに影響しない結果となった。一方で膨張材の有無にて比較した場合、膨張材を混和したNCおよびBCは、膨張材を混和しないNおよびBに比較して浸透深さが若干少ない結果となり、膨張材の使用によって塩化物イオンの浸透が妨げられた可能性がある。

3.5 細孔径分布の測定結果

細孔径分布の測定結果を図-4に示す。各配合において、試験体の中心部付近と表層部付近について、それぞれ結果を示している。

セメントの種類で比較した場合、N(普通セメント)に比較してB(高炉セメント)が、NC(普通セメント+膨張材)に比較してBC(高炉セメント+膨張材)が、小さい径における細孔容積が大きく、組織が緻密化している様子が伺える。

膨張材の有無で比較した場合、BとBCとはほとんど同様の細孔径分布であったが、Nに比較してNCは1 μ m以上の粗な空隙が若干減少している。これは、既往の研究²⁾でも報告されるように、膨張材の水和生成物が空隙を充てんし、硬化体が緻密化されたためと推察される。

さらに採取場所で比較した場合、高炉セメントを用いた試験体においては採取場所による差異は認められなかったものの、普通セメントを用いた試験体においては、表層部付近から採取した試料に比較して、中心部付近から採取した試料の細孔容積が若干多い結果となった。またこの傾向は膨張材を用いない配合Nにて

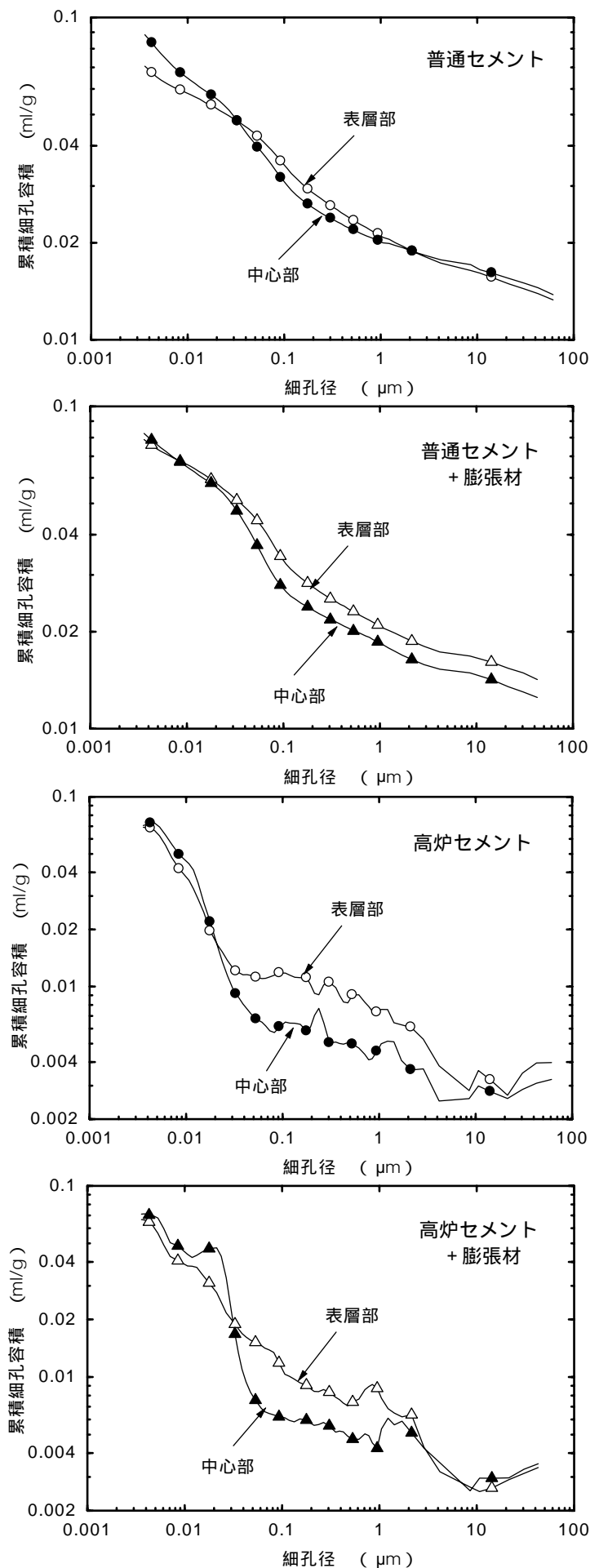


図-4 細孔径分布

顕著であった。

3.6 SEM

SEMを用いた顕微鏡観察結果を写真-4に示す。N(普通セメント)およびNC(普通セメント+膨張材)の配合における結果が示されている。NCの配合ではエトリンガイトの生成が見られ、現段階では安定的に存在していると推察される。

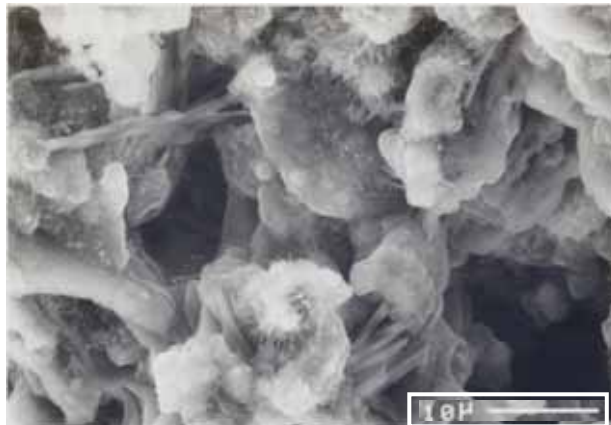
4. まとめ

本試験においては、セメントの種類に普通セメントと高炉セメントの二種類を用い、低添加型の膨張材の有無を要因として試験体を作製した。この試験体を塩化物イオンが供給される環境下にて養生し、各種の方法で評価することで、膨張コンクリート耐塩性を評価した。本試験の範囲にて確認された結論をまとめると以下のようなものであるが、本研究に用いた試験体はいずれも塩水噴霧期間が短く、今後は長期的に塩水噴霧環境下におけるコンクリートの評価が必要である。

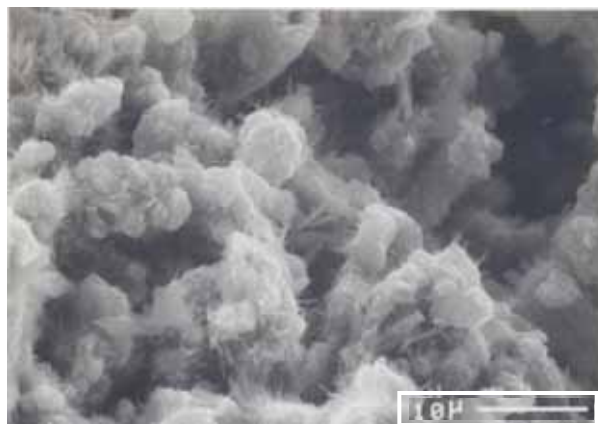
- (1)低添加型の膨張材を混和することで、コンクリートの耐塩性はほとんど変化しない
- (2)低添加型の膨張材を混和することで、塩素イオンの浸透速度が若干低下する傾向が認められた
- (3)低添加型の膨張材の有無による中性化深さの差はほとんど見られなかった

参考文献

- 1) 例えば、日本コンクリート工学協会著、膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化に関するシンポジウム委員会報告書、2003
- 2) 笹川幸男、真下昌章、福手勤、坂井悦郎：膨張コンクリートの耐海水性に関する研究、コンクリート工学年次論文報告集、pp.157-162、Vol.20、No.2、1998
- 3) 丹野信幸、Tiong-Huan Wee、坂井悦郎、渡辺芳春：塩素イオンの浸透抵抗性に及ぼす



N(普通セメント)



NC(普通セメント+膨張材)

写真-4 SEMによる顕微鏡写真

各種混和材料の影響、コンクリート工学年次論文報告集、pp.375-380、Vol.18、No.1、1996

- 4) 保利彰宏・高橋光男・辻幸和、低添加型膨張材を用いたコンクリートの基礎物性、コンクリート工学年次論文集、Vol.24、No.1、pp.261-266、2002
- 5) 保利彰宏、五味秀明、鳥越隆、辻幸和：低添加型膨張材を用いたモデル壁における耐久性評価試験、コンクリート工学年次論集、Vol.25、No.1、pp.659-664、2003