論文　早強型膨張材の基本的耐久性

渡辺斉*1・佐久間隆司*1・宮里心一*2・黒木康貴*3

要旨：最近開発された早強型膨張材を混和したコンクリートの基本的な耐久性を明らかにした。まず室内試験で，普通コンクリート，従来型膨張コンクリートおよび早強型膨張コンクリートの中性化抑制効果等を比較した。次に，25 年経過した従来型膨張コンクリートを用いた実構造物の中性化抑制効果などを測定し，早強型膨張コンクリートを実構造物に用いた場合の耐久性を推測した。その結果，早強型膨張コンクリートの基本的な耐久性は，普通コンクリートおよび従来型膨張コンクリートと比較して，同等あるいはそれ以上であることが確認された。

キーワード：膨張コンクリート，耐久性，中性化，凍結融解，透水，腐食

1.　はじめに

性能照査型設計手法に基づけば，長期的な耐久性を向上させるためにコンクリートのひび割れ抑制は非常に重要な課題となってきている。ひび割れ抑制には膨張材を使用することが効果的であるが，現場打設コンクリートでの膨張材の使用率は 0.5～1.0%程度と広く普及しているとは言い難い。

この様な現状で，従来型膨張材と比較して，初期の強度発現が良好である早強型膨張材が開発された。膨張コンクリートは 30 年以上の使用実績があるが膨張コンクリートの耐久性に関する研究は少ない。特に，最近開発された早強型膨張材を用いたコンクリートの耐久性に関する研究は，著者らの知る範囲では皆無である。

以上の背景から，本文では，早強型膨張材を用いたコンクリートの基本的な耐久性を明らかにした。そのため，室内試験において，普通コンクリート，従来型膨張コンクリートおよび早強型膨張コンクリートの凍結融解抵抗性，透水抑制効果および中性化抑制効果を比較した。次に，従来型膨張コンクリートを使用して 25 年経過した実構造物の中性化抑制効果や鉄筋の健全度を測定した。その結果から，早強型膨張コンクリートを実構造物に用いた場合の耐久性を推測した。

2.　室内試験

2.1　試験材料およびコンクリート配合

表－１に試験材料の諸元を，また表－２にコ

表－1　試験材料一覧

使用材料		記 号	備　　考
水	水道水	W	
セメント	普通ポルトランドセメント	C	密度 3.15g／cm^3　比表面積 3390cm^2／g
混和材	従来型膨張材	Ex	石灰系　密度 3.15g／cm^3　比表面積 3430cm^2／g
	早強型膨張材	NEx	石灰系　密度 3.20g／cm^3　比表面積 4560cm^2／g
細骨材	陸砂	S	表乾密度 2.60g／cm^3　粗粒率 2.81
粗骨材	砕石 2010	G1	表乾密度 2.64g／cm^3　粗粒率 7.00
	砕石 1005	G2	表乾密度 2.63g／cm^3　粗粒率 6.12
混和剤	AE 減水剤	Ad	リグニンスルホン酸塩系

＊１　太平洋マテリアル㈱　開発研究所　（正会員）
＊２　金沢工業大学講師　工学部土木工学科　（正会員）
＊３　太平洋マテリアル㈱　小野田工場

表－2 コンクリートの配合

名称	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位量(kg／m³)							
					W	C	Ex	NEx	S	G1	G2	Ad
普通コンクリート	18	4.5	55	48	175	318	0	0	844	603	325	0.795
従来型膨張コンクリート					175	288	30	0	844	603	325	0.795
早強型膨張コンクリート					175	288	0	30	844	603	325	0.795

表－3 試験項目および方法

	試験項目	試　験　方　法
フレッシュ性状	スランプ	・JIS A 1101:1998 コンクリートのスランプ試験方法に準じた。
	空気量	・JIS A 1128:1999 フレッシュコンクリートの空気量の圧力による試験方法に準じた。
	練上り温度	・スランプ測定時に棒温度計で測定した。
硬化性状	圧縮強度	・JIS A 1108:1999 コンクリートの圧縮強度試験方法に準じた。 ・試験材齢:3 日, 7 日, 28 日, 56 日, 91 日, 182 日
	長さ変化	・JIS A 6202:1998 参考1膨張ｺﾝｸﾘｰﾄの拘束膨張及び収縮試験方法 B法に準じた。(材齢 7 日まで水中養生し, その後気中乾燥養生) ・試験材齢:脱型時, 3 日, 7 日(水中養生) 14 日, 21 日, 35 日, 63 日, 98 日, 189 日(気中養生)
	凍結融解	・土木学会基準 JSCE-G 501-1999 に準じた。 ・A法拘束試験体を用いて成形後 14 日間水中養生を行った。 ・試験材齢は約 40 サイクルごとに行い 300 サイクルまで行った。
	透水性	・インプット法にて行った。 ・試験体の養生は材齢 28 日まで水中養生し, その後 20℃・60%R.H.の恒温恒湿室で 6 ヶ月間養生し試験に供した。
	中性化	・本建築学会 高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針(案) 付録1コンクリートの中性化試験方法(案)に準じた。

ンクリートの配合を示す。

2.2 試験項目および方法

表－3に室内試験での試験項目および方法を示す。

2.3 試験結果

（1） フレッシュ性状の測定結果

表－4にフレッシュ性状結果の一覧を示す。

これによれば，フレッシュ性状は，膨張材の使用の有無および種類に拘わらず同等である。

（2） 圧縮強度

図－1に圧縮強度試験結果を示す。

これによれば，圧縮強度は，膨張材の使用の有無および種類に拘わらず同等である。すなわち，膨張コンクリートおよび普通コンクリートに拘わらず，圧縮強度は同様に発現していて，長期的にも安定した強度発現をする。

表－4 フレッシュ性状一覧

	スランプ (cm)	空気量 (%)	練上り温度 (℃)
普通コンクリート	19.0	4.2	21.0
従来型膨張コンクリート	19.5	4.2	21.5
早強型膨張コンクリート	19.0	4.1	22.0

（3） 長さ変化

図－2に長さ変化試験結果を示す。

これによれば，普通コンクリートは乾燥開始直後に収縮側に入る。一方，従来型膨張コンクリートは，水中養生中に 230×10^{-6} 程度の膨張をしている。また，早強型膨張材は 300×10^{-6} 程度の膨張をしている。その結果，膨張コンクリリートは，乾燥開始から 28 日後程度までは収縮側に至っていない。また乾燥材齢が 91 日を過ぎると収縮量が安定し，普通コンクリートは-400

×10^{-6} 程度，膨張コンクリートは-220～-250×10^{-6} 程度となる。すなわち，膨張コンクリートは，普通コンクリートと比較して，収縮量が低減している。このことから，膨張コンクリートでは，初期の膨張により収縮が補償され，ひび割れの発生の抑制効果を期待できると考えられる。

（４）　凍結融解

図－３に凍結融解試験結果を示す。

これによれば，膨張材の使用の有無および種類に拘わらず，凍結融解 300 サイクルを終了したときでも，動弾性係数比は 90%程度ある。したがって，凍結融解に対する抵抗性は，膨張コンクリートおよび普通コンクリートに拘わらず，同程度に良好である。

（５）　透水性

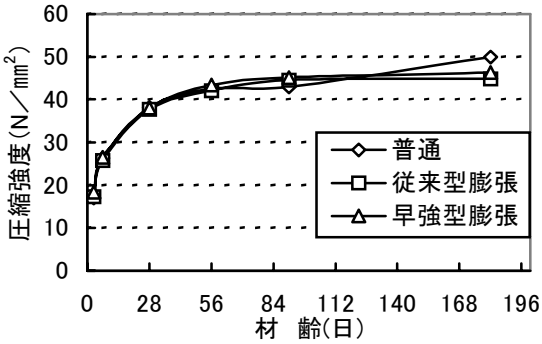
図－４に透水試験の結果を示す。

ここでは，普通コンクリートの拡散係数を 100 とした場合の係数比を示している。これによれば，膨張コンクリートの拡散係数は，普通コンクリートの拡散係数と比較して小さい。特に，早強型膨張コンクリートの拡散係数は，普通コンクリートの拡散係数の半分程度に減少している。これは，膨張効果によってコンクリートが密実化されたためと考えられる。特に，早強型膨張コンクリートは粉末度が大きいためその効果が大きくなったと推測される[1),2)]。

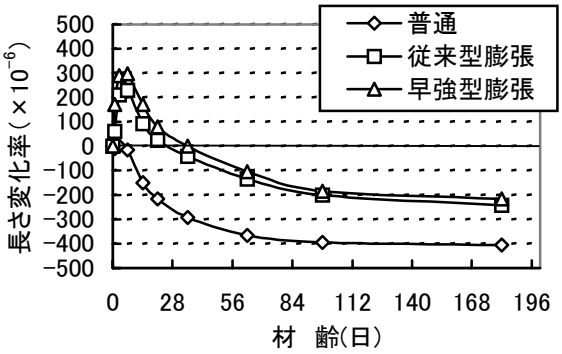
（６）　中性化

図－５に中性化試験の結果を示す。

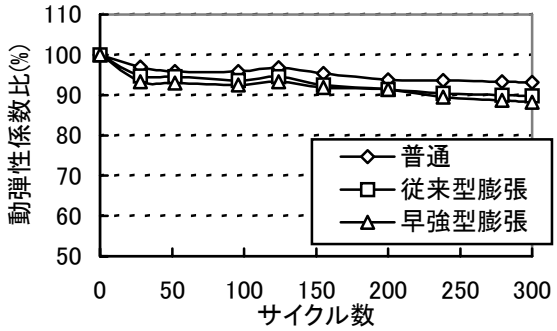
これによれば，普通コンクリートと従来型



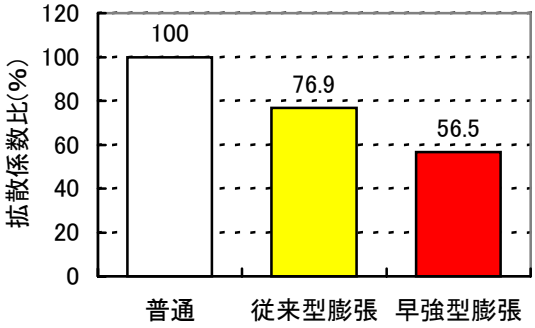
図－１　圧縮強度試験結果



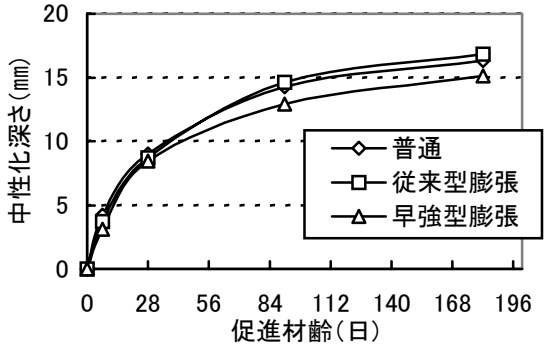
図－２　長さ変化試験結果



図－３　凍結融解試験結果



図－４　透水試験結果



図－５　中性化試験結果

膨張コンクリートの中性化深さは同程度である。また，それらに比較して，早強型膨張コンクリートの中性化深さもやや小さい値であるが、ほぼ同程度である。中性化抵抗性は，膨張コンクリートおよび普通コンクリートに拘わらず同程度の性能であると言える。

3. 従来型膨張コンクリートを用いた実構造物の耐久性確認試験

3.1 対象構造物

対象構造物は，東京都八王子市にある従来型膨張コンクリートを用いた築後 25 年経過した建物の１階外壁部（約９m²）である。写真－１に試験時の壁の様子を示す。写真中の升目は試験した範囲である。

3.2 構造物のコンクリート配合

表－５にコンクリートの配合を示す。設計基準強度は 22.0N/mm²である。

膨張材の添加量は 30kg／m³であり、セメントとの置換である。

3.3 試験項目および方法

表－６に試験項目と方法を示す。

3.4 試験結果

（１） 外観調査

図―６に外観調査の結果を示す。実線はひび割れを示し，数値はその平均開口幅を表す。また中性化試験のコア抜きの場所を英字で示す。

これによれば，開口幅が大きく長いひび割れがある。このようなひび割れはコンクリート構造物の耐久性を損なう要因の一つである。しかし，後述した鉄筋の健全度測定の結果からは，このひび割れによって耐久性を損なっているとは言えなかった。

（２） 圧縮強度

図―７に圧縮強度の結果を示す。

これによれば，設計基準強度を概ね満足する結果となった。

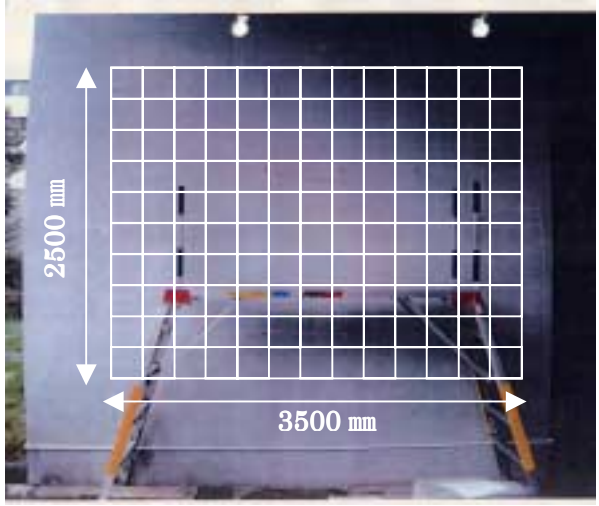
（３） 中性化

表－７に中性化試験の結果を示す。

これによれば，中性化深さは浅く，鉄筋への

表－５ コンクリートの配合

粗骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m³)	単位セメント量 (kg/m³)
25	21.0	4.0	52.0	45.9	176	326



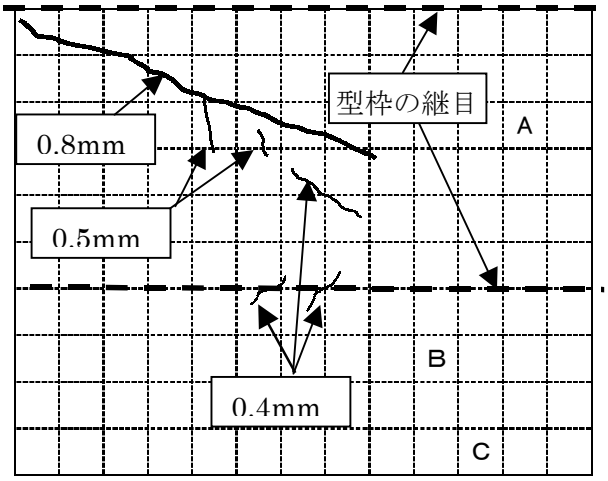
写真－１ 試験壁外観

表－６ 試験項目および方法

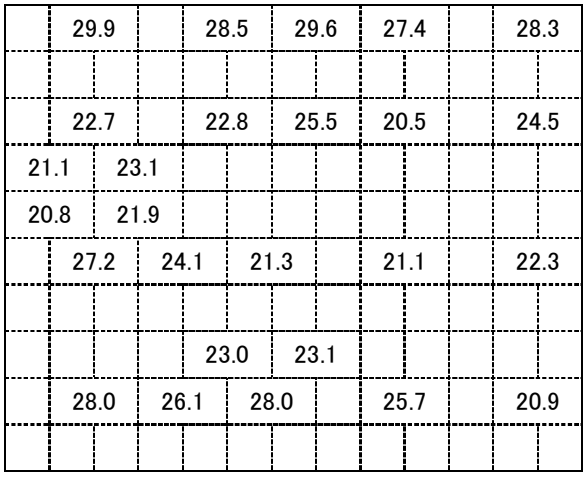
項目	試験方法
外観調査	・ひび割れの有無や鉄筋露出を目視確認・写真撮影をした。
圧縮強度	・シュミットハンマを用いて測定を行った。 ・写真－１中の升目一つにつき3回打撃した値の平均から強度を算出した。
中性化	・φ５×10cm のコア試験体を採取し，フェノールフタレイン溶液を噴霧し呈色部をノギスで測定した。
鉄筋の健全度	・参照電極に銅硫酸銅電極を用い，鉄筋の自然電位を測定した。 ・交流インピーダンス法により，鉄筋の分極抵抗を測定した。

表－７ 中性化試験結果

位置	測定値(mm)
A	9.3
B	7.3
C	5.5



図－6 外観調査結果



図－7 圧縮強度試験結果（単位：N/mm²）

かぶり厚さは平均 32 ㎜程度であり，中性化による鉄筋の発錆が生じていないと考えられる。また 25 年間で中性化深さの平均が 7.5 ㎜とすると鉄筋位置への到達は約 450 年となる。

（4） 鉄筋の健全度

図－8に自然電位の結果を示す。

これによれば，概ね－200mV より貴である。したがって，ASTM C 876 によれば，鉄筋は腐食していないと判定される。

また，図－9に分極抵抗を示す。

これによれば，何れも分極抵抗は大きい。ここで，水流らの研究 [3] によれば，分極抵抗が 1000kΩ・cm² であれば，腐食速度は 0.2μm/年に相当する。したがって，本実験結果に基づけば，鉄筋は腐食していないと判断される。

4. まとめ

4.1 室内試験のまとめ

室内試験では，2 種類の膨張コンクリートおよび普通コンクリートを用いて,圧縮強度試験，長さ変化試験，凍結融解試験，透水試験および中性化試験を行い，その結果を比較した。

（1） 圧縮強度および凍結融解抵抗性は，普通コンクリートと膨張コンクリートにおいて，同程度に良好であった。

（2） 膨張コンクリートの長さ変化は，普通コンクリートの長さ変化と比較して，収縮量が低減された。早強型膨張コンクリートでも同程度の収縮量が低減された。

（3） 膨張コンクリートの透水係数は，普通コンクリートの場合と比較して減少した。特に，早強型膨張コンクリートにおいて，その効果が向上した。中性化抵抗性は同程度の性能を示した。

以上のことから，膨張コンクリートの耐久性は普通コンクリートと比較して，同程度あるいはそれ以上であることが確認された。また，透水抑制効果では，早強型膨張コンクリートが，従来型膨張コンクリートと比較して，向上することが確認された。

4.2 実構造物試験のまとめ

25 年経過した従来型膨張コンクリートを用いた実構造物において，圧縮強度試験，中性化試験および鉄筋の健全度試験を行った。

（1）圧縮強度は，設計基準強度を概ね満足していた。

（2）中性化深さは，5～10mm の範囲であった。

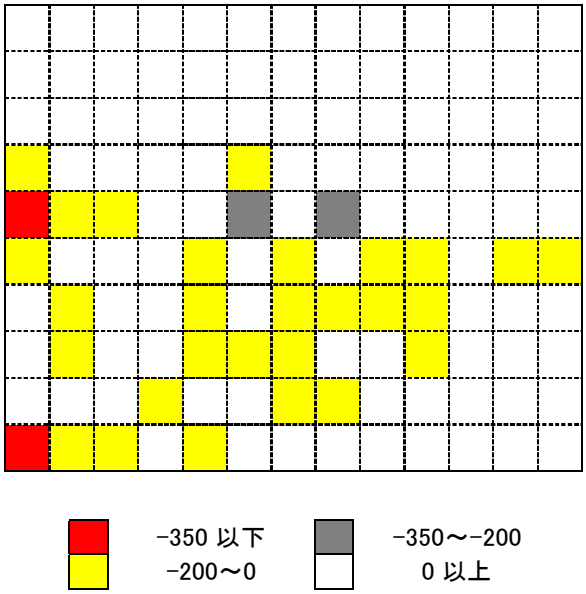
（3）内部の鉄筋は，腐食に対して健全であった。

以上のことから，従来型膨張コンクリートを用いた実構造物は，25 年が経過した後も，中性化深さは浅くまた内部鉄筋は腐食に対して健全であることが確認された。

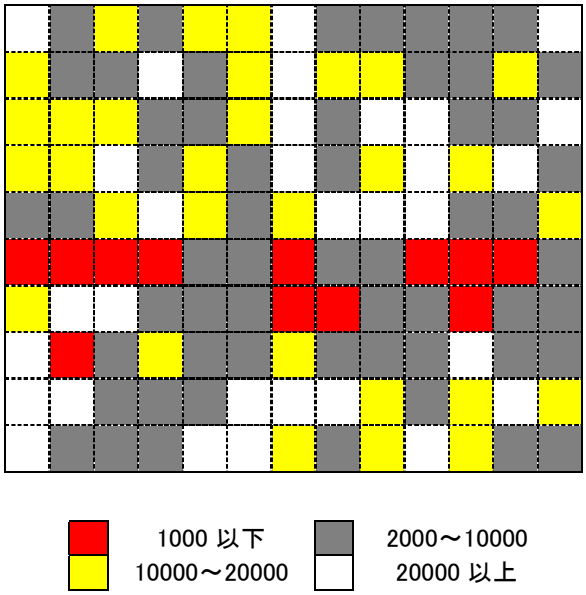
4.3 早強型膨張コンクリートの耐久性

室内試験結果から，早強型膨張コンクリートは，従来型膨張コンクリートと比較して，中性化抑制効果や透水抑制効果において優れていることが確認された。また，従来型膨張コンクリートを用いた実構造物の試験でも，25 年が経過した後も，基本的な耐久性は優れていると推測された。

従って，早強型膨張コンクリートを実構造物に用いた場合，本試験の範囲では，25 年経過した後も，ひび割れ抑制，透水抵抗性や凍結融解抵抗性などの基本的な耐久性は優れていると推測された。



図－8　自然電位試験結果（単位：mV）



図－9　分極抵抗試験結果（単位：kΩ・cm²）

謝辞

今研究の実構造物の耐久性診断にあたり，東京工業大学大学院の大即信明教授ならびに西田氏にご指導を頂きました。ここに感謝の意を表します。

参考文献

1）村田二郎，大塚茂雄，国府勝郎：膨張セメントコンクリートの細孔分布と水密性及び付着強度，土木学会コンクリートライブラリー第 39 号，膨張セメント混和材を用いたコンクリートに関するシンポジウム，pp.89～96，1974.10

2）村田二郎：コンクリートの水密性の研究，土木学会論文集，第 77 号，pp.69～99，1961.11

3）水流徹，前田龍，春山志郎：交流法腐食モニターの局部腐食への適用；防食技術 28，pp.638-644，1979