

論文 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

保利 彰宏^{*1}・五味 秀明^{*2}・鳥越 隆^{*3}・辻 幸和^{*4}

要旨：従来の膨張材に比較して，少量にて同等の効果が得られる低添加型膨張材を混和したコンクリートを用いて壁体を作製し，屋外環境下における膨張材の効果を構造物として評価するとともに，耐久性を評価する指標として構造物の中性化と圧縮強度を測定した。併せて室内試験においても中性化および凍結融解抵抗性に関する試験を実施し，材料としての耐久性についても検討を行った。

キーワード：低添加型膨張材，耐久性，中性化，凍結融解抵抗性，構造物評価

1. はじめに

近年市場に流通し始めている低添加型の膨張材に関しては報告が少なく，筆者が過去に発表した内容¹⁾も試験室内にて得られた基礎的な物性の紹介に過ぎない。コンクリート構造物は屋外に建造される場合がほとんどであるため，膨張材による影響も同様の状況下にて評価する必要がある。加えて近年はコンクリートの耐久性に対する関心は高まる一方であり，膨張材を混和した膨張コンクリートにおいても例外ではない。そこで本論文では，低添加型膨張材を混和したコンクリートを用いて壁体を作製し，屋外環境下における膨張材の効果を評価するとともに，構造物の中性化の進行状況と圧縮強度を調査した。併せて，室内試験において，耐久性の指標となる中性化および凍結融解抵抗性に関する試験を実施した。

2. 実験内容

2.1 使用材料および配合

本試験において，セメントには普通ポルトランドセメントを使用した。細骨材には姫川水系産川砂，粗骨材には姫川水系産川砂利を用い，混和剤としてはリグニン系の AE 減水剤を使用した。また，混和材としては市販のエトリンガイト・石灰複合系の低添加型膨張材を使用した。

コンクリートには，表 - 1 に示す 2 配合を用いた。膨張材はセメントに置換する形で使用しているが，使用量は標準的な添加量¹⁾となる 20kg/m³としている。

2.2 試験項目および試験方法

(1) コンクリート壁体の概要

コンクリート壁体の寸法は図 - 1 に示す通りであり，主鉄筋として D16 を 200mm 間隔にて配置し，配力筋として D13 を 200mm 間隔にて配置した(配置位置は図 - 1 中に破線で表示)。

表 - 1 コンクリート配合

	水結合 材比 (%)	細骨 材率 (%)	単位量(kg/m ³)				
			水	セメント	低添加型 膨張材	細骨材	粗骨材
普通コンクリート	54.8	47.5	170	310	-	872	1000
膨張コンクリート				290	20		

*1 電気化学工業(株) 特殊混和材事業部 工修 正会員

*2 電気化学工業(株) 特殊混和材事業部 特混技術課長 正会員

*3 電気化学工業(株) 特殊混和材事業部 技術部長 工修

*4 群馬大学教授 工学部建設工学科 工博 正会員

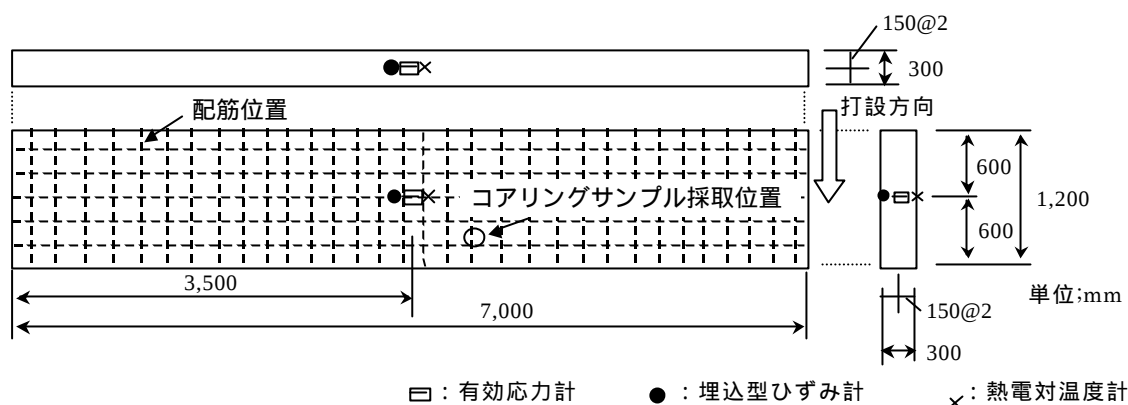


図 - 1 コンクリート壁体の寸法および計測機器設置位置

また、基礎として厚さ 50cm のコンクリートを施工している。コンクリートはレディーミクストコンクリート工場にて製造し、施工場所までアジテータ車にて運搬、荷卸を行った。施工日は 2000 年 10 月 5 日、当日の天候は晴れ、外気温は 20 程度であった。なお、型枠は材齢 7 日まで存置している。

(2) コンクリートの品質管理試験

- ・スランプ：JIS A 1101:1998 に準拠
- ・空気量：JIS A 1128:1999 に準拠
- ・コンクリート温度：デジタル温度計にて計測
- ・凝結試験：ASTM C403 に準拠
- ・圧縮強度：試験方法は JIS A 1108:1999 に準じたが、材齢 1 日以降の養生条件としては、20 一定の水中養生と、現場封緘養生の二種類を設けた。測定材齢は 1, 7, 28 および 91 日である。
- ・長さ変化率試験：JIS A 6202:1997 に準じ、材齢 1 日で脱型した後は 20 一定の水中にて養生を行った。測定材齢は 1, 2, 4, 7, 14, 28 および 91 日である。

なお、上記試験においてスランプ、空気量およびコンクリート温度についてはレディーミクストコンクリートの出荷時と現場到着時（出荷後およそ 30 分経過時）に行い、それ以外の試験については出荷時に試料を採取した。

(3) コンクリート壁体での膨張材評価方法

壁体内部に各種測定機器を設置することで壁体に発生する物理的变化を測定した。コンクリート温度および外気温については熱電対型温度計を、コンクリートの長さ変化率については埋

込型ひずみ計を、コンクリートに発生した応力については有効応力計をそれぞれ図 - 1 に示す場所に設置した。計測はコンクリートの打設直後から開始し、材齢 120 日間継続した。

(4) コンクリート壁体からのコアリングサンプル採取方法

コアリングサンプルについては JIS A 1107:2002 に準じ、2002 年 12 月 14 日（材齢 2 年 2 ヶ月）に採取した。内径 10cm のコンクリートカッターを用い、図 - 1 に示される位置にてコンクリート壁体からコアリングサンプルを採取している。

2.3 耐久性評価試験項目および試験方法

耐久性に関する評価は中性化、凍結融解抵抗性および圧縮強度にて行ったが、中性化と圧縮強度については室内における促進試験と 2.2 にて記したコンクリート壁体からのサンプルを用いた試験の双方を実施している。

(1) 中性化評価試験

室内試験における中性化の評価は「高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説」²⁾に準じた。すなわち、供試体は材齢 1 日にて脱型し、材齢 28 日まで 20 一定の水中にて養生した後 20・60%R.H. の恒温恒湿室にて 28 日間養生、その後打設面および底面をシールして試験に供した。促進中性化の条件は 20・60%R.H.、炭酸ガス濃度 $5 \pm 0.2\%$ である。

コンクリート壁体を用いた中性化評価試験は、2.2(4) にて採取した試験体を用い、JIS A 1152:2002 に準じた。割裂面を測定面とし、試薬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24時間である。

(2) 凍結融解抵抗性試験

凍結融解抵抗性試験は ASTM G666 に準じて実施した。供試体は材齢14日まで20一定の水中養生を行った後に試験に供している。凍結融解サイクルが30サイクル経過すると動弾性係数と重量とを測定し、凍結融解抵抗性の評価指標とした。

(3) コンクリート壁体の長期強度

2.2(4)にて採取した試験体を用い、JIS A 1107:2002 に準じてコンクリート壁体実物の長期圧縮強度を測定した。採取した試験体は長さが30cm程度であるため、両端(暴露面)を切り落とし、直径に対する高さの比が1.5~2.0になるよう調整している。得られた圧縮強度に直径と高さとの比から求まる補正計算を施して圧縮強度の評価とした。

3 試験結果

3.1 コンクリート壁体における試験結果

(1) 品質管理試験結果

壁体に用いたコンクリートの品質管理試験結果を表-2、図-2、図-3および図-4に示した。それぞれフレッシュ性状、凝結試験、圧縮強度および長さ変化率に関する試験結果である。

表-2 コンクリートのフレッシュ性状

配合	スランプ (cm)	空気量 (%)	温度 ()
普通コンクリート	16.0 (12.0)	5.5 (5.3)	24.0 (23.5)
膨張コンクリート	16.5 (16.0)	5.5 (4.3)	25.0 (25.0)

数値は上段が出荷時、下段が現場到着時

表-2および図-2より、フレッシュ性状および凝結試験結果は配合による差はほとんど確認されず、図-3より圧縮強度についても現場封緘養生は水中養生に比較して若干の強度低下が見られるものの、配合による影響は小さいようであった。なお、長さ変化率測定結果につい

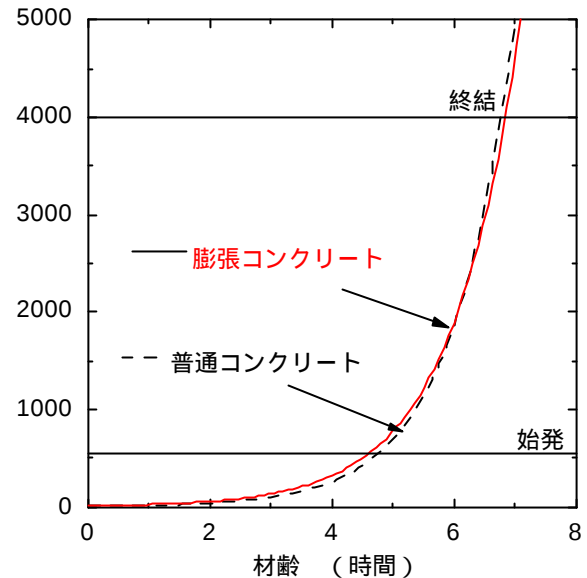


図-2 凝結試験結果

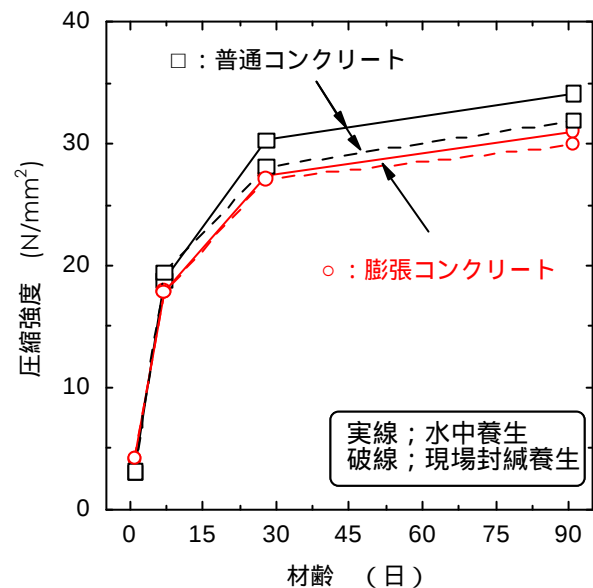


図-3 圧縮強度試験結果

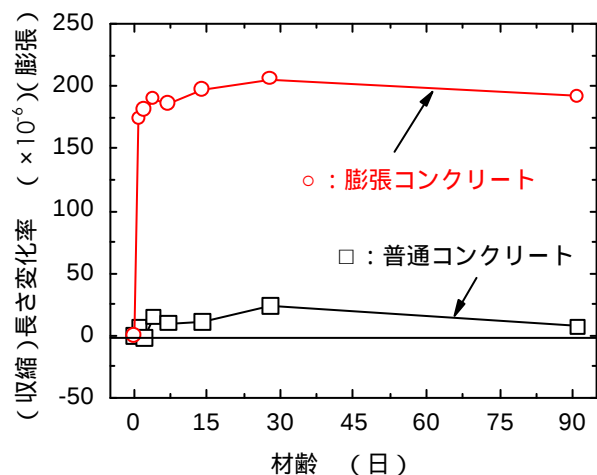


図-4 長さ変化率測定結果

では図 - 4 より膨張コンクリートに 200×10^{-6} 程度の膨張ひずみが導入されていることが確認された。

3.2 コンクリート壁計測結果

(1) コンクリート温度計測結果

図 - 5 にコンクリート壁における温度の計測結果を示した。図の横軸（材齢）は対数目盛を使用しており、図中の破線は外気温である。表 - 2 より、現場到着時におけるコンクリートの温度差が 1.5 あることを考慮しても、コンクリート壁におけるコンクリートの最高温度は、普通コンクリートの 35.3 に比較して膨張コンクリートは 41.6 と、5 程度高い。既往の報告から、本試験に用いた低添加型膨張材はコンクリートの発熱に高める方向へ影響する傾向が確認されており³⁾、本計測結果も同様の傾向が現れたものと推察される。

(2) ひずみの計測結果

図 - 6 にコンクリート壁におけるひずみの計測結果を示した。ひずみは壁内部に設置した埋込み型ひずみ計の数値より、凝結の始発時間を基点として補正計算を施している。なお、図の横軸（材齢）には対数目盛を使用している。結果より、いずれの配合も打設直後からコンクリートの発熱に伴う膨張ひずみを発現しているが、膨張コンクリートについては膨張材の反応による膨張が加わっている。材齢 0.5 日頃に膨張ひずみは最大値に達しており、普通コンクリートは 71×10^{-6} 、膨張コンクリートは 191×10^{-6} となった。

それ以降は温度降下に伴って膨張ひずみが減少し、型枠を脱型した材齢 7 日以降は乾燥収縮も加わっている。普通コンクリートは材齢 3 日頃、膨張コンクリートも材齢 40 日頃に収縮に転じており、計測を終了した材齢 120 日における長さ変化は、普通コンクリートが 195×10^{-6} 、膨張コンクリートが 60×10^{-6} の収縮ひずみとなった。しかし、普通コンクリートに比較して膨張コンクリートの収縮ひずみは常に小さく、低添加型膨張材によって乾燥収縮が補償されていることが実構造物でも確認することが出来た。な

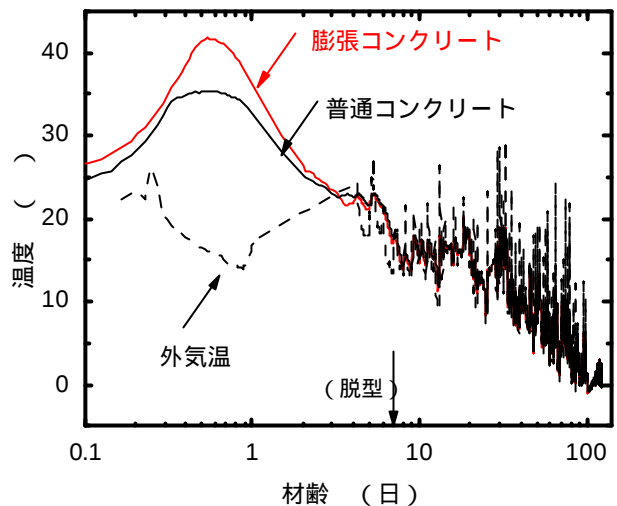


図 - 5 コンクリート壁における温度計測結果

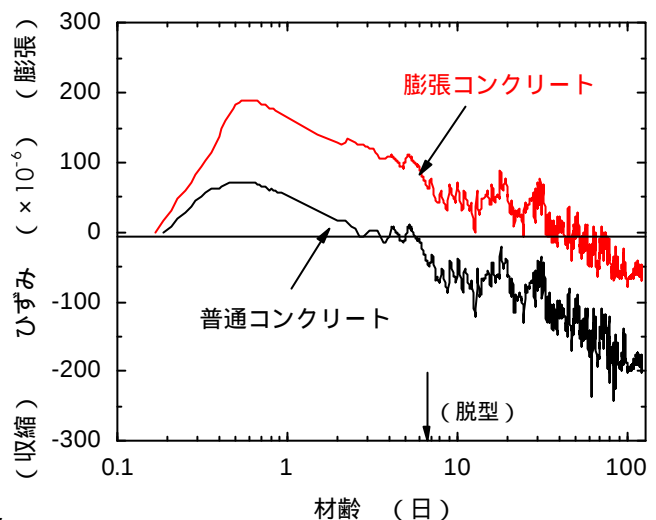


図 - 6 コンクリート壁におけるひずみ計測結果

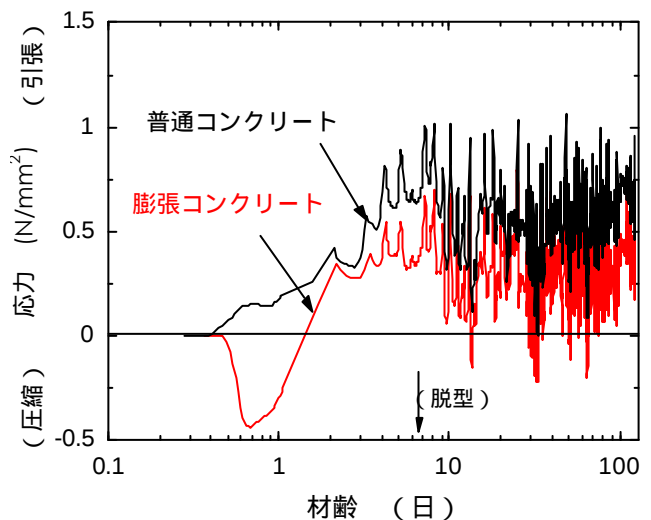


図 - 7 コンクリート壁における応力計測結果

お、計測結果が波打つ原因は、日射や気温の日変動によって発生したひずみと考えられる。

(3) コンクリート応力の計測結果

コンクリート壁における応力の計測結果を図 - 7 に示す。図の横軸（材齢）には対数目盛を使用した。打設後の初期材齢から引張応力が発生している普通コンクリートに対し、膨張コンクリートは材齢 0.5 日までに 0.5N/mm^2 程度の圧縮応力が得られている。その後、温度低下や乾燥収縮によって圧縮応力は減少し、計測を終了した材齢 120 日において、普通コンクリートは 0.65N/mm^2 、膨張コンクリートは 0.31N/mm^2 の引張応力となった。計測結果が日射や気温の変動によって波打っているが、膨張コンクリートの引張応力は普通コンクリートの引張応力に比較して常に小さく、3.2(2)にて確認された収縮補償により、低添加型膨張材の使用によって、コンクリートに発生する引張応力が低減されていることが確認できた。

ところで、図 - 6 では普通コンクリートにおいて膨張ひずみが確認されているにも関わらず、図 - 7 では普通コンクリートに圧縮応力が見られない。これは主に計測器の性質、すなわち、ひずみの測定に用いた埋込型ひずみ計と応力の測定に用いた有効応力計は、それぞれ確度を保証するコンクリートの弾性係数が異なる点に起因するものと推察される。

3.3 耐久性評価試験結果

(1) 中性化評価試験結果

室内試験にて実施した促進中性化試験の結果を図 - 8 に示す。中性化深さは促進中性化材齢と共に増大しているが、材齢 91 日における中性化深さは普通コンクリートが 4.0mm 、膨張コンクリートが 3.8mm とほぼ同等であることが確認された。

一方、コンクリート壁から採取したコアリングサンプルによる中性化深さ測定結果を表 - 3 および写真 - 1 に示した。測定箇所による測定値のばらつきもあるが、普通コンクリートに比較して膨張コンクリートの中性化深さが小さく

なる結果が得られた。ただし暴露期間が 2 年 2 ヶ月と短く、試験体も少ないため、さらに評価を継続する必要がある。

表 - 3 コアサンプルによる中性化深さ

配合	中性化深さ(mm)	
	測定値	平均値
普通コンクリート	1.3 2.0 1.3 1.5 0.8	2.0
膨張コンクリート	0.0 1.0 0.0 0.1 0.7	1.0

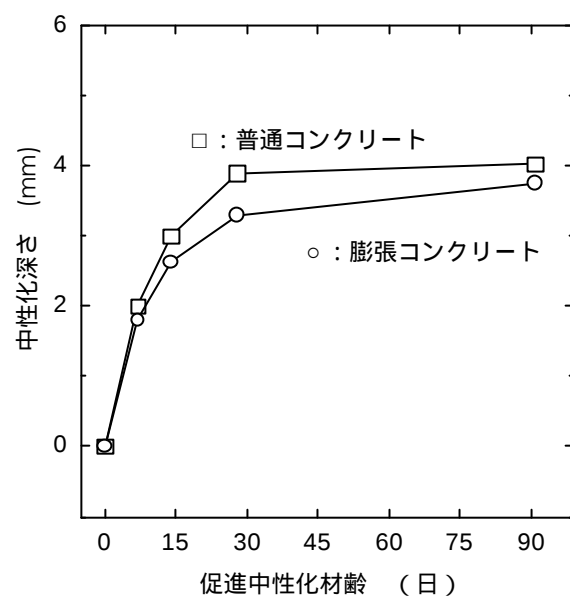


図 - 8 促進中性化試験結果

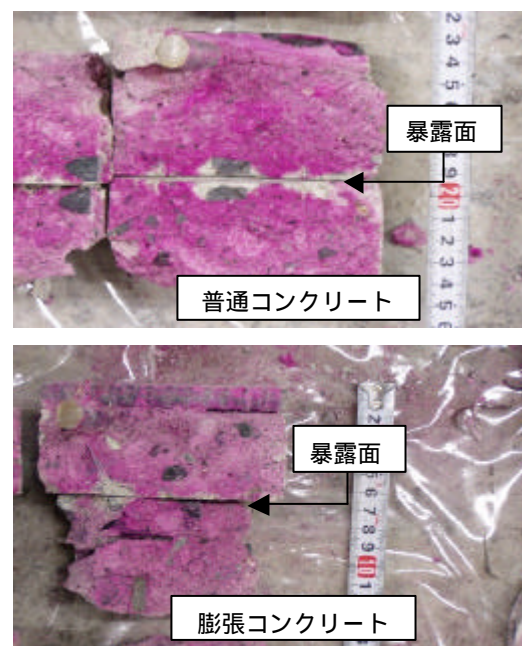


写真 - 1 コアサンプルの中性化測定結果

(2) 凍結融解抵抗性試験結果

試験結果を図 - 9 に示す。図中には相対動弾性係数比と重量変化率が併記されている。凍結融解サイクルと共に相対動弾性係数比と重量変化率は減少しているが、試験終了時の 300 サイクルにおいて、いずれの配合も相対動弾性係数比は 85% 以上、重量変化率は 90% 以上となっており、凍結融解抵抗性に優れる結果が得られている。

(3) コンクリート壁の長期強度

コンクリート壁より採取した試験体を用いて行った圧縮強度の測定結果を表 -

5 に示した。配合によって圧縮強度による差異はほとんど見られず、また、3.1(1)にて示した品質管理試験の圧縮強度（材齢 91 日）に比較しても強度増進が認められることから、いずれのコンクリート壁も構造物として健全であることが伺える。

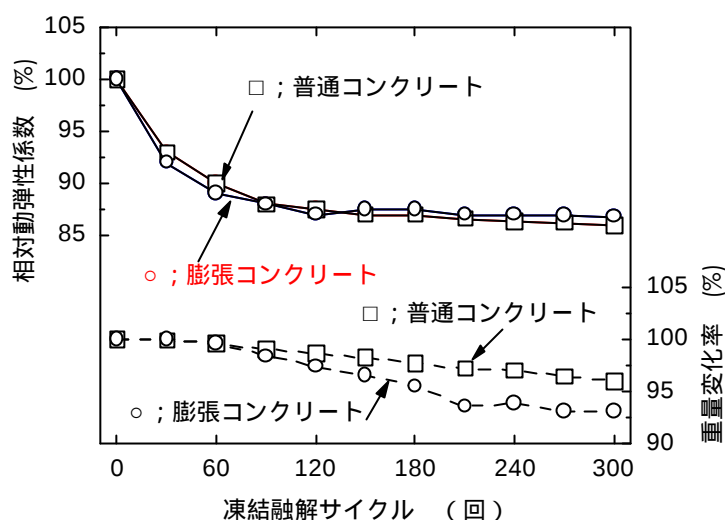


図 - 9 凍結融解抵抗性試験結果

表 - 5 コンクリート壁の圧縮強度測定結果

配合	補正係数		圧縮強度(N/mm ²)		
	直径に対する高さの比	補正係数	試験値	補正值	平均値
普通コンクリート	1.60	0.969	30.8	29.8	35.4
	1.70	0.976	40.9	39.9	
	1.92	0.992	36.8	36.5	
膨張コンクリート	1.67	0.974	36.6	35.6	36.7
	1.70	0.976	38.0	37.1	
	1.95	0.995	37.7	37.5	

4. 結論

本試験では、低添加型の膨張材を混和したコンクリートを用いてコンクリート構造物を作製し、屋外養生条件下にて膨張材による効果を評価した。併せて打設から 2 年 2 ヶ月が経過した時点でコアリングによるサンプル採取を行い、構造物としての耐久性を中性化と強度を用いて評価した。本試験の範囲内にて得られた結論を以下に記す。

- (1) 低添加型膨張材を混和したコンクリートは、構造物においても膨張材による効果が認められた。具体的には膨張材による乾燥収縮補償および引張応力の低減が構造物においても確認できた。
- (2) 上記構造物において、施工後 2 年 2 ヶ月が経過した時点における調査の結果、構造物の圧縮強度は低添加型膨張材の有無によらず同等であり、一方で中性化については現段階においては低添加型膨張材を混和する

ことで進行が低減されている結果が得られた。

- (3) 室内試験における促進中性化試験および凍結融解抵抗性試験の結果において、低添加型膨張材を添加したコンクリートは、添加しないコンクリートと同等の性能を示した。

参考文献

- 1) 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
- 2) 日本建築学会、高耐久性鉄筋コンクリート造設計施工指針（案）・同解説, pp.179-184, 1991
- 3) 樋口隆行・中島康宏・保利彰宏・盛岡実、膨張材を混和した各種高流動コンクリートの自己収縮、セメント技術大会講演要旨, Vol.56, pp.234-235, 2002