

膨張材によるコンクリートの収縮低減

松本健一* 片平 博** 渡辺博志***

1. はじめに

新設されたコンクリート構造物において、比較的初期の段階に発生するひび割れとしては、セメントの水和熱による温度ひび割れや、乾燥収縮によるひび割れが挙げられる。

このような初期ひび割れの発生そのものを完全に封じ込めることは困難であるが、耐久性上有害とならない範囲にひび割れ幅を制御することは可能である。一般には、構造設計や配合設計および施工を的確に行うことで、有害なひび割れを抑制することが行われている。ただし、構造物に求められる性能や置かれる環境条件によっては、より高度なひび割れ発生抑制対策が実施される場合もある。混和材の一種である膨張材^{*}の使用もその一つである。コンクリート硬化時に体積を膨張させることでコンクリート中に圧縮応力を発生させ、収縮による引張応力を低減する効果がある。

膨張材は、JIS A 6202として品質規格が定められていて、一定の品質をもつものが市場に流通している。ただし、JIS A 6202では定められた配合条件、温度条件、養生条件のもとで膨張材を用いたモルタル供試体を作り、その供試体の長さ変化率や圧縮強度が一定の範囲を満足していることを確認するものであり、言わば膨張材の一面をとらえた評価にとどまるものである。

一方で、実構造物ではコンクリートの温度条件や、養生条件も様々である。また、コンクリートの高強度高耐久指向から、JIS A 6202の試験で規定されている水セメント比と比べて、遙かに小さい水セメント比の配合条件で施工されるケースも増えつつある。このような各種の条件での膨張材の効果に関しては必ずしも明確になっていない。

このような背景から、配合や養生について実際に想定される条件を様々に設定し、膨張材の効果

を検証している。検証試験は継続中であるが、いくつかの重要な知見が得られたので、ここに中間報告するものである。

2. 膨張材の概要と本実験のねらい

膨張材は、初期材齢に体積が膨張する水和生成物を形成する化学反応により、コンクリートに膨張をもたらすものである。材齢7日まで湿潤養生を行い、それ以降を乾燥状態に曝した場合の膨張コンクリートのひずみ挙動を、通常のコンクリートと比較して模式的に図-1に示す。膨張の進行は概ね一週間程度で終了する。膨張が収束した後に乾燥を受けた場合の乾燥収縮は、膨張材を用いないコンクリートとほぼ同等または若干小さい程度であり、長期的に進行する乾燥収縮ひずみそのものを低減するものではない。

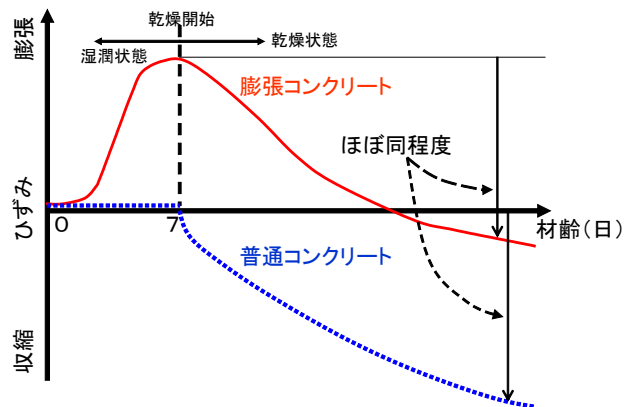


図-1 収縮補償の概念図

従って、初期材齢での膨張ひずみを適切に発生させることが重要であり、コンクリート練混ぜ後一週間程度の水和反応の進行状況が、膨張材の効果左右する鍵を握っていると言える。本実験はこの点に着目して材齢7日までのひずみ挙動について検討したものである。

3. 膨張コンクリートに関する実験

3.1 実験概要

コンクリートの配合および養生温度条件を表-1

Reduction of Concrete Shrinkage by Using Expansive Admixture
*土木用語解説：膨張材

表-1 コンクリートの配合・養生条件

配合名 ^{※1}	W (C+Ex) (%)	単位量(kg/m ³)				化学混和剤(%) ^{※2}		養生方法	
		水 W	結合材		細骨材 S	粗骨材 G	Ad1		Ad2
			セメント C	膨張材 Ex					
55N	55	172	313	0	809	976	0.31	0	・終結以後に恒温槽に移動 ・養生方法:材齢7日まで水中養生 または封かん養生 ・養生温度:図-2参照
40N	40	172	430	0	732	956	0.31	0	
30N	30	172	573	0	649	1,000	0	1.0	
55NE	55	172	293	20	809	976	0.31	0	
40NE	40	172	410	20	732	956	0.31	0	
30NE	30	172	553	20	649	1,000	0	1.0	

※1:配合名の数値は水結合材比、Nは普通コンクリート、NEは膨張コンクリート

※2:混和剤の使用量は、結合材量(C+Ex)に対する質量百分率

C: 普通ポルトランドセメント

S: 静岡県掛川産山砂 (密度2.57g/cm³, 吸水率1.87%)

Ad1: リグニンスルホン酸系 A E 減水剤

Ex: 低添加型石灰系膨張材

G: 茨城県笠間産硬質砂岩砕石 (密度2.67g/cm³, 吸水率0.46%)

Ad2: ポリカルボン酸系高性能 A E 減水剤

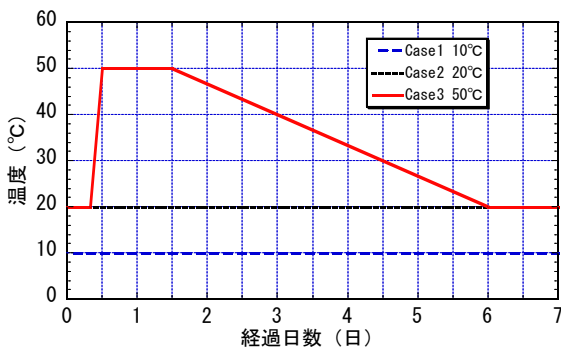


図-2 打設および養生温度条件

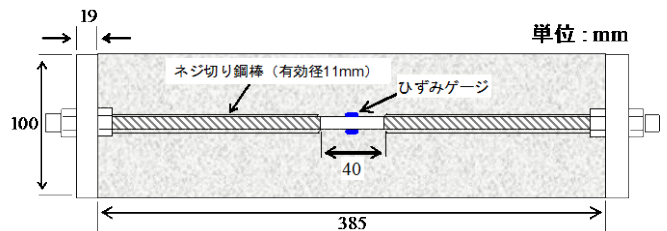


図-3 供試体および拘束鋼材の形状、寸法

および図-2に示す。セメントと膨張材を合わせて結合材と称する。膨張材の添加量は20kg/m³で一定とし、膨張材の有無で比較すると、各水結合材比において、添加した膨張材の量だけ単位セメント量を減らすこととした。

試験方法はJIS A 6202のB法を参考とした。供試体は各配合2本とし、形状は図-3に示すとおりである。供試体に配置した有効径11mmの拘束鋼材の中央部にひずみゲージを貼り付けて、コンクリート打設直後からひずみを測定した。また、比較用に膨張材を用いない配合でも、同形状の供試体で拘束鋼材のひずみを測定した。以降、本論文でひずみと記載するものは、この拘束鋼材で計測されたひずみのことである。

3.2 水結合材比と拘束膨張ひずみ

20℃の水中養生を行った膨張コンクリート供試体のひずみ測定結果によると、概ねコンクリートが終結に達した時点から膨張し始め、材齢7日までにほぼ終了した(図-4)。55NEと40NEを比較するとひずみの発現形態はほぼ同等であった。30NEのひずみは0.5日程度のごく初期材齢まで一旦収縮に向かった後に膨張側に転じ、材齢7日の膨張量は、55NEや40NEよりも小さかった。こ

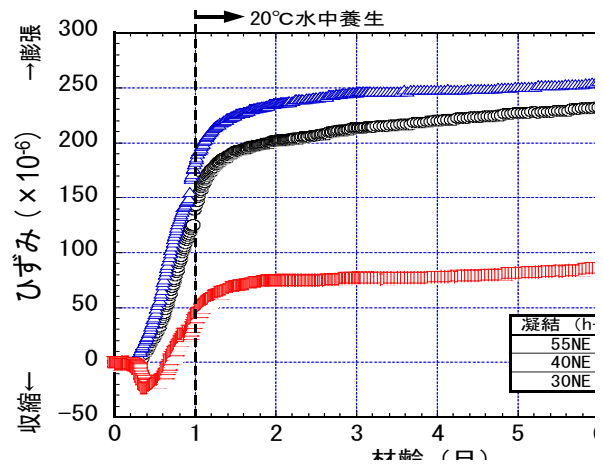


図-4 拘束膨張ひずみ (20℃水中養生)

れは、30NEのコンクリートでは自己収縮^{*}が発生し膨張が相殺されたためと考えられる。

3.3 湿潤養生条件と拘束膨張・収縮ひずみ

実建造物のコンクリートでは水中養生よりはむしろ水分の供給が遮断された封かん養生状態に近いと考えられる。このため、封かん養生での膨張状況を把握することも重要となる。

55Nおよび55NE (いずれも20℃) のひずみについて、封かん養生と水中養生を比較して図-5に示す。55NEの封かん養生は水中養生と比べてひ

*土木用語解説: 自己収縮

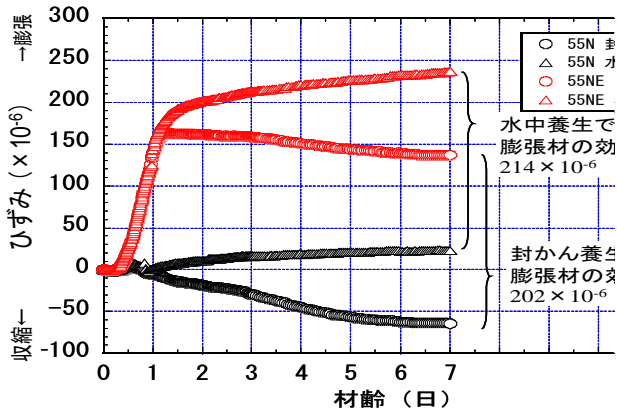


図-5 養生条件とひずみ (20°C)

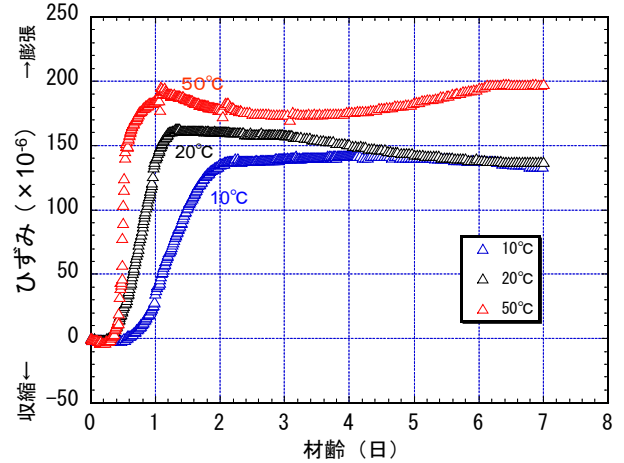


図-6 養生温度とひずみ (55NE 封かん養生)

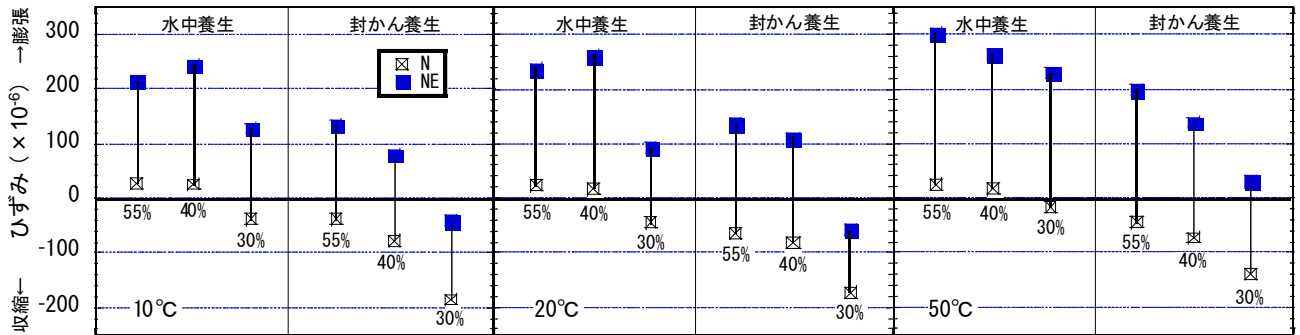


図-7 養生条件と材齢7日の膨張・収縮ひずみ

ひずみの増加が早く終了し、材齢7日での膨張ひずみはやや小さかった。NとNEのひずみの差は封かん養生の方が僅かに小さい傾向であった。

3.4 養生温度とひずみ

図-6は、養生温度とひずみの関係の一例を示したものである。養生温度が高いほど膨張ひずみの発現時期が早く、膨張速度が大きい。養生温度50°Cの設定は、マスコンクリート部材の発熱を想定したものであるが、材齢1日で膨張がほぼ収束している。7日材齢でのひずみは、50°Cでやや大きい傾向を示した。10°Cの場合は、膨張ひずみの発現速度は遅いものの、7日拘束膨張ひずみは20°Cの場合とほぼ同じであった。

3.5 各条件での膨張材の膨張効果のまとめ

7日経過時点のひずみ量を、配合や養生条件で整理して図-7に示す。3.2にも示したように、NEのひずみの膨張量は養生方法や養生温度に関わらず、水結合材比が30%の場合で小さい傾向であった。また、同一の配合や養生方法では、養生温度が高いほどひずみの膨張量が大きい傾向を示した。

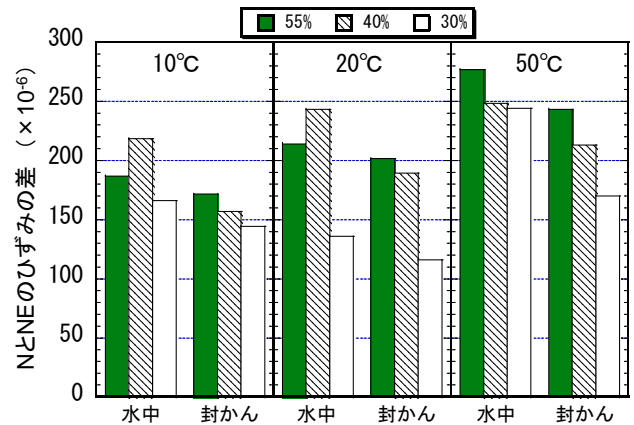


図-8 鋼材ひずみの差

膨張材の効果を見るため、NとNEのひずみの差を養生条件毎に比較した(図-8)。いずれのケースでも、約150~250×10⁻⁶程度の差が生じており、膨張材に一定の効果があることが確認できた。ただし、養生温度が低いほど、水結合材比が小さいほど、また、水中養生と比較して封かん養生の方がひずみの差はやや小さくなる傾向を示した。

今回の実験で水結合材比を30%と小さく設定し、封かん養生とした場合では、自己収縮量が大きく

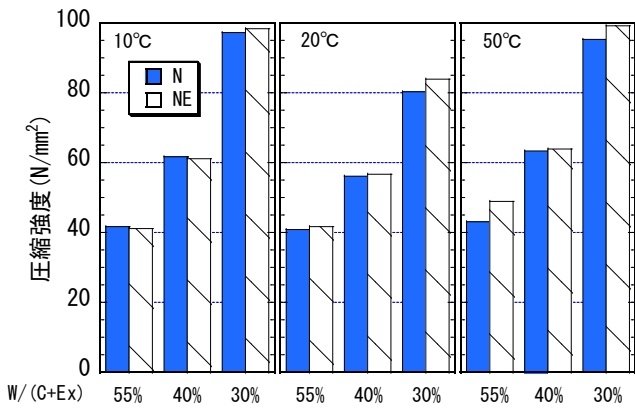


図-9 28日圧縮強度（7日まで各温度下で水中養生、以降は20°C、60%R.H.で気中養生）

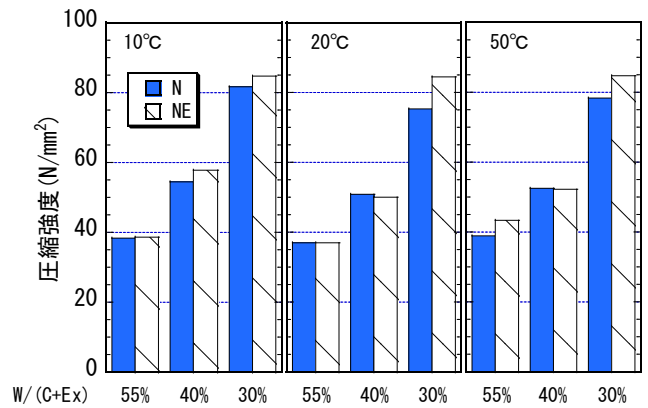


図-10 28日圧縮強度（7日まで各温度下で封かん養生、以降は20°C、60%R.H.で気中養生）

なるため、膨張材の混入による膨張効果が相殺され、結果としてわずかな膨張ひずみにとどまるか、もしくは収縮ひずみが観測されることとなった。このように、元来収縮が顕著に発生する使用条件においても、これを膨張に転じさせるためには、膨張材の添加量を増加させる必要がある。ただしその場合は、膨張材の添加量の増加に伴う圧縮強度の低下が懸念されるので、あらかじめ膨張材の使用量と圧縮強度の関係¹⁾を明確にし、強度低下を来さないことを確認しておく必要がある。

3.6 膨張コンクリートの圧縮強度

図-9および図-10に示すように、本研究の使用量の範囲では、膨張コンクリートの圧縮強度は養生温度や養生方法が異なっても普通コンクリートと同等であることが確認された。

4. まとめ

今回の実験の範囲では、以下の結果が得られた。

- (1) 水結合材比、コンクリート温度、養生条件を変えた試験を行ったが、膨張材無しの配合に

比較して、膨張材有りの配合では、いずれのケースでも約 $150 \sim 250 \times 10^{-6}$ 程度膨張側のひずみを示した。また、圧縮強度への影響は見られなかった。

- (2) 膨張材の効果は、水結合材比が小さいほど、温度が低いほど、また、水中養生よりも封かん養生のほうがやや小さくなった。
- (3) 水結合材比30%で封かん養生の場合、自己収縮の影響もあり、膨張材を添加しても膨張側のひずみを示さないケースも見られた。このような条件では、適切な膨張材量の選定と圧縮強度等への影響確認試験が必要となると考えられる。

参考文献

- 1) 松本健一、谷村充、佐竹紳也：水セメント比の異なる膨張コンクリートの基礎的性状、日本建築学会大会梗概集（関東）、pp.223～224、2006.9

松本健一*



太平洋セメント（株）中央研究所
セメント・コンクリート研究部 舗装・技術情報チーム
(前独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料地盤研究グループ基礎材料チーム 交流研究員)
Kenichi MATSUMOTO

片平 博**



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 主任研究員
Hiroshi KATAHIRA

渡辺博志***



独立行政法人土木研究所つくば中央研究所材料資源研究グループ基礎材料チーム 上席研究員、工博
Dr. Hiroshi WATANABE