

マス養生温度履歴を受けた膨張コンクリートの拘束応力特性

太平洋セメント(株) 正会員 ○松本 健一 谷村 充 三谷 裕二
太平洋マテリアル(株) 正会員 佐竹 紳也

1. はじめに

コンクリート用膨張材は、マスコンクリートの温度ひび割れ低減対策として使用されるケースも多く、その使用効果についても、個々の構造物での検証実験などにより定性的には把握されている。一方、コンクリート構造物の設計体系が、従来の仕様規定から性能規定へと移行する中、膨張材の使用効果をより定量的に評価する手法の確立が求められている。本報告では、一般の鋼材を埋め込む方法では検出することができない、温度応力を含む膨張材の使用効果を検討するために、インバー鋼棒を配した一軸拘束供試体を作製し、マスコンクリートと同様の温度履歴を与える実験を行った。これにより、収縮補償用程度に膨張材を混和したコンクリートによる温度応力の低減効果を検討した。

2. 実験概要

表-1に使用材料、表-2にコンクリートの配合を示す。収縮補償用程度に膨張材を混和したコンクリートに加え、膨張材を用いない普通コンクリートについても比較した。

図-1に、インバー鋼棒を配した一軸拘束供試体の形状・寸法を示す。使用したインバー鋼の線膨張係数は一般の鋼材のおよそ 1/20 であるため、温度ひずみを含む変形拘束によって生じる拘束応力の評価が可能である。鋼材比は 0.7, 1.7, 5.7% (拘束度：ヤング係数比を 7~20 と仮定した場合、鋼材比が小さい順に 5~12%, 10~25%, 29~53%程度) の 3 水準とし、それぞれ PC 鋼棒の呼び名 9.2mm, 15mm および 26mm と同じねじ仕様となるように加工した。拘束端板も同じインバー鋼を用いて製作し、溶接によってインバー鋼棒と一体化した。インバー鋼の線膨張係数およびヤング係数は、メーカーの公称でそれぞれ $0.5 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ および 140 kN/mm^2 である。インバー鋼棒のひずみは、鋼棒軸方向の対象面に設けた幅 4mm、長さ 800mm のねじ切削面の中央部に貼付したひずみゲージを用いて測定した。鋼材比 1.7% のものについては、インバー鋼棒の定着長を確認するために、中央から片側 400mm の区間において 50mm 間隔でひずみゲージを貼付した。なお、各々のひずみゲージについては、鋼材に貼付した状態で温度の上昇・降下を繰り返し与える操作を行い、ゲージの指示値と温度の関係式を定めておき、温度変化に伴うゼロ点移動を補正した。コンクリートの練混ぜおよび打込みは 20°C 、相対湿度 80% の試験室で行い、ブリーディングがほぼ終了する 2.5 時間程度まで静置した後、ポリエステルフィルムで打込み面を覆い、所定の温度履歴パターンに制御した恒温槽内で養生を行った。供試体に与える温度履歴パターンは、JCI・マスコンクリートソフト作成委員会報告書¹⁾に示されている壁状構造物（高さ 2000 mm、幅 1800 mm）を参考にして、その 2 次元 FEM 温度解析より求めた断面中央の中層（高さ 1000 mm）位置における温度の履歴を設定した。なお、脱型は材齢 1 日の時点で供試体を一度恒温槽から取り出して行い、アルミ箔粘着テープで露出面をシールしてから速やかに恒温槽内に戻した。

表-1 使用材料

材料	記号	種類／物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント／密度 3.16 g/cm^3
膨張材	EX	石灰系膨張材／密度 3.14 g/cm^3
高性能 AE 減水剤	SP	ポリカルボン酸系
細骨材	S	河東産山砂／表乾密度 2.59 g/cm^3 、吸水率 1.63%
粗骨材	G	岩瀬産碎石 2005／表乾密度 2.64 g/cm^3 、吸水率 0.84%

表-2 コンクリートの配合

記号	スランブ (cm)	空気量 (%)	W/(C+EX) (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m³)					
					W	C	EX	S	G	SP
NE	15±2.5	4.5±1.5	55	47	175	288	30	830	951	0.64
NP						318	-			

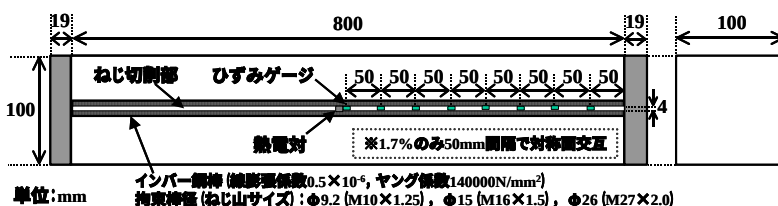


図-1 インバー鋼棒を配した一軸拘束供試体の形状・寸法

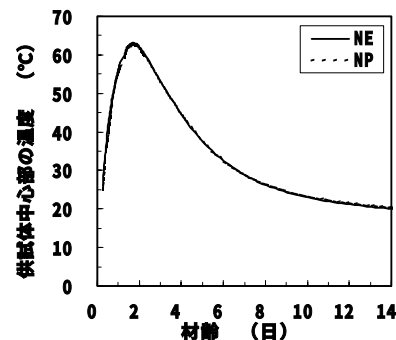


図-2 供試体中心部の温度履歴

3. 実験結果および考察

(1) 供試体内部の温度履歴 図-2に、設定した温度履歴パターンで養生を行った供試体中心部の温度の測定結果を示す。材齢2日付近で約 63°C に達した後、 20°C まで徐々に降温する履歴を示した。

(2) インバー鋼棒の定着長の確認 図-3に、鋼材比 1.7% の場合について、鋼材中央からの距離と鋼材ひずみの関係を示す。鋼材端部から鋼材ひずみがほぼ一定となるまでの長さ（定着長）は 15~20cm 程度となっており、本実験で製作した供試体は、定着長の面で十分な長さが確保されている。以下では、鋼材中央部のひずみを用いて検討を行う。

キーワード：膨張コンクリート、マス養生温度履歴、鋼材ひずみ、拘束応力

〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2 太平洋セメント中央研究所 TEL043-498-3894

(3)長さ変化特性 図-4 に、鋼材ひずみと材齢（注水時を原点）の関係を示す。また、温度上昇時における鋼材ひずみと拘束鋼材比の関係の経時変化を図-5 に示す。膨張材を混和した NE の拘束膨張ひずみは、膨張材無混和の NP と比較して、鋼材比 0.7, 1.7, 5.7% に対して、それぞれ約 2.1 倍, 1.9 倍および 1.6 倍であった。また、鋼材ひずみと拘束鋼材比には、下に緩やかに凸の曲線的な関係となっており、PC 鋼材を用いた既往の実験結果と同様の傾向が認められる²⁾。

図-6 に、温度降下時における鋼材ひずみの経時変化を示す。温度降下域における NE と NP の差は温度上昇域よりも明らかに小さく、両者はほぼ同様の収縮特性を示している。すなわち、膨張材の有無による違いは、膨張材の水和反応が活発な時期である温度上昇時において大きく生じるが、一旦硬化体の組織が形成された後は、通常の温度降下時に見られる温度収縮ひずみに依存した挙動を生じると考えられる。

(4)拘束応力特性 図-7 に、拘束応力の経時変化を示す。拘束応力は、鋼材とコンクリートの力の釣り合いおよびひずみの適合条件に基づく下式より求めている。

$\sigma_c = -P_s/A_c = -(A_s/A_c) \cdot E_s \cdot \varepsilon_s$
ここに、 σ_c : コンクリートの応力（引張を正、圧縮を負）、 P_s : 鋼材に生じる軸力（ $=A_s \cdot E_s \cdot \varepsilon_s$ ）、 A_c : コンクリートの断面積、 A_s : 鋼材の断面積、 E_s : 鋼材のヤング係数、 ε_s : 鋼材のひずみ

また、NE と NP の拘束応力の差の経時変化を図-8 に示す。この拘束応力の差（以下、有効ケミカルプレストレス）は、膨張材によってもたらされた温度応力の低減効果分とみなすことができる。有効ケミカルプレストレスの最大値は、鋼材比 0.7, 1.7, 5.7% に対して、それぞれ約 0.25, 0.45, 0.60 N/mm² を生じ、その大きさは温度降下域においてもほぼ一定値を保っている。すなわち、膨張材の混和によって温度上昇時に生じた圧縮応力の増加分は温度降下後も残存し、引張応力の低減に効果を発揮する。

4. まとめ

線膨張係数が一般の鋼材のおよそ 1/20 であるインバー鋼棒を配した一軸拘束供試体に、マスコンクリートと同様の温度履歴を与える実験を行い、1)インバー鋼棒を埋め込む方法によって温度応力を含む評価が可能であること、2)膨張材の混和によって温度上昇時に生じる圧縮応力の増加分は温度降下後も保持されることを確認した。今後、水和熱抑制型の膨張材の効果について検討を行う予定である。自己発熱による温度履歴を受ける場合についても検証する必要があると考えている。

4. まとめ

線膨張係数が一般の鋼材のおよそ 1/20 であるインバー鋼棒を配した一軸拘束供試体に、マスコンクリートと同様の温度履歴を与える実験を行い、1)インバー鋼棒を埋め込む方法によって温度応力を含む評価が可能であること、2)膨張材の混和によって温度上昇時に生じる圧縮応力の増加分は温度降下後も保持されることを確認した。今後、水和熱抑制型の膨張材の効果について検討を行う予定である。自己発熱による温度履歴を受ける場合についても検証する必要があると考えている。

【参考文献】 1) JCI：マスコンクリートソフト作成委員会報告書，pp.124-126，2003 2) 松本健一ほか：膨張コンクリートの拘束膨張特性に及ぼす養生温度の影響，土木学会第 60 回年次学術講演会集，pp.595-596，2005

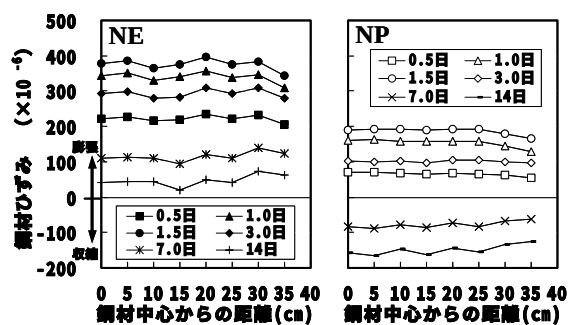


図-3 鋼材中心からの距離と鋼材ひずみの関係

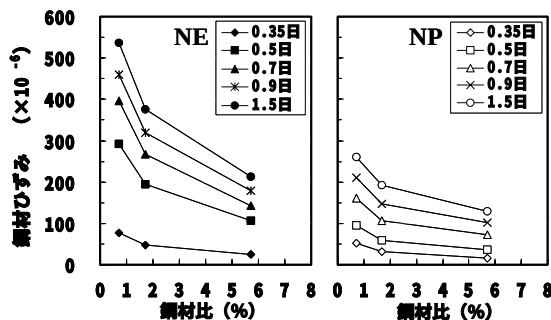


図-5 鋼材ひずみと鋼材比の関係

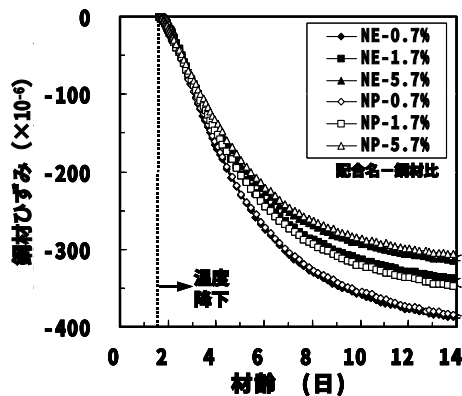


図-6 温度降下域の鋼材ひずみの経時変化

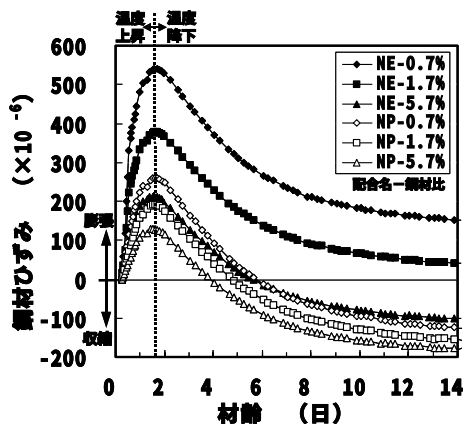


図-4 鋼材ひずみの経時変化

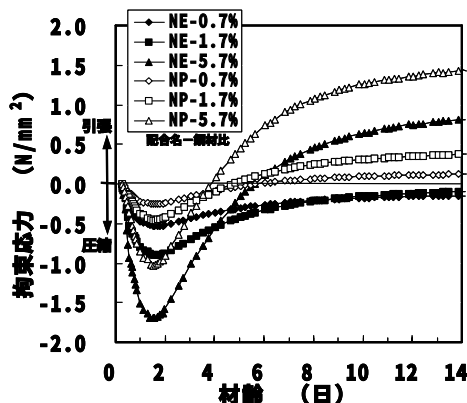


図-7 拘束応力の経時変化

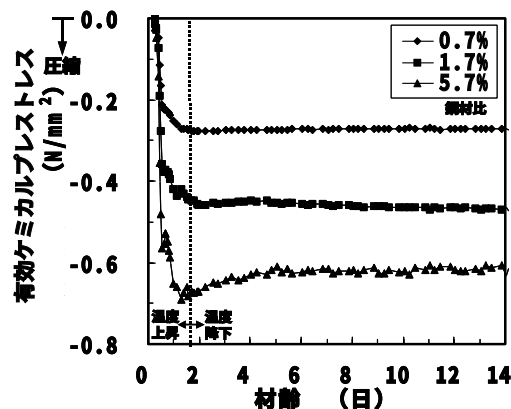


図-8 有効ケミカルプレストレスの経時変化