

高強度コンクリートの自己収縮応力の低減に及ぼす膨張材の効果

太平洋セメント（株） 正会員 ○谷村 充
 同 上 正会員 兵頭彦次
 同 上 正会員 中村秀三

1. はじめに

高強度コンクリートは一般に水結合材比が小さく、自己収縮が顕在化するため、構造部材には施工段階からこの収縮に起因した拘束応力が生じる。その大きさは、部材のひび割れや変形状態に影響を及ぼすものであり、高強度コンクリートの自己収縮の抑制は重要な課題である¹⁾。これまでに、膨張材や収縮低減剤の使用が自己収縮の抑制に効果的であることが明らかとされているが²⁾、これら材料が収縮拘束応力の抑制に及ぼす効果や、その効果に及ぼす養生温度の影響については十分に検討されていない。

本研究では、高強度コンクリートの自己収縮応力の低減に及ぼす膨張材の効果を、収縮低減剤と併用した場合も含めて、2養生温度下(20, 30)において実験的に検討した。

2. 実験概要

2.1. 使用材料および配合

表1に使用材料を、表2にコンクリートの配合を示す。

表1 使用材料

セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度:3.16g/cm ³
膨張材	EX	石灰系, 密度:3.14g/cm ³
細骨材	S	小笠産陸砂, 密度:2.60g/cm ³ , FM:2.84
粗骨材(20mm)	G	岩瀬産砕石, 密度:2.64g/cm ³ , FM:6.61
収縮低減剤	SRA	低級アルコールのアルキルオキシ付加物
高性能減水剤	SP	ポリカルボン酸系

表2 コンクリートの配合

記号	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)					
			W	C	EX	S	G	SRA
NC	30	49.2	175	583	-	794	832	-
NE			175	539	44			-
NS			169	583	-			6
NES			169	539	44			6

水/(セメント+膨張材)比は30%、膨張材の添加率はセメントに対して内割で7.5%(単位量:44kg/m³)の一定とした。収縮低減剤を用いるものは、その添加量を6kg/m³とした。単位水量は175kg/m³の一定とし、収縮低減剤はその一部として添加した。高性能減水剤の添加量は、スランプフローが60±5cmの範囲となるように調整しており、空気量は2%以下とした。

2.2. 供試体および養生

収縮拘束応力を測定する供試体(図1)は、寸法を10×10×150cmとし、各配合・養生温度ごとに1本作製した。埋設した異形棒鋼(呼び名D25)の中央10cm区間は、リブとふしを取り除いてφ22.5±0.5mmの円断面としており、この部分における拘束鉄筋比は約4%である。脱型までの間、コンクリートの自由な変形が型枠に拘束されるのを防ぐための方法は、JCI「コンクリートの自己収縮応力試験方法(案)」³⁾に準拠した。また、圧縮強度測定用の供試体(φ10×20cm)を各配合・養生温度ごとに15本作製した。これら供試体の養生は、養生温度を20あるいは30とし、打込みから脱型までが湿潤養生、材齢約24時間の時点で脱型した後は、その全面をアルミ粘着テープ(厚さ0.05mm)でシールする封緘養生とした。また、JIS A 1147に従ってコンクリートの凝結時間を測定した。

2.3. 測定方法

鉄筋中央位置の上下面に貼付した自己温度補償型のひずみゲージによって鉄筋のひずみを測定し、熱電対を用いて供試体中心部の温度を測定した。材齢1, 3, 7, 28および91日における圧縮強度を、JIS A 1108に従って測定した。

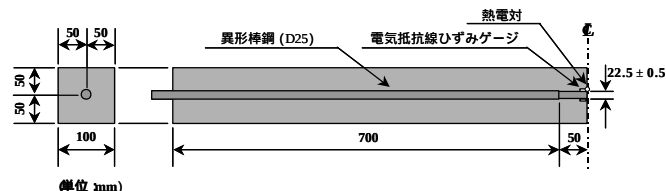


図1 供試体形状・寸法

3. 結果および考察

3.1. 圧縮強度特性

図2に、封緘養生したコンクリートの圧縮強度試験結果を示す。収縮低減剤の添加によって、強度発現の遅れや若干の強度低下が見られたが、材齢28日の時点においては、いずれの場合も約80MPaとなっており、膨張材や収縮低減剤が圧縮強度特性に与える影響は、本研究における使用量の範囲では小さい。

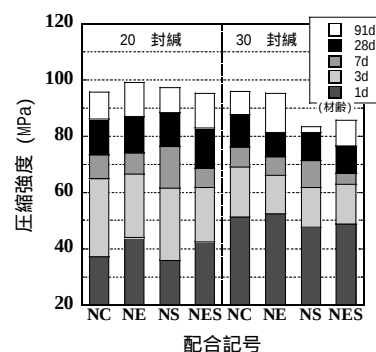


図2 圧縮強度特性

キーワード：高強度コンクリート，自己収縮応力，膨張材，収縮低減剤
 連絡先（千葉県佐倉市大作2-4-2，電話：043-498-3905，FAX：043-498-3890）

3.2. 自己膨張・収縮応力特性

(1) 膨張材の効果

図3に、NCとNEについて拘束応力と材齢の関係を示す。拘束応力は、鉄筋ひずみの平均値を用い、拘束力がコンクリート断面に様に作用するものと仮定し、鉄筋とコンクリートの力の釣り合いから求めている。なお、応力の原点は、凝結の始発時間としており、同図には、凝結の終結時間を併記した。まず、拘束応力の発生時期であるが、膨張材の有無や養生温度に拘わらず、ほぼ終結時点から生じている。無拘束コンクリートのマクロな体積変化が、遅くとも始発時点から始まっていたことより、終結以前においてはクリープによる応力緩和が卓越し、拘束応力が生じなかったものと考えられる。次に、膨張材の効果について、20 養生の場合をみると、NCの自己収縮応力が材齢91日において約1.5MPaであるのに対して、NEの拘束応力は約0.3MPa(NCの約20%)となっており、膨張材の混和によって自己収縮応力が大幅に低減されている。20 と30 養生におけるNCの自己収縮応力を比較すると、30 の場合がその発生時期が早い、長期的には20 の場合が大きくなっており、30 養生の自己収縮応力は材齢91日において約1.1MPaとなった。これに対し、30 養生におけるNEの拘束応力は、材齢1日程度で約0.2MPaの圧縮応力が導入され、その後徐々に引張側に移行するが、材齢91日の時点においても若干の圧縮応力が残留していた。

図4は、NEの拘束応力からNCのそれを差し引くことで求めた膨張材による自己収縮応力の補償量を示す。養生温度に拘わらず、膨張材による自己収縮応力の補償時期は、ベースコンクリートの自己収縮応力の発生が活発な時期と対応している。すなわち、自己収縮の発現が大きい時期において、膨張材が有効に作用しており、自己収縮抑制方法の一つとして、膨張材の使用は合理的であるといえる。20 と30 養生における自己収縮応力の補償量を比較すると、材齢1日程度までの初期において30 の場合が大きく、それ以降の増加割合は、20 の場合が大きい結果である。拘束を受ける膨張コンクリートが有効的な膨張を呈するには、膨張性水和物の生成量と膨張を拘束したときの反力を受け止めるコンクリートマトリックスの強度とが適度にバランスする必要があると考えられ⁴⁾、養生温度20 と30 とでは、このバランスが異なったために、補償効果が相違したものと推察されるが、いずれの養生温度の場合も効果的な膨張が得られている。

(2) 収縮低減剤の効果

図5は、NCとNSについて、拘束応力と材齢の関係を示す。収縮低減剤による自己収縮応力の補償作用は、ベースコンクリートの自己収縮応力の発生にともなって持続的に発揮されており、NCに対するNSの比は、材齢に拘わらず大略85～90%であった。このように、収縮低減剤の作用機構は、膨張材のそれとは異なるものである。

(3) 膨張材と収縮低減剤の併用効果

図6は、膨張材と収縮低減剤を併用したNESの自己収縮応力補償量について、これら材料を単独使用した場合の補償量を単純に重ね合わせることで求めた計算値を、実測値と比較して示す。30 養生における計算値は実測値とほぼ一致しており、20 養生の場合には、材齢1日以降において実測値が計算値よりも若干大きく、相乗作用が生じている。上記したように、膨張材と収縮低減剤ではその作用機構が異なるために、これらを併用した場合も互いの効果が損なわれることなく、個々の効果がほぼ独立して発揮されたものといえる。また、このことは、両材料の併用が収縮ならびに収縮拘束応力の低減に効果的な理由でもある。

4. まとめ

養生温度を20 あるいは30 とした本研究の範囲から、膨張材の使用は自己収縮応力の低減に効果的であること、膨張材と収縮低減剤の併用による自己収縮応力の低減効果は、ほぼ個々の効果を重ね合わせたものになること、などが明らかとなった。今後は、より広範囲な養生条件のもとで検討を行う予定である。

【参考文献】 1)早川智浩ほか：高強度コンクリートラメンの自己収縮応力2次元FEM解析,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.20, No.2, pp.1027-1032, 1998. 2)谷村 充ほか：高強度コンクリートの収縮低減化に関する一検討,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.22, No.2, pp.991-996, 2000. 3)日本コンクリート工学協会：自己収縮研究委員会報告書, pp.199-201, 1996. 4)戸川一夫ほか：膨張コンクリートの拘束膨張特性に及ぼす温度の影響,土木学会論文報告集,第321号, pp.177-187, 1982.

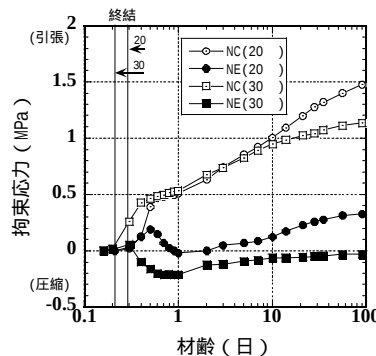


図3 拘束応力の経時変化(NC,NE)

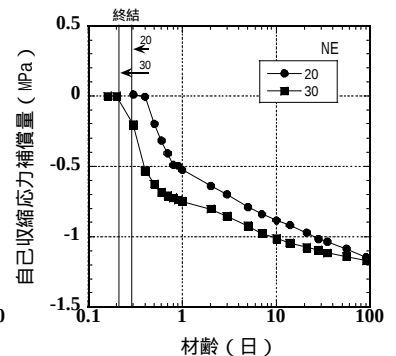


図4 自己収縮応力の補償量(NE)

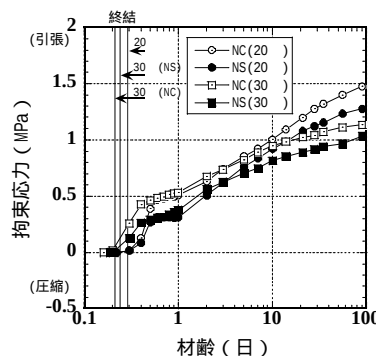


図5 拘束応力の経時変化(NC,NS)

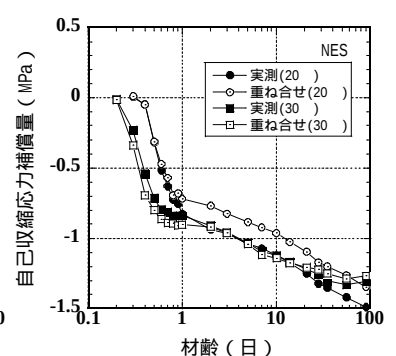


図6 自己収縮応力の補償量(NES)