

九州電力㈱ 総合研究所 正員 ○杉田 英明

" " 清国 三朗

" 土木部 正員 是石 俊文

1. まえがき

膨張性セメント混和材は、我が国においてもコンクリートのひびわれ防止、水密性の向上、ケミカルプレストレスの導入などを目的として使用されるようになってきた。本報告は、ひびわれ防止を目的として、石灰系膨張混和材（小野田エクспан、以下Ex混和材と記す）を用いて施工した、水泳プールのコンクリートに関連して、膨張材の混入率と膨張量との関係を実験し、現場計測を行なうとともに初期膨張特性や、ひびわれ防止効果について検討した結果を報告するものである。

2. 膨張材の混入率と膨張率との関係

2.1 材料 セメントは小野田セメント㈱製普通ポルトランドセメントを使用した。膨張性セメント混和材はEx混和材を使用した。細骨材は菊池川産川砂る、粗骨材は大村産碎石を使用した。混和剤は竹本油脂製の減水剤ニューポールC-500を使用した。これら使用材料の品質を表-1, 2, に示す。

表-1 セメント、混和材の比重、粉末度、化学成分

セメント 混和材 種類	比重	粉末度			化 学 成 分 (%)							合計
		比表面積 (cm^2/g)	88 μ 残 (%)	強熱減量 ($\text{H}_2\text{O loss}$)	不溶残分 (insol)	シリカ (SiO_2)	アルミナ (Al_2O_3)	酸化鉄 (Fe_2O_3)	酸化カルシウム (CaO)	酸化マグネシウム (MgO)	無水硫酸 (SO_3)	
普通ポルトランドセメント	3.18	3,170	1.0	0.4	0.1	22.2	5.4	3.2	65.6	1.1	1.7	99.6
小野田エクспан	3.21	2,050	20.4	0.4	—	13.1	2.9	2.0	76.9	1.1	3.0	99.4

2.2 配合 膨張材の混入率と膨張量との関係を4種類の配合について検討した。配合条件は、設計基準強度 $f_{ck}=180\text{kg}/\text{cm}^2$ 、スランプ=15cm、 $C+Ex=286\text{kg}/\text{m}^3$ 、 $W/C+Ex=64\%$ 、 $a/a_0=48\%$ 、などを一定にしてEx混和率を単位セメント量の内割で、0%、6%、8%および10%に変化させた。

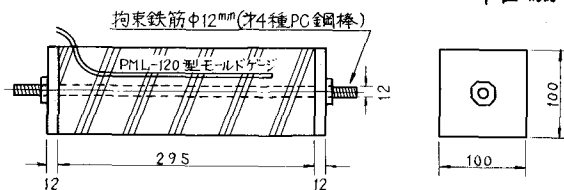
2.3 圧縮強度試験 供試体寸法は $\phi 10 \times 20\text{cm}$ で、無拘束供試体は成形24時間後に脱型し、 20°C 水中で所定材令まで養生した。一方、拘束供試体は成形48時間後、型枠のまま 20°C 水中に5日間浸漬し、材令7日で脱型した後、再び 20°C 水中で材令28日まで養生を行なった。無拘束および拘束供試体は、7日および28日の2材令とした。無拘束供試体の σ_{28} は、 $Ex0=197\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $Ex6=206\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $Ex8=203\text{kg}/\text{cm}^2$ 、および $Ex10=190\text{kg}/\text{cm}^2$ 、また拘束供試体の σ_{28} は、 $Ex0=201\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $Ex6=210\text{kg}/\text{cm}^2$ 、 $Ex8=212\text{kg}/\text{cm}^2$ 、および $Ex10=213\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。拘束供試体における σ_{28} は、 Ex を6~8%混入した場合、 $Ex=0\%$ の普通コンクリートより約5%程度大きく得られた。

2.4 膨張量の計測 図-1に示すP C鋼棒および拘束板からなる拘束装置を $10 \times 10 \times 40\text{cm}$ ビーム型枠内に挿入して $10 \times 10 \times 29.5\text{cm}$ 、拘束鉄筋比1.13%の膨張量計測用供試体を作り、24時間後に脱型し水中養生とした。膨張量は、PML-120型モールドゲ

表-2 骨材の品質

試験項目	骨材種別	
	菊池川砂	大村碎石
粗粒率	2.61	6.73
比重	2.53	2.55
吸水量(%)	2.15	1.89
洗い試験(%)	0.2	1.4
単位容積(重量) (kg/m^3)	1,550	1,450
有機不純物	良	—
実質率(%)	—	57.0
塩分(%)	0.04	—

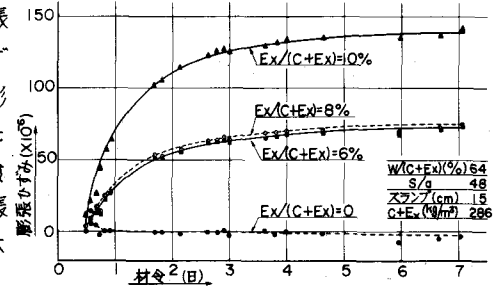
図-1 拘束鉄筋および拘束供試体



ジで成型後1時間毎に、ダイヤルゲージ式長さ変化測定器で24時間以後1日毎に測定した。モールドゲージで測定した供試体成型直後のひずみは、セメントの水和によるバラツキがみられた。しかし、配合によって多少の差異はあるが大体10時間以降は安定した膨張性状を示した。

成型後10時間を基準とし、モールドゲージで測定した膨張材の混入率と膨張量との関係を図-2に示す。ダイヤルゲージ法による測定もほぼ同様の結果であったが、初期の膨張性状を多量、簡便、迅速に計測・解析するためには、モールドゲージ法の方が適している。またExコンフリートは、施工後7日で $70 \sim 130 \times 10^{-6}$ の膨張量となり、ほぼ膨張限界に達し、Ex混入率が多少変わっても同様の傾向を示した。

図-2 膨張材の混入率と膨張率との関係

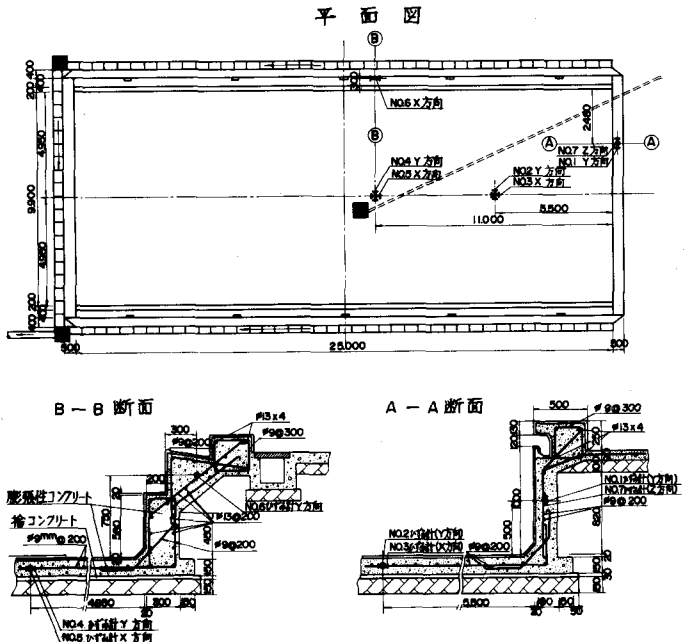


3. 現場計測

3.1 材料 プールに用いた膨張コンクリート（以下Exコンクリートと記す）の諸材料は、2.1に述べたものと同様である。

3.2 構造物の形状と計測位置 プールの形状は図-3に示す。鉄筋比は底版0.212%，側壁鉛直方向および、側壁水平方向は0.177%である。Exコンクリートの膨張性状を把握するため、底版および側壁コンクリートで図-3に示すようにカルソソ型ひずみ計を埋設した。また無拘束状態での膨張性状や、突構造物における拘束ひずみ量を知るため、図-4に示すようなダミー版を設置した。

図-3 ひずみ計埋設位置



3.3 配合

プールに打設したExコンクリートの配合は、表-3に示す配合とした。配合は底版用および側壁用の2種とした。両者の配合条件のうち、 $f_{ck}=80 \text{ kg/cm}^2$ ， $W/C+Ex=64\%$ ， $S/g=48\%$ ， $Ex/C+Ex=8\%$ は同一であるが、スランプは底版用を15cm，側壁用を18cmとした。またダミー版の配合は底版用と同一とした。

3.4 施工および養生

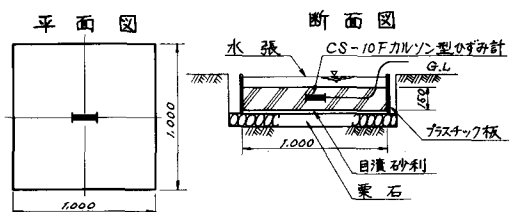
コンクリートは生コンプラントで製造され、アジテータトラックで約15分で運搬され、コンクリートポンプで打設された。施工は、昭和48年6月14日（底版部）22日（側壁部）である。打設後の養生は必ずしも十分ではなかった。

3.5 計測結果

1)品質管理試験ならびに強度試験結果

アジテータトラックからコンクリートポン

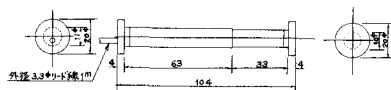
図-4 ダミー版



正さを検討するため、初期膨張特性を更に詳細に実験した。

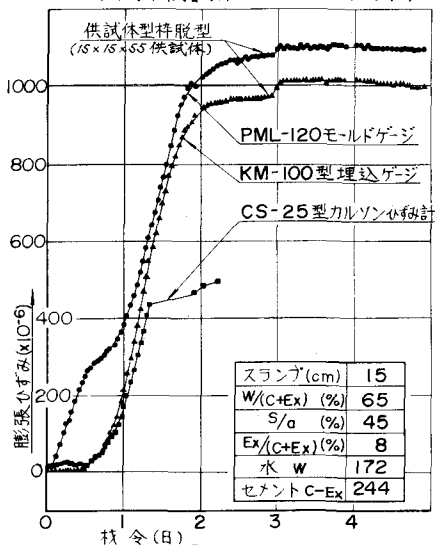
4.1 配合 膨張コンクリートの配合の主要目は図-7に示すとおりである。

図-6 KM-100型埋込ゲージ



4.2 計測 供試体の寸法は、 $15 \times 15 \times 55 \text{ cm}$ で、自由膨張ひずみを成型直後から5日まで詳細に計測した。計測器は、CS-25、カールソン型ひずみ計、PML-120型モールドゲージおよび、KM-100型埋込ゲージ(図-6に示す。東京測器株式会社・特許出願中・防水・温度補償型)の3種を用いた。計測結果を図-7に示す。図7からみて、3種類の計器のうち、KM-100型埋込ゲージによる計測結果は、ほとんど水和熱などの影響を受けず、成型後11時間で 5×10^{-6} の膨張量を記録した後急速に膨張し、材令2日で 950×10^{-6} に達するまで、スムーズな膨張性状を記録した。このことから、膨張量測定の基本時点はコンクリート打設後10時間程度とするのが適当であると考えられる。またこの結果は2.4における計測結果ともよく適合するものと思われる。

図-7 KM-100型埋込ゲージなどによる無拘束供試体の初期膨張ひずみ



5. むすび

石灰系膨張混和材を用いたコンクリートに関する以上の実験・計測の範囲においてつぎのことが認められるようである。

1) 膨張コンクリートは施工後7日程度でほぼ全膨張量に達し、膨張材の混和率が多少変わっても同様の傾向を示す。
2) 膨張量測定の基本時点はコンクリート打設後10時間程度とするのが適当であると考えられる。

3) 拘束鉄筋比0.21%, $\alpha_k = 180 \text{ kg/cm}^2$ 程度の底板あるいは壁体コンクリートに8%の膨張混和材を用いたとき、 1.3×10^{-4} 程度の乾燥収縮に対してはひびわれ防止効果を期待できると考えられる。

4) 膨張量の測定に用いる計器として、KM-100型埋込ゲージは適当なものと考えられる。

おわりに本研究を実施するにあたり、終始御指導御協力を賜りました諫早市役所諸岡泰利氏、小野田セメント(株)河野俊夫氏、中野昌之氏、大杉啓典氏、諫早小野田レミコン(株)北條康夫氏、宮永仁司氏、その他多くの関係各位に心から感謝申し上げます。

参考文献

中野昌之氏; 石灰系膨張材を混和したモルタル・コンクリートの一般性状について、セメント技術年報S.47.
内司唱外; 膨張材を用いたコンクリートの初期膨張特性、土木学会28周年次講演会概要集S.48.

表-3 コンクリートの配合

(B): base (W): wall

配合種別	粗骨材 の最大 寸法 (mm)	水セメン ト比 W/C+Ex (%)	細骨材率 S/a (%)	エクスバ ン混入率 E/C+Ex (%)	スランブ の範囲 (cm)	空気量 の範囲 (%)	単 位 量 (kg/m³)						
							セメント C	エクスバ ン Ex	セメント+ エクスバ ン C+Ex	水 W	細骨材 S	粗骨材 G	チュボール C-500
普通コンクリート	25	64	48	0	18±2	4±1	300	0	300	192	818	893	0.12
Exコンクリート(B)	25	64	48	8	15±2	4±1	263	23	286	183	834	911	0.11
〃 (W)	25	64	48	8	18±2	4±1	276	24	300	192	818	893	0.12

表-4 コンクリート試験成績

配合種別	スランブ (cm)	空気量 (%)	単位重量 (kg/cm ³)			圧縮強度 (kg/cm ²)			引張強度 (kg/cm ²)			弾性係数 (x10 ⁴ kg/cm ²)		
			7日	28日	91日	7日	28日	91日	7日	28日	91日	7日	28日	91日
普通コンクリート	18.2	3.6	2,160	2,084	2,115	127	183	201	12.4	18.8	18.5	1.56	1.53	1.75
Exコンクリート(B)	14.0	4.2	2,175	2,091	2,159	127	194	212	14.6	18.8	19.1	1.76	1.63	1.93
〃 (W)	18.4	4.0	2,187	2,099	2,135	137	189	209	14.9	20.6	20.4	1.82	1.60	1.98

ブに排出するとき、スランブ・空気量試験を行ない、同時に強度試験供試体を作成した。供試体寸法はφ10×20 cmとした。養生方法は、供試体成型後7日間屋外拘束養生（最初の24時間には現場設置）し、7日で脱型し、さらに所定材令まで屋外養生を継続した。なおExコンクリートの強度弾性特性を判断する意味から、側壁用コンクリートと同一条件の普通コンクリート配合を設計し、同様に試験した。Exコンクリートの試験結果は表-4に示すとおりで、スランブ・空気量ともに設計の範囲内にあり、その品質は、普通コンクリートの値と同等、あるいはそれ以上であると考えられる。

2) 膨張ひずみ量の計測 底版 (NO.2, 3, 4, 5) およびダミー版 (NO.8) における膨張ひずみ計測結果を図-5に示す。材令28日では、ダミー版の自由膨張量はほぼ 190×10^{-6} に達した。底版コンクリートおよび側壁コンクリートにおける拘束膨張量は、ほぼ 125×10^{-6} に達した。この値からコンクリートのセルフプレストレス量を1式から試算すると、ほぼ 0.6 kg/cm^2 であり、このとき補償されているコンクリートの収縮量は約 1.3×10^{-6} 程度と考えられる。

$$P_t = E_s \cdot E_s \cdot A_s / A_c \text{ ----- (1)}$$

P_t : 鉄筋のセルフストレス (kg/cm^2)

E_s : 鉄筋のひずみ ($\times 10^{-6}$)

E_s : 鉄筋のヤング係数 ($2.10 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$)

A_s : 鉄筋の断面積 (cm^2)

A_c : コンクリートの断面積 (cm^2)

一般にコンクリートの乾燥収縮量と伸び能力との差は $0 \sim 3.5 \times 10^{-6}$ 程度といわれているので、本ブールの膨張コンクリートにおいては普通程度の乾燥収縮を受ける範囲内では、ひびわれ防止効果を発揮するであろうと考えられる。

4. 初期膨張特性

従来膨張量測定のための基長は、材令1日をとっている場合が多い。しかし、2.4における計測結果をみると、材令1日では、膨張ひずみは既に $25 \sim 70 \times 10^{-6}$ 程度に達している。そこで材令1日を基長とすることの適

図-5 カルソナジミ計による現場コンクリートの温度と膨張ひずみ

