

膨張コンクリートの拘束条件と膨張特性との関係

知歌山工業高等専門学校 正会員 ○戸川一夫

同上

正会員 中本純次

1. まえがき： 本研究は軸方向ならびに軸直角方向の拘束量を変えた拘束膨張コンクリートの膨張、収縮特性を究明し、さらにそれらの特性を供試体に埋込んだペーストのX線回折結果、示差熱重量分析結果、ポロミター測定結果ならびにコンクリートの重量測定結果と関連づけて考察したものである。

2. 実験概要： セメントは普通ポルトランドセメント、細骨材は川砂、粗骨材は最大寸法20mmの硬質砂岩碎石を使用した。膨張材はCSA(電気化学工業K.K製)とエクспан(小野田セメントK.K製)を用いた。コンクリートの配合を表-1に示す。なお、単位膨張材量はCSAで60kg/m³、エクспанで55kg/m³である。供試体の形状寸法を図-1に示す。軸方向拘束にはφ11mmあるいはφ19mmのPC鋼棒(C種1号, SBPR 11/25, $E_s = 2.04 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2$, 高岡波熱錬K.K製)を用いた。軸直角方向の拘束には外径89mm、肉厚2.9mm、巾10mmのステールリングを用いた。軸直角方向拘束量を変化させるためにステールリングの使用数を変えた。長さ変化の測定はPC鋼棒に貼付した電気抵抗線ひずみゲージによる。供試体の養生方法については、打込み直後から材令1日まで、供試体をぬれ布とビニールシートでつつみ、脱型後材令14日まで水中養生(20±2℃)し、材令14日以後は気中養生(20±2℃, R.H 50%)を続けた。

3. 結果と考察： CSAコンクリート、エクспан

コンクリートおよび普通コンクリートの水中養生時の最大膨張量(材令5日から最大に達する)、材令100日での収縮量(最大膨張からの)ならびに重量測定結果を表-2に示す。両膨張コンクリートの軸方向膨張量は軸直角方向の拘束量が変わってもほぼ

同量えられることがわかった。また、収縮量も軸直角方向の拘束量が変わってもほとんど差がなかった。普通コンクリートの収縮量は膨張コンクリートとくらべて10~20%程度大きい。重量変化をみると、水中養生中は膨張コンクリートの重量増加が普通コンクリートより若干多く、気中養生に移すと、膨張コンクリートの重量減が普通コンクリートより少なかった。この結果は以下に述べるように、膨張コンクリートには結合水を多くとる非結晶性のエトリンガイトが多く生成されるためと考えられる。表-3には供試体中に埋込んだペーストのX線回折、エトリンガイトの示差熱重量分析およびポロミター測定結果を示す。示差熱重量分析結果から両膨張セメントペースト中のエトリンガイトの脱水量をみると、エトリンガイトは水中養生中材令の経過とともに増加し、気中養生に移しても残存していることがわかる。普通コンクリートでは示差熱分析によって検出されるエトリンガイトはまったくえられぬ。また、X線回折によって検出される結晶性のエトリンガイトは、膨張コンクリートでは材令1日で最高量検出され、以後水中養生中でも減らず、気中養生

表-1 コンクリートの配合

C+E (kg/m ³)	W (kg/m ³)	W/C+E (%)	S/G (%)	S (kg/m ³)	G (kg/m ³)
400	180	45	43	732	1002

E: 単位膨張材量

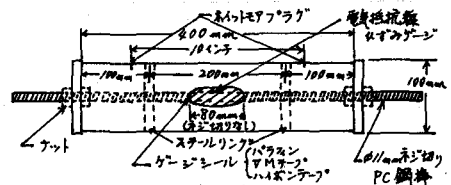


図-1. 供試体

に移すと消失してしまふ。普通コンクリートでは材令1日では検出されるが以後の材令では消失する。したがって、膨張コンクリートの膨張には非結晶性のエトリンガイトが寄与していると考えられる。ポロシター測定結果から、両膨張コンクリートは普通コンクリートに比べて、いつの材令でも全ポロシター量は多いことがわかる。膨張コンクリートの細孔径分布は普通コンクリートのそれと比べて、材令初期には300Å(118Å以下も)以下の細孔量が少なく、300Å以上の細孔量が多くなっており、膨張すると300Å以上の荒い細孔量が増加することが明らかになった。膨張コンクリートの300Å以下の細孔量は材令の経過とともに増加し、300Å以上の細孔量は材令とともに減少する。普通コンクリートの300Å以下の細孔量は材令に関係なくほぼ一定量存在し、300Å以上の細孔量は材令とともに減少する。膨張コンクリートの細孔径分布は普通コンクリートのそれと比べて、常に300Å(118Å以下も)以下の細孔量が少なく、300Å以上の細孔量が多いことが特徴である。したがって、細孔径が細いほどそこから水分が逸散したときの収縮力は大きいこと、さらには重量減少特性と考え合えると、膨張コンクリートは普通コンクリートより乾燥収縮量が小さくなったことがうなづける。両膨張コンクリートの軸直角方向の拘束量を変えても膨張量および乾燥収縮量はほぼ同じであるが、軸直角方向の拘束量が多いと全ポロシター量は少なくなっている。この結果から、膨張コンクリート中につくられる空隙の形状は拘束圧の大きさに応じて変わり、たとえば拘束圧の弱い方向に細長くなるといった異方性を呈すると考えている。また、非結晶性のエトリンガイトの生成形態はたとえば立体的なラス状と考えられ、空隙はトラスの空間に匹敵し、トラスの骨格は生成時に硬化体をくさびのようにおしひろげていくと想像する。また、軸直角方向の拘束量が多くなると、非結晶性のエトリンガイトの生成量は変わらないが、結晶性のエトリンガイトの検出量は減少し、結晶性のエトリンガイトは拘束圧が大きくなるほど非晶質化し易いことがわかる。

謝 辞：本研究を行なうにあたり、種々ご教授下さいました京都大学岡田教授、岐阜大学小柳教授、実験にご協力下さいた大阪セメント研究所の諸氏に深謝いたします。

表-2 膨張・収縮・重量測定結果

コンクリート種類	測定時期	リッヂ数	膨張収縮率(%)		重量増減(%)	
			最大膨張量	収縮量	最大重量増加	重量減少(100%)
CSA	φ11mm	0	4.95	6.15	6.0	1.80
		1	5.00	6.20	6.4	1.81
		2	5.40	6.10	6.4	1.80
		3	4.75	5.75	6.2	1.82
		5	5.00	5.90	8.3	1.79
CSA	φ19mm	0	3.50	3.80	7.5	2.19
		1	2.80	3.80	7.2	2.07
		2	3.50	3.80	7.8	2.14
		5	4.00	4.05	6.5	2.05
		11	3.35	3.45	6.8	2.06
Eマシ	φ11mm	0	4.25	5.50	5.5	2.23
		1	4.30	5.90	5.8	1.94
		2	4.70	5.80	6.5	2.05
		3	4.80	5.80	5.5	2.02
		5	4.70	5.70	6.7	1.93
普通	φ11mm	2	7.0	7.05	6.0	3.02

表-3 X線回折・示差熱重量分析・空隙量測定結果

コンクリート種類 リッヂ数 材令	X線回折結果		H ₂ O・H ₂ O ₂ 量 (%)	細孔量(%)			
	SiO ₂ ・H ₂ O ₂ (%)	Ca(OH) ₂ (%)		水	16~118Å	118~300Å	300Å~ 全空隙量
N-2-1	8	18.0 _{wt}	0	4.9	14.5	37.4	53.5
N-2-3	0	17.7 _{wt}	0	4.3	13.9	22.6	36.6
N-2-10	0	17.3 _{wt}	0	4.4	14.6	13.3	33.8
N-2-100	0	18.5 _{wt}	0	4.4	15.0	10.7	25.7
C-2-1	37	18.5	3.7	3.4	7.4	57.6	65.0
C-2-3	31	13.8	3.8	3.4	8.6	32.4	43.0
C-2-10	13	14.4	5.5	3.8	9.9	30.1	40.0
C-2-100	0	17.8	5.2	3.7	9.3	18.6	27.9
C-5-1	27	18.4 _{wt}	2.8	2.3	6.3	52.3	58.6
C-5-3	17	14.6	2.8	2.9	8.0	30.6	38.6
C-5-10	12	16.7	5.3	3.5	8.7	26.0	34.7
C-5-100	0	15.5 _{wt}	5.2	3.8	11.5	9.5	21.0
E-2-1	23	17.1	2.7	2.4	8.1	69.2	77.3
E-2-3	13	14.9	3.8	2.8	9.6	45.0	54.6
E-2-10	11	18.2 _{wt}	6.0	3.2	12.3	32.6	44.9
E-2-100	0	16.2	6.3	3.8	11.4	21.3	33.7
E-5-1	16	19.1	2.7	1.2	6.7	68.2	74.9
E-5-3	10	14.9	3.5	2.1	9.6	43.0	52.6
E-5-10	8	18.2 _{wt}	5.0	2.9	11.8	23.9	35.7
E-5-100	0	15.5 _{wt}	5.0	4.0	14.0	9.0	23.0

N: 普通コンクリート C: CSAコンクリート E: エマシコンクリート