

九州電力(株)総合研究所

楠元 孝夫

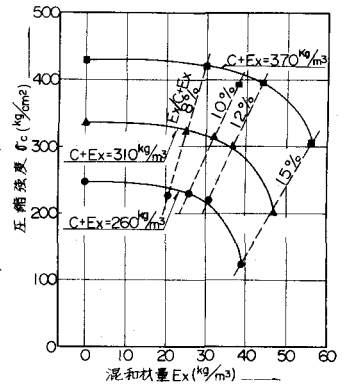
正員 ○杉田 英明

1. まえがき

近年、膨張性セメント混和材を用いたコンクリート(膨張コンクリート)は、その膨張特性を応用してコンクリート構造物のひびわれ防止、あるいは特殊構造物の填充コンクリートなどへの利用が極めて多くみられるようになった。一般に膨張コンクリートの膨張性状および力学的性状はセメント・混和材の種類、配合、養生方法拘束状態などの相互的作用に大きく影響されるものと考えられる。したがって本報告は、普通ポルトランドセメントと小野田エクスパンを用い、単位セメント量、混和材率、拘束状態などを变化した場合の膨張および乾燥による収縮、強度、弾性等の性状変化、ならびに三軸拘束下における初期材令の膨張圧力などについて実験的検討を行なったものである。

図-1 混和材の混入量と圧縮強度

(材令28日)



2. 使用材料

セメント;普通ポルトランドセメント(小野田社) 混和材;小野田エクスパン(Ex), 混和剤;ボゾリスN0.8, 細骨材;海砂(比重2.58, FM, 3.19)と山砂(比重2.61, FM, 1.31)とを65:35の割合で混合したもの, 粗骨材;玄武岩碎石(最大寸法20^{mm}, 比重2.86, FM 6.87)を使用した。

3. コンクリートの配合

表-2に示すように単位セメント量(C+Ex)を260, 310, 370^{kg}とし各々Exの混入率(Ex/C+Ex)を0, 8, 12, 15%とした。

4. 強度および弾性性状

供試体はφ10×H20^{cm}の型枠を用いて作製し、24時間後に脱型して無拘束の状態で所定材令まで水中養生(21±2℃)を行なった。配合別の各材令における圧縮強度、引張強度、および圧縮強度の1/3点における静弾性係数を表-1に示す。無拘束供試体の圧縮強度は、図-1に示すように単位混和材料を増すと低下し、混和材率が15%では着しい低下を示している。引張強度、および静弾性係数についてもほ

表-1 コンクリートの配合および試験成績表

配合種別	水セメント比 W/C Ex (%)	細骨材 S/a (%)	青 率	単 位 量 (kg/m³)							スラブ空気量 測定値測定値の温度 (%)	コンクリート 測定値測定値の温度 (℃)	圧 縮 強 度 (kg/cm²)			引 張 強 度 (kg/cm²)			静弾性係数 (X10 ⁵ kg/cm²)		
				水	セメント	エクスパン	細骨材	粗骨材	混和剤 ボゾリス N0.8(X0.5)	7 日			28 日	91 日	7 日	28 日	91 日	7 日	28 日		
				W	C	Ex	C+Ex														
A	00	65.4	47.7	170	260	0	260	863	1,037	65.0	17.6	5.4	18.0	178	245	284	17.8	23.2	26.5	2.33	2.56
	08	-	-	-	239	21	260	862	1,037	65.0	18.0	5.6	21.0	149	227	264	17.3	23.8	26.0	2.38	2.63
	10	-	-	-	234	26	260	863	1,037	65.0	18.2	5.4	18.0	159	226	268	16.3	23.0	27.8	2.26	2.46
	12	-	-	-	229	31	260	864	1,037	65.0	17.5	5.6	22.4	151	217	269	16.6	24.3	28.4	2.17	2.55
	15	-	-	-	221	39	260	863	1,037	65.0	18.6	4.7	19.5	72	123	130	8.6	11.4	11.8	1.08	2.04
B	00	53.7	45.5	167	331	0	310	808	1,061	77.5	18.3	5.3	20.0	227	335	392	20.2	32.0	29.6	2.50	2.89
	08	-	-	-	285	25	310	808	1,061	77.5	18.3	5.6	21.0	213	322	356	18.6	26.0	28.9	2.57	2.84
	10	-	-	-	279	31	310	806	1,063	77.5	18.5	5.0	16.0	207	314	367	21.3	28.8	30.2	2.44	2.77
	12	-	-	-	273	37	310	808	1,061	77.5	17.8	5.4	21.6	217	301	353	22.5	28.2	30.2	2.42	2.81
	15	-	-	-	263	47	310	808	1,048	77.5	18.2	5.2	19.6	122	202	221	13.0	19.1	19.8	1.65	2.36
C	00	45.5	44.8	165	370	0	370	776	1,048	92.5	17.3	5.4	20.5	305	428	494	26.0	31.2	33.8	2.66	3.01
	08	-	-	-	340	30	370	776	1,048	92.5	17.0	5.2	21.1	286	420	486	27.7	32.3	33.1	2.55	3.09
	10	-	-	-	333	37	370	776	1,048	92.5	18.3	5.1	18.0	290	390	470	26.7	29.2	32.1	2.70	2.84
	12	-	-	-	326	44	370	776	1,048	92.5	17.2	6.0	24.0	280	394	452	25.6	28.7	31.0	2.54	2.92
	15	-	-	-	314	56	370	776	1,048	92.5	17.1	5.4	22.0	223	308	351	19.7	27.6	29.4	2.29	2.80

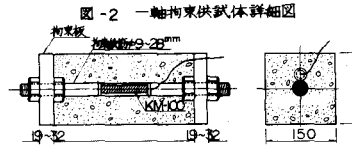
ほぼ同じ傾向が認められる。

5. 膨張および乾燥収縮の性状

5.1 試験方法；(1) 拘束供試体は表-2に示す各種拘束鉄筋と拘束板とを図-2に示すように拘束板間隔を30cmに組立、15×15×30cmの

表-2 供試体の拘束装置の詳細

拘束方法	拘束鉄筋比 (%)	拘束鉄筋の直径 (mm)	拘束板の厚さ (mm)
無拘束	0	—	—
鉄筋拘束	0.28	9	19
	0.89	16	22
	1.68	22	28
	2.74	28	32



のビーム型枠内に挿入してコンクリートを打込んだ。無拘束供試体についても拘束供試体と同様、ビーム型枠を用いて15×15×30cmの形状に作製した。(2) 養生方法は無拘束供試体の場合、作製して24時間後に脱型し、拘束供試体は型枠のまま21℃の水中に養生した。膨張がほぼ最大となる材令7日で拘束供試体の型枠を外し、21℃、65% R.H.の室内乾燥養生に移した。(3) 膨張および乾燥収縮の測定は、図-2に示すようにKM-100型埋込みゲージ(東京測器製)を埋設し、コンクリート打込み直後からのひずみをデジタルひずみ測定器によって測定した。

5.2 膨張および収縮性状；各材令における膨張および収縮ひずみは、B-12配合の場合を示すと図-3のようになり、Exの主成分である酸化カルシウムの水和作用によって、ほぼ8時間後から膨張が始まり材令6～7日で最大に達するが、その値は拘束の程度によって大きく変化することが認められる。また材令7日以降を乾燥養生した場合、ほぼ200日で終極に達する。この場合普通コンクリートでは -5×10^{-4} 、膨張コンクリートでは拘束した場合 $-1.2 \sim -2.7 \times 10^{-4}$ 程度である。

5.3 最大膨張ひずみ；図-4は単位セメント量が260, 310, 370Kgの場合について、混和材率と最大膨張ひずみとの関係を示したものである。膨張ひずみは単位セメント量がいずれの場合も、混和材率を増すと、また拘束比が小さくなると大きくなり、混和材率が15%の場合は著しい増加が認められる。単位混和材量が一定で単位セメント量が異なる場合単位セメント量を増すと、鉄筋比が大きい場合膨張ひずみも大きく、また鉄筋比が小さい場合は膨張ひずみも小さくなっている。

5.4 ケミカルストレス；膨張コンクリートの膨張を拘束するとその反力でコンクリート内部に圧縮力を与えるストレスが残留する。これを一般にケミカルストレスと言われており次の理論式から求められる。

$$\sigma_{PC} = E_s \cdot \epsilon_s \cdot P \text{ ----- (1)}$$

ここに σ_{PC} ；ケミカルストレス (Kg/cm²)

E_s ；鉄筋ひずみ

E_s ；鉄筋のヤング係数 (Kg/cm²)

P；鉄筋比 A_s/A_c

図-5は、 E_s を 2.1×10^6 Kg/cm²とし、 ϵ_s にはコンクリートのひずみ測定値を用いて、図-3に示す拘束供試体の各材令におけるひずみからケミカルストレス量を(1)式より求め、その変化を示したものである。この図より拘束鉄筋が大きくなると拘束力が増し、ケミカルストレス量は増大することが分る。材令7日以降を乾燥養生に

図-3 コンクリートの膨張および乾燥養生による収縮の概

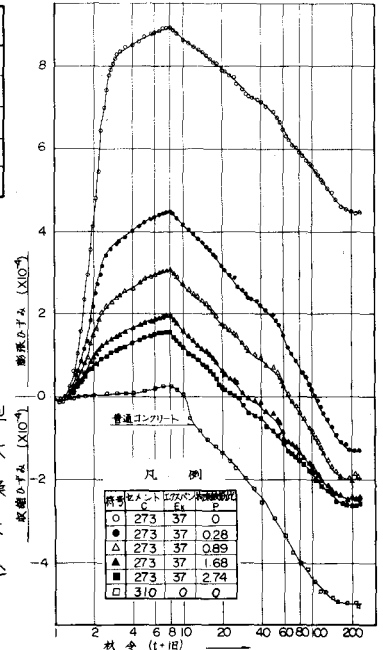
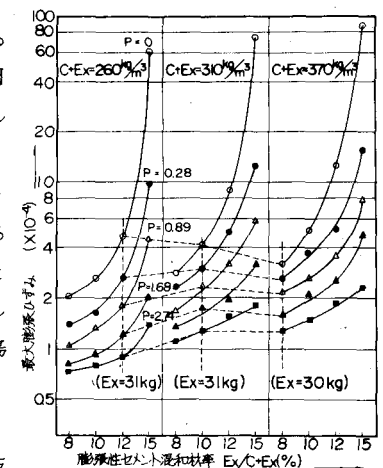


図-4 膨張性セメント混和材率と最大膨張ひずみ



移行した場合、乾燥収縮によってストレスは材令と共に漸次消失して減少する。ストレスの減少は鉄筋比が大きい程大きく、鉄筋比が小さい程ストレスは長期にわたって残留することが認められる。

6. 初期材令における膨張圧

6.1 試験方法；膨張コンクリートの膨張圧に関する試験は、これまでいろいろな方法で行なわれているが、本実験では膨張コンクリートの膨張ひずみを水圧で拘束し、その拘束水圧の変化を測定しこれを膨張圧とした。供試体は銅板製型枠（ $\phi 20\text{cm}$, $H 25\text{cm}$, $t 0.3\text{mm}$ ）の中心部にKM-100型埋込ゲージを取付け、これにコンクリートを打込み直ちに蓋をハンダ付けして完全に密封とした。供試体を図-6に示すように圧力容器内にセットし、膨張が始まると同時に水圧を加えた。拘束水圧は常に膨張圧と同じかもしくは僅かに上回る程度に、すなわち埋込ゲージのひずみが $0 \sim 5 \times 10^{-6}$ の範囲にあるように水圧を調整した。また拘束供試体と同じ要領で作製した無拘束供試体についても同時に膨張ひずみを測定した。

6.2 無拘束膨張と膨張圧；図-6は単位セメント量が 310kg （ $Ex = 50\text{kg/m}^3$ ）、水セメント比54%の膨張コンクリートについて行なった無拘束供試体の膨張ひずみ、および拘束供試体のひずみと膨張圧などの関係を示したものである。この図から無拘束供試体は7時間後から膨張が始まり、時間と共に膨張は増大し、19時間後では 13×10^{-4} のひずみが生じている。一方、三軸拘束供試体の膨張圧は無拘束供試体の膨張ひずみにはほぼ比例して増大し、19時間後で 45kg/cm^2 に達している。三軸拘束供試体の膨張性状をみると拘束圧を 45kg/cm^2 で停止した以降において図のように膨張ひずみが生じている。

7. あとがき

膨張性セメント混和材 Ex を用いた膨張コンクリートについて実験した結果を要約すると次の通りである。

(1) Ex の混入率が単位セメント量の8~12%の範囲においては、比効的に強度の低下は小さいが、12%以上では強度その他諸性状が著しく低下する。(2) Ex コンクリートの最大膨張は単位セメント量が一定の場合はEx量がほぼ比例して増減する。またExが一定量の場合は単位セメント量、拘束鉄筋比などによって差異が認められるがこれは自己拘束や膨張圧の影響によるものと考える。(3) 一軸拘束によって導入されたケミカルストレスはコンクリートの乾燥収縮によって消失する。鉄筋比が大きい程ストレスの消失も大きく、むしろ鉄筋比の小さい場合に残留ストレスは大きい。(4) 三軸拘束した場合、膨張圧は著しく増大一軸拘束の場合の15~20倍程度に相当するようである。

おわりに本実験を遂行するにあたって終始御指導と御協力を頂きました小野田セメント(株)中央研究所 河野俊夫氏、当社日向電力所 是石俊文氏に心から感謝の意を表します。

参考文献 (1) 土木学会 膨張性セメント混和材を用いたコンクリートに関するシンポジウム 1974.10

(2) 杉田、清国、是石 膨張材を用いたコンクリートの初期膨張特性ならびに実構造物における計測について 土木学会西部支部 1973年度

図-5 膨張コンクリートのケミカルストレス量

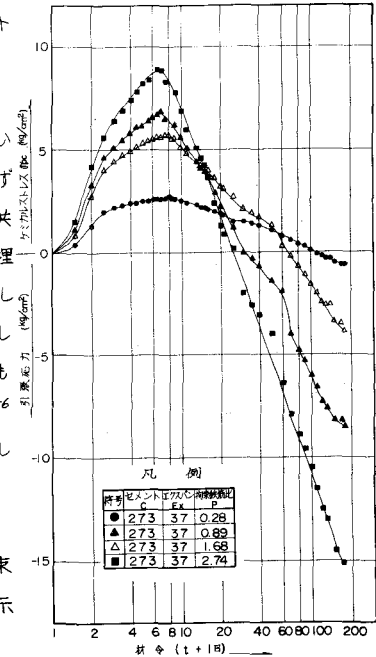


図-6 膨張コンクリートの無拘束と三軸拘束下における初期性状

