

福岡大学 工学部 正会員 大和 竹史
九州電力(株)総合研究所 " ○ 杉田 英明

1. まえがき

原子力発電所の建設に使用されるコンクリートは、高強度（設計基準強度 $420\text{kg}/\text{cm}^2$ 程度）であること、水和熱が低いこと、乾燥収縮及びクリープが小さいことなどの性能が要求される。本報告は、これらのコンクリートを対象として行った一連試験のうち、とくに乾燥収縮とクリープ性状について検討したものである。

2. 使用材料

セメントは、日本セメント(株)製の中磨熟ポルトランドセメント（比重 3.18, プレーン $3,260\text{cm}^2/\text{g}$ ）と、フライアッシュセメント B 種（比重 3.06, プレーン $3,390\text{cm}^2/\text{g}$ ）及び中磨熟ポルトランドセメントに、九電大村火力産のフライアッシュ（比重 2.30, プレーン $3,450\text{cm}^2/\text{g}$ ）を、内割で 20% 混入したもの（以下中磨熟フライアッシュセメントと仮称）の 3 種を使用した。骨材は、細骨材として奈多産海砂、伊万里波多津産の玄武岩を原石とした砕砂及び両者の混合砂（砕砂 30%）の 3 種、また粗骨材として、波多津産の玄武岩砕石 2005 を使用した。骨材の品質は表 1 に示すとおりである。また混和剤は、ボゾリス物産(株)製のボゾリス Nq8 及び AE 補助剤 303A を使用した。

3. コンクリートの配合

コンクリートの配合は、水・セメント比 45%, スランプ 10 cm、空気量 4% とし、試し練りによって表-2 に示すように決定した。

4. 供試体の製作及び養生

乾燥収縮用供試体は、 $15\text{cm} \times 15\text{cm} \times 25\text{cm}$ の形状とし、各配合について 3 本作製した。養生方法は、材令 28 日まで 20°C の水中で養生した後、 20°C 、湿度 50% の恒温室に移して乾燥養生を行った。

クリープ用供試体は、水分の蒸発による乾燥

を防ぐため、銅板型枠（ $t 0.3\text{mm} \times \phi 15\text{cm} \times L 60\text{cm}$ ）の中に直接コンクリートを打込み、24 時間後にベーストキャッピングを行い、硬化した後にキャップをかぶせ、周囲をハンダ付けして密封した。養生は、 20°C の恒温室で行った。

5. 試験方法

乾燥収縮は、乾燥養生開始から 1 年間のひずみを測定した。ひずみ測定は、供試体中心部に埋設した KM-100 型ひずみ計によって行った。

クリープ試験は、細骨材及びセメントの種類別のほかに、試験時の温度を 20°C 、 40°C 、 60°C 、載荷材令を 3 か月、6 か月、1 年の計 12 ケースについて行った。なお、一定持続荷重は $100\text{kg}/\text{cm}^2$ とした。クリープひずみの測定は、供試体中心部に埋設したカルソン型ひずみ計、または、KM-200T 型ひずみ計によって行った。

6. 試験結果と考察

表-1 骨材の品質

試験項目	海砂	砕砂	砕石 2005
比重	2.57	2.76	2.78
乾燥	2.54	2.70	2.72
吸水率 (%)	1.42	2.20	2.09
吸水試験 (%)	1.86	1.94	2.04
単位容積重量 (kg/m^3)	1.59	1.64	1.64
貫入率 (%)	62.7	60.7	60.1
飽和率 (%)	2.46	2.78	6.65

表-2 コンクリートの配合

配合 番号	セメント の種類	細骨材 の種類	スランプ (mm)	空気量 (%)	水・セメント比 (%)	単位容積重量 (kg/m^3)						
						水	セメント	フライ アッシュ	細骨材	粗骨材	混和剤	
I	A 中磨熟 ポルトランド セメント	海砂	10	4	45	38.5	164	364	—	675	1166	3.64 Ag
	B 中磨熟 ポルトランド セメント	混合砂				39.0	167	371	—	693	1146	3.71 Ag
	C 中磨熟 ポルトランド セメント	砕砂				42.0	181	402	—	757	1053	4.02 Ag
II	D フライアッシュ セメント	海砂	10	4	45	39.0	171	380	—	664	1123	3.80 Ag
	E フライアッシュ セメント	混合砂				39.5	172	382	—	687	1112	3.82 Ag
	F フライアッシュ セメント	砕砂				42.0	186	413	—	737	1025	4.13 Ag
III	G 中磨熟 ポルトランド セメント	海砂	10	4	45	39.0	152	271	67	696	1177	3.38 Ag
	H 中磨熟 ポルトランド セメント	混合砂				41.0	155	275	69	743	1130	3.44 Ag
	I 中磨熟 ポルトランド セメント	砕砂				42.0	172	306	76	764	1063	3.82 Ag

表-3 コンクリートの性状

配合 番号	スランプ (mm)	空気量 (%)	フリー ジップ 率 (%)	単位容 積重量 (kg/m^3)	圧縮強度 (kg/cm^2)				弾性係数 ($\times 10^4 \text{kg}/\text{cm}^2$)				ポアソン比		乾燥 収縮 ($\times 10^{-4}$)
					7 日	28 日	91 日	1 年	28 日	91 日	1 年	28 日	91 日		
I	A 9.0	3.2	2.17	2,451	280	390	492	554	3.63	4.00	3.94	0.25	0.22		600
	B 10.0	3.2	1.99	2,464	251	371	508	559	3.35	3.87	3.90	0.23	0.24		692
	C 10.0	3.7	1.89	2,439	259	383	512	552	3.25	3.68	3.82	0.24	0.26		725
II	D 10.0	3.6	2.81	2,393	294	421	527	592	3.33	3.66	4.15	0.21	0.22		615
	E 10.0	3.5	2.25	2,408	302	418	552	573	3.30	3.45	3.92	0.23	0.22		713
	F 11.0	5.2	2.16	2,384	264	392	510	568	3.03	3.25	3.63	0.24	0.24		748
III	G 10.0	3.0	4.05	2,448	289	447	550	611	3.40	3.93	4.08	0.21	0.22		533
	H 10.0	3.0	4.16	2,440	236	394	497	568	3.45	3.92	4.12	0.21	0.23		600
	I 11.5	4.5	3.82	2,435	205	332	483	518	2.97	3.66	3.84	0.21	0.23		626

6.1 コンクリートの

性状；各配合のコンクリート試験結果を表-3に示す。砕砂を使用したコンクリートは、いずれもブリージング率と静弾性係数が全般に小さい。

6.2 乾燥収縮；乾燥養生材令1年における収縮ひずみは、海砂を使用した場合533～

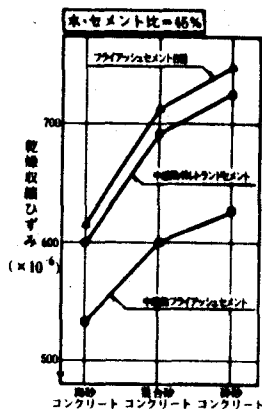


図-1 材令1年における乾燥収縮

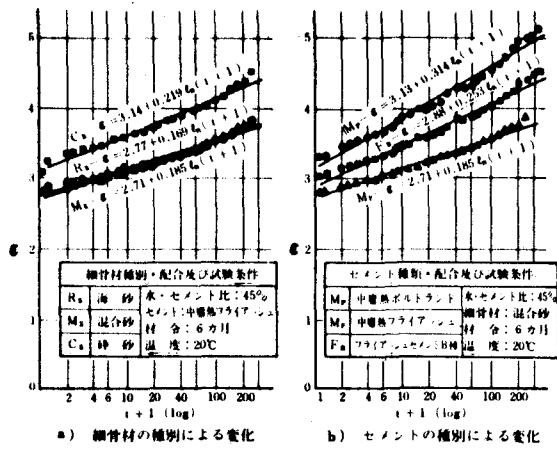
615 μ で、それに比べて混合砂使用の場合は約15%、砕砂使用の場合は約20%大きい。またセメントの種別による乾燥収縮は、図-1に示すようにフライアッシュセメントに比べて中熱ポルトランドセメントがわずかに小さく、中熱フライアッシュセメントでは、フライアッシュの混入効果によって更に小さくなっている。

6.3 クリープ性状；載荷時間と単位応力当りの弾性ひずみとクリープひずみの和との関係を求めた。その結果は図-2に示すとおりであり、クリープ性状について次のことが云える。

① 海砂使用の場合と混合砂使用の場合とではほとんど差がなく、これに比べて、砕砂使用の場合は約20%大きくなっている。(a図) ② セメントの種別でみると、弾性ひずみ、クリープひずみともに、中熱ポルトランドセメント使用のものが最も大きく、次にフライアッシュセメント、中熱フライアッシュセメントの順となっている。

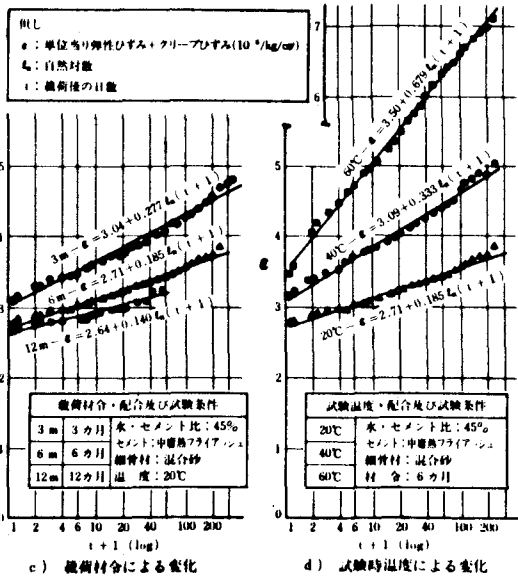
(b図)これは、静弾性係数の違いによるもので、静弾性係数が小さいほど、弾性ひずみ及びクリープひずみは大きい。③ クリープ載荷が長期になるほど、弾性ひずみ及びクリープひずみは小さくなっている。(C図)載荷してから1年後の弾性ひずみとクリープひずみの和は、材令3か月で載荷したものに比べて、材令6か月で載荷したものが約80%に減少している。④ 弾性ひずみ及びクリープひずみは、温度条件によって大きく変化する。弾性ひずみは、試験温度20℃の場合に比べて、40℃では10%、60℃では20%大きい。また載荷してから200日後の弾性ひずみとクリープひずみの和は、20℃の場合に比べて、40℃では約1.4倍、60℃では約2倍となっている。(d図)

7. あとがき 砕砂を単味で使用した場合は、単位水量及び細骨材率の増加によって、乾燥収縮やクリープひずみが大きくなる。しかし、これらの問題は、中熱フライアッシュセメントを使用することで大きく改善される。また、海砂に30%程度の砕砂を混合して使用する分については、海砂使用のものに比べて大きな差はなく、すでに生コンなどに多く使用されている。最後に、本実験を遂行するに当たって、終始御指導と御協力を載いた多くの関係各位に厚く感謝申し上げます。



a) 細骨材の種別による変化

b) セメントの種別による変化



c) 養分材令による変化

d) 試験時温度による変化

図-2 コンクリートのクリープ性状