

九州電力㈱ 総合研究所 正員 是石 俊文
 正員 〇杉田 英明
 清国 三朗

1. まえがき

地下構造物や水槽などのコンクリートの水密性を向上させるため種々な混和材料、塗布材料が用いられ、その種類も近年とみに多様である。しかしこれらの材料を用いたときのコンクリートの諸性質ひいては使用効果は、その原料、品質、施工方法などによって大きな差があると考えられるが、良質な減水剤を用いたコンクリートの諸性質、水密性に比較して適確な判断を下すだけの基礎的な検討資料が十分とはいえない。そこで本実験では、シリカを主成分とする混和材3種を用いたコンクリートについて配合、ブリージング、圧縮強度、水密性などについて減水剤を用いた普通コンクリートと比較検討した。その結果を以下に報告する。

2. 材料

セメント：セメントは普通ポルトランドセメント（三菱鉱業セメント㈱前田工場製）を用いた。その品質を表1に示す。

混和材：シリカ質混和材として混和材D（電気炉でフェロシリコンを製造する際に、高温で原料けい石が半還元され、SiOを生成、これが空气中で酸化されSiO₂となったもので、いわゆる気相法で合成されたSiO₂微粒子）、混和材B（粘板岩・けい岩などを微粉砕したもの）、および混和材S（石銅輝石や山岩を微粉砕したもの）、を用いた。それぞれの品

表-1 セメントの物理試験結果

比重	粉末度		凝 結			安定性	フロー (mm)	曲げ強度 (kg/cm ²)			圧縮強度 (kg/cm ²)		
	ブレン cm ² %	80μ残 (%)	水量 (%)	始発時分	終結時分			3日	7日	28日	3日	7日	28日
3.16	3,140	2.0	26.6	2-33	3-45	良	250	32.8	46.5	71.4	128	229	420

表-2 シリカ質混和材の品質

混和材の種類	比重	比表面積 cm ² /g	ポロシティ	化 学 成 分									可溶性成分		
				強熱減量 g. OSS	シリカ SiO ₂	アルミナ Al ₂ O ₃	酸化鉄 Fe ₂ O ₃	酸化カルシウム CaO	マグネシア MgO	酸化ナトリウム Na ₂ O	酸化カリウム K ₂ O	水分 (%)	合計 (%)	シリカ SiO ₂	アルミナ Al ₂ O ₃
D	2.19	52,240	0.812	2.4	90.0	0.5	0.3	0.3	1.2	1.18	1.50	0.8	98.2	89.6	0.5
B	2.70	6,920	0.497	4.9	68.3	11.9	5.3	1.4	2.6	1.08	2.82	0.7	99.0	5.8	2.4
S	2.67	5,680	0.593	1.5	65.9	16.4	5.0	3.4	1.3	2.72	3.22	0.6	100.0	12.4	5.2

質を表2に示す。

骨材：細骨材は球磨川河口砂（F.M.2.04）と水洗した粗粒砕石（F.M.3.86）を60:40の割合で混合して用いた。粗骨材は40~20^{mm}と、20~5^{mm}に分級した砕石を50:50の割合で混合して用いた。細骨材、粗骨材の品質を表3に示す。

表-3 骨材の品質

項目	細 骨 材			粗 骨 材		
	球磨川河口砂 Si	細粒砕石 S ₂	混合調整砂 Si: S ₂ 60:40	砕石 G ₁ 40~20 ^{mm}	砕石 G ₂ 20~5 ^{mm}	混合調整骨材 G ₁ : G ₂ 50:50
比重	2.58	2.67	2.62	2.72	2.71	2.72
吸水量	2.85	1.02	2.12	0.24	0.49	0.37
粗粒率	2.04	3.86	2.77	8.00	6.76	7.48

減水剤：減水剤 ホゾリスNO.5Lをすべての配合に使用した。

3. 配合

シリカ質混和材を用いたコンクリートの諸性質を把握するために、一般に用いられている減水剤を使用した普通コンクリートの水セメント比60%の配合を基準として（以下基準配合と呼ぶ）この配合に混和材DおよびBを単位セメント量の6%、混和材Sを単位セメント量の10%それぞれ外割で混入した。シリカ質混和材を用いた

い普通コンクリートは基準配合を中心にして水セメント比を50,55,60,65,70%とした5配合を試験した。スランパは 15 ± 1 cm, 空気量は 4 ± 1 %の範囲とした。これらのコンクリートの配合を表4に示す。

4. 試験方法と試験結果

4-1. フリージング: 試験方法はJIS.A.1123, に示されている方法によつた。フリージング量およびフリージング率の試験結果を表5に示す。測定時間とフリージング水量との関係は図1のようである。表5, 図1からシリカ質混和材を用いない配合では水セメント比が大きくなれば, フリージング率が増加する一般的な傾向がみられ, 水セメント比60%のときフリージング率は3.6%である。同一水セメント比の基準配合(60P)に比べてシリカ質混和材を用いた配合は, 単位水量が $5 \sim 11$ %多いにもかかわらずフリージング量が少く, とくに混和材Dを用いた配合では, フリージング率は0.5%に過ぎず基準配合の場合の3.6%に対して約 $\frac{1}{7}$ 程度である。

4-2. 圧縮強度: 各材令における圧縮強度を表5に, 材令と圧縮強度との関係を図2に示す。表5, 図2から明らかのようにシリカ質混和材を用いたコンクリートは, これを用いない基準配合(60P)の圧縮強度よりいすれも大きい圧縮強度が得られている。混和材BおよびSを用いた配合の材令28日以降の圧縮強度は, ほぼ一致しており基準配合コンクリートより, 20%程度大きい強度が得られている。また混和材Dを用いたコンクリートの圧縮強度は, すべての材令において基準配合の強度より大きく, 材令28日で85% (33%), 材令91日で90% (29%), 材令182日で107% (33%) 上廻っている。また材令182日においてはシリカ質混和材を用いない水セメント比50%の配合の強度をも25% (6%) 上廻っており, なお強度は増加している傾向を示している。

4-3. 動弾性係数: 試験方法はJIS.A.1127に示されている方法によつた。その結果を表5に示す。シリカ質混和材を用いたコンクリートの動弾性係数は, いずれの配合も各材令において基準配合コンクリートの値を上廻っている。混和材Dを用いたコンクリートの材令182日における動弾性係数は 3.84×10^4 kg/cm²で, この値は水セメント比55%の普通コンクリートの動弾性係数に相当する。

表-4 コンクリート配合表

配合種類	粗骨材の最大寸法 (mm)	スランパの範囲 (cm)	空気量の範囲 (%)	水セメント比 W/c (%)	細骨材率 S/a (%)	シリカ質混和材比 P/c (%)	単 位 量 (kg/m ³)					混 和 剤	
							水 W	セメント C	シリカ質混和材 P	細骨材 S	粗骨材 G	ボリス NO.5L	AE剤 $\times 10^{-3}$
50P	40	15±2	4±1	50	42.5	—	174	348	—	752	1,056	0.870	4.87
55P	40	15±2	4±1	55	43.0	—	170	309	—	779	1,072	0.773	3.68
60P	40	15±2	4±1	60	44.0	—	169	282	—	809	1,068	0.705	1.97
65P	40	15±2	4±1	65	45.0	—	170	262	—	832	1,057	0.655	1.47
70P	40	15±2	4±1	70	46.5	—	176	251	—	857	1,024	0.628	1.23
60D	40	15±2	4±1	60	43.0	6	180	300	18	762	1,049	0.793	6.68
60B	40	15±2	4±1	60	43.0	6	180	300	18	763	1,050	0.793	4.45
60S	40	15±2	4±1	60	43.0	10	174	290	29	768	1,057	0.798	4.47

表-5 コンクリートの試験結果

配合番号	スランパ (cm)	空気量 (%)	フリージング量 (cm ³ /cm ³)	フリージング率 (%)	動弾性係数 ($\times 10^4$ kg/cm ²)			圧 縮 強 度 (kg/cm ²)				拡散係数 ($\times 10^4$ cm ² /sec)		
					28日	91日	182日	7日	28日	91日	182日	28日	91日	182日
50P	15.2	4.3	0.09	2.0	3.75	3.89	4.02	259	331	379	404	252	14.4	16.2
55P	15.2	4.2	0.12	2.8	3.57	3.81	3.84	230	307	335	367	363	18.1	13.1
60P	15.1	4.8	0.15	3.6	3.42	3.64	3.70	194	260	311	322	50.1	20.0	14.8
65P	14.5	4.0	0.18	4.3	3.38	3.55	3.59	177	248	297	307	948	25.5	21.8
70P	15.8	3.7	0.20	4.0	3.32	3.45	3.53	153	207	273	280	1846	30.6	38.9
60D	14.7	4.7	0.02	0.5	3.47	3.75	3.84	219	345	401	429	240	14.3	17.4
60B	14.4	3.9	0.12	2.6	3.52	3.71	3.77	195	281	336	341	309	15.7	17.2
60S	15.5	4.6	0.08	1.8	3.45	3.70	3.72	220	283	334	349	46.7	19.3	14.0

4-4. 水密性：コンクリートの水密性をインプット方法—浸透深さ方法による透水試験によって試験した。供試体はφ20×H20cm, 試験材令は28, 91, 182日とした。供試体は所定期間水中標準養生したのち20℃の恒温室内で14日間乾燥し側面をエポキシ樹脂でシールして試験容器内に設置した。供試体と試験容器との空隙部分には、パラフィンとロジンの1:1溶解液を流し込んで水密を保った。水圧は最初5%を加え、30分毎に5%ずつ加圧して2時間後に20%の水圧とし、以後46時間持続させた。印画上で浸透部の面積を測定して平均浸透深さ(Dm)を求め、コンクリート中の水の拡散係数(Di²)を(1)式から求めた。

$$Di^2 = \alpha \cdot \mu / \mu_{20} \cdot Dm^2 / 4 \cdot t \cdot S^2 \dots \dots (1)$$

その結果を表-5に示す。シリカ質混和材を用いない水セメント比を変えた配合についてみると、水セメント比を増大すれば水密性が低下する傾向が認められる。しかし水セメント比が50%と、70%の配合における拡散係数の差は、材令28日で $159.4 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{sec}$, 材令91日で $16.2 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{sec}$, 材令182日で $5.6 \times 10^{-10} \text{cm}^2/\text{sec}$ にすぎず、水セメント比の増大による水密性の低下の程度は初期材令ほど大きく、長期材令においては比較的小さくなるようである。

シリカ質混和材を用いたコンクリートの拡散係数は、これを用いない同一水セメント比のコンクリートに比較して、材令28日で3~26× $10^{-10} \text{cm}^2/\text{sec}$ 程度小さいが、材令91日および182日においてはほぼ同じ値を示している。

5. あとがき

シリカ質混和材3種を選んで行なった本実験の範囲において、つぎのことが認められるようである。

1. シリカを主成分とする混和材はいずれも比表面積が大きく、とくに混和材Dはブレンで52,240 cm^2/g と際立っている。このことはコンクリートに混和した場合に単位水量をやや増大させる傾向を示す結果となる。

2. シリカ質混和材を用いたコンクリートは一般にブリージング率が少ない。このことは水密性を向上させる結果となり材令28日の拡散係数は基準配合に比較して48~93%であり、シリカ質混和材が防水剤としても利用し得ることを示している。

3. 使用した各混和材の化学成分とくに可溶性シリカについてみると、

5.8~89.6%と大きな差がある。一般にシリカ質混和材の効果は、セメントの水和反応過程で析出される遊離石灰と化合して不溶性のけい酸石灰ゲルを形成することにある。この反応は当然可溶性シリカ量に依存する。可溶性シリカが89.6%と多い混和材Dは基準配合に比較してブリージング率、強度、水密性などにおいて良好な結果を示している。このことからシリカ質混和材の品質を考慮するとき、可溶性シリカ量について配慮すべきであるといえる。

参考文献

1. 村田二郎;コンクリートの水密性の研究,土木学会1963・3
2. 国分正胤;土木材料実験,技報堂,1972・3
3. 山崎寛司;鉱物質微粉末がコンクリートの諸性質におよぼす影響,土木学会論文集
4. 田代信雄,是石俊文;スコンクリートの長期材令における鉱物化学的諸性状について,コンクリートジャーナル,Vol.10,NO.11,1972

図-1 コンクリートのブリージング水量

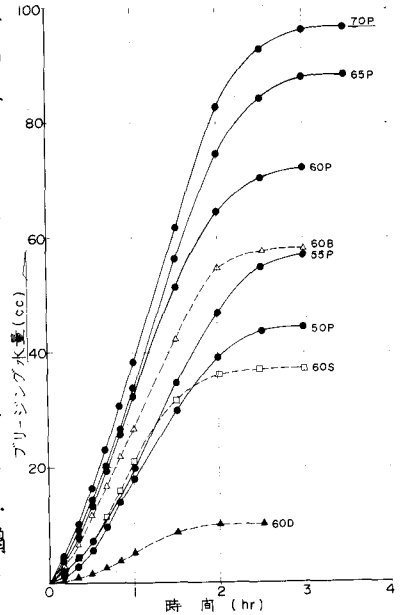


図-2 材令と圧縮強度との関係

