

鹿児島高専 正会員 植彦 重徳
 鹿児島高専 正会員 田林 巧
 鹿児島高専 学生員 ○牧頼 詩文
 鹿児島高専 学生員 西野 博信

1. まえがき

霧島火山帯に属する霧島川流域は、あらゆる所から90℃程度の強酸性(pH3)の強泉水が湧出し、コンクリート構造物が各所で腐食している。筆者らは霧島川流域の明礬強泉地域を現場実験地を選び、強泉水によるコンクリートの腐食がコンクリートの力学的諸性質に及ぼす影響について基礎的実験を行なった。ここにその結果を報告する。

表-1 骨材の物理的性質

2. 実験の方法

1) 使用材料

セメント：普通ポルトランドセメント(徳山)：比重 3.16

高炉セメント B種 (小幡)：比重 3.04

フライアッシュC種 (九電産業)：比重 2.81

骨材：粗骨材：鹿児島県産玄武岩碎石

細骨材：鹿児島大根占産海砂

表-1に骨材の物理的諸性質を示す。

2) 配合条件：表-2にコンクリートの配合条件を示す。

3) 供試体： $\phi 10 \times 20 \text{ cm}$ 円柱供試体

4) 養生方法：供試体成型後1週間水中恒温恒湿養生(20 $\pm 3^\circ \text{C}$)した後、現場浸漬を実施した。

3. 結果および考察

表-3は実験結果を示したものである。

表-3 各種コンクリートの実験結果

セメントの種類	配合率 (%)	養生場所 (1) 普通ポルトランドセメント (2) 高炉セメント B種 (3) フライアッシュ C種	圧縮強度 (N/cm^2)						引張強度 (N/cm^2)						静弾性係数 E_s ($10^4 \text{ N}/\text{cm}^2$)					重量変化 (%)						
			σ_0	σ_1	σ_2	σ_3	σ_4	σ_5	σ_6	σ_7	σ_8	σ_9	σ_{10}	E_{s0}	E_{s1}	E_{s2}	E_{s3}	E_{s4}	0	1	4	13	26			
普通ポルトランドセメント	60	①	17.5	2.08	2.77	2.30	2.37	1.4	2.2	2.4	2.7	3.1	22.6	20.7	21.5	21.1	24.8	—	—	—	—	—	—	—	—	
		②	—	2.40	2.30	2.37	2.36	—	2.3	2.3	2.4	2.7	24.1	22.3	21.5	20.2	—	2.7	3.7	10.7	19.1	—	—	—	—	
		③	—	2.33	2.33	2.20	1.90	—	2.0	2.7	2.2	2.2	21.5	21.3	22.3	22.5	—	2.2	3.4	6.7	11.3	—	—	—	—	
		④	—	2.27	2.28	2.08	2.03	—	2.2	2.4	3.0	3.1	23.2	24.6	21.4	19.0	—	0.7	2.0	2.6	4.0	—	—	—	—	
		⑤	28.3	2.44	3.05	3.65	3.80	1.8	2.1	2.3	3.0	3.2	22.3	22.4	23.0	23.2	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
	50	①	—	2.92	3.21	3.42	3.62	—	2.5	3.2	3.3	3.6	—	24.5	23.8	25.0	24.3	—	3.1	3.8	10.8	12.2	—	—	—	—
		②	—	3.25	3.18	3.18	2.89	—	2.1	2.9	3.1	3.0	—	23.9	23.7	23.2	22.0	—	1.4	3.0	9.5	15.0	—	—	—	—
		③	—	2.95	3.15	3.77	4.04	—	2.3	2.7	3.1	3.4	—	22.0	22.8	22.0	22.0	—	0.5	1.0	2.6	4.4	—	—	—	—
		④	29.3	3.15	3.14	3.43	3.65	2.2	2.4	2.6	3.1	3.2	23.1	23.3	23.5	23.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—	
		⑤	—	3.15	3.40	3.41	3.32	—	3.1	3.3	3.6	3.4	—	23.8	24.5	24.5	24.5	—	1.4	2.1	9.7	14.5	—	—	—	—
高炉セメント	45	①	—	2.49	3.40	3.23	2.90	—	2.5	2.6	2.7	2.8	—	24.4	24.0	23.7	23.0	—	0.5	1.1	5.0	11.1	—	—	—	—
		②	—	3.45	3.44	3.80	3.99	—	2.4	2.8	3.2	3.6	—	23.3	25.1	22.0	20.0	—	1.3	1.5	2.4	4.2	—	—	—	—
		③	—	2.75	2.76	3.4	3.69	1.4	2.1	2.3	2.6	2.7	—	23.3	22.5	24.0	24.5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		④	17.4	3.27	3.08	3.12	3.02	—	3.3	3.4	3.5	3.6	—	23.3	23.3	23.3	23.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		⑤	—	3.02	2.87	2.60	2.57	—	3.1	2.9	2.6	2.4	—	21.5	23.2	21.7	21.7	—	1.8	2.8	9.6	11.5	—	—	—	—
	60	①	—	2.72	3.43	3.64	3.70	—	2.5	2.7	3.2	3.5	—	23.3	23.3	22.1	20.0	—	1.0	1.3	2.8	3.2	—	—	—	—
		②	21.0	2.76	3.00	4.16	4.59	1.9	2.7	2.6	3.4	3.7	—	21.1	23.9	21.7	21.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		③	—	3.27	3.00	3.12	3.02	—	3.2	3.2	3.5	3.6	—	21.1	23.9	21.7	21.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		④	—	3.12	4.26	4.62	4.82	—	3.4	2.7	3.4	3.8	—	21.3	23.8	22.4	20.5	—	1.0	1.1	2.8	3.5	—	—	—	—
		⑤	26.1	3.10	4.03	4.19	4.73	2.2	2.5	2.7	3.5	3.7	20.3	21.1	23.8	23.7	23.1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ポルトランドセメント	45	①	—	4.18	4.4	3.94	3.74	—	3.8	3.6	3.6	3.6	—	23.3	23.3	23.3	23.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		②	—	4.53	4.47	3.89	3.57	—	3.6	3.4	3.6	3.6	—	21.1	23.9	21.7	21.0	—	0.5	3.4	10.2	13.1	—	—	—	—
		③	—	3.05	4.36	4.41	4.55	—	3.2	3.4	4.0	4.2	—	21.3	23.8	22.4	20.5	—	1.5	3.7	9.2	11.5	—	—	—	—
		④	—	3.12	4.26	4.62	4.82	—	3.4	2.7	3.4	3.8	—	21.3	23.8	22.4	20.5	—	1.0	1.1	2.8	3.5	—	—	—	—
		⑤	26.1	3.10	4.03	4.19	4.73	2.2	2.5	2.7	3.5	3.7	20.3	21.1	23.8	23.7	23.1	—	—	—	—	—	—	—	—	
	60	①	—	2.26	2.36	2.43	2.50	—	2.4	2.6	2.6	2.6	—	21.1	23.9	21.7	21.0	—	1.3	3.1	6.9	9.3	—	—	—	—
		②	—	2.01	2.21	2.74	2.90	—	2.0	2.4	2.7	2.9	—	21.1	23.9	21.7	21.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		③	23.3	2.80	2.98	3.22	3.45	1.8	2.1	2.2	2.3	2.3	22.6	25.0	23.7	21.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		④	—	3.29	3.37	3.42	3.75	—	2.5	2.6	2.9	3.2	—	21.1	23.9	21.7	21.0	—	2.0	3.1	10.8	11.1	—	—	—	—
		⑤	—	3.10	3.44	3.41	3.17	—	3.0	3.4	3.6	3.6	—	21.1	23.9	21.7	21.0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
ポルトランドセメント	45	①	—	2.59	3.17	3.59	3.99	—	2.3	2.7	3.3	3.2	—	21.3	23.8	22.4	20.5	—	4.1	1.7	2.2	2.3	—	—	—	—
		②	25.7	3.05	3.35	3.60	3.61	2.1	2.5	2.6	3.0	3.2	24.5	25.3	2.1	30.5	32.5	—	—	—	—	—	—	—	—	
		③	—	3.21	4.11	3.85	3.38	—	2.8	3.9	3.6	3.3	—	21.3	23.8	22.4	20.5	—	2.5	4.4	9.8	12.4	—	—	—	—
		④	—	3.05	3.17	3.65	3.17	—	3.0	3.7	3.8	3.7	—	21.3	23.8	22.4	20.5	—	5.0	3.5	6.4	7.7	—	—	—	—
		⑤	—	3.27	3.50	4.02	4.07	—	2.6	3.4	3.1	3.4	—	21.3	23.8	22.4	20.5	—	1.5	1.5	2.1	2.7	—	—	—	—

図-1 に各種強度と材令の関係を示す。

1) 軸圧縮強度と材令について

水中標準養生のものに関して比較すると、材令の進行にしたがって各種セメント共に漸増する傾向にある。温泉水養生のものについては各種セメント共、材令初期で急増している。これは温泉水が50~60℃と高く高温養生の影響が現われているものと考えられる。また材令と共に低下するのは、コンクリートの腐食が温泉水により進行しているものと考えられる。温泉水含硫酸塩に関しても同様なことが言える。中津川河川養生のものは温度が年間平均32℃と他の普通河川と比較して高いため、材令26週以後にもなお漸増する傾向にある。使用セメント別に比較するなどの養生条件に關しても、高炉セメントが比較的有利と言える。これは高炉セメント中のスラグ分がコンクリートの耐酸性に有効に作用するものと考えられる。

2) 引張強度と材令について

中津川河川と標準養生は材令と共に漸次増大する傾向が認められる。特に前者が後者より高引張強度を示すのは、河川温度が関係するものと考えられる。温泉水養生と温泉水含硫酸塩を比較するとはほぼ同様な傾向を示し、材令4週当りより漸次低下する。これは温泉水が $\text{PH}=3$ と強酸であるためと考えられる。

3) 静弾性係数と材令について

一軸圧縮強度とはほぼ同様な性状を示すが、材令26週で中津川河川養生の普通ポルトランドセメントを使用したものの低下が著しい。

4) 一軸圧縮強度と静弾性係数について

図-2 は温泉水養生した一軸圧縮強度と静弾性係数の関係を示したものである。使用セメントの種類による比較をすると、高炉セメントとフライアッシュセメントを用いたコンクリートには一軸圧縮強度と静弾性係数の間に直線的相関関係が認められるが、普通ポルトランドセメントコンクリートにはほとんど認められない。

4. むすび：以上の実験結果をまとめると次のことが言えるようである。

1) コンクリートの力学的諸性質に温泉水の泉温・ PH 値・水質が影響するものと考えられる。 2) 高炉セメント中のスラグは化学的安定性を向上させるに有効と考えられる。 3) 現場養生コンクリートにも、力学的諸性質間に相関関係が見られる。 4) どの種のセメントを用いても高温酸性温水に対しては、長期材令と共に力学的諸性質が低下する。

おわりに：本実験に際し御指導御協力を賜りました本校化学教室島越三笠教授、同山内悦子助手、土木教室斎藤利一郎助教授、同松田林樹技官に感謝の意を表します。 参考文献：植渡・斎藤・山内：霧島川流域のコンクリート構造物の浸食(第1報)(第2報)、鹿児島高専研究報告第6号・第7号、土木学号編：土木工学ハンドブック、技報堂。

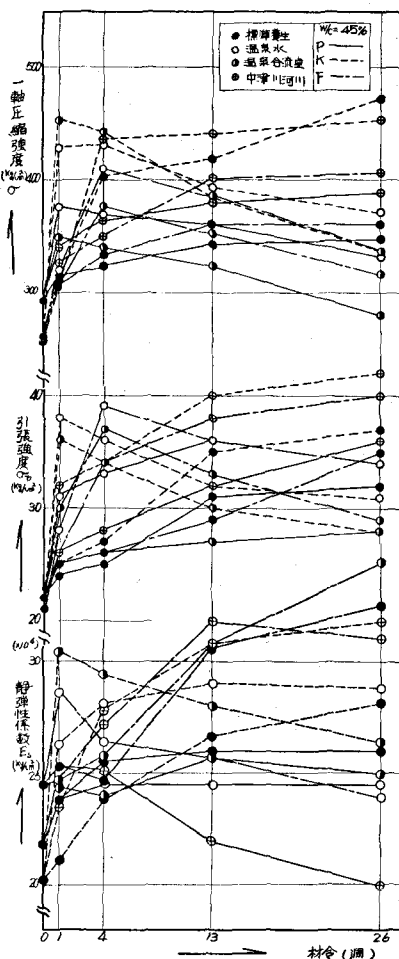


図-1 材令と σ_c , σ_t , E_s の関係

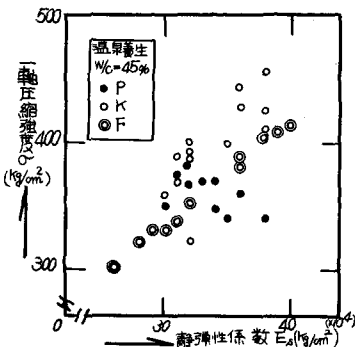


図-2 σ_c - E_s の関係