

酸性水中におけるコンクリートの性状変化

II. 単位セメント量の効果

服部九二雄*・柘植巳一*

昭和58年7月30日受付

Influences of Acidic Water on Deterioration of Concrete

II. Effect of Cement Content

Kunio HATTORI and Miichi TSUGE

Ordinary portland cement concrete is chemically basic, having a pH of about 13, and is therefore attacked easily by acids. Under conditions of lengthy exposure to acidic water, concrete will deteriorate severely. To clarify the influence of acidic water on the durability of concrete, a large number of concrete test pieces were submerged in a small stream at Arakane-Cho about 30km from Tottori University. The mean pH value of the water in this stream has been about 3.50 for the last ten years. The size of the test pieces was $10 \times 10 \times 40$ cm and ordinary portland cement was used. Weight, volume, bending strength (B_s), compressive strength (C_s), dynamic modulus of elasticity (E_d) and degree of deterioration were measured and observed every six months.

The results obtained are as follows.

- 1) The concrete deteriorated severely due to acidic water with a pH value of about 3.50. Factors B_s , C_s and E_d of the concretes which had a cement content of less than $300\text{kg}/\text{m}^3$, were almost always reduced to less than 50% of the initial values (28-day strengths) after one or two years.
- 2) Concrete should be cured in water for 28 days before submerging in acidic water because the resistance of the concrete to acids is increased by such water-curing.

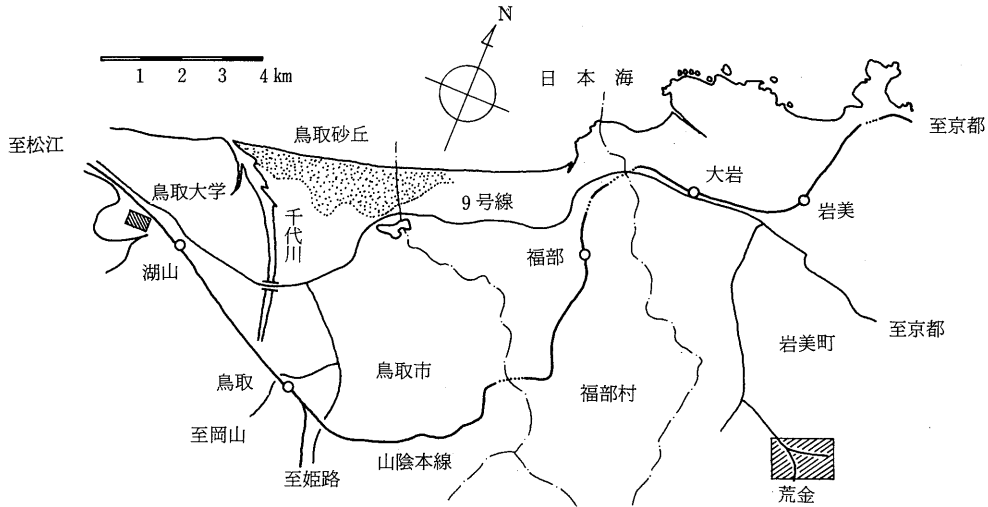
緒 言

わが国のように周囲を海で囲まれ、火山が多く、しかも投農薬量の多い環境下では、コンクリート構造物が侵食・腐食された事例を各地でみかけることが多い。さらに、近年海砂などの低品位骨材の使用、スランプの大きな流動性の高いコンクリートのポンプによる大量打設な

どによって、コンクリートの品質が低下し、その耐久性が問題となってきている。

コンクリートの耐久性とは、コンクリートに有害な影響を及ぼす多数の外的作用に対する抵抗性を意味する。この耐久性を分類すれば、化学的作用に対しての耐海水性、化学抵抗性、中性化抵抗性と、物理的作用に対しての凍結融解抵抗性、耐熱性、耐火性、耐電食性、耐摩耗

* 鳥取大学農学部農業工学科農業造構学研究室
Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University



第1図 鳥取市近郊と試験地〔岩美町荒金〕

性などが挙げられる。

筆者らは、鳥取市近郊に適切な試験地（第1図）のあることから、コンクリートの化学抵抗性のうち、耐酸性を中心に昭和48年より継続して、現地に各種セメントから成るコンクリート供試体を浸漬して実験を行っており、その結果は機会あるごとに逐次報告してきた。¹⁻⁵⁾本論文は、前報²⁾以降得られた実験結果をまとめたものである。

試験地概要

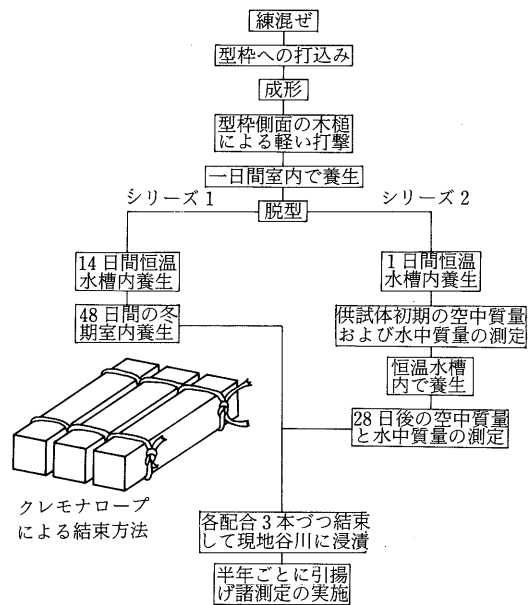
試験地は、鳥取大学より約30km東の岩美町荒金にある旧岩美銅山廃鉱近傍の小河川である。この付近には大小3つの砂防ダムがある。この小河川には廃鉱からの湧出水が流入し、第1表に示すように、この河川水のpHは過去10年間平均3.50程度と、かなりの強酸性水となっている。ただし、供試体引揚げ間隔の関係で、53年以降採水時期が5月と11月に偏っていることと、湧出水の中和処理施設の効果からか、若干pHが上昇しているようである。第2表には、当地で過去及び現在継続中の実験内容を示す。本論文では、表中のシリーズ1と2の結果をまとめたものである。

使用材料と実験方法

第3と4表には、実験に使用した骨材の物理的性質と示方配合を示す。なお、セメントは比重3.15の普通ポルトランドセメントを使用した。第2図には、コンクリー

ト供試体の作製と現地浸漬までの手順を示す。

供試体は、曲げ強度試験用の $10 \times 10 \times 40$ cmの大きさである。現地浸漬した供試体を半年ごとに引揚げ、(1)空中質量、(2)水中質量、(3)動弾性係数、(4)曲げ強度、(5)圧縮強度、(6)表面及び内部の劣化状態を観察測定した。なお、(1)と(2)から供試体の体積を求め密度を計算した。(6)は、



第2図 供試体作製と浸漬の手順

主に写真撮影と石膏による表面複写で記録した。これらの測定結果を第5表に示す初期値と比較することで、コンクリートの耐酸性の長期挙動を観察した。

便宜上、第2と4表において、単位セメント量250, 300, 200, 400kg/m³のコンクリート供試体をそれぞれC₂₅₀, C₃₀₀, C₂₀₀, C₄₀₀と表わし、単位セメント量の多寡を中心に説明する。

第1表 谷川流水のpH値

試料採取				試料採取					
年	月	日	pH	年	月	日	pH		
48	1	11	3.02	52	1	12	3.08		
		3	2.92			17	2.92		
		6	2.94			14	3.26		
	7	11	2.95		5	18	3.14		
		10	3.20			9	8	3.40	
		49	1				3.16	10	3
	7		3.10		11	10	3.53 ※		
	12	17	3.33		53	12	2	3.98 ※	
		50	7			3.00	5	18	3.03
			9			3.10	11	17	3.65
	10	6	3.20		54	5	21	3.26	
		10	3.10			11	19	3.55	
11		6	3.20	55		5	12	3.29	
	11	3.20	11		20	3.77 ※			
	12	8	3.20		11	21	4.23 ※		
51	1	16	2.84	56	5	15	3.92 ※		
		2	3.47 ※			11	12	4.68 ※	
		3	3.09			11	13	4.74 ※	
	8	5	2.92		11	19	4.74 ※		
		8	2.93			11	20	4.45 ※	
		9	3.15				57	5	25
	10	4	2.79		5	26		4.30	
	10	16	3.07		11	11	4.82 ※		
	11	1	2.89			11	12	4.74 ※	
	11	11	3.38 ※			58	5	13	4.89 ※
	11	15	3.88 ※		平均値 = 3.50				
	11	16	3.53 ※						
12	6	3.33							

※ 降雨・降雪・融雪により流量大

結果と考察

第3と4図には、両シリーズの質量及び体積減少率とシリーズ2の密度と密度比の経年変化を示す。第3図における両シリーズの減少率の挙動の違いは、第2図からわかるように供試体の酸性水浸漬直前の初期状態が異なるためである。つまり、シリーズ1の供試体はかなり乾燥した状態、シリーズ2の供試体は飽水状態であったため、酸性水による侵食の進行度合が異なってきたものといえる。第4図から、単位セメント量が少なくなると、1年以降密度が急激に低下し初期値以下になっているこ

第2表 実験内容

実験名	期間(昭和・年数)	使用セメント	セメント量(kg/m ³)	
			細骨材	粗骨材
シリーズ1	48.1~51.7	3.5 NPC	250, 300	
シリーズ2	51.11~56.11	5.0 NPC	200, 400	
シリーズ3	56.11~61.11	5.0 BFSC	350, 400	
シリーズ4	57.11~62.11	5.0 NPC(AE)	288	

NPC : 普通ポルトランドセメント
 BFSC : 高炉セメントB種
 AE : AEコンクリート

第3表 使用した骨材の物理的性質

実験名	骨材	比重	吸水率(%)	有効吸水率(%)	粗粒率	すりへり減量(%)
シリーズ1	細骨材	2.57	2.37	1.87	3.03	—
	粗骨材	2.62	1.22	0.72	7.30*	21.04
シリーズ2	細骨材	2.55	2.00	1.53	3.21	—
	粗骨材	2.63	1.30	0.84	7.30*	14.40

*人為的に粒度調整した値

第4表 実験に使用した示方配合

実験名	配合	M. S. [mm]	Slump [cm]	air [%]	w/c [%]	S/a [%]	単位量 [kg/m ³]			
							水	セメント	細骨材	粗骨材
シリーズ1	A	25	5±1	1.0	68	50	170	250	950	968
	B	25	5±1	1.0	57	48	170	300	904	976
シリーズ2	C	25	5±1	1.5	85	50	169	200	959	989
	D	25	5±1	1.5	42.2	45.1	169	400	792	995

M. S. : 最大骨材寸法

とがわかる。このことから、コンクリートの酸性水に接触する前の状態（乾燥か飽水状態）だけでなく、単位セメント量の多寡、締固め方法などによって変化するコンクリートの透水・透気性も重要な役割を持つことがわかる。

第5と6図には、曲げ及び圧縮強度と動弾性係数の経年変化と、それらの初期値に対する割合の経年変化を示す。図中、シリーズ1のC₂₅₀とC₃₀₀の2年半以降の曲げ強度と動弾性係数、C₂₅₀の3年以降の圧縮強度、シリーズ2のC₂₀₀の2年以降の動弾性係数が示されていないのは、これらの供試体の表面劣化が激しく、かなり深い縦横のクラック、端部・稜の損傷が発生していたため、測定不可能か測定しても意味がないと判断したからである。このことから、単位セメント量の少ないコンクリート程度劣化の進行が速いことがわかる。

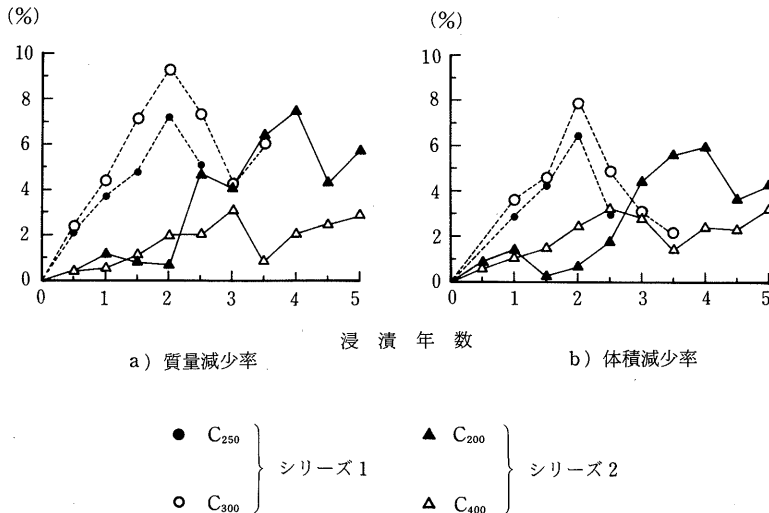
これらの図より、C₄₀₀の供試体を除いて、1年または1年半以降の強度低下が著しく、特にシリーズ1では、1年半以降初期値の50%以下の強度しかないことがわかる。これに対し、シリーズ2のC₄₀₀は、最も強度低下の著しい圧縮強度において、5年経過後も初期値の50%以上の値を有しており、曲げ強度はほぼ90%、動弾性係数は初期値以上となっている。このことと第4図の密度及び密度比の変動の状態より、C₄₀₀のコンクリートの内部は、十分に健全な状態にあるものと考えられる。

現地砂防ダムコンクリートの調査結果

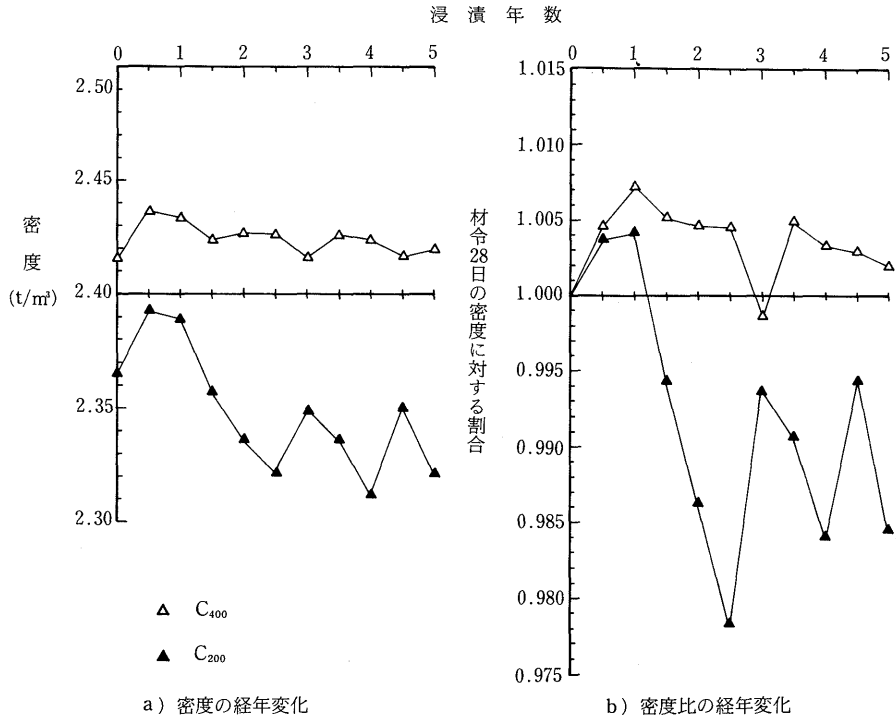
供試体浸漬箇所の上・下流にある砂防ダム（便直上、No.2とNo.3ダムと呼ぶ）の堤体及びエプロンよりφ10cmのコアを抜取り、浸漬供試体と比べマッシュパな実構造物の侵食の進行状況を調査した。コアは、No.2ダムの堤体

第5表 標準養生（材令28日）供試体の諸性状

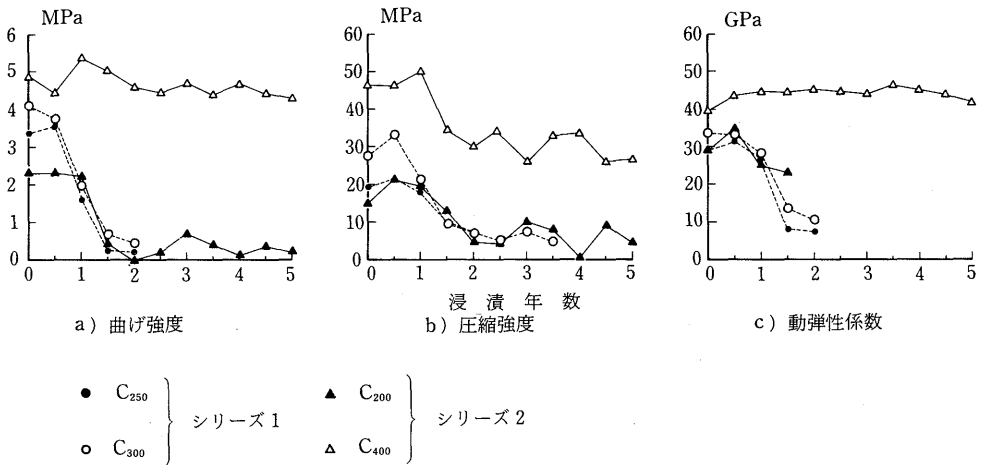
実験名	配合	セメント量 (kg/m ³)	密度 (t/m ³)	曲げ強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)	動弾性係数 (GPa)
シリーズ1	A	250	—	3.36	19.21	29.12
	B	300	—	4.08	27.44	33.51
シリーズ2	C	200	2.3656	2.31	14.80	29.01
	D	400	2.4158	4.90	46.45	39.49



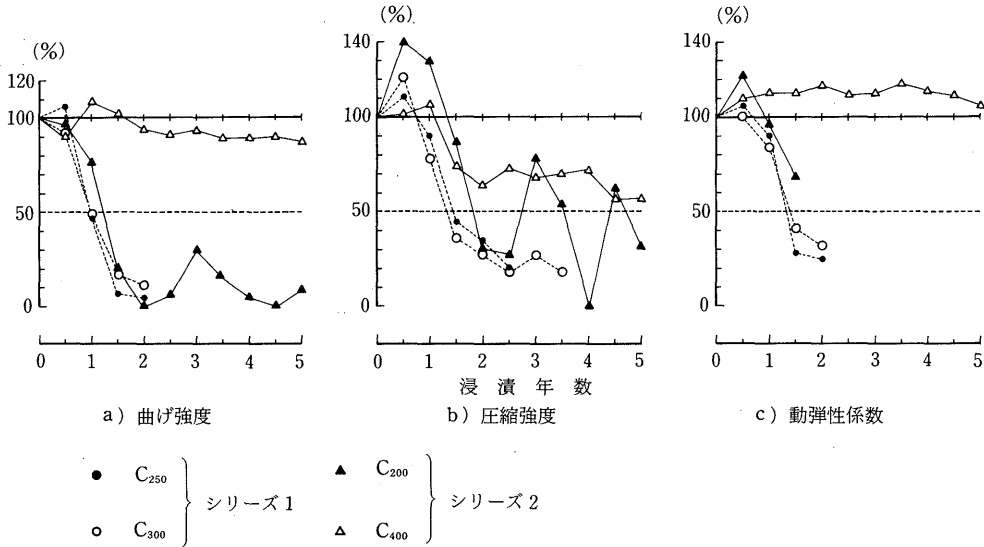
第3図 質量及び体積減少率の経年変化



第4図 密度及び密度比の経年変化 (シリーズ2)



第5図 曲げ及び圧縮強度と動弾性係数の経年変化



第6図 強度比及び動弾性係数比の経年変化

天端部より2本，堤体下流側斜面下部より1本，エプロン部より1本，No.3ダムのエプロン部より2本採取し，圧縮強度試験を行った。この結果を第6表に示す。これらのコアは，すべて常時酸性水中にある部分から採取したものである。特に，問題となるのは，No.3ダムのエプロンである。圧縮試験時及びコア採取時の観察から，この部分のコンクリートは，最大骨材寸法も小さく，かなりの貧配合であったものと考えられた。従って，ダム基礎の浸透水の揚圧力によるエプロン底面からの酸性水と，上面を流下する酸性水により，貧配合による大きな透水性のため，両面からエプロンは侵食を受けたものといえる。一方，堤体は劣化の目立つ部分もあるが，全体的には充分健全な状態と判断された。

結 論

1. 単位セメント量を増加させれば耐酸性を向上させることができる。さらに，酸性水に接触するまで乾燥期間を設けず，充分な湿潤養生も効果大きい。これは，単位セメント量の増加に伴い密実で透水性の小さいコンクリートが得られることと，乾燥期間がなければ酸性水の吸水が少なく内部への侵食に時間がかかるからである。
2. 単位セメント量の少ないコンクリート程，劣化の進行（クラック発生，端部・稜の損傷，表面剝離，膨張，

第6表 砂防ダムコンクリートコアの圧縮強度 (MPa)

ダム名	堤 体	エプロン
No. 2	37.24, 15.02*	22.35
No. 3	—	10.49

コア2本の平均値
*堤体下流側斜面下部

湾曲)は速く，マッシュなものでないかぎり，単位セメント量300kg/m²以下のコンクリートでは，1~2年で機能喪失してしまう。

3. コンクリートの機能（耐久性）喪失の基準は，密度が初期値以下になるか，強度比及び動弾性係数比が初期値の50%以下となった場合の両方から判断するのが適切である。

あ と が き

硬化後の普通ポルトランドセメントコンクリートは，一般にpHが12~13と強いアルカリ性のため，酸により容易に侵食される。耐酸性を向上させるには，結論で述べた方法に加えてスランプの小さい硬練りコンクリートを

入念に締固めることが望ましい。それでもなお侵食の可能性がある場合には、表面を耐酸性の高い合成樹脂で被覆するか、高価ではあるがアルミナセメント⁷⁾を使用すべきである。マッシュでないコンクリート（厚さ30cm以下の例えばトンネルの巻立てコンクリートとか擁壁など）では、圧力の加わった侵食性物質を含む地下水の作用を受けると容易に侵食され、その補修も高価なものとなるだけでなく、抜本的な防禦・補修方法もない^{8,9)}

コンクリートの耐久性に関する実験は、短期間で結論が得られることは少なく、最低でも5年以上の長期間になる。本実験も昭和48年より行ってきたが、今後第2表中の継続中のものも逐次報告していく予定である。最後に、本実験の遂行上多大なる協力を得た昭和48年以降の当研究室専攻生諸君に感謝の意を表す。

文 献

- 1) 服部九二雄：コンクリートの諸性状の経年変化について。農土学会誌，44 (11) 5—10 (1976)
- 2) 柘植巳一・服部九二雄：酸性水中におけるコンクリートの性状変化。鳥大農研報，29 48—53 (1977)
- 3) 服部九二雄・柘植巳一：コンクリートの耐久性に関する研究—酸性水中におけるコンクリートの劣化について (I) —。農土論集，84 68—74 (1979)
- 4) 服部九二雄・柘植巳一：コンクリートの耐久性に関する研究—酸性水中におけるコンクリートの劣化について (II) —。農土論集，99 62—70 (1982)
- 5) 服部九二雄・柘植巳一：酸性水中におけるコンクリートの性状変化 (I)，(II)，(III)。農土学会講演要旨集，(1979, 1980, 1982)
- 6) 東北地方建設局：コンクリート耐酸工法の一例—耐酸性コンクリートに関する試験調査—。東北技術，45 2—7 (1981)
- 7) 服部九二雄・柘植巳一：硫酸溶液中におけるコンクリートの侵食に関する基礎的研究 (III) —アルミナセメントと普通ポルトランドセメントとの比較—。農土論集，81 69—75 (1979)
- 8) 鈴木道雄・諏訪義雄：三国トンネルにおける酸性湧水による巻立てコンクリートの侵食とその対策。セメント・コンクリート，292 20—27 (1971)
- 9) Reading, T. T. : Combating Sulfate Attack in Corps of Engineers Concrete Construction. ACI, SP-47 343—366 (1975)