

## 酸性水中におけるコンクリートの性状変化

### IV. AE 剤混入コンクリートの耐酸性

服部九二雄\*・柘植巳一\*

平成元年 5 月 31 日 受付

### Influences of Acidic Water on the Deterioration of Concrete

#### IV. Resistance of Concrete with Air Entraining Agent to Acidic Water

Kunio HATTORI and Miichi TSUGE

The experimental studies on the resistance of concrete to acidic water have been carried out since 1973. It was shown that the resistance of concrete to acidic water with a pH value of about 3.6 could be improved by an increase in the cement content and that blast furnace slag cement had a higher resistance to acidic water than ordinary portland cement. Especially the concrete with more than 400 kg/m<sup>3</sup> cement content shows the higher resistance to acidic water.

Recently, the aggregates with low quality such as sea sand and the very soft concrete with a high slump value have been often used. Therefore, it is very important to have a wide knowledge of the chemical admixtures to use them effectively.

It is generally believed that the air entraining agent is also effective in increasing the resistance to chemicals besides improving the resistance to frost action.

From 1981 to 1986, the experiment was carried out to check whether the air entraining agent has the effect to improve the resistance of concrete to acidic water. This experiment was referred as to "Series 4". The test specimen is a prism with 10 cm square and 40 cm long.

The results obtained are as follows :

- (1) The air entraining agent has a little effect on improving the resistance of concrete to acidic water with a pH value of about 3.6.
- (2) For concrete made with the air entraining agent, the short-term dry curing in room for 2 weeks improves the resistance of concrete to acidic water.
- (3) Provided that the rank of deterioration is decided by the external feature of test specimen, the rate of deterioration can be shown quantitatively.

---

\* 鳥取大学農学部農林総合科学科生産環境工学講座

\* *Department of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Tottori University*

## 結 言

コンクリートは、最も耐久性がありかつ任意の形状が作れる建設材料として、近年、広範囲に使用されてきている。しかし、最近では、海砂や碎石などの低品質骨材の使用量が多くなり、コンクリート中の鉄筋の発錆やアルカリ骨材反応などによって、コンクリート構造物の耐用年数が以前と比べてかなり短くなってきていることがしばしば報告されてきている。

コンクリートが持つ特質のうち最も重要なものは耐久性である。耐久性とは、「凍結融解、寒暑、乾湿などが繰り返り作用する、いわゆる気象作用をはじめ、硫酸塩、酸類などの化学物質による侵食作用、車輛や流水、流砂などによるすりへり作用、中性化、鋼材の腐食、反応性骨材などの影響、その他コンクリートの使用上生ずる種々の作用に抵抗し、長年月にわたって使用に耐えうる性質」と定義されている<sup>13)</sup>。従って、耐久性は、物理的な作用に対する抵抗性として、耐凍結融解性、耐摩耗性、耐熱性、耐火性、耐電食性、化学的な作用に対する抵抗性として、耐硫酸塩性、耐酸性、耐中性化性、耐海水性、骨材反応抵抗性、などに分けられる。

筆者らは、この耐久性のうち、耐化学抵抗性または耐酸性について第1表に示す実験を重ね、その結果を逐次報告してきている<sup>4-11)</sup>。本論文は、使用実績の多い混和剤のうちからAE剤を選び、そのコンクリートの耐酸性に及ぼす影響を検討した結果をまとめたものである。

AE剤の果たす役割は、コンクリートをワーカブルな状態に十分保ったまま、コンクリートの単位水量と単位セメント量を低減させ、特に耐凍結融解性を高めようとするものである。このようにAE剤の添加によって単位水量が減少するので、コンクリートの水密性が増加し、

その化学抵抗性が高まると述べた著書もある<sup>1)</sup>。確かに、AE剤は高い減水効果を持ち、水密性が増すことで化学抵抗性は高まると思われるが、逆に単位水量の低減に伴う単位セメント量の減少の影響が一つのポイントになると考えられる。というのは、筆者らが、既に報告してきているように耐化学抵抗性または耐酸性には、単位セメント量の多寡が一つの重要なポイントであることを指摘してきているからである<sup>9)</sup>。このことは、最近改訂された土木学会標準示方書でも侵食性の環境では単位セメント量を多くするよう勧告されている<sup>3)</sup>。従って、AE剤の添加による単位セメント量の減少がコンクリートの耐酸性にどのように影響するかを把握すべく本実験を遂行したわけである。

さらに、コンクリートが侵食性物質に接触する前に乾燥期間があると耐酸性がかなり低下する。シリーズ1で示したように、酸性水浸漬前の48日間冬期室内乾燥養生は、コンクリートの耐酸性に著しく影響した。本論文では、この乾燥養生期間の長短の影響も検討してみた。また、酸性水によって侵食され損傷・劣化した供試体の外観から、劣化の進行程度を定量的に評価する試みも行った。

## 試験地の概要および実験方法

### (1) 試験地の概要

コンクリート供試体を浸漬してきている試験地は、鳥取市より東約30kmの岩美町荒金にある幅約3m程の谷川である。この谷川は、河床勾配も大きく標高約100m前後の丘陵地にあるため、多雨・融雪期にはかなりの流量・流速になる。さらに、供試体浸漬箇所の上流には大小3つの砂防ダムがあることからわかるように、多量の土砂がしばしば流下する。このため、供試体は、浸漬後ほ

第1表 実験の内容

実験名	期間および年数	使用セメントとセメント量	備考
シリーズ1	48. 1~51. 7(3. 5)	NPC, 250, 300	完了
シリーズ2	51. 11~56. 11(5. 0)	NPC, 200, 400	完了
シリーズ3	55. 11~60. 11(5. 0)	BFSC, 350, 400	完了
シリーズ4	56. 11~61. 11(5. 0)	NPC(AE), 288	完了

(注) NPC : 普通ポルトランドセメント  
 BFSC : 高炉セメントB種  
 NPC(AE) : AE剤混入普通ポルトランドセメント  
 セメント量 : (kg/m<sup>3</sup>)

とんど常時この土砂に埋もれた状態にある。しかし、酸性水の影響は、従来の実験結果からも、この覆われた土砂によって弱められる恐れのないことが確認されている。なお、供試体が濁水期に水面上に露出することがないように、浸漬箇所下流に栗石を積上げ堰上げを行った。

現地谷川のpH値は、第2表に示すように、14年間平均して約3.6と安定している。第3表に示すように谷川の水質は、pH、SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>およびCu濃度が、農業用水水質基準<sup>12)</sup>の許容値以上でコンクリートにも有害であることが推測できる。

(2) 実験に使用した材料と供試体の作製

供試体は、10×10×40cmの曲げ強度試験用の角柱形型枠で作製した。練混ぜは、容量50 lの強制練りミキサーで行い、第1図に示す手順で供試体を作製し現地谷川に浸漬した。第4表には、使用骨材の物理的性質を示す。

第2表 現地谷川のpH値

年月日	pH	年月日	pH	年月日	pH
48. 1. 11	3.02	51. 11. 11	3.38*	57. 5. 25	4.14
3. 14	2.92	11. 15	3.88*	5. 26	4.30
6. 21	2.94	11. 16	3.53*	11. 11	4.82*
7. 11	2.95	12. 6	3.33	11. 12	4.74*
10. 16	3.20	52. 1. 12	3.08	58. 5. 13	4.89*
49. 1. 9	3.16	1. 17	2.92	11. 11	4.52
7. 23	3.10	2. 14	3.26	59. 4. 24	5.93*
12. 17	3.33	5. 18	3.14	5. 25	4.76*
50. 7. 10	3.00	9. 8	3.40	6. 27	4.67*
9. 30	3.10	10. 3	3.99*	7. 27	3.93
10. 6	3.20	11. 10	3.53*	8. 30	3.49
10. 17	3.10	12. 2	3.98*	9. 27	3.31
11. 6	3.20	53. 5. 18	3.03	11. 10	3.68
11. 13	3.20	11. 17	3.65	11. 16	3.50
12. 8	3.20	54. 5. 21	3.26	60. 2. 12	4.36*
51. 1. 16	2.84	11. 19	3.55	5. 28	3.79
2. 6	3.47	55. 5. 12	3.29	10. 21	3.53
3. 2	3.09	11. 20	3.77*	61. 10. 15	5.93*
8. 5	2.92	11. 21	4.23*	62. 1. 19	5.00*
8. 6	2.93	56. 5. 15	3.92*	4. 24	4.10*
9. 20	3.15	11. 12	4.68*		
10. 4	2.79	11. 13	4.74*		
10. 16	3.07	11. 19	4.74*	平均値	3.62
11. 1	2.89	11. 20	4.45		

(注) \*: 降雨・降雪・融雪により流量大

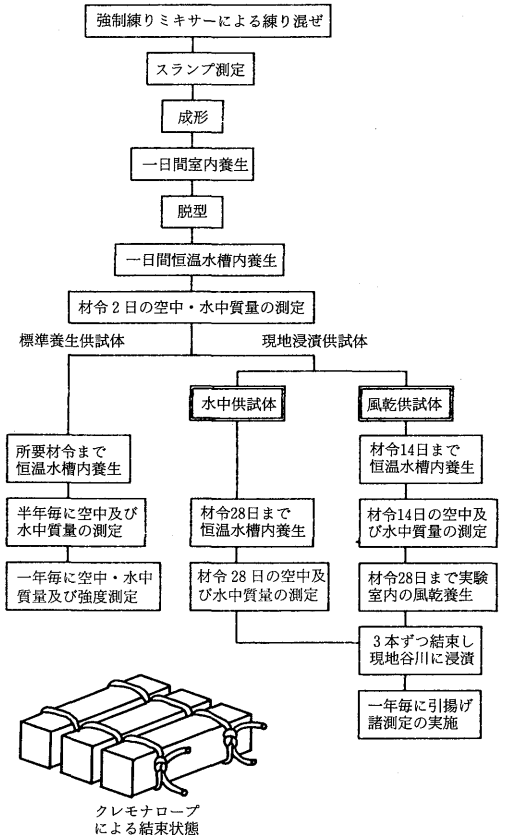
セメントは、比重3.15のT社製の普通ポルトランドセメントで、A E剤は、山宗化学株式会社の製品ヴィンソル70（ロジン石鹼、非イオン系界面活性剤、脂肪族化合物を混合したもので、標準使用量は、セメント量の0.03～0.05重量%）を使用した。

第5表には、過去の実験を含めた示方配合を示す。ただし、配合GおよびHは、現地浸漬用供試体と比較対照

第3表 谷川の水質

項目	値
pH	3.50
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	524 ppm
Cu	0.9 ppm
Zn	0.2 ppm
Cd	0.007ppm

(1985. 11. 16)



第1図 供試体の作製と現地浸漬までの手順

第4表 使用骨材の物理的性質

実験名	骨材	比重	吸水率 (%)	有効吸水率 (%)	粗粒率	スリヘリ減量 (%)
シリーズ1 (NPC)	細骨材	2.57	2.33	1.87	3.03	—
	粗骨材	2.62	1.22	0.72	7.30*	21.05
シリーズ2 (NPC)	細骨材	2.55	2.00	1.53	3.21	—
	粗骨材	2.63	1.30	0.84	7.30*	14.40
シリーズ3 (BFSC)	細骨材	2.56	2.10	1.60	2.77	—
	粗骨材	2.58	1.70	1.10	7.10*	21.50
シリーズ4 (NPC・AE)	細骨材	2.55	2.10	1.30	2.77	—
	粗骨材	2.58	1.70	0.90	6.70*	21.50

(注) \*:人為的に粒度調整した値

第5表 実験に使用した示方配合

実験名	配合	M.S. (mm)	スランプ (cm)	空気量 (%)	W/C (%)	S/a (%)	単 位 量 (kg/m <sup>3</sup> )				
							水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤
シリーズ1 (NPC)	A	25	5 ± 1	1.0	68	50	170	250	950	965	—
	B	25	5 ± 1	1.0	57	48	170	300	904	976	—
シリーズ2 (NPC)	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	—
シリーズ3 (BFSC)	E	25	5 ± 1	1.5	47.4	43.1	166	350	778	1035	—
	F	25	5 ± 1	1.5	41.5	43.1	166	400	760	1011	—
	G*	25	5 ± 1	1.5	84	50	168	200	956	986	—
シリーズ4 (NPC・AE)	H*	20	7 ± 2	2.0	55	46.9	179	325	831	960	—
	I	20	7 ± 2	6.0	55	43.7	158	288	770	1003	0.086

(注) M.S.:最大骨材寸法

\*:標準養生供試体に関連した配合で、直接耐酸性実験には関係していない。

するために、室内の恒温水槽内で標準養生した供試体のものである。

## (3) 劣化状態の評価方法

シリーズ4では、現地谷川に浸漬した供試体について一年毎に引き揚げ諸測定を行った。測定および観察項目としては、以下のものを考え劣化状態を評価した。

- ① ワイヤブラシ洗前・後の劣化状態の写真撮影
- ② ワイヤブラシ洗後の供試体の空中および水中質量
- ③ 動弾性係数 (タワミ振動法)
- ④ 曲げ強度 (三等分点載荷法)
- ⑤ 曲げ強度試験後の破断面の写真撮影
- ⑥ 圧縮強度 (キャッピング処理なし)

②より供試体個々の密度を計算した。第6表には、過去の実験も含めた材令28日の標準養生供試体 (材令28日

まで恒温水槽内で養生したもの) の諸強度の値を示す。これらの値を基準値として耐酸性の評価をした。

## (4) 供試体の外観からの劣化の評価

コンクリートの劣化の進行は、肉眼で観察したり、写真に記録された劣化状態の外観からも評価することができる<sup>13)</sup>。ただし、客観的な評価をするには観察者をできるだけ多くし、基準となる劣化状態の項目とか過去のデータを十分蓄積しておくことが必要である。

本論文では、一つの試みとして、過去の実験シリーズ1~3の経験から、第7表に示すような劣化状態のランクを設定し、1組3本の供試体にそれぞれランクをつけ、その平均値で各経過年数後の劣化状態のランクを表わし、その変化によって劣化の進行状態を定量化してみた。対象としたデータは、主に劣化状態を撮った写真と現地引

第6表 材令28日における基準値

実験名	配合	セメント量 (kg/m <sup>3</sup> )	密度 (t/m <sup>3</sup> )	曲げ強度 (MPa)	圧縮強度 (MPa)	動弾性係数 (GPa)
シリーズ1 (NPC)	A	250	—	3.36	19.21	29.12
	B	300	—	4.08	27.44	33.51
シリーズ2 (NPC)	C	200	2.3656	2.31	14.80	29.01
	D	400	2.4158	4.90	46.45	39.49
シリーズ3 (BFSC)	E	350	2.3465	4.04	33.33	32.35
	F	400	2.3553	4.61	39.36	34.10
	G*	200	2.3444	4.29	16.55	28.97
シリーズ4 (NPC・AE)	H*	325	2.3248	4.20	32.16	33.10
	I	288	2.3029	4.06	30.04	32.28

(注) \*: 標準養生供試体に関連した配合で、直接耐酸性実験には関係していない。

第7表 劣化程度の判定基準

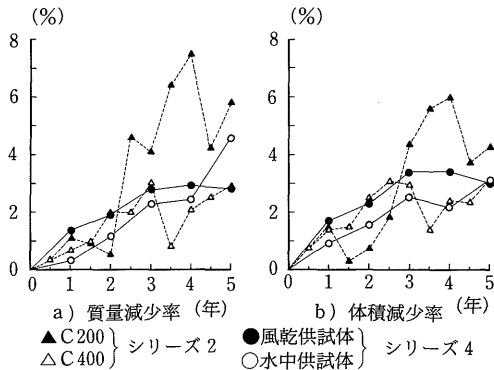
ランク数	劣化程度 (主にワイヤーブラシ洗後)
0	無傷
1	細骨材の露出、稜・隅角部の損傷・欠落
2	粗骨材の露出、端部の劣化・損傷の進行 端部に沿った細かいクラックの発生
3	端部のクラックの拡大進行と膨張 (コンクリート片の剥落) 稜に沿った長くて細かいクラックの発生 動弾性係数測定用のピックアップの密着が困難になる
4	端部の膨張と剥落の進行 端部の原形が崩れ丸くなり、動弾性係数の測定不可能となる 稜に沿ったクラックの拡大と進行 曲げ試験後の破断面の色の変化 (灰色⇒灰白色)
5	縦横に大きくて深いクラック (湾曲・破断・分離) 小さい力で容易に破断、供試体全体の原形なし 曲げ強度の測定不可能

揚げ時と実験時の観察記録で、過去の実験も含めて劣化状態の定量化を試みた。

### 結果と考察

以下の説明の便宜上、AE剤混入コンクリートをAEコンクリート、混入しないものをプレーンコンクリートと表わす。また、参考のために各図・表中に記入してあるシリーズ1, 2, 3の実験結果において、C200などと表わしてあるものは、単位セメント量が、200kg/m<sup>3</sup>の供試体を意味している。

シリーズ4では、現地へ浸漬したコンクリート供試体は、すべてAEコンクリートであるが、現地へ浸漬するまでの養生方法が、第1図で分かるように異なる。一つは、浸漬直前まで28日間恒温水槽内で標準養生したものであり、他の一つは、2週間の標準養生後2週間の室内乾燥養生をしたものである。以下、前者を水中供試体、後者を風乾供試体と呼ぶ。このように浸漬前の養生方法の違いから風乾供試体の方は、材令28日における密度が得られないため、質量と体積減少率および密度と密度比を求める基準値には材令14日の値を両者とも採用した。



第2図 質量および体積減少率の経年変化

シリーズ2の実験結果は、AE剤を用いないいわゆるブレンコンクリートに関するものであるから、これらと比較しながら以下考察を加える。

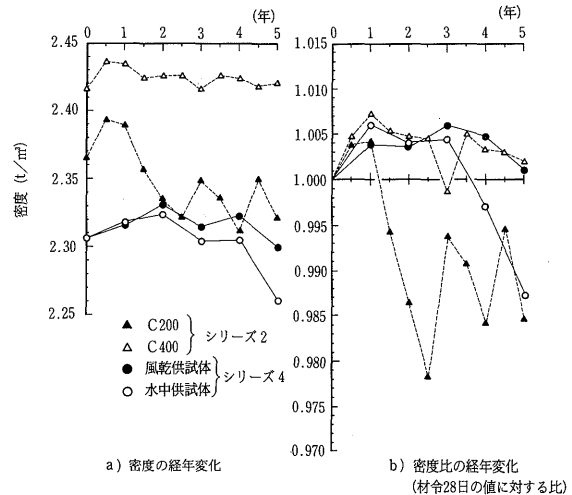
第2図には、シリーズ2と4の質量及び体積減少率の経年変化を示す。両減少率からみれば、風乾供試体の方が大きい減少率を示しているが、両者の間には極端に異なる挙動差はなく、シリーズ4の両供試体とも、シリーズ2のC400と似た減少傾向を示していると共に、ほぼ直線的に両減少率が増加している。

第3図には、密度と密度比の経年変化を示す。現地浸漬直前まで水中養生していた水中供試体の方が密度の低下が小さいと考えられたが、予想に反して水中供試体の低下傾向が目につき、4年後には、密度は初期値以下となってしまうっており、これに符合するかのよう動弾性係数の測定も不可能になってしまった(第7図参照)。一方、風乾供試体は、5年後でもなお初期値以上となっているが、3年以降ゆっくりした低下傾向を示している。

第4図には、曲げおよび圧縮強度と動弾性係数並びにそれらの基準値(第6表参照)に対する割合の経年変化を示す。この図においても、予想に反して水中供試体の強度低下の早さが目立つ。特に、3年以降、水中供試体は、端部の劣化が著しく、4年目には最早動弾性係数は測定不可能になってしまった。なお、動弾性係数が測定可能か否かの判定基準は、供試体の両端部が著しく劣化して、ピックアップの密着が難しい場合としてきている。

一方、風乾供試体は、シリーズ2のC400とほぼ同じ挙動を示し、動弾性係数は5年後でもなお初期値以上となっている。これは、密度及び密度比の挙動とも一致する。

シリーズ2の結果と比較し、AEコンクリートの単位セメント量 $288\text{kg}/\text{m}^3$ から判断すれば、若干ではあるがA



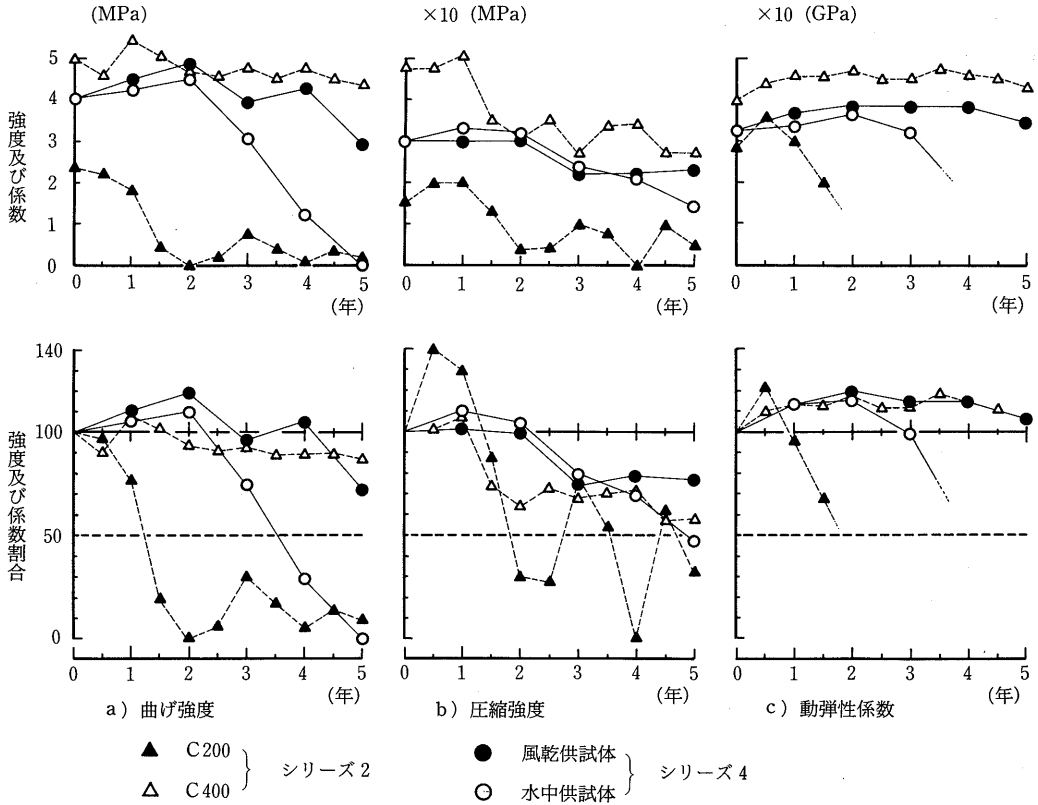
第3図 密度および密度比の経年変化

E剤の効果は見られる。しかし、コンクリートの耐酸性を向上させるには、AE剤の使用を強く推奨できるほどのものではない。

また、予想に反して、現地浸漬前に、2週間の乾燥期間を設けたコンクリートの方が、若干ではあるが高い耐酸性を示した。これは侵食性物質に接触する前に、乾燥させると炭酸カルシウムの膜(石灰に対する $\text{CO}_2$ の作用によって生ずる)が生成され、コンクリートの気孔を閉ざし表面層の透水性を減少させるためであると考えられる<sup>14)</sup>。しかし、シリーズ1のように48日間の冬期室内乾燥養生は、コンクリートの耐酸性を著しく低下させた<sup>3)</sup>。従って、乾燥養生期間の長短によって上記のような保護膜の形成の程度が異なる可能性もあり、今後検討を要する点といえる。

第7表の判定基準を各シリーズの1組3本の供試体の劣化状態に適用し、それぞれのランクの平均値を各浸漬年数後の劣化状態のランク数とした。その結果を第8表に示す。

客観的な評価の難しさもあるが、第7表のようなランクでは表わしにくい要素もある。例えば、シリーズ3の高炉セメントから成るコンクリートは、型枠への詰まりのよさとか構造の緻密さによる水密性の高さのため、普通ポルトランドセメントから成るコンクリートと異なり、クラックなどの発生が少なく、長期浸漬後でも供試体は湾曲することがなかった。従って、同じランク数3と4でも、シリーズ3(高炉セメント)とシリーズ1、2お



第4図 曲げおよび圧縮強度と動弾性係数並びにそれらの初期値に対する割合の経年変化

よび4 (普通ポルトランドセメント) とでは内容が異なる。この点は、シリーズ3のC350の4年以降のランク数が3.7と変化していないことで表現されているとも言える。

第8表から分かるように、高炉セメントコンクリートと普通ポルトランドセメントコンクリートのうちセメント量の多いものの方(目安は400kg/m<sup>3</sup>)が侵食されにくいといえる。ただし、AEコンクリートの単位セメント量288 (kg/m<sup>3</sup>) から判断すれば、AE剤の添加は、耐酸性の向上に、2週間の乾燥養生との相乗効果を発揮していると考えられる。

一旦供試体にクラックが発生すると、これに沿って酸性水による侵食が促進されるため急速に劣化が進行する。AEコンクリート(シリーズ4)もプレーンコンクリート(シリーズ1, 2)と比べややクラック・湾曲の発生が遅くかつ少なかったため、若干侵食されにくいことが分かる。

pH約3.6の酸性水によって侵食されたコンクリート供試体の外観から、その劣化の進行程度を評価する方法は、

第8表 ランク数で表わした劣化の進行状態

年数	シリーズ1 (NPC)		シリーズ2 (NPC)		シリーズ3 (BFSC)		シリーズ4 (NPC・AE)	
	C250	C300	C200	C400	C350	C400	水中	風乾
0.5	1	1	1	0	—	—	—	—
1.0	*	*	2.7	1	0.7	0	1.3	1
1.5	2	1.7	3.3	1	1	1	—	—
2.0	3	2	4	1.7	1	1	2.7	1.3
2.5	4.7	2.3	4.3	2	2	1	—	—
3.0	4	4.3	4	2	2.7	1.7	3.3	2
3.5	5	4.8	4.3	2	3	1.7	—	—
4.0	—	—	5	2	3.7	1.7	3.7	2
4.5	—	—	2.7	2	3.7	2	—	—
5.0	—	—	4.7	2	3.7	2	5	3

(注) \*: 写真記録なし

—: 対象供試体なし

劣化程度の判定基準によって大きく左右されることは言うまでもない。従って、本実験で用いた10×10×40cmの大きさの角柱形供試体の場合、過去の実験データの積重ねから6段階の劣化程度判定基準が設定でき、その方法の妥当性が確認できた。しかし、この基準が他の形の供試体にも適用できるとは言えず、更に、実構造物の外観から劣化程度を判断する場合には、長年月にわたる観察データが必要になる。

## 結 論

- 1) A E剤の添加は、コンクリートの耐酸性向上に効果を持つが、著しい効果とは言い難い。ただし、単位セメント量の多いものほど耐酸性が高いという点から考えれば、単位セメント量288kg/m<sup>3</sup>のA Eコンクリートは比較的良好な耐酸性を有するといえる。
- 2) 酸性水浸漬前に2週間という乾燥養生期間を設けたが、この乾燥養生によって表面に炭酸カルシウムの保護膜が形成されるため、耐酸性の向上に若干の好影響を与えた。しかし、この乾燥養生期間の長短によって耐酸性の向上の程度が違ってくる可能性がある。
- 3) 劣化状態の外観にランクをつけ劣化の進行を定量化することができる。この定量化されたものから、高炉セメントコンクリート及び単位セメント量の多い普通ポルトランドセメントコンクリートだけでなく、風乾養生したA Eコンクリートも酸により侵食されにくいことを明確に表わすことができた。

## あ と が き

コンクリート及び鉄筋コンクリート構造物の耐用年数が半永久的という一般的概念が崩れて久しいし、コンクリートで半永久的な構造物を作るという考え方が最早古いものであるとも言えるかもしれない。特に、過酷な供用条件下におかれる農業水利施設用のコンクリートの場合、いずれにしても、長期間の耐用年数を期待できないわけであるから、侵食・劣化及び損傷を受け易い部分を予め十分把握しておき、補修し易い設計・施工方法を考えておく必要がある。その方がより経済的であると言える。

本実験で用いたA E剤は、空気連行のみを目的として使用したわけであるが、実際には、A E剤を混入しないいわゆるプレーンコンクリートに比べて単位水量で約12%、単位セメント量で約11%程低減されたものになっている。昨今のA E剤は、品質改良によって目的を空気連

行のみに限って使用しても、実際にはかなりの減水効果があることが分かった。A E剤の添加は耐酸性向上に若干効果があることが分かったわけであるが、今後は、空気量を厳密に測定・把握する必要のあること、その他の混和剤(減水効果のさらに高いA E減水剤、防水剤など)や合成樹脂の被覆などの効果も検討する必要がある。

酸性水に浸漬する前の短期間の乾燥養生によってコンクリートの耐酸性が向上したが、その乾燥養生期間の長短によって耐酸性が向上したり、乾燥しすぎて逆に耐酸性が低下してしまう可能性も考えられるので、今後実験計画をたてて解明していく予定である。

また、供試体の形状(円柱形か角柱形)、供試体の大小、浸漬方法(供試体を完全に水没させた場合と半分水面上に露出させた場合)などの違いによって侵食の進行の形態及び速さが異なってくると考えられるので、室内促進実験をも含めて検討していく予定である。

コンクリートの耐久性に関する研究は、長期間の実験を必要とするうえに、確立した早期劣化判定試験方法も一部を除いて与えられていないため、容易に進展しないのが実状である。今後、コンクリートの耐久性を検索する早期劣化判定のための促進実験方法の確立が望まれる。

最後に、本実験の遂行にあたり、多大な御協力を願った昭和48年以降の当研究室の専攻生諸君に深甚なる感謝の意を表す。

## 引 用 文 献

- 1) 秋山圭一：セメント・コンクリートの化学。堀越研究所。東京(1984) pp. 262—264
- 2) Dahl, L. A. : Cement Performance in Concrete Exposed to Sulfate Soils. ACI Journal, 21 (4) 257—272 (1949)
- 3) 土木学会：コンクリート標準示方書《施工編》。土木学会(1986) pp. 171—173
- 4) 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 (1975)
- 5) 服部九二雄・拓植巳一：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)
- 6) 服部九二雄・拓植巳一：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)
- 7) 服部九二雄・拓植巳一：高炉セメントB種コンクリートの耐酸性——酸性水中におけるコンクリートの劣化について(III)——。農土論集, 131, 87—94 (1987)



- 8) 服部九二雄・拓植巳一：A Eコンクリートの耐酸性——酸性水中におけるコンクリートの劣化について (IV) ——。農土論集, 134, 101~108 (1988)
- 9) 服部九二雄・拓植巳一：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)
- 10) 服部九二雄・拓植巳一：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——。鳥大農研報, 36, 79~85 (1984)
- 11) 服部九二雄・拓植巳一：酸性水中におけるコンクリートの性状変化——III. 高炉セメントB種コンクリートの耐酸性——。鳥大農研報, 40, 49~56 (1987)
- 12) ネビル, A. M. : コンクリートの特性。後藤幸正・尾坂芳夫訳, 技報堂, 東京 (1979) pp. 343-344
- 13) 岡田 清 : コンクリートの耐酸性。朝倉書店, 東京 (1986) p. 1
- 14) 田淵俊雄 : 農業土木技術者のための水質入門。農業土木学会 (1986) p. 18