

鹿児島大学工学部 正会員○武若耕司

大日本塗料（株） 正会員 里 隆幸

1. まえがき

近年における地球的規模の環境問題の1つとして酸性雨（ pH 5.6以下の雨）問題がある。ヨーロッパ等では、既にこれによる大規模な環境破壊や人体の健康被害が報告され、また、我が国においても降雨の酸性化は相当に進んでいるといわれ、環境への影響も取り沙汰されてきている。同時に最近では、長期の寿命を要求される土木構造物、中でも特に高アルカリ性の材料であるコンクリートを使用した構造物に対してこの問題の影響を懸念する声が聞かれ始めた。コンクリートは、これまで、 pH 3～5程度の酸に対してはその品質に配慮すれば劣化速度は小さいとされていた。しかし、酸性雨の場合には、現在の設計概念では通常は特別な配慮を行わない一般環境の構造物でさえその影響を受け、他方、昨今の土木構造物に対する期待耐用年数の増大とその一方で生じているコンクリート材料の劣悪化は、酸性雨によるコンクリートの劣化問題を無視できなくする可能性もある。本研究では、特に既存構造物において酸性雨がコンクリートの中性化を速めると指摘する既往の報告⁽¹⁾を参考とし、この中性化促進の可能性と鉄筋腐食に及ぼす影響について、実験的な検討を試みたものである。

2. 実験の概要

ここでは、酸性雨がコンクリートの中性化に及ぼす影響を促進実験によって検討することにした。この実験は、後述する供試体に対して、酸性雨の化学組成を考慮した表-1に示す弱酸性溶液（以下酸性雨溶液と称す）中の浸漬1日とその後の乾燥3日を1サイクルとして繰り返し、しかも、乾燥中は、 CO_2 濃度5%の環境で中性化の促進を図るもので、この結果を浸漬溶液を水道水とした場合と比較することによって酸性雨の影響を検討した。表-1の酸性雨の組成は、桜島の影響によって火山性酸性雨の影響を頻繁に受ける鹿児島市周辺の降雨のイオン組成を参考にしたものである。なお、浸漬溶液は、浸漬を繰り返すごとに交換した。実験に用いた供試体の形状を図-1に、実験の要因及び水準を表-2に示す。供試体は、両端面の鉄筋と垂直な方向に所定のひび割れを割裂試験により導入し、側面はエポキシ樹脂により被覆した。また、一部の供試体については、あらかじめ所定の深さまで促進中性化させた後に上記実験に供した。

3. 実験結果および考察

ここでは、促進実験の繰り返し8サイクル時点までの結果について示す。表-3には、ひび割れと直角方向の鉄筋に沿った面におけるコンクリートの平均中性化深さを取りまとめて示した。この結果から、水セメント比、ひび割れ幅および初期中性化部の有無の如何にかかわらず、酸性雨溶液浸漬供試体の中性化深さは水道水浸漬供試体に比べ明らかに深く、中性化速度で1.5倍程度となっていることが確認された。ただし、水セメント比などの各実験要因と酸性雨の影響程度の関係については、現在のところ明確な傾向は認められない。

一方、鉄筋腐食状況に関して、図-2にはかぶりコン

表-1 酸性雨溶液の組成

pH	混入量 (mg/ℓ)		
	HCl	H_2SO_4	HNO_3
3.5	4.0	8.0	3.0

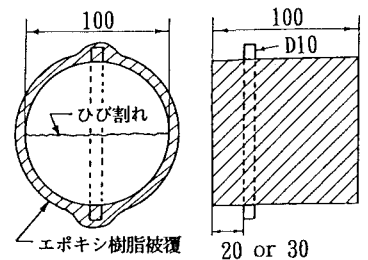
図-1 供試体の形状・寸法
(単位: mm)

表-2 促進実験の要因と水準

要因	水準
W/C(%)	50 , 70
かぶり(cm)	2 , 3
目標ひび割れ幅(mm)	0.1 , 0.3
初期中性化深さ(mm)	0 , 5
浸漬溶液	酸性雨溶液 , 水道水

クリート表面のひび割れ位置で測定した鉄筋電位の経時変化の一例を、表-4には促進繰返し8サイクル後の鉄筋の腐食面積率の測定結果を示した。なお、鉄筋腐食は、ひび割れ位置のみではなく、エポキシ樹脂で被覆された供試体側面の鉄筋端部からの進行も見られた。このため、腐食面積率は、ひび割れ部の影響のみを考慮した鉄筋中央部6cm区間の値についても示している。これらの結果、全体的な傾向としては先の中性化と同様に、酸性雨溶液浸漬によって鉄筋腐食性が高まるようであった。また、ひび割れ位置での鉄筋腐食傾向に着目した場合、あらかじめ中性化を行った後に実験に供した供試体においては、現段階では、水セメント比50%の方が70%に比べかえって酸性雨の影響が顕著であり、さらに、腐食面積では明確ではないが、自然電位の結果を見る限り、かぶり2cmの場合よりも3cmの場合が影響が顕著なようである。これは、水セメント比70%の場合やかぶり2cmの場合には、実験前の中性化による影響が大きく、かえって酸性雨の影響が現れにくかったことによるものと思われる。一方、中性化させずに実験を行った供試体においては、水セメント比の如何にかかわらず、かぶりが小さく、ひび割れ幅の大きい場合に酸性雨の影響がより大きい。この場合については、ひび割れ部の中性化の進行程度と対応しているようである。

の値についても示している。これらの結果、全体的な傾向としては先の中性化と同様に、酸性雨溶液浸漬によって鉄筋腐食性が高まるようであった。また、ひび割れ位置での鉄筋腐食傾向に着目した場合、あらかじめ中性化を行った後に実験に供した供試体においては、現段階では、水セメント比50%の方が70%に比べかえって酸性雨の影響が顕著であり、さらに、腐食面積では明確ではないが、自然電位の結果を見る限り、かぶり2cmの場合よりも3cmの場合が影響が顕著なようである。これは、水セメント比70%の場合やかぶり2cmの場合には、実験前の中性化による影響が大きく、かえって酸性雨の影響が現れにくかったことによるものと思われる。一方、中性化させずに実験を行った供試体においては、水セメント比の如何にかかわらず、かぶりが小さく、ひび割れ幅の大きい場合に酸性雨の影響がより大きい。この場合については、ひび割れ部の中性化の進行程度と対応しているようである。

[参考文献]

- (1) 小林一輔、宇野祐一：酸性雨によるコンクリート構造物の劣化機構に関する考察、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.13、No.1、1991
- (2) 武若耕司他：コンクリート構造物における酸性雨の影響に関する実験的検討—その1. 実験プログラムについて—、土木学会西部支部研究発表会、1994

表-4 促進実験8サイクル後の鉄筋腐食面積率

W／C		5 0 %				7 0 %			
かぶり		2 c m		3 c m		2 c m		3 c m	
浸漬溶液		酸性溶液	水道水	酸性溶液	水道水	酸性溶液	水道水	酸性溶液	水道水
	ひび割れ幅	コンクリート中の鉄筋全面積に対する腐食面積率（％）							
初期中性化あり	0.1mm	3. 2	1. 8	0. 5	0. 4	6. 1	2. 7	3. 2	3. 0
	0.3mm	9. 3	3. 9	4. 2	5. 2	4. 3	5. 1	4. 7	2. 8
初期中性化なし	0.1mm	2. 0	1. 9	2. 4	2. 4	4. 0	3. 1	1. 6	1. 5
	0.3mm	3. 8	2. 5	1. 7	1. 0	4. 4	3. 2	2. 8	1. 6
		鉄筋中央部 6 c m 区間における腐食面積率（％）							
初期中性化あり	0.1mm	2. 1	2. 0	0. 1	0	0	0. 3	0	0
	0.3mm	5. 1	3. 3	1. 7	0. 8	2. 6	3. 7	0. 7	1. 3
初期中性化なし	0.1mm	0. 2	0	0	0	3. 5	0	0	0
	0.3mm	1. 5	0. 4	0. 4	0	2. 4	2. 2	0. 9	0

表-3 促進実験8サイクル後のコンクリートの平均中性化深さ

W / C				5 0 %		7 0 %	
浸漬溶液				酸性溶液	水道水	酸性溶液	水道水
平均中性化深さ (mm)	初期中性化あり	試験前		3. 0		6. 3	
		試験後	ひび割れ幅 0.1mmの場合	4. 7	4. 0	8. 3	7. 5
			ひび割れ幅 0.3mmの場合	6. 0	4. 3	7. 6	7. 2
	初期中性化なし	試験前		0		0	
		試験後	ひび割れ幅 0.1mmの場合	1. 2	0. 9	4. 3	2. 6
			ひび割れ幅 0.3mmの場合	1. 5	0. 9	2. 9	2. 6

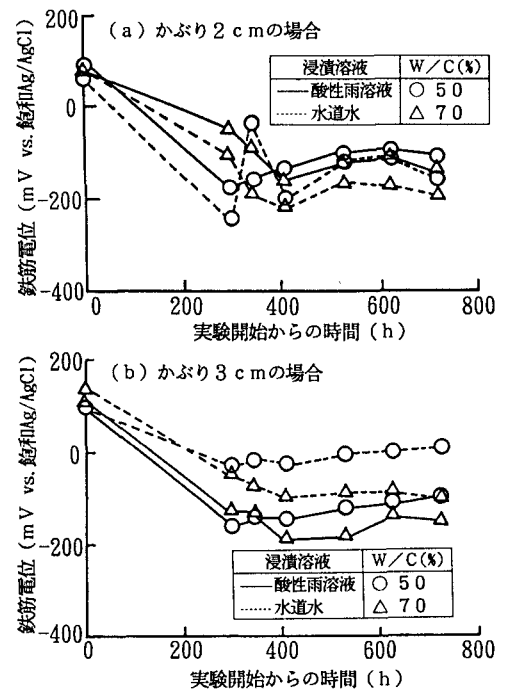


図-2 促進実験中の鉄筋電位の経時変化の一例（初期中性化あり、目標ひび割れ幅0.1mmの場合）