

コンクリート構造物における酸性雨影響評価のための促進実験

鹿児島大学大学院 学生会員 審良 善和
 アジア工科大学 正会員 武若 耕司
 大日本塗料(株) 正会員 里 隆幸
 鹿児島大学工学部 正会員 山口 明伸

1. はじめに

産業革命以降、様々な人間活動によって、地球の生態系バランスは大きく変化し、これが現在、環境問題として大きな問題となっている。その中の1つとして挙げられる酸性雨問題は、人体被害、土壌の酸性化、森林破壊、湖沼の酸性化、水生生物の死滅および構造物の劣化などへ影響を及ぼすとされている。本研究は、このうちコンクリート構造物への酸性雨の影響を取り上げたものである。特に、酸性雨によるコンクリート構造物の劣化速度は遅く、その影響を評価することは困難であることから、ここでは、酸性雨の影響を定量的に把握するために、実環境を促進的にモデル化させた降雨散布装置を開発し、これを用いて酸性雨の影響評価を試みた。

2. 酸性雨試験の概要

2.1 酸性雨試験の構築

酸性雨試験にあたっては、実験室内の温度と湿度を一定にし、高炭酸ガス濃度の養生室内で表-1に示す条件で、乾湿繰り返しによる酸性雨の劣化促進実験を試みた。ここでは、まず中性化深さの予測式として一般に用いられる岸谷式¹⁾および森永式²⁾を参考として自然環境下で2年間に相当する中性化をCO₂濃度10%で生じさせる時間を求め、次に、2年間の降雨日数を考慮して、雨散布時間、乾燥時間を割り振って1サイクルとした。これを、繰り返し行うことで、経年的な酸性雨の影響を検討することを考えた。なお、写真-1に示す降雨散布装置は、実際の雨と同様な状態を再現出来るように独自に開発したものである。今回は、散布溶液として表-2に示すような桜島の火山性酸性雨を模したpH3.0の酸性雨疑似溶液(以後、酸性雨溶液と呼ぶ)を用い、これを1サイクル中に約2250mm(140mm/h)散布した。また、比較用として蒸留水(pH約5.1)を同様な条件で散布する場合についても検討を行った。なお、散布溶液は1サイクルごとに交換し5、10、20、30サイクル終了時に解体作業を行い、酸性雨の影響を検討した。

2.2 実験供試体

実験に用いた供試体は、図-1に示す円柱モルタル供試体で、内部にかぶりを3cmとして鉄筋を配置したものである。セメントとしては、早強ポルトランドセメントを用いた。また、一部の供試体には、鉄筋と垂直に目標0.2mmのひび割れを割裂載荷により導入した。供試体は、かぶり面からのみの酸性雨の影響を検討するため、側面、底面はエポキシ樹脂でシールした。表-3に供試体の要因と水準を示す。なお、ここで、初期中性化とは、岸谷式において約20年に相当する中性化を酸性雨試験の前に、あらかじめ中性化促進試験により導入したもので、これによって既存コンクリート構造物を想定させた。

表-1 自然環境2年間に相当する促進装置の設定条件

CO ₂ 濃度	10%
温度	30℃
湿度	100~70%
平均湿度	77%(乾燥73%)
散布量	2250mm
乾燥時間	80時間
散布時間	16時間



写真-1 降雨散布装置

表-2 酸性雨溶液の組成

混入量 (mg/l)			
pH	HCl	H ₂ SO ₄	HNO ₃
3.0	6.0	34.0	8.0

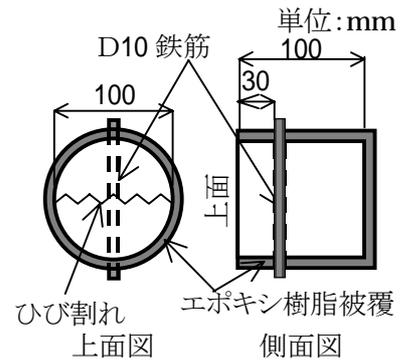


図-1 実験供試体概要図

表-3 供試体の要因と水準

要因	水準
W/C(%)	50、70
初期中性化	無し、有り
かぶり (cm)	3
ひび割れ幅(mm)	無し、0.2

キーワード 酸性雨、コンクリート構造物、促進実験、ひび割れ、耐久性評価

連絡先 〒890-0065 鹿児島県鹿児島市郡元1丁目21-40 TEL(099)285-8480

3. 実験結果および考察

3.1 外観観察

外観観察の結果については、著しい変化は見うけられなかったが、酸性雨溶液散布の供試体に若干の黄ばみが確認された。また、初期中性化を施していない供試体において、蒸留水散布の場合に 5 サイクル目から、また酸性雨溶液散布のものでは 10 サイクル目から、それぞれ供試体ひび割れ部に白い粉末状の析出物が確認された。これは、炭酸カルシウムが溶出したものと考えられる。ただし、初期中性化を施した供試体には、この析出物は確認されなかった。

3.2 コンクリートの中性化

図-2 に、コンクリートの平均中性化深さの測定結果を示した。なお、このうち初期中性化有り供試体については、酸性雨試験前に自然環境 20 年に相当する中性化促進を行っていることから、これを考慮し、10 サイクル以降に酸性雨試験後のデータをプロットした。この結果によると、酸性溶液散布と蒸留水散布で中性化の進行速度に顕著な差は見られないが、いずれの供試体条件においても、酸性溶液散布のほうが、幾分大きな値を示す傾向にあった。表-4 に \sqrt{t} 則による近似によって中性化速度係数を算出した結果を示したが、酸性雨溶液散布では蒸留水散布に対して、中性化速度係数で 5% 程度の増加を示している。なお図-2 では、今回の試験結果と自然環境での状況との整合性について検討を行うため、岸谷式¹⁾との比較も行っている。その結果、W/C、初期中性化の如何に関わらず、試験結果と岸谷式¹⁾による計算結果との間にかなり高い相関性が認められた。これより、酸性雨が中性化に及ぼす影響は、小さいと考えられる。

3.3 鉄筋腐食状況

図-3 には、ひび割れを導入した供試体の鉄筋腐食面積率について示した。ここで、鉄筋腐食面積とは、鉄筋の腐食面積を鉄筋の表面積で除したものである。いずれの供試体においても、10 サイクル目までは、酸性雨散布と蒸留水散布の場合で鉄筋腐食面積に明確な差は認められなかったが、20 サイクル目においては、蒸留水散布に比べて、酸性雨溶液散布供試体では、W/C および初期中性化の如何に関わらず腐食進行が明らかに大きくなっていることが確認できる。また、30 サイクル終了時点においても、酸性雨溶液散布供試体の方が明らかに大きいことから、ひび割れなどの欠陥を有したコンクリート構造物では、長期的に酸性雨の影響により鉄筋腐食が促進される可能性は極めて高いと考えられた。なお、ひび割れの無い供試体においては、鉄筋腐食はわずかであるものの、W/C50% 供試体において、若干酸性雨溶液散布の方が腐食の進行が大きく、酸性雨の影響により鉄筋腐食が促進される可能性あると考えられる。

表-4 中性化速度係数

W/C	散布溶液	中性化速度係数	酸/蒸
50%	酸性雨溶液	0.707	1.065
	蒸留水	0.664	
70%	酸性雨溶液	1.897	1.052
	蒸留水	1.804	

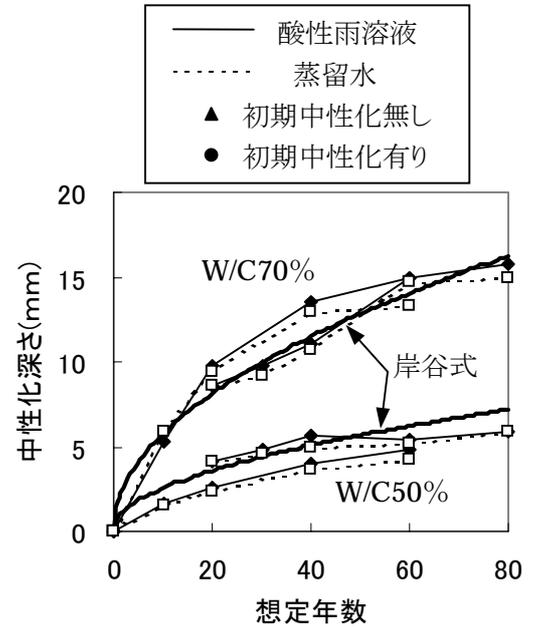


図-2 中性化深さ

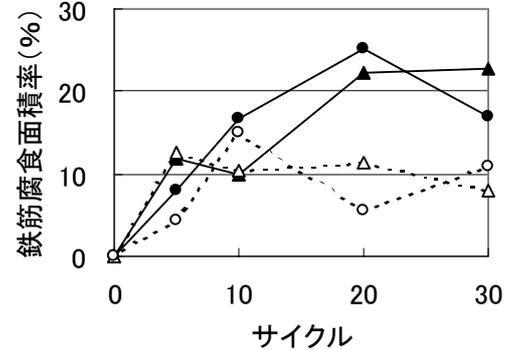
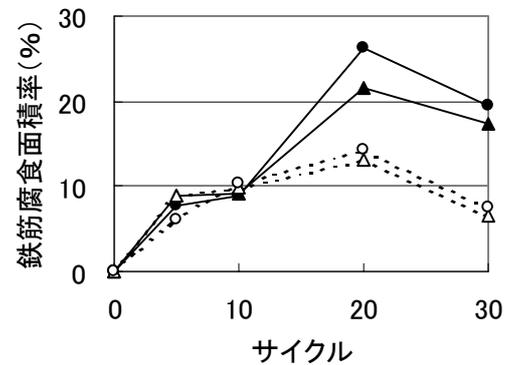


図-3 ひびわれ導入供試体における鉄筋腐食面積率

<参考文献> 1) 岸谷孝一:鉄筋コンクリートの耐久性、鹿島建設研究所出版部、1963

2) 森永繁:鉄筋の腐食速度に基づいた鉄筋コンクリート建築物の寿命予測に関する研究、東京大学学位論文、1986

3) 里隆幸:酸性雨環境下におけるコンクリート構造物の耐久性に関する研究、鹿児島大学学位論文、1999