

鉄筋コンクリートの酸性雨劣化評価のための促進試験方法について

鹿児島大学大学院 学生会員 ○久場公司
 鹿児島大学工学部 正会員 武若耕司
 鹿児島大学大学院 学生会員 審良善和
 鹿児島大学工学部 正会員 山口明伸

1. はじめに

酸性雨がコンクリート構造物へ及ぼす影響は、内部鋼材の発錆やコンクリートつららの生成、表面の変色による外観の変化等、既に幾つか報告がなされているものの、未だ十分に解明されていないのが現状である。これは、酸性雨による構造物の劣化が非常に緩やかに進むため、その影響評価が困難であるということが大きな理由であるといえる。そこで著者らは、過去6年間にわたり、独自に開発した酸性雨劣化促進試験装置を用いて酸性雨による影響評価を行ってきた。ここでは、その結果を実環境と比較することで最適な促進試験方法とその条件について検討を行った。

2. 各種劣化促進試験の概要

著者らは、酸性雨による劣化を大気中のCO₂による中性化と酸性雨による化学的侵食の複合劣化として捉えた乾湿繰り返し促進試験を実施している。表-1にこれまでに検討を行った促進試験方法の概要を示す。各促進試験方法は、いずれの場合においても高CO₂濃度環境下における中性化促進を行いながら、併せて擬似酸性雨(以下、酸性溶液)を作用させるものである。各促進試験では、この酸性雨の影響を与える方法が浸漬、シャワー散布、あるいは雨滴散布と異なり、また、pHの調整方法にも違いがある。一方、この促進試験結果と比較するため、E1試験として火山性酸性雨の影響が特に強い鹿児島県桜島と、一般的な環境である神奈川県鎌倉市に暴露した屋外暴露試験も実施した。なお、各試験結果の評価は、まずCO₂のみの影響による中性化が実環境と整合性がとれているかを検討し、その後、酸性雨を作用させた場合における結果について比較検討を行った。

3. 結果及び考察

3.1 CO₂による中性化

各促進試験の環境設定条件を表-2に示す。ここで、設定時間については中性化予測式である岸谷式により実環境1年あたりに進行する中性化深さを求め、各促進環境条件ごとに森永式によりこの1年間の中性化を促進環境で生じさせるための乾燥時間を算出した。一方、酸性溶液の散布あるいは浸漬時間については年間降雨日数を考慮し乾燥時間との関係から決定した。図-1には、各促進試験において蒸留水を作用させた場合における中性化深さ(一般環境を再現)を岸谷式と比較して示す。このうち、S1法については、R3法と設定時間がほぼ等しいにも関わらず、岸谷式の中性化予測深さを大きく下回る結果となった。これは、浸漬による試験は散布による試験に比べ、供試体の含水量がより大きくなり、中性化が進行し難いためであると考えられた。R1法についても若干中性化の進行が遅く、これは他の試験に比べ1サイクルの設定時間を短くしたことが原因であると思われる。一方、R2およびR3法は、岸谷式で予測される中性化深

表-1 各種試験概要

試験名	試験方法	pH調整	実施年度
S1	乾燥 浸漬	初期	H.8
R1	乾燥 シャワー	初期	H.9
R2	乾燥 雨滴	初期	H.10
R3	乾燥 雨滴	常時	H.11-12
E1	屋外暴露		H.6-11

表-2 各種試験の環境設定

試験名	1サイクルの想定年数(年)	1サイクルの設定時間(h)		CO ₂ 濃度(%)
		乾燥	散布	
S1	1	72	24	5
R1	0.5	44	12	5
R2	2	80	16	10
R3	1	74	22	5

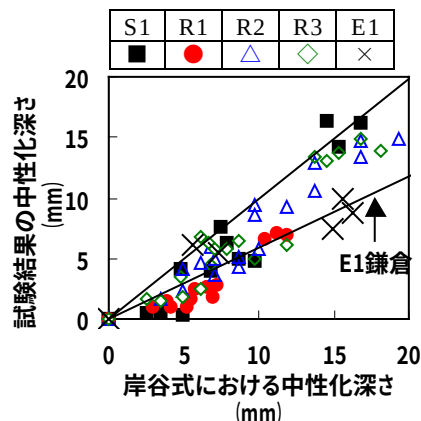


図-1 中性化深さにおける試験結果と岸谷式の関係

キーワード：酸性雨、促進試験方法、乾湿繰り返し、中性化、鉄筋腐食

連絡先：〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40 鹿児島大学工学部海洋土木工学科

さを概ね再現しており、少なくとも一般環境のシミュレーション手法として十分活用できると考えられた。

3.2 酸性雨劣化の影響評価

1) 表面劣化性状

写真-1 に、各種促進試験の供試体の表面状態を E1 試験(桜島暴露)と比較して示す。E1 試験供試体においては表面が褐色化しており若干の侵食も確認できた。S1 法に関しては殆ど表面劣化が見られず、これについては浸漬中の供試体が常時飽水状態であり、また溶液も流動しないため、かえって劣化し難いことによるものと考えられた。R1 および R2 法に関しては暴露供試体と同等の褐色化は認められたが、表面の侵食は殆ど見られなかった。一方、R3 法に関しては E1 試験と同様な表面劣化性状を呈していた。これは R3 法のみ pH を常時調整する散布方法であったために、表面の化学的劣化現象を忠実に再現できたことによるものと考えられた。

2) 中性化への影響

酸性雨がモルタルの中性化に及ぼす影響について検討を行うため、酸性雨の影響を受けた供試体の中性化深さと、酸性雨の影響を受けない蒸留水散布(あるいは浸漬)の場合との差を求め、これを図-2 に示した。これより、S1 法においては、酸性溶液を作用させた場合にかえって中性化が抑制される状況が認められ、このことから、溶液浸漬状態では、散布の場合とはモルタル表面層部分の劣化性状が基本的に異なることが予想された。R1 法においては酸性雨の影響が殆ど見られなかったが、これはシャワーの構造上の問題から散布が不均一に行われたことに一因があると考えられた。R2、R3 法においては酸性雨による中性化の促進が確認できた。さらに pH を常時一定値に管理しながら酸性溶液を作用させた場合にその影響が顕著に現れていた。

3) 鉄筋腐食への影響

図-3 に W/C50% の供試体における鉄筋腐食面積の経時変化を示す。S1 法、R1 法においては殆ど鉄筋腐食が見られなかった。また、R2 においては腐食は認められたものの、酸性雨の影響を顕著には確認できなかった。一方、R3 法においては腐食も大きく、酸性雨の影響が明確に現れていた。図-4 には、酸性雨環境と一般(蒸留水)環境の鉄筋腐食面積の比について各促進試験の結果を暴露試験(E1 試験)における結果と併せて示す。暴露試験の結果から、酸性雨環境では鉄筋腐食面積が一般環境の約 2.5 倍程度促進されていることが示されているが、これに対して、S1 法及び R1 法では殆ど酸性雨の影響が現れていなかった。また、R2 法における酸性雨散布による腐食促進作用は、実環境の半分程度に留まっていた。一方、R3 法においては実環境とほぼ同程度の腐食の促進が認められることから、鉄筋腐食の観点からも、R3 法が最もよく実環境を再現できると考えられた。

4. まとめ

以上の結果より、実環境におけるコンクリート構造物への酸性雨の影響を評価する促進試験としては、CO₂ による中性化促進と雨滴酸性溶液散布を組み合わせ、R3 法で示すような条件下で実施する促進試験が適当であることを確認した。



E1 試験(桜島 5 年暴露)



S1 試験 想定 5 年
R1 試験 想定 7 年
R2 試験 想定 10 年
R3 試験 想定 5 年
写真-1 酸性雨による表面劣化性状

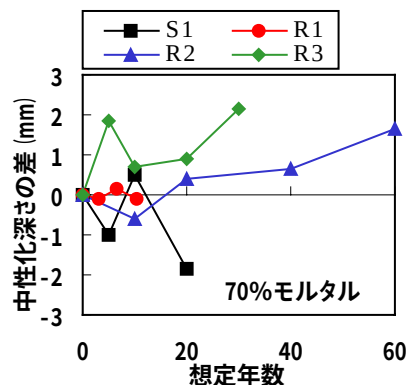


図-2 酸性雨による中性化深さの変化量

	S1	R1	R2	R3
酸性雨	■+	●	▲	◆
蒸留水	□	○	△	◇

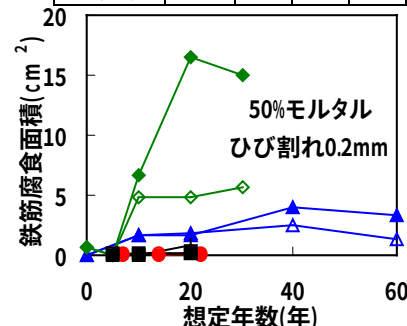


図-3 鉄筋腐食面積の経時変化

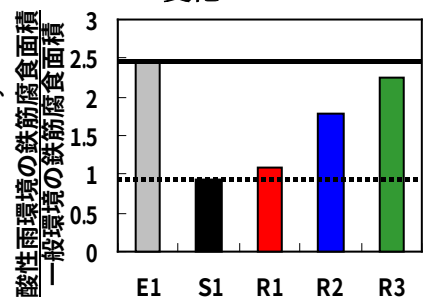


図-4 酸性雨環境と一般環境の鉄筋腐食面積の比