

コンクリート等への酸性雨の影響

古明地哲人 鎌滝裕輝 *早福正孝

(*現環境評価部)

要 旨

コンクリート等の試験片を屋外暴露実験し、劣化の程度と環境との関係を比較検討した。暴露による試験片の重量減少を劣化の指標として地点比較すると、都市部の重量減少は郊外、山間地より大きかった。降水成分の測定結果をみると酸性雨の主要原因成分である SO_4^{2-} 、 NO_3^- 濃度も都市部が他より高い傾向であり、これらの成分がセメント等の劣化に寄与していることが示唆された。

材料別の劣化速度を比較するとセメント>白セメント>大理石の順であった。

重量減少の経年変化では都心部の大理石の重量減少が暴露期間の長期化と共に加速度的に増加する傾向であった。

キーワード：セメント、白セメント、大理石、酸性雨、重量減少

1 はじめに

酸性雨は森林や河川に影響を与えるだけでなく、都市の主要な構造物であるコンクリートの劣化にも大きな影響を与えている。しかし、酸性雨や SO_2 等の大気汚染物質の材料、特にコンクリート、大理石等への影響に関する調査研究は植物、森林、土壌影響に関する調査研究と比較し、非常に少ない¹⁾。このため、これら材料に関する影響を検討するために酸性雨や大気汚染の程度が異なる地点別に屋外暴露実験を行ってきた^{2, 3, 4, 5)}。当所では人工酸性雨暴露実験を野外暴露実験と並行して実施してきたがこの結果をみると、これらの材料は酸の負荷量に比例してCaの溶出量が増加し、酸性雨の影響が認められた⁶⁾。ここでは酸性雨や大気汚染の影響を野外暴露実験で確認するために実施した地点別暴露実験の開始後10年間の結果が得られたのでその結果を報告する。

2 実験方法

実験に用いた暴露実験材料の仕様を表1に示す。

表1 暴露実験材料

材料	作製方法	寸法	暴露方法
セメント	JIS R 5201 ポルトランドセメント：標準砂（川砂）＝1：2 水セメント比＝0.65	100×100 ×50mm	南面45度
白セメント	同上 但し標準砂の代わりに石膏30%を含む石英砂を使用	同上	同上
大理石	白色イタリー（ビャンコカララ）	100×100 ×30mm	同上

地上よりの高さ：約1m。暴露期間：1992-2002年劣化の程度は暴露実験前後の重量変化で評価。

調査地点は、江東（当所）、千代田（日比谷図書館）武蔵野（市立第五小）、福生（市役所）、奥多摩（小河塔ダム）一之瀬（塩山市）であった。

3 結果と考察

(1) 降水量

試験片の重量減少に影響する主要な気象項目である降水量について調査地点間の差異を検討するため図1

に東京都内の年間降水量の推移を示す⁷⁾。東京都東部から西部山岳地まで各年の年間降水量は'98, '00年を除けばそれほど大きな差はなく、ほぼ同程度であった。これらの結果からみると各地点間の降水量の差による重量減少影響は小さいと考えられる。言換えると気象条件は全地点で概ね同一であり、地点間の重量減少に影響する主要因子は酸性雨、大気汚染因子であると推定される。

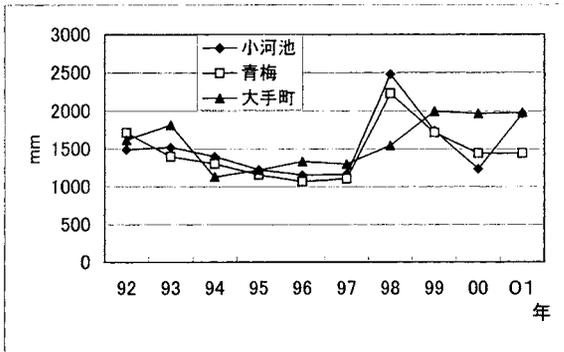


図1 年間降水量の推移

(2) 降水等降下物成分

ここでは全測定項目の中からこれまで国内外での酸性雨影響調査で主要な影響成分として取り上げられてきた降下物中の pH , $\text{H}_2\text{SO}_4^{2-}$, NO_3^- 濃度だけについて検討した⁸⁾。図2に乾性降下物を含む全降下物の年平均pHの推移を示す。福生や武蔵野といった多摩市部のpHが最も低い傾向であり、次に都心部の千代田、最も高かったのは山間部の奥多摩の傾向であり、経年的にはほぼ横ばいであった。

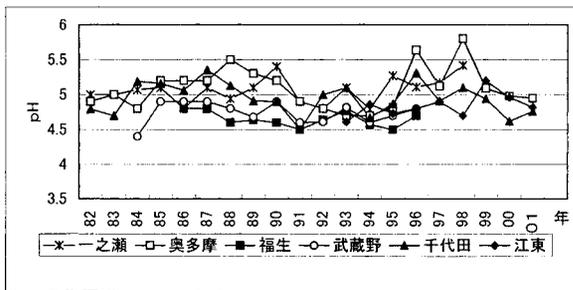


図2 全降下物年平均pH

図3に全降下物中の年平均 SO_4^{2-} 濃度の推移を示す。地点別に比較すると山間地の一之瀬、奥多摩は最も低く、多摩地域の市部が中程度、都心部の千代田が最も高い濃度を示した。経年的にみると全体的にやや低下傾向にあった。

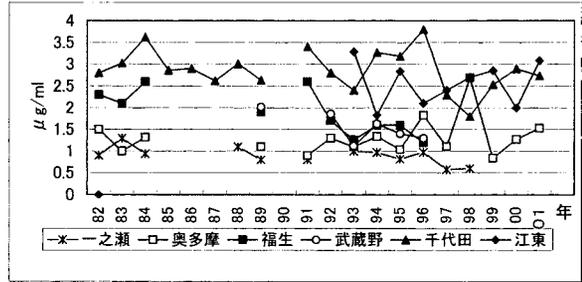


図3 全降下物中の年平均 SO_4^{2-} 濃度

図4に全降下物中の年平均 NO_3^- 濃度の推移を示す。地点別に比較すると山間地の一之瀬、奥多摩は最も低く、多摩地域の市部が中程度、都心部の千代田が最も高い濃度を示した。経年的にみるとほぼ横ばいの傾向にあった。なお、福生は80年代の初めは千代田より高い傾向にあったが90年代には千代田より低い傾向となり、経年的にみても低下傾向を示した。

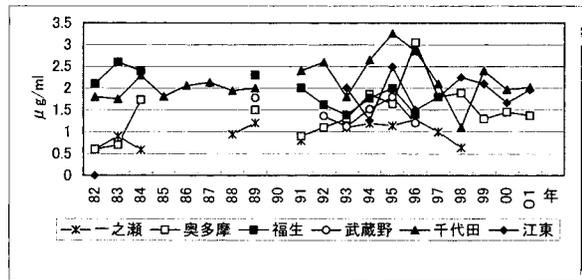


図4 全降下物中の年平均 NO_3^- 濃度

以上からpHでみると多摩地域の市部でコンクリート等へのpHの影響が最も大きいと推定される。また、 SO_4^{2-} , NO_3^- 濃度を地点別にみると都心部の濃度が高く、酸性雨のこれらの成分がコンクリートのCaと反応し、コンクリートの溶解度を高め、重量減少を促進するように作用すると推定される⁹⁾。

(3) セメント等の重量変化

セメント等の暴露実験結果を図5、6、7に示す。図5からセメントは千代田の重量減少が最も大きく、次に江東、福生であり、山間地の奥多摩、一之瀬は小さい傾向であった。経時変化をみると時間と共にやや減少速度は低下傾向であった。図6から江東の白セメントの重量減少の経時変化をみると月数と共にほぼ直線的に重量減少量が増加した。図7から大理石の重量減少は都心部の千代田、江東で大きく、山間地の奥多摩、一之瀬で小さい傾向であった。重量減少の経時変化をみると大理石の重量減少は都心部の千代田、江東

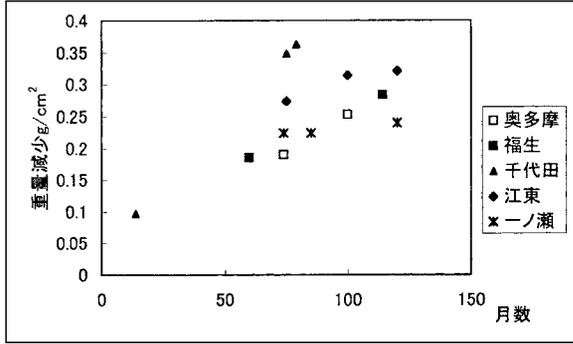


図5 セメントの重量減少

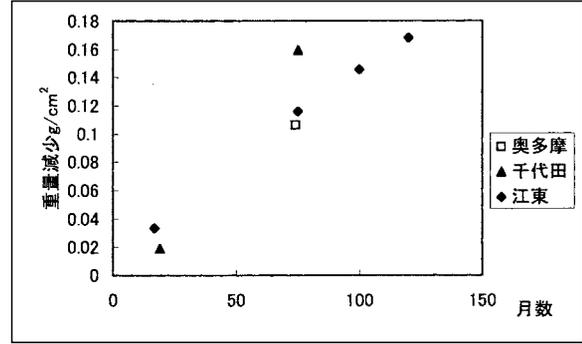


図6 白セメントの重量変化

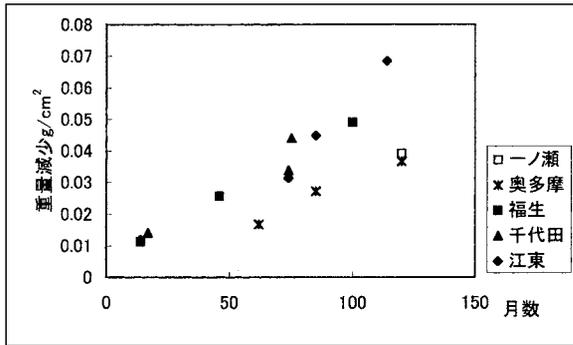


図7 大理石の重量減少

では月数に対して減少速度が年数と共に増加する傾向を示していると推定される。このことは大理石の場合には屋外で酸性雨等に暴露されると年数と共に劣化速度は増加し、年々劣化が激しくなることを示している。この傾向は大理石溶出実験の長期暴露実験結果とも一致している⁶⁾。この結果から、大理石の劣化は酸性雨の程度が同じで推移しても暴露期間が長期になると表面粗さの増加等により、以前より加速されることを示している。これまで大理石像の劣化が近年、降水の酸性化により加速されたと多く報告されているが¹⁰⁾ 暴露期間の長期化による表面粗さの増加が相当に劣化に寄与していることも考えられる。

材料別に約10年間の暴露実験結果から劣化の著しい

地点で重量減少量を簡単に比較するとセメントの減少量を1とすれば白セメントは約1/3、大理石は約1/10であり、セメントの重量減少速度が最も大きい傾向であった。

(4) 重量減少と酸性雨の関係

データに欠測のないセットで得られている全地点のセメントの重量減少とそれに対応する酸性雨測定値の期間積算量との単相関関係を表2に示した。データ数は少ないが表2からセメント(重量減少量)は他の環境項目と正の相関を示した。特にSO₄²⁻とNO₃⁻とは他より高い相関を示した。

4 結論

地点別にセメント等の重量減少量を比較すると都心部が最も大きく、次に多摩の市部であり、山間部は最も小さかった。セメント、白セメント、大理石の酸性雨による重量減少はセメントを1とすると白セメントは約1/3、大理石は約1/10とセメントが最も大きく、次に白セメント、大理石の順であった。

重量減少と高い相関関係を示した降水成分はSO₄²⁻とNO₃⁻であった。

表2 項目別の単相関関係

試料数 6

	セメント重量減	月数	雨量	H+	NO3	SO4
セメント重量減	1	0.7162	0.7028	0.7057	0.9385	0.9613
月数	0.7162	1	0.9702	0.9285	0.8945	0.6796
雨量	0.7028	0.9702	1	0.8366	0.8968	0.7312
H+	0.7057	0.9285	0.8366	1	0.8480	0.5916
NO3	0.9385	0.8945	0.8968	0.8480	1	0.9250
SO4	0.9613	0.6796	0.7312	0.5916	0.9250	1

参考文献

- 1) K.Satake, et al: Acid Rain 2000-Conference Summary Statement-Looking Back to the Past and Thinking of the Future-, Water, Air, and Soil Pollution, 130, 1-16 (2001).
- 2) 古明地哲人ら：石造等への影響、酸性雨に関する調査研究報告書、東京都環境科学研究所, 194-227 (1996).
- 3) 鎌滝裕輝ら：大理石等フィールド暴露実験、酸性雨に関する調査研究報告書、東京都環境科学研究所, 194-227 (1996).
- 4) 古明地哲人ら：コンクリート建造物への酸性雨影響調査（I）－コンクリート物性調査－、東京都環境科学研究所年報1993、261-265 (1993).
- 5) 古明地哲人：酸性雨の材料への影響、防錆管理、38、131-141 (1994).
- 6) 鎌滝裕輝ら：大理石、モルタルおよび白セメントの人工酸性雨暴露実験、酸性雨に関する調査研究報告書、東京都環境科学研究所, 234-242 (1996).
- 7) 東京管区気象台：東京都気象月報（各年）.
- 8) 寺部本次：金属腐食からみた大気環境因子の類型とDamage Functionについて、第2回環境データ処理研究会要旨集、1-7(1987).
- 9) Tiblad, J.et al：Dose- response function on dry and wet acid deposition effects after 8 years of exposure, Water, Air, and Soil Pollution, 130, 1457-1462 (2001).
- 10) Feddema, et al:Marble weathering and air pollution in Philadelphia,Atmospheric Environment, 21, 143-157 (1987).

Effects of acid deposition on concrete

Tetsuhito Komeiji, Hiroki kamataki and *Masataka Soufuku

Summary

Concrete and other materials have been exposed in atmosphere at several sites and results of the test were compared. Weight loss of test pieces were higher in urban area and lower in mountainous area. Concentrations of SO_4^{2-} and NO_3^- in rain water were also higher in urban area than those of mountainous area. It is supposed that the components in rain water contribute the acceleration of degradation of these materials. The order of degradation of these materials are as follows. cement>white cement>marble.

It is supposed that the degradation rate of marble in urban area became higher year by year.

Key ward : cement, white cement, marble, acid rain, weight loss