

3 水溶性成分の分析²⁾

(1) 温水抽出法

分析試料 5 g を秤量し、共栓付き 100 ml 三角フラスコに封入し、蒸留水 50 ml を加えた後、70℃ 恒温浸とう槽にセットし、2 時間温水抽出した。さらに、ろ過し、ろ液を室温まで冷却した後、イオンクロマトグラフ法により、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 、 Cl^- の各成分を定量し、EDTA 滴定法により、 Ca^{2+} を定量した。

(2) 酸分解法

分析試料を 1 g 秤取り、500 ml ビーカーに入れ、塩酸 (1+100) 250 ml を加えた。そして、20 分電磁攪拌し、その溶液をろ過し、ろ液を室温まで冷却した。そのろ液の一定量を分取して、EDTA 滴定法により Ca^{2+} を定量し、硫酸バリウム重量法により SO_4^{2-} を定量した。さらに、JIS R 5202-1989 に準拠し、硝酸銀溶液による電位差滴定法により、 Cl^- を定量した。

4 結果と考察

(1) 抽出法

温水抽出法から得られた分析結果をコンクリート中の水溶性成分量とし、酸分解法から得られた分析結果をコンクリート中の総成分量とした。

分析結果を抽出方法別、地点別に、また試料の含水率について、表 2 に示した。

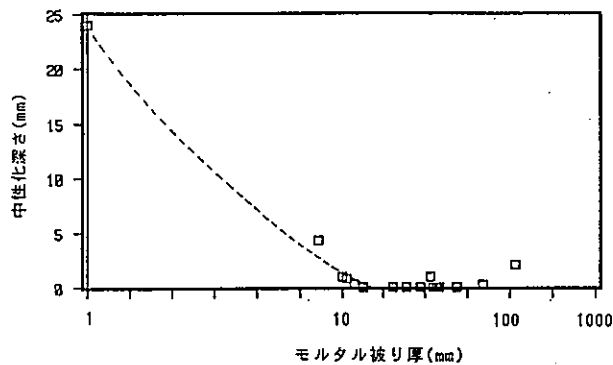


図 1 南北表面におけるモルタル被り厚と中性化深さとの関係

採取した試料には、表面がモルタルで被覆されたものもあり、その厚さが成分の抽出量に影響すると考え、図 1 にモルタル被り厚と中性化 (コンクリートの中和) 深さとの関係を示した。その結果、モルタル被り厚が 21 mm 未満では、中性化反応が認められるが、21 mm 以上ではほとんど認められない。そこで、本調査の試料を南面と北

面においてそれぞれグループ 1 (モルタル被り厚 21 mm 未満) 及びグループ 2 (モルタル被り厚 21 mm 以上) に分けて考察する。

(2) 試料のグループ分け

図 1 で示したモルタル被り厚で 0 ~ 21 mm 未満の試料のうち、南面の No. 1 ~ 5 (小平合同庁舎、青梅合同庁舎、小平高校、五日市高校、保谷工区事務所) を南面グループ 1 とし、北面の No. 1, 2, 5, 8, 9 (小平合同庁舎、青梅合同庁舎、保谷工区事務所、七生福祉園、瑞穂農芸高校) を北面グループ 1 とした。

また、モルタル被り厚が 21 mm 以上の試料のうち、南面の No. 6 ~ 10 (多摩工業高校、田無工業高校、七生福祉園、瑞穂農芸高校、立川ろう学校) を南面グループ 2 とし、北面の No. 3, 4, 6, 7, 10 (都立小平高校、都立五日市高校、都立多摩工業高校、都立田無工業高校、都立立川ろう学校) を北面グループ 2 とした (表 2 参照)。

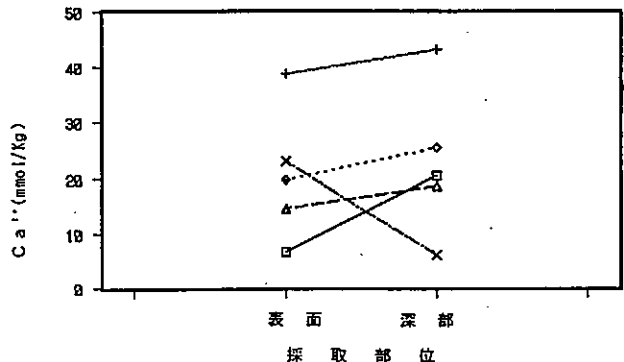


図 2 南面グループ 1 の表面と深部の水溶性 Ca^{2+} 量

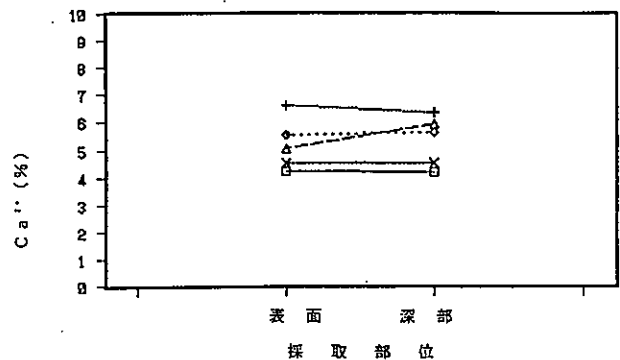


図 3 南面グループ 1 の表面と深部の総 Ca^{2+} 量

表2 単位コンクリート当たりの水溶性成分と含有率

		調査対象	水溶性Ca ²⁺ (mmol/Kg)	水溶性SO ₄ ²⁻ (mmol/Kg)	水溶性NO ₃ ⁻ (mmol/Kg)	水溶性Cl ⁻ (mmol/Kg)	含有率 Ca ²⁺ (%)	含有率 SO ₄ ²⁻ (%)	含有率 骨材 (%)	含有率 H ₂ O(%)
南面グループ1	表面	小平庁舎	6.7	13.7	0.8	1.1	4.2	0.23	86.5	1.5
		青梅庁舎	38.8	16.0	0.7	0.5	6.6	0.38	79.8	2.6
		小平高校	19.7	16.8	1.1	0.9	5.5	0.25	78.7	3.2
		五日市高	14.6	20.8	0.4	0.6	5.1	0.22	84.2	3.1
		保谷工区	23.1	17.2	2.3	0.4	4.5	0.21	84.9	2.6
	深部	小平庁舎	20.5	16.8	0.3	0.5	4.2	0.20	86.0	2.9
		青梅庁舎	43.2	11.1	0.2	0.1	6.3	0.31	80.5	2.8
		小平高校	25.5	19.9	0.2	0.5	5.7	0.24	78.7	3.0
		五日市高	18.6	22.8	0.1	0.5	6.0	0.26	80.7	3.5
		保谷工区	6.1	12.0	1.2	0.4	4.6	0.15	94.3	1.4
南面グループ2	表面	多摩工高	6.5	9.9	0.1	0.4	8.0	0.39	74.8	5.2
		田無工高	28.0	15.9	0.1	0.1	5.9	0.28	81.9	3.6
		七生福祉	30.2	20.3	0.2	0.5	5.4	0.25	78.6	4.7
		瑞穂農芸	15.0	16.7	0.1	0.4	4.9	0.22	85.7	3.6
		立川ろう	9.9	5.5	0.5	0.8	5.9	0.25	1.6	3.2
	深部	多摩工高	3.4	12.4	0.1	0.4	7.2	0.33	77.1	5.6
		田無工高	11.7	14.7	0.1	0.1	4.5	0.20	85.8	2.8
		七生福祉	9.1	17.4	0.1	0.4	5.0	0.21	79.1	4.9
		瑞穂農芸	14.5	15.9	0.1	1.0	4.8	0.21	84.9	3.4
		立川ろう	22.4	3.8	0.2	0.7	6.7	0.27	79.5	4.2
北面グループ1	表面	青梅庁舎	24.6	15.9	1.0	2.2	6.1	0.31	81.8	1.4
		小平庁舎	19.2	18.2	6.2	3.5	5.5	0.30	83.4	1.4
		保谷工区	29.7	16.1	0.3	0.3	5.1	0.22	85.6	2.6
		瑞穂農芸	14.9	10.7	0.1	0.4	5.1	0.27	84.8	2.5
		七生福祉	72.4	3.5	0.1	0.1	6.9	0.32	80.2	2.6
	深部	青梅庁舎	60.7	5.2	0.1	0.1	4.7	0.22	86.4	1.7
		小平庁舎	50.1	6.1	0.3	0.2	5.6	0.24	83.6	2.1
		保谷工区	31.6	13.6	0.3	0.3	5.3	0.24	84.1	2.2
		瑞穂農芸	37.0	8.9	0.1	0.4	5.4	0.29	83.6	2.9
		七生福祉	80.1	3.8	0.1	0.1	6.0	0.28	82.7	2.4
北面グループ2	表面	五日市高	39.1	3.8	0.0	0.8	5.5	0.28	83.2	2.8
		田無工高	21.3	9.2	0.1	0.4	5.5	0.24	83.5	2.7
		立川ろう	20.5	19.8	2.0	0.9	4.6	0.24	85.6	2.2
		小平高校	65.9	5.3	0.3	0.3	6.8	0.35	80.4	2.4
		多摩工高	25.2	5.8	0.1	0.2	5.0	0.21	85.1	2.3
	深部	五日市高	34.3	4.7	0.0	0.9	5.6	0.29	83.7	2.7
		田無工高	23.2	11.2	0.1	0.2	5.9	0.23	82.0	3.1
		立川ろう	30.2	17.3	0.1	0.6	4.9	0.25	84.6	3.1
		小平高校	49.9	7.3	0.1	0.1	5.3	0.27	84.7	2.1
		多摩工高	43.8	3.0	0.1	0.2	5.1	0.23	85.4	2.8

(3) カルシウムイオン (Ca²⁺) について

図2に南面グループ1の水溶性Ca²⁺量の表面と深部との関係を示した。南面グループ1の南面の水溶性Ca²⁺は、保谷工区を除いて表面の方が深部より少ない傾向がある。その減少率(深部の水溶性Ca²⁺量に対する表面減少量の割合)は、10~67%であり、北面グループ1では、例外なく同様(減少率6~62%)であった。このことから表面の水溶性Ca²⁺の減少は、表面に対する酸性雨の影響として認められる。

しかし、図3の南面グループ1の総Ca²⁺量は表面と深部でやや異なるため、その含有量に応じて表面の方が深部よりも多い場合には、水溶性成分の量も表面の方が深部よりも多くなることも考えられ、減少率では、そのような傾向を示しているものもある。北面グループ1でも、同様な傾向を示している。

また、南面及び北面グループ2の水溶性Ca²⁺量の表面と深部との関係では、水溶性Ca²⁺量が総Ca²⁺量に依存し、総Ca²⁺量の表面と深部との関係が様々なために、表面の減少率も様々であり、その結果表面の水溶性Ca²⁺量の減少が認められないものもある。このことは、モルタルを厚く被っているためであり、グループ1のように表面に対する酸性雨の影響は認められない。

コンクリート中のCa²⁺は、セメントの水和生成物である水溶性の水酸化カルシウム(Ca(OH)₂)が主成分であるが、表面の水溶性Ca²⁺量が深部よりも少ないのは、表面にあるCa²⁺の炭酸化や大気汚染物質による難溶性化合物の炭酸カルシウム(CaCO₃)や硫酸カルシウム(CaSO₄)の生成や酸性雨によって水溶性のCa²⁺が生成し、溶脱により減少したものと考えられる。

(4) 硫酸イオン (SO₄²⁻) について

図4に南面グループ1の総SO₄²⁻量の表面と深部との関係を示した。竣工時では表面も深部も同成分組成と仮定すると、南面グループ1の総SO₄²⁻量は、表面の方が多い傾向にあり、深部に対する表面の総SO₄²⁻量増加割合を表2から算出すると0.5~4%程度である。このことから、構造物と大気との接点である表面への大気汚染物質や酸性雨の影響が示唆される。北面グループ1のSO₄²⁻含有量の表面と深部との関係では、必ずしも南面グループ1のように明確ではないが、傾向としては同様な結論が示唆される。

南面及び北面グループ2のSO₄²⁻含有量の表面と深部

との関係では、南面の方がわずかにグループ1と同様に大気汚染物質等の影響が認められるが、北面では認められない。SO₄²⁻は、Ca²⁺の場合と同様にモルタル被りが厚いほど大気汚染物質等の影響が少ないことが窺われる。

SO₄²⁻は、大気中の二酸化イオウ(SO₂)や酸性雨の中のSO₄²⁻がコンクリートのセメントペーストとの反応や浸入によって表面に多く沈着し、その結果、コンクリート表面に多く残留していたことが推測される。

また、コンクリート中には材料成分として石膏(主成分は硫酸カルシウム)が含有されている。石膏に含まれる成分がコンクリート中での反応等により水溶性SO₄²⁻として検出される可能性もあるが、現状では大気汚染物質等の影響によるものと分離して検出することはできない。しかし、石膏の主成分である硫酸カルシウムは難溶性化合物であるので、水溶性成分量への寄与は小さい。

(5) 硝酸イオン (NO₃⁻) について

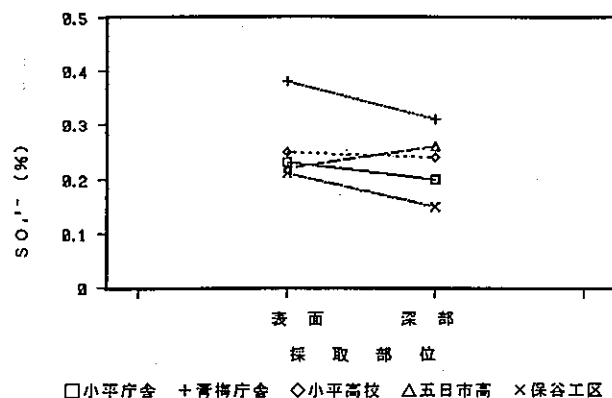


図4 南面グループ1の表面と深部の総SO₄²⁻量

図5-1,2に南面及び北面グループ1の水溶性NO₃⁻量の表面と深部との関係を示した。NO₃⁻は、コンクリート構造物の竣工時には存在しないので、大気汚染物質や酸性雨による外部影響を最もよく表す指標の1つである。南面及び北面グループ1では、明らかに大気環境外部影響を受けていることがわかる。モルタル被り厚の薄いコンクリート構造物で大きい。また、直接降水により溶脱しやすく、蒸発するため、南面より北面に多く残留しやすいことが図5-2で認められるものもある。

南面及び北面グループ2の水溶性NO₃⁻表面と深部との関係では、立川ろう学校以外では、モルタル被りが厚いために、ほとんど水溶性NO₃⁻が検出されなかった。立川ろう学校で検出された部位では、周囲にある田畑から

の肥料やその他施設からの影響も考えられる。

(6) 塩化物イオン (Cl⁻) について

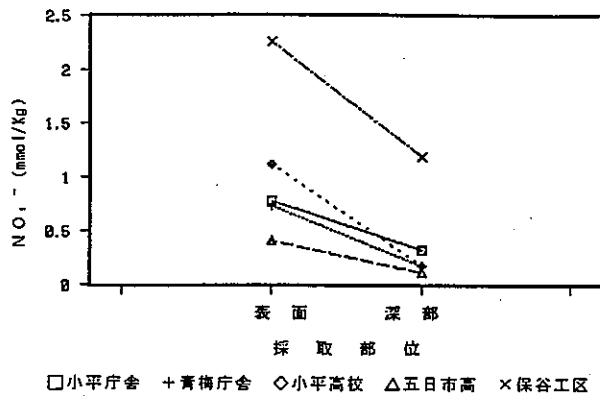


図5-1 南面グループ1の表面と深部の水溶性NO₃⁻量

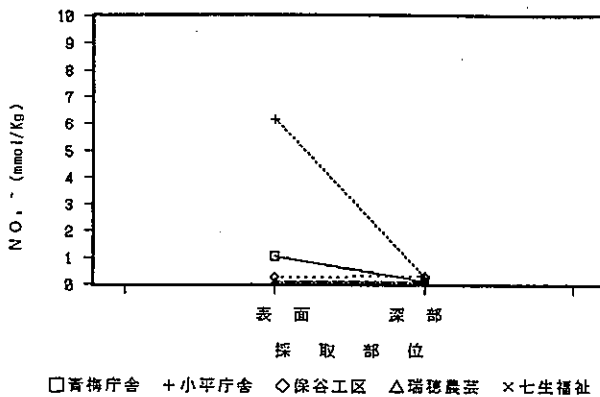


図5-2 北面グループ1の表面と深部の水溶性NO₃⁻量

水溶性Cl⁻量は、各対象構造物において水溶性NO₃⁻の挙動とほとんど同じであった。浮遊粒子状物質中に含まれる海塩成分や酸性雨成分の影響が大きいと考えられる。また、各対象構造物のコンクリート中の塩化物イオン濃度はJIS 総量規制値 (0.30 Kg/m³) よりも低く、通常のコンクリートが使用されていた。

5 まとめ

本調査で選定したコンクリート構造物は、表面にモルタル被りがあるものもあり、すべて同一条件で比較、検討することはできなかった。また、対象構造物の竣工期が数年間の差しかないので、コンクリートの材齢からの評価ではなく、モルタル被り厚から区分して解析を行った。

その結果、下記のことが明かとなった。

① モルタル被り厚が21 mm以下では、酸性雨や大気汚染物質のような外部因子の影響を受けやすい。

② その影響は、カルシウムイオン (Ca²⁺) では、対象構造物の大半で深部より表面、北面より南面の方が雨による溶脱量が多いため、南表面から採取した試料での検出量が少なかった。

③ その他の成分 (硫酸イオン: SO₄²⁻, 硝酸イオン: NO₃⁻, 塩化物イオン: Cl⁻) では、多くの対象構造物で深部より表面の方が、反応や沈着により、多く検出された。

しかし、いずれもコンクリート構造物としての強度劣化にまでは至っていなかった。

イオン成分の溶出量から大気汚染物質や酸性雨の影響が認められ、その影響の程度を推定するための一調査方法としてコンクリート構造物の調査が有益であることが明らかとなった。

最後に、この調査、実験に協力して頂いた関係者の皆様に深く感謝致します。

参考文献

- 1) 古明地 哲人ら：コンクリート構造物への酸性雨影響調査(I)ーコンクリート物性調査結果ー東京都環境科学研究所年報,1993, p 261~265 (1993).
- 2) 鎌滝 裕輝ら：コンクリート構造物への酸性雨影響調査(II)ーコンクリート水溶性成分調査結果ー東京都環境科学研究所年報,1993, p 266~269 (1993).
- 3) 古明地 哲人ら：石像等への酸性雨影響調査 (I) ー野外観察と反応生成物のX線回折ー東京都環境科学研究所年報,1992, p 318~325 (1992).
- 4) 鎌滝 裕輝ら：石像等への酸性雨影響調査(II)ー人工酸性雨による暴露実験ー東京都環境科学研究所年報,1992, p 326~333 (1992).
- 5) 小林 一輔：酸性雨による器物影響/コンクリート劣化, 環境資源対策, 28,14, p 1355~1358 (1992).