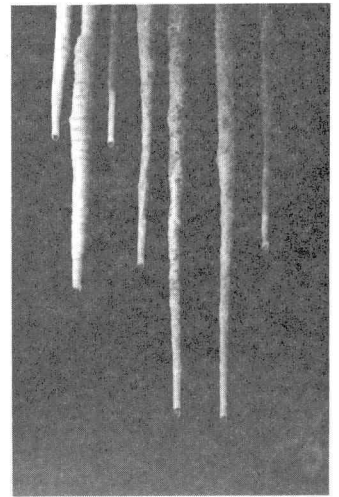


近畿大学理工学部 正 佐野 正典
 令 上 , 玉井 元治
 阪神高速道路公団 大倉 盛治

最近、高速道路の床版下に40~50cm程度の長さのツララ状に形成された固形物が垂下している。(写真-1) 本報告は、この固形物の先端より落下する水滴の水質分析、固形物に含まれる成分およびその生成過程、さらに鉄筋コンクリート床版に含まれる成分などについて検討したものである。また、この落下水滴が高架下に駐車した自動車の外装に与える影響等についても検討を加えた。

1) 水の採取 水質分析用の水は高速道路の雨水樹、路下雨水樹、およびツララ状固形物の先端より落下する水滴などから採水した。そしてその採水箇所は比較的多量に固形物が垂下している附近を選択した。一般に落下している水滴の量は降雨後には多くその後日数の経過に伴って漸次減量するが、概して6秒から30秒に1滴の量である。そしてこれは晴天の日も止ることなく落下している。採水に際しては降雨終了後1日目より開始し、1日、2日、3日、4日、5日間それぞれ集水したものを都合5種類を分析用試水(以下現地水と記す)とした。一方、これら現地で採水したものとの比較を目的として、セメントと水を混合した $\% = 60 \sim 2000\%$ までの15種類のセメントミルクを作製してこの上澄液を試水(以下上澄液)とした。また、 $\% = 50\%$ のセメントコンクリート円柱供試体($\phi 10 \times 20 \text{ cm}$)を28日間空中養生し、その後水中に浸して経過日数が15日、30日、60日、における水(以下浸漬水)を汲取りこれを試水とした。

写真-1 床版下に垂下した
ツララ状固形物



2) 水 質 現地で採水した各々、降雨々水樹、降雨路下樹の水のpHは両者ともに5.1~6.8の微酸性であったのに対して固形物先端から採水したものは、集水日数及び採水箇所によって幾分異なるが平均して12.37の強アルカリ性を示した。又、 $\% = 60 \sim 2000\%$ の上澄液では13.29~13.38であり現地水と類似した結果を示した。現地水72検体の水質分析結果は表-1に示す通りであり、Caの酸化物が最も多量に含まれている。

3) 固形物 高速道路の舗装部分、床版部分をコアーカッターで切抜いたものと、ツララ状固形物についての組成分析結果が表-2に示してある。ツララ状固形物における強熱減量は44.39%を占めており、これは固形物中に含まれる揮発成分の水、炭酸塩等が主と考えられる。又、塩酸水溶液可溶成分組成結果でのCaOは舗装で40%、床版で37%であるのに対してツララ状固形物では96%がこれを占めた。一方、舗装、床版などに幾分多いFe成分が検出された。これは試料採取の際に生じた床版中の鉄筋などの影響と考えられる。

4) 化学反応と固形物の生成 水質分析、固形物の分析の結果から高速道路表面の雨水(pH=6)は、コンクリート床版中に浸透して水化合物(水酸化物)を溶出してpH=12~13の水溶液となってきたものと考えられる。一般に、 $\text{Ca}(\text{OH})_2$ に CO_2 が作用すると次式に示

表-1 落下水滴の水質分析結果

酸化物	組成(%)
CaO	73.36 ~ 92.31
Al ₂ O ₃	4.87 ~ 6.90
SiO ₂	0.64 ~ 7.06
MgO	1.82 ~ 2.78
Fe ₂ O ₃	0.27 ~ 0.72

表-2 固形物組成分析結果(%)

試料 項目	舗装	床版	垂下固形物 (ツララ)
強熱減量	9.66	6.42	44.39
不溶残分	73.64	79.00	0
SiO ₂	3.07	2.18	1.45
Al ₂ O ₃	0.59	0.62	0.12
CaO	6.68	5.32	53.40
MgO	0.16	0.76	0.05
Fe ₂ O ₃	5.02	5.19	0.10
合計	98.82	99.49	99.51

すような反応を生じることはすでに知られている。



そこで、現地水、上澄液、浸漬水の三者について種々の化学反応試験を行った結果前式に示す通りの CaCO_3 の白色沈澱物を生じた。又、現地水を室内に貯水してこれを 30 秒に 1 滴の量で落下させると約 27 月後、写真-2 に示すように現地と同様のツララ状固形物を形成する。これらのことからツララ状固形物は CaCO_3 の化学的結晶物と考えられ、現地に垂下したものはこれが時間の経過に伴って大きくなったものと思われる。又、現地水と上澄液の曝気後における CaCO_3 含有率と pH の関係を図-1 に示した。これより現地水は、 $\text{W}\% = 2000\%$ の上澄液に相当しており、これは一般に使用される $\text{W}\% = 40 \sim 60\%$ と比較して約 $1/40$ に相当する。そして現地水、 $\text{W}\% = 2000\%$ の両者の CaCO_3 含有率(約 0.17%)は $\text{W}\% = 60\%$ の 1.57 倍の約 $1/8$ である。

5) 水滴が自動車の外装に及ぼす影響 高速道路下に駐車場などが設けられている場合を生じると思われる自動車の外装への影響を知る目的として、赤色、青色、黄色の三色についてそれぞれメタリック塗装、ソリッド塗装を施した合計 6 種類の外装塗装板に現地水、上澄液、浸漬水の水滴を落してその後塗装板の表面の状態を顕微鏡によって観察した。この結果、塗装板表面に落下した水滴は空気中の CO_2 との反応により塗装面上に CaCO_3 の結晶を付着させて行くことが判った。又、これが塗装を浸蝕したりはせずには付着している現象も確認した。この結晶の付着量は塗装の種類や色による差異はなく、いずれも水滴の落下継続時間が 2 日以上になると板表面の塗装が隠れるほど被れる。(写真-3) そこでこのような現象が生じた場合の対策として、0.4N~5N の希塩酸にツララ状固形物が完全に溶解することから、この希塩酸を用いた。0.4N~5N の希塩酸溶液を結晶が付着した塗装板表面に塗布すると瞬時に結晶を溶解し、その上塗装自体の変色等の異常も生じない。しかし、3N 以上のものの中に浸すと 48 時間後に塗装と金属板がはくり、する。この結果、自動車外装に結晶が付着した場合は 0.4N 程度の希塩酸を塗布して結晶を溶解させた後水洗いを行えば塗装面の復元は可能である。又、この塗装板が高温の状態に置かれても大きな変化は生じない。

6) あとがき コンクリート床版へ浸透した雨水は $\text{Ca}(\text{OH})_2$ の水溶液となって流出し、これが空気中の CO_2 と反応して CaCO_3 のツララ状固形物を形成すると考えられる。そしてこの反応に対しては CO_2 が低温の水ほど良く溶解することから夏期より冬期に多く生じる現象と云える。しかし実際には降雨後の気象条件などの自然の影響の方が大きく水滴と空気の接触時間が長いほど結晶を作り易いと考えられる。又、この現地水は一般に使用される $\text{W}\% = 40 \sim 60\%$ の 40 倍に希釈された $\text{W}\% = 2000\%$ の上澄液に相当しており、人体等に水滴が接触しても影響はないと思われる。一方、高架下に長時間駐車した自動車の外装に結晶が付着した場合は 0.4N 程度の希塩酸を塗布してこれを溶解させた後水洗いをすればよい。又、長期間にわたってコンクリート中に雨水が浸透して $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を溶出させるとコンクリート中に空隙が生じ劣化の原因となろう。本研究に関しては阪神高速道路公園の諸氏に多大の協力を得た。さらに水質分析に関しては応用化学科 前嶋教授、吉原助教授に、又、コンクリート工学に関しては水野教授の御指導を仰いだ。関係各位に感謝の意を表します。

図-1 ばつき後における CaCO_3 の含有率と pH の関係

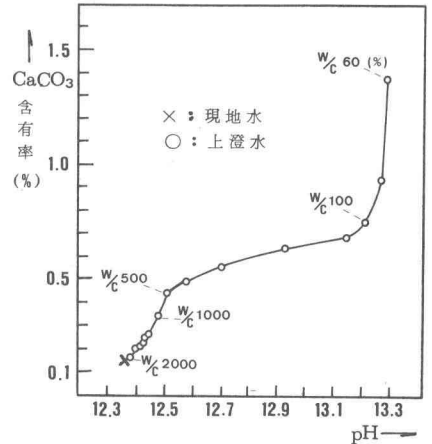


写真-2 室内に垂下したツララ状固形物

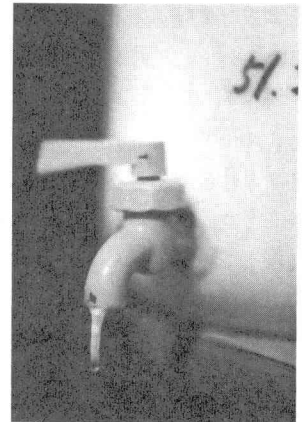


写真-3 現地に設置した青色塗装板

