

コンクリートの劣化に及ぼす界面活性剤の影響

The surfactant effect on the degradation of the concrete

武田三弘*・大塚浩司**・森吉昭博***

Mitsuhiro TAKEDA, Koji OTSUKA, Akihiro MORIYOSHI

*正会員 工修 東北学院大学講師 工学部環境土木工学科 (〒985-8537 多賀城市中央 1-13-1)

**フェロー会員 工博 東北学院大学教授 工学部環境土木工学科 (〒985-8537 多賀城市中央 1-13-1)

***フェロー会員 工博 北海道大学教授 大学院工学研究科 (〒060-8628 北海道札幌市北区北 13 条西 8 丁目)

The purpose of this study is to examine the surfactant effect on the degradation of the concrete. In the experiment, the effect by surfactant and repeated-load were examined. Surfactants used by the experiment are the 5 types such as windshield washer fluid used for the automobile and household detergent. First, the concrete test-piece was put in the surfactant aqueous solution, and the visual observation was carried out. As the result, analysis and mass decrease rate were obtained on the material that deposited in the concrete test-piece surface. And, the repeated-load was carried out using the test-piece that changed the condition of the concrete bridge beam floor system management, and the effect of the concrete on the degradation was examined.

Key Word : surfactant, windshield washer fluid, repeated-load, degradation of upper concrete slab

1. はじめに

雨の降り始めにアスファルト舗装の表面で、走行車両のタイヤ接地付近に白く細かい泡が発生していることがある。この状況は、交通量の多いところに特にみられ、ときには舗装全面にわたり真っ白になることもある。著者らは、この泡を含む水を数カ所で採取し、メチレンブルー活性法 (Methylene Blue Active Substances, MBAS 法) を用いてその定量分析を行ったところ、この白く細かい泡の正体は、界面活性剤による起泡作用であることがわかった。この界面活性剤によってコンクリートが劣化する現象について、森吉等が 1996 年に研究成果を報告¹⁾している。この界面活性剤によるコンクリートの劣化は、ウィンドオッシャー液中に含まれる界面活性剤が、雨の日に車から路面へと流れ落ち、走行車両によって跳ね上げられ、コンクリート構造物に飛散したり、アスファルト上面からコンクリートへと浸透することによって、コンクリート中のカルシウム分を溶出させるものである。

また、界面活性剤は、家庭用石鹸、洗剤やシャンプーなど様々なものに使用されているので、今後、側溝や下水管等のコンクリート製品へこれら界面活

性剤の影響が出てくるものと考えられる。しかしながら、界面活性剤がコンクリートの劣化に及ぼす影響についての詳細な実験は、ほとんど行われていないのが現状である。

そこで、本研究では、界面活性剤がコンクリートの劣化に及ぼす影響を調べるため、身近に使用されている界面活性剤を用いて実験を行った。実験で使用した界面活性剤は、自動車のウィンドオッシャー液に使用されているもののほかに家庭用洗剤、住宅用洗剤、シャンプーおよび洗顔クリーム等に使用されているもの計 5 種類である。実験では、これらの界面活性剤を用いて各濃度の界面活性剤水溶液を作製し、その中にコンクリート試験体を浸漬させ、その結果溶解・析出した物質について目視検査、解析および質量減少率の測定を行った。

また、実構造物を想定した鉄筋コンクリート橋梁床版を作製し、繰返し載荷を受ける条件において、床版上層部に水が存在する場合、界面活性剤水溶液が存在する場合および何も存在しない場合 (気乾状態) について、載荷実験を行い、各条件によるコンクリート床版上層部の劣化の比較実験を行った。なお、実験に使用した界面活性剤は、浸漬実験においてコンクリートの劣化に最も影響の大きかったものを使用した。

2. 各種界面活性剤がコンクリートに与える影響

2.1 界面活性剤

実験に使用した界面活性剤は、自動車洗浄剤、住宅用洗浄剤、石鹼、シャンプー等に使用されている陰イオン系3種類、液体洗剤に使用されている両イオン系および台所用洗剤に使用されている非イオン系各1種類の5種類を使用した。表-1は、実験に使用した界面活性剤の名称、主用途、有害性、pHおよびイオンを示したものである。

2.2 コンクリート供試体

実験には、早強ポルトランドセメント、目標強度24(N/mm²)、スランブ8cm、粗骨材の最大寸法20mmのコンクリートを用いた。表-2はコンクリートの配合表を示したものである。

表-2 配合表

Gmax (mm)	スランブ (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(Kg / m ³)			
					W	C	S	G
20	8	55	2	48.8	198	360	830	922

コンクリート供試体の作製方法として、はじめにコンクリートの打設時に150×150×500mmの型枠に流し込み、翌日脱型、水中標準養生を行った。そして所定の目標強度に達成した後、水中から取り出し、φ40mmのコア抜きを行い、その後、型枠底面部分から厚さ20mmの箇所をスライスしたもの(φ40×20mm)を実験に使用した。

2.3 実験方法

界面活性剤がコンクリートに及ぼす影響を調べるため、0.0055%、1%、5%、10%、15%および20%濃度の界面活性剤水溶液に供試体を2体浸漬させ、21日間放置後の質量の変化および目視検査を行った。

図-1～5は、各界面活性剤の浸漬21日間放置後の相対質量減少率(浸漬21日後の供試体質量/浸漬前供試体質量)と界面活性剤濃度の関係を示し

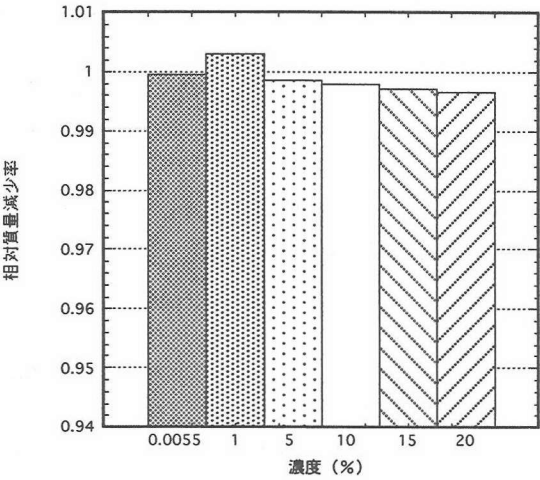


図-1 相対質量減少率と界面活性剤濃度の関係 (ラウリル硫酸ナトリウム)

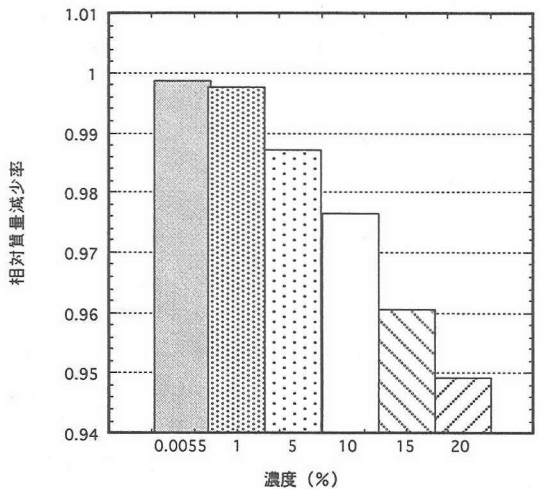
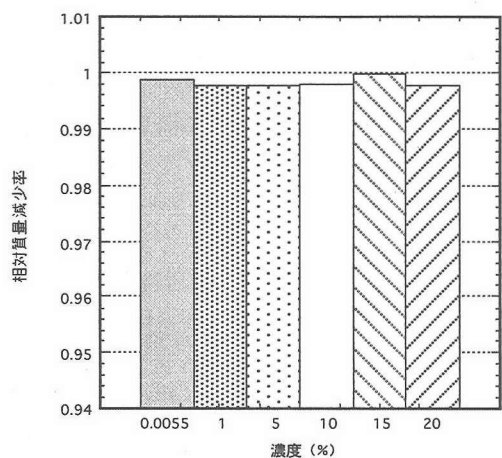


図-2 相対質量減少率と界面活性剤濃度の関係 (アルキルベンゼンスルホン酸)

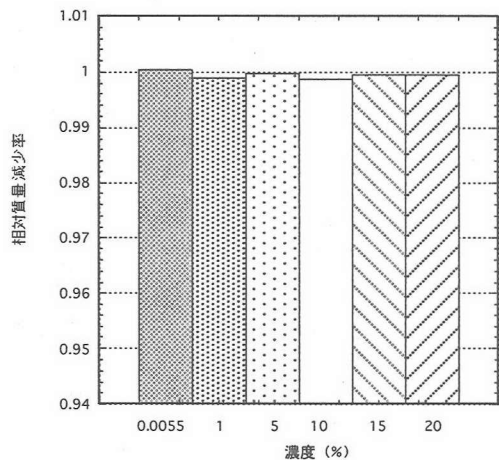
表-1 界面活性剤概要一覧

記号	界面活性剤名称	主用途	有害性	pH	イオン
SLS	ラウリル硫酸ナトリウム	歯磨発泡剤、粉末洗剤、自動車洗浄剤等	皮膚、目を刺激 発ガン性あり	5.67 (0.25%水溶液)	陰イオン
LAS	直鎖型 アルキルベンゼンスルホン酸	洗濯、台所、住宅用洗剤等	皮膚、目への生 涯白血病の原因 発ガン性あり	1.21 (10%水溶液)	
POE	ポリオキシエチレンアルキル エーテル硫酸ナトリウム	石鹼、シャンプー洗顔ク リーム等	皮膚、目を刺激 受精卵脂肪原因	6.06 (1%水溶液)	
DLO	ジメチルラウリルアミノオキ サイド	液体洗剤等	皮膚を刺激、目 への傷害	7.21 (5%水溶液)	両イオン
PLE	ポリオキシエチレンラウリル エーテル	台所用洗剤等	皮膚、目を刺激	5.85 (5%水溶液)	非イオン

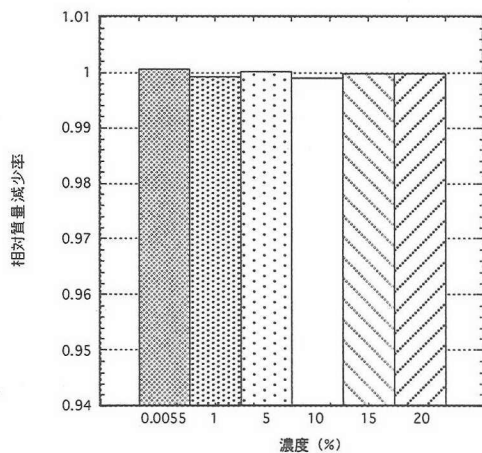
たものである。実験の結果、陰イオン界面活性剤では、浸漬 21 日後において、いずれも相対質量は減



図－3 相対質量減少率と界面活性剤濃度の関係
(ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウム)



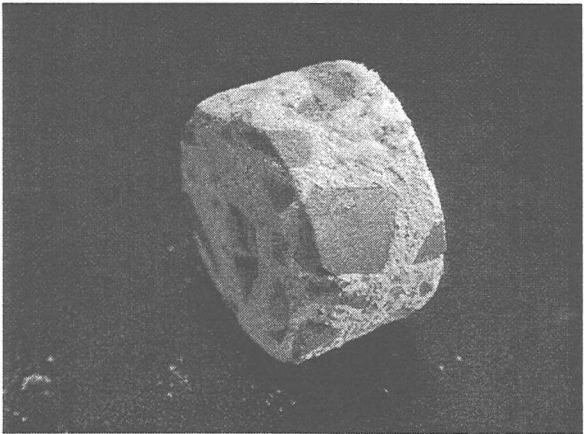
図－4 相対質量減少率と界面活性剤濃度の関係
(ジメチルラウリルアミノオキサイド)



図－5 相対質量減少率と界面活性剤濃度の関係
(ポリオキシエチレンラウリルエーテル)

少しており、濃度が濃いほどその傾向は顕著にみられた。特に、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸は、陰イオン界面活性剤の中で相対質量減少率が最も高かった。この理由として、陰イオン界面活性剤による劣化と合わせて、他の界面活性剤よりも pH 値が小さいことから、陰イオン界面活性剤と酸との複合劣化により、他の陰イオン界面活性剤よりも相対質量減少率が大きくなったものと考えられる。また、いずれのコンクリート供試体表面にも、白い析出物が確認でき、界面活性剤水溶液は白く濁った。写真－1 は、ラウリル硫酸ナトリウム 1% 水溶液に 21 日間浸漬させた供試体表面に析出した物質を示したものである。

一方、ジメチルラウリルアミノオキサイドやポリオキシエチレンアルキルエーテルなどの両イオンや非イオンにおいては、相対質量に変化はほとんど見られなかった。



写真－1 供試体状況 (ラウリル硫酸ナトリウム 1% 水溶液 21 日浸漬後)

3. 陰イオン界面活性剤の基礎実験

上記の実験結果より、陰イオン界面活性剤を使用した場合には、質量の減少傾向がみられ、コンクリート表面には白い析出物がみられた。また、界面活性剤水溶液は白く濁り、コンクリートからある物質が溶解された傾向がみられた。そこで、円柱型コンクリート供試体 (φ100×200mm) と陰イオン界面活性剤 3 種類を用いて、コンクリート表面に析出した物質の種類、量および界面活性剤水溶液に溶解した物質について調査を行った。また、コンクリート供試体表面の劣化状況について観察を行った。

3.1 実験方法

表－２に示した配合で作製した円柱型コンクリート供試体実験（φ100×200mm）を各陰イオン界面活性剤水溶液（１％，５％，１０％）に２体ずつ浸漬さ

表－３ 供試体概要一覧

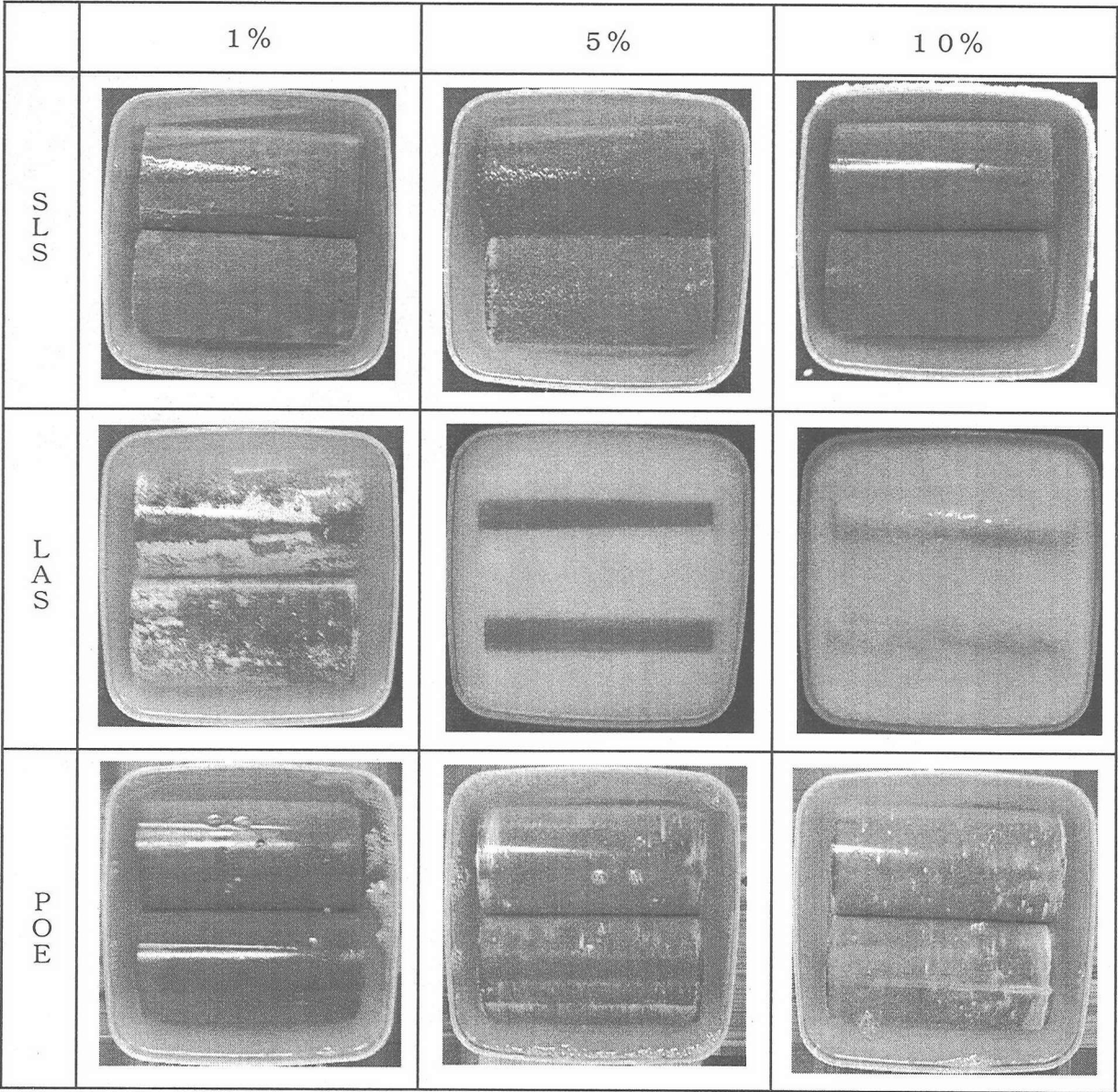
供試体名	界面活性剤の種類	界面活性剤濃度(%)
SLS-01	ラウリル硫酸ナトリウム	1
SLS-05		5
SLS-10		10
LAS-01	直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸	1
LAS-05		5
LAS-10		10
POE-01	ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウム	1
POE-05		5
POE-10		10

せ、２８日後、界面活性剤水溶液から取り出した。表－３は、供試体概要を示す。

コンクリート供試体表面に析出した物質および界面活性剤水溶液中に溶解した物質については、濾過によってその物質を取り出し、析出量を計測した後、エネルギー分散型X線分析装置（EDS）を用いて、その成分を調べた。また、濾過後の界面活性剤水溶液中に溶解した物質について、イオンクロマトグラフィを用いてカルシウムイオン量を調べた。

3.2 実験結果

写真－２は、各陰イオン界面活性剤濃度（１，５および１０％）に浸漬２８日後の供試体および界面活性剤水溶液の状態を示したものである。ラウリル硫酸ナトリウム水溶液に浸漬させた供試体表面には、結晶状のものが少量発生した。直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸とポリオキシエチレンアルキル



写真－２ 供試体状況（浸漬２８日）

エーテル硫酸ナトリウムに浸漬させた供試体表面には、白い析出物がみられ、その量は、界面活性剤水溶液濃度が高いほど多くなる傾向がみられた。特に、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸（LAS）に関しては、供試体の確認が出来ないほど界面活性剤水溶液が真白く濁り、供試体表面には滑りのある析出物が大量に発生した。

表－４は、コンクリート供試体表面に析出した物質の質量を計測した結果を示す。ここで、ラウリル硫酸ナトリウム水溶液に浸漬させた供試体の表面に発生した結晶状のものは、少量であったため濾過の際に濾紙に吸収され計量することが出来なかった。その他の陰イオン界面活性剤においては、界面活性剤濃度が高いほど、析出物の質量も多くなる傾向がみられた。

表－４ 析出物質量

供試体名	界面活性剤の種類	析出物質量(g)
LAS-01	直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸	14.1
LAS-05		110.4
LAS-10		220.3
POE-01	ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウム	0.5
POE-05		1.1
POE-10		1.7

表－５は、析出した物質について、エネルギー分散型X線分析装置（EDS）を用いて成分を調べた結果を示したものである。この表から、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸の場合、析出した物質の90%は、C（炭素）とO（酸素）であり、その他S（硫黄）とCa（カルシウム）の元素が検出された。

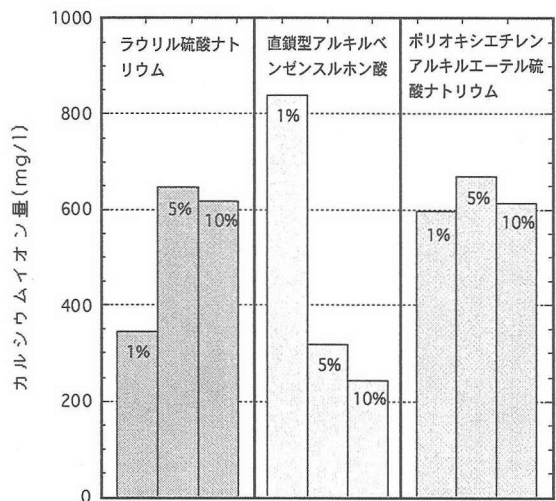
ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウムの場合、C（炭素）とO（酸素）とCa（カルシウム）の元素が主として検出された。この様に、各界面活性剤の成分にはないCa（カルシウム）が検出されたことから、コンクリート中のカルシウムが溶脱したものと考えられた。

表－５ 析出物質量比率

元素名	直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 (%)	ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウム (%)
C	63.83	26.49
O	27.03	36.71
Ca	3.17	24.58
S	5.97	3.00
Na	-	1.47
Si	-	2.46
P	-	5.29

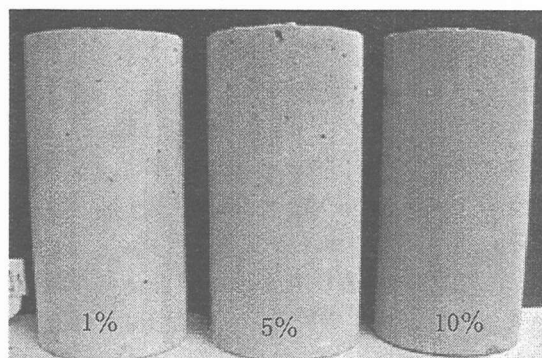
図－５は、濾過後の界面活性剤水溶液中に溶解した物質について、イオンクロマトグラフィを用いてカルシウムイオン量を調べた結果を示したものである。いずれの陰イオン界面活性剤においてもカルシウムイオンが検出された。また、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸の場合、界面活性剤濃度が大きくなるほどカルシウムイオン量が減少する傾向がみられた。しかし、表－４では、界面活性剤濃度が大きくなるほど析出物質量が多くなるという傾向がみられた。この様に、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸水溶液に浸漬した場合、水溶液濃度が高くなるに従って、コンクリート供試体から水溶液中へ溶脱したカルシウムイオンの量は減少し、反対にコンクリート表面へのゼリー状の析出が増加するという現象がみられた。

以上の結果から、陰イオン界面活性剤水溶液によってコンクリートには脱カルシウム化が生じていることがわかった。

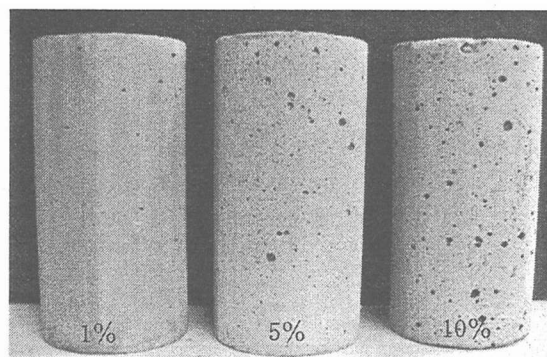


図－５ カルシウムイオン量測定結果

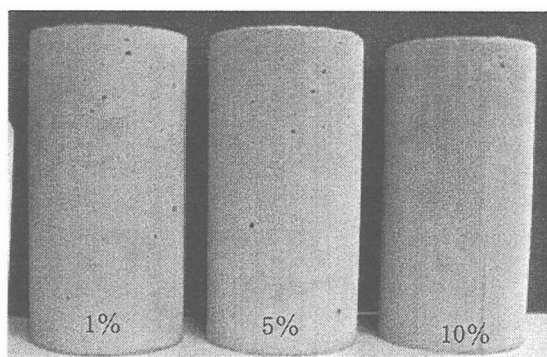
写真－３は、供試体を各陰イオン界面活性剤水溶液に２８日間浸漬させた後、界面活性剤水溶液から取り出し、表面を水で洗い流した後の供試体表面の劣化状況を示したものである。ラウリル硫酸ナトリウムとポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウムにおいては、界面活性剤水溶液浸漬前後および界面活性剤水溶液濃度による違いはほとんど確認することは出来なかったが、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸においては、界面活性剤水溶液濃度が高くなるほど、供試体表面のモルタル部分が剥がれ落ち、内部の気泡が表面に現れる傾向（あばた）がみられた。また、供試体の色は、薄黄色に変色し、表面はざらざらとした肌触りとなった。



ラウリル硫酸ナトリウム



直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸



ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウム

写真—3 供試体表面劣化状況

4. 実構造物を想定した確認試験

一般的な鉄筋コンクリート橋梁床版を用いて、アスファルト舗装面の継ぎ目やひび割れから、コンクリート床版上層部に、ウインドウオッシャー液や家庭用洗剤などから界面活性剤が浸透した場合について、実構造物を想定した供試体を作製し、繰り返し載荷実験を行った。界面活性剤には、前述の実験でコンクリートに最も劣化をもたらした直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液を使用した。また、比較材として湿潤状態および気乾状態について実験を行った。

4.1 実験方法

(1) コンクリートの配合

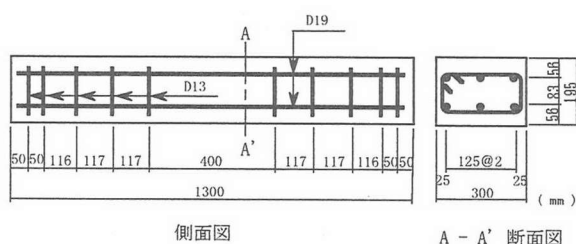
実験には、普通ポルトランドセメント、目標強度 24 (N/mm²)、スランプ 8cm、粗骨材の最大寸法 25mm のコンクリートを用いた。表—6 はコンクリートの配合表を示したものである。

表—6 配合表

Gmax (mm)	スランプ [*] (cm)	W/C (%)	Air (%)	s/a (%)	単位量(Kg / m ³)				
					W	C	S	G	AE 減
25	8	52	4.5	44.8	160	308	801	1036	0.92

(2) 供試体形状寸法

実構造物を想定した繰り返し載荷用鉄筋コンクリート梁の寸法は、300×200×1300mm である。この供試体には、D19 の異形鉄筋を有効高さ 139mm に 3 本ずつ上下段に計 6 本配置したものを使用した。図—6 は、その形状寸法および配筋図を示したものである。また、供試体上面部分には、湿潤状態を保たせるため、シリコンで作製した堰を設けてある。

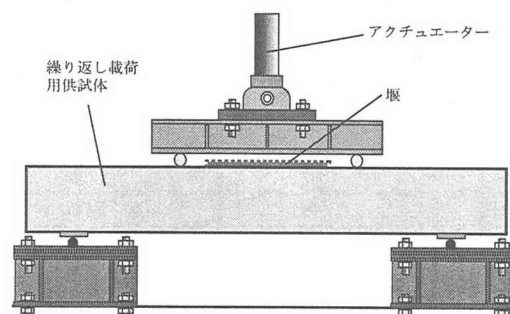


図—6 鉄筋コンクリート梁形状寸法および配筋図

(3) 載荷方法

供試体は、4 点曲げ載荷（せん断スパン比 $a/d=2.17$ ）、周期 4Hz において、200 万回の繰り返し載荷を行った。荷重の大きさは、梁の終局耐力の 30% (67kN) で行った。

また、供試体上層部の条件は、湿潤状態（直鎖



図—7 繰り返し載荷用供試体の載荷状況

型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液), 湿潤状態(水道水) および気乾状態を想定した。また, 使用する供試体による誤差を無くすため, 同じ曲げモーメントを受ける供試体上部に, シリコンで作製した堰を設け(図-7参照), その堰を3等分し, 3つの上層部の条件を一つの供試体を用いて実験を行った。

写真-4は, 繰り返し載荷直前の供試体上層部の状況を示したものである。左から, 湿潤状態(直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液), 気乾状態, 湿潤状態(水道水)の条件となっている。

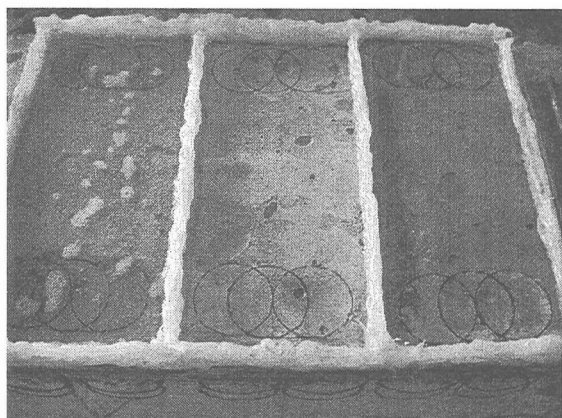
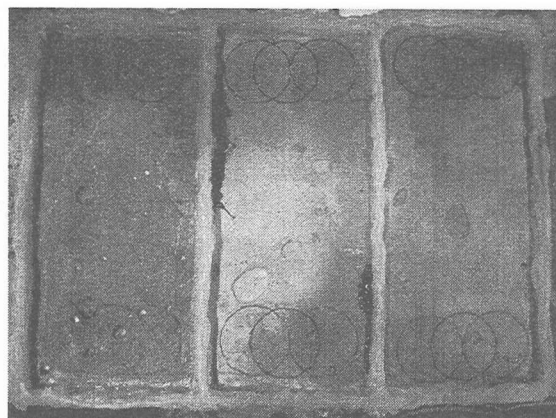
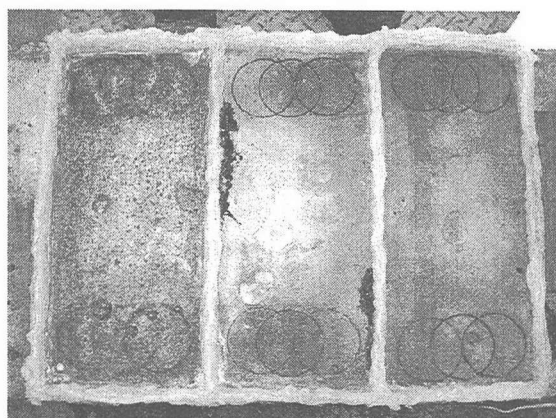


写真-4 載荷前上層部



載荷回数 100 万回



載荷回数 200 万回

4.2 実験結果

写真-5は, 繰り返し載荷回数3万回(約2時間程度)経過したときの供試体上層部の状況を示したものである。湿潤状態(直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液)の条件では, 載荷後2時間程度で, 水溶液が白くなり, コンクリート表面をみることは出来なくなった。

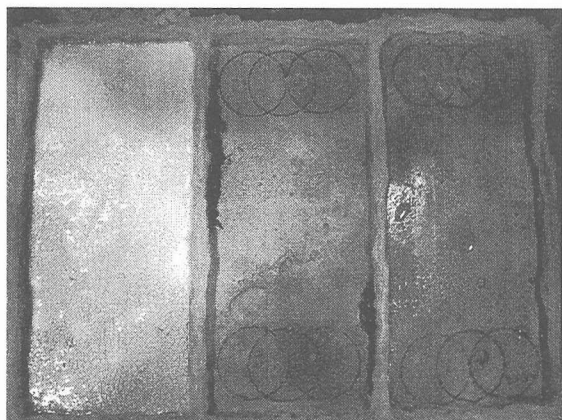
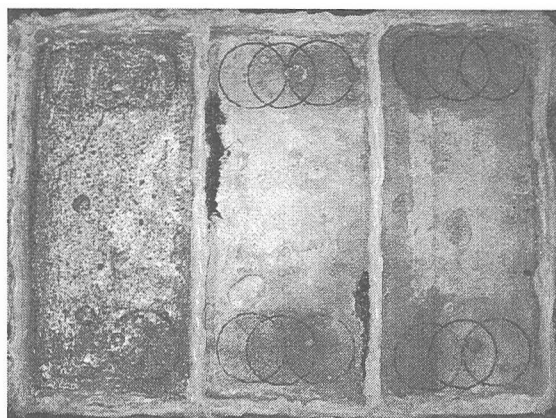


写真-5 供試体上層部(3万回)

写真-6は, 繰り返し載荷回数 100 万回, 200 万回および 400 万回経過したときの供試体上層部の劣



載荷回数 400 万回

写真-6 供試体上層部の劣化状況

化状況を示したものである。供試体上面の撮影は, 繰り返し載荷回数毎に載荷を止め, 供試体上面を水で洗い流した後に行った。

載荷荷重が終局耐力の 30%の場合, 400 万回まで繰り返し載荷を行ったが, 供試体自身破壊には至らなかった。供試体上層部の状態は, 気乾状態および湿潤状態(水道水)については, 特に変化はなく, 400 万回まで繰り返し載荷を行ったが, 劣化の傾向

は全くみることは出来なかった。しかし、湿潤状態（直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液）においては、載荷直後から、界面活性剤水溶液は白く濁った。

100 万回繰り返し載荷後、上層部の界面活性剤水溶液を取り除いたところ、供試体表面のモルタル部分が徐々に剥がれ落ちる傾向がみられた。

200 万回繰り返し載荷後には、もとの供試体表面のモルタル部分は、剥がれ落ち、内部の気泡が表面に現れ、あばた状態になっていた。

400 万回繰り返し載荷後には、供試体表面の凹凸が激しくなり、載荷前から発生していたと思われる初期ひび割れや気泡を中心として、劣化が進行していた。表面を手でなでると、モルタルがボロボロと擦り取れる状況であった。また供試体上面の色は、薄黄色に変色していた。3. 陰イオン界面活性剤の基礎実験で行った、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液の 28 日間浸漬実験と比較した場合、半分以上の日数による繰り返し載荷ではあったが、コンクリート上層部の劣化は明らかに進んでいる結果となった。この結果から、繰り返し荷重作用条件下では、繰り返し荷重を受けない条件に比べ劣化が加速する傾向がみられた。

以上のことから、鉄筋コンクリート床版上層部が湿潤および気乾状態の条件において、設計荷重程度の繰り返し載荷荷重を受けた場合でも、上層部には劣化の傾向は無く、コンクリートの耐力に影響を及ぼす傾向は一切みられなかった。しかし、陰イオン界面活性剤（直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液）が存在する場合においては、供試体上層部には激しい劣化の傾向がみられた。

4. まとめ

本研究では、界面活性剤がコンクリートの劣化に及ぼす影響を調べるため、身近に使用されている界面活性剤を用いた基礎的な実験を行った。本実験の範囲内において、以下のことが言える。

(1) 陰イオン界面活性剤水溶液中にコンクリート供試体を浸漬させた場合、全ての供試体において相対質量は減少し、供試体表面には、白い析出物が確認され、界面活性剤濃度が高いほどその傾向は顕著にみられた。特に、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸は、相対質量減少量率が最も高かった。しかし、ジメチルラウリルアミンオキサライドやポリオキシエチレンアルキルエーテルなどの両イオンや非イオンにおいては、相対質量に変化はほとんど見られな

った。

(2) 陰イオン界面活性剤水溶液中にコンクリート供試体を浸漬させたときに析出した物質の成分を調べた結果、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸の場合、析出した物質の 90%は、C（炭素）と O（酸素）であり、ポリオキシエチレンアルキルエーテル硫酸ナトリウムの場合、C（炭素）と O（酸素）と Ca（カルシウム）の元素が主として検出された。また、界面活性剤水溶液中に溶解した物質について、イオンクロマトグラフィを用いてカルシウムイオン量を調べた結果、いずれの陰イオン界面活性剤においても高いカルシウムイオンが検出された。このような結果から、陰イオン界面活性剤水溶液によってコンクリートには脱カルシウム化が生じていることがわかった。

(3) 実構造物を想定した鉄筋コンクリート床版上層部が湿潤（水道水、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液）および気乾状態の条件において、設計荷重程度の繰り返し載荷荷重を受けた場合、気乾状態および湿潤状態（水道水）の上層部においては、劣化の傾向はみられなかった。しかし、湿潤状態（直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液）の上層部においては、繰り返し載荷回数が多くなるにつれて、表面のモルタル部分は剥がれ落ち、内部の気泡が表面に現れ、あばた状態になった。また、直鎖型アルキルベンゼンスルホン酸 10%水溶液に浸漬させていたコンクリート供試体と比較した場合、浸漬期間が半分以上でも、繰り返し載荷を受けている場合のほうが、大きく劣化を受けていることがわかった。

参考文献

- 1) 森吉昭博, 田端昌祥, 徳光克也: マテリアルライフ (Materials Life), 8[1]pp. 41~44, (Jan. 1996)
- 2) Akihiro MORIYOSHI: Decalcification of Cement Concrete Structures and Dissolution of Bitumen by Windshield Washer Fluid, Journal of the Japan Petroleum Institute, Vol. 45, No. 2, March, 2002
- 3) 武田三弘, 大塚浩司: 舗装で覆われたコンクリート床版を非破壊検査する技術の開発研究, 土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集, 第 5 部 (平成 10 年 10 月), pp. 604-605, 1998. 10. 4-6
- 4) 武田三弘, 大塚浩司: アスファルト舗装下のコンクリート床版を非破壊検査する技術の開発研究, 土木学会第 54 回年次学術講演会講演概要集, 第 5 部 (平成 11 年 9 月), pp. 266-267, 1999. 9. 23

(2003 年 4 月 18 日受付)