

# シリカフュームを使用したコンクリートの曝露試験

Exposure test for concrete test piece using silica fume

北海道電力(株)総合研究所電力・情通・土木グループ ○正員 水口 洋 (Hiroshi Mizuguchi)  
 北海道電力(株)総合研究所電力・情通・土木グループ 正員 水野 秀太郎(Shutaro Mizuno)  
 北電総合設計(株)技術研究所材料研究室 正員 齋藤 敏樹 (Toshiki Saito)

## 1. はじめに

シリカフュームは、金属シリコンやフェロシリコンを製造する際に集塵機で回収される二酸化ケイ素を主成分とする比表面積が 20 万 cm<sup>2</sup>/g 程度の超微粒子である。1990 年代前半から国内で使用実績があり、当所の室内試験では混和材として強度発現が良く、特に水セメント比が 40% の場合、ブリーディングの抑制効果や普通コンクリートと同程度の耐凍害性があることが示されている。そこで本報では、耐久性を確認するために 15 年間曝露試験を実施したので、その結果について報告する。



写真-1 曝露状況

## 2. 供試体作製

### 2.1 使用材料

本試験に使用した材料を表-1 に示す。

表-1 使用材料

種類	仕様
セメント	普通ポルトランドセメント、密度3.16g/cm <sup>2</sup>
シリカフューム	マイクロシリカ940D、密度2.20g/cm <sup>2</sup>
細骨材	栗丘産山砂、密度2.59g/cm <sup>2</sup> 、FM2.71 吸水率2.71%、安定性試験2.9%
粗骨材	手稲産碎石、密度2.69g/cm <sup>2</sup> 、FM6.95 吸水率1.38%、安定性試験2.7%
混和剤	AE減水剤、リグニンスルホン酸系 高性能AE減水剤、ポリカルボン酸系化合物 AE助剤、スルホン酸炭化水素

### 2.2 配合ケース

配合ケースは、シリカフュームコンクリート（以下 SF とする）と普通コンクリート（AE とする）の 2 種類とし、水セメント比を 40, 60, 80% の計 6 種類とした。配合試験結果を表-2 に示す。

## 3. 曝露試験

### 3.1 概要

曝露試験用供試体は平成 5 年に標準養生 28 日後の円柱供試体（φ15×h30cm）を、雨竜第 1 ダム（幌加内町、以下雨竜とする）および当社実験場（平成 18 年に札幌市から江別市に移設、以下総研とする）の各曝露箇所に 18 本づつ（6 種類×3 本）設置した（写真-1）。曝露試験は、平成 5 年～平成 20 年まで超音波法および共鳴振動法による非破壊試験を実施した。

### 3.2 供試体温度と凍結融解回数

曝露試験箇所では気温および供試体温度を 1 時間毎に計測した。図-1 に計測結果の一例を示す。供試体温度は気温の変動に追従しているが、1 日での最高値は気温より 5℃～10℃程度高く、最低値はほとんど差がない傾向となった。供試体の凍結融解回数を図-2 に示す。凍結融解回数は、供試体温度が 1℃以上から -1℃以下まで低下後（凍結）、1℃以上になる（融解）のを 1 回と数えた。15 年間の計測結果は、雨竜で計 332 回、年平均 23 回、総研で計 1,094 回、年平均 73 回であった。

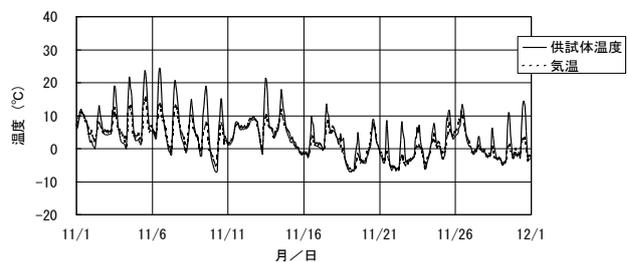


図-1 供試体温度と気温の関係 (H19/11 総研)

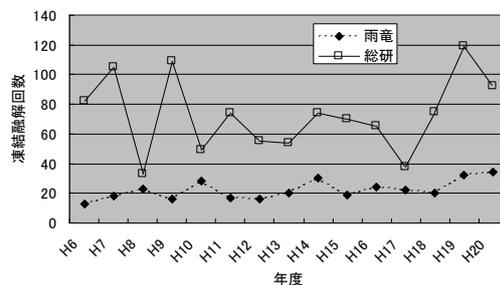


図-2 各年度の凍結融解回数

表-2 試験配合

試験ケース	水セメント比 W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )								フレッシュ性状		
		水 W	セメント C	シリカフューム SF	細骨材 S	粗骨材 G		混和剤(g/m <sup>3</sup> )		スランブ(cm)	空気量(%)	
AE コンクリート	AE40	168	420	-	796	205	727	1680	-	29.4	11.5	4.5
	AE60	158	263	-	869	224	794	1052	-	18.4	11.0	4.2
	AE80	162	202	-	888	229	811	808	-	20.2	11.0	4.5
SF コンクリート	SF40	164	410	41.0	782	202	715	-	4100	-	11.5	4.8
	SF60	159	265	26.5	852	220	778	-	2650	10.6	12.5	4.4
	SF80	162	202	20.2	876	226	801	-	2020	14.1	11.5	4.6

#### 4. 曝露試験結果

供試体の相対動弾性係数の測定方法は、超音波法および共鳴振動法で実施しているが、本報告では共鳴振動法の結果について述べる。

##### 4.1 雨竜の経時変化

雨竜の経時変化を図-3に示す。AEの相対動弾性係数は材齢5年まで上昇し、その後はほぼ一定となる。材齢7年からAE40は低下傾向がみられ、AE60、AE80は一定であるが、全ケースで100%以上である。一方、SFの相対動弾性係数は材齢3年までAEと同様の傾向を示すが、その後低下傾向がみられSF80は材齢4年、SF60は材齢7年、SF40は材齢11年で100%以下となり、その後も低下する。W/Cが高くなるほど低下傾向は大きくなる。結果、AEは材齢9年以降でW/Cが低いほど相対動弾性係数は小さくなるが、SFは材齢によらずW/Cが高くなるほど相対動弾性係数は小さくなる。

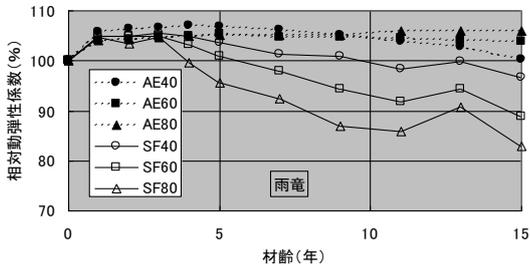


図-3 相対動弾性係数の経時変化 (雨竜)

##### 4.2 総研の経時変化

総研の経時変化を図-4に示す。全体的に雨竜と比べAE、SFとも同様の経時変化を示すが、AE40は材齢11年で100%以下となり。SFは材齢11年まではW/Cが高くなるほど相対動弾性係数は小さくなるものの、それ以降はSF40が最も低下傾向を示した。相対動弾性係数の低下が雨竜よりも大きいのは、同じ材齢であっても凍結融解回数が多いため劣化しやすかったと考えられる。相対動弾性係数は、総研の材齢4年(凍結融解回数329回)でSF40が約99%、SF60が約95%、SF80が約88%であるが、これは、雨竜の材齢13年(凍結融解回数266回)に相当しており、相対動弾性係数の低下は凍結融解回数と関係していると考えられる。

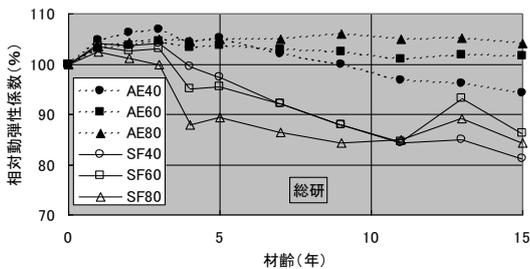


図-4 相対動弾性係数の経時変化 (総研)

##### 4.3 室内試験と曝露試験の関係

AEの室内試験と雨竜の曝露試験の関係を図-5に示す。室内試験はW/Cが大きいものほど相対動弾性係数が小さくなり、AE80の劣化は顕著である。一方、同じ300サイクル相当での曝露試験の相対動弾性係数は全ケースで100%以上で、W/Cによる差異はほとんどない。室内試験と曝露試験の明瞭な相関性は認められない。

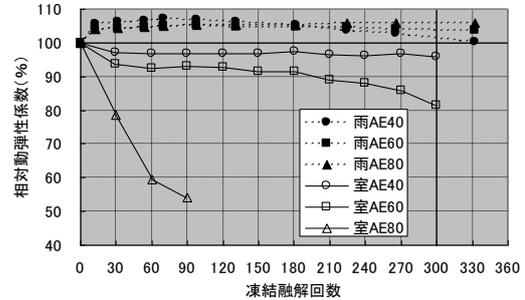


図-5 凍結融解回数と相対動弾性係数 (AE)

SFの室内試験と雨竜の曝露試験の関係を図-6に示す。室内試験の相対動弾性係数はAEと比べW/Cが80%の場合は高く、60%は低くなるが、40%はほぼ同等であった。一方、曝露試験もW/Cが大きいものほど相対動弾性係数は小さくなるが、300サイクル相当でSF40が約98%、SF60が約92%、SF80が約87%となり、W/Cによる差異は室内試験に比べ小さい。

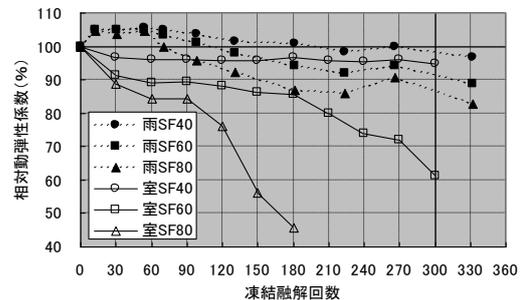


図-6 凍結融解回数と相対動弾性係数 (SF)

#### 4.4 考察

SFを添加したコンクリートは、ポズラン反応や組織の緻密化が期待されるが、今回はその効果が認められなかった。SF40の劣化は、凍結融解をある程度受ける(総研の材齢11年、凍結融解回数770回)と表層劣化が進み、緻密性が失われてきたものと考えられる。SF80がAE80と比べ低下傾向は大きいのは、ポズラン反応が長期にわたり進行しなかったためと考えられる。

#### 5. まとめ

シリカフェームコンクリートは普通コンクリートと比べ、水セメント比が40%では室内試験はほぼ同程度の耐凍害性があるが、曝露試験は相対動弾性係数が材齢3年までは上昇し、その後は低下することが明らかになった。この結果から、シリカフェームの使用は空気量の確保だけでは耐凍害性には繋がらないことがわかった。