

シリカフュームコンクリート中の鉄筋の塩化物腐食に関する暴露実験

立命館大学理工学部 正会員 児島孝之 正会員 ○高木宣章
(株)国際建設技術研究所 正会員 葛目和宏 京都大学工学部 正会員 宮川豊章

1. まえがき 若手コンクリート研究会・海洋コンクリートワーキンググループでは、各種コンクリート供試体の暴露実験を関西地区の海象条件の異なる明石、熊野、舞鶴の3箇所で実施している。

本研究は、当研究会の暴露実験の内、太平洋に面した三重県熊野市鶴殿地区に5年間暴露しているシリカフュームコンクリート供試体の塩化物腐食に対する抵抗性について検討したものである。

2. 実験概要 実験条件を表-1に示す。高炉セメントB種(比重 3.05)、外国産シリカフューム(SF: 比重 2.20, SiO₂≒95%, 比表面積 20.0m²/g)、野洲川産川砂(比重 2.56)、野洲川産川砂利(比重 2.63, MS=25mm)、鉄筋には黒皮付き異形丸鋼(SD30, D10)を使用した。コンクリートの示方配合を表-2に示す。シリカフュームはセメント重量に対する内割でスラリーとして混入し、シリカフュームの混入によるスランプの低下は高性能減水剤で調整した。供試体寸法は12x12x130cm。1年に一回ひびわれ調査、自然電位、分極抵抗、音速の測定を行なった。自然電位と分極抵抗の測定には銅・硫酸銅電極を使用した。塩化物腐食が進行したかぶり1cmの供試体は暴露5年で撤去し、曲げ載荷試験後塩化物イオン量、pH値、鉄筋の腐食状況などの測定を行なった。コンクリートの塩化物イオン量は、風乾試料(0.15mm以下)を電位差滴定法により測定した。pH値は、風乾試料(0.15mm以下)を希釈後、市販のpH計で測定した。

表-1 実験条件

W/(C+SF) : %	40, 60
シリカフューム量 : %	0, 15, 30
かぶり : cm	1, 2.5
練り混ぜ水	水道水, 塩水

3. 実験結果および考察 自然電位の経時変化を図-1に、塩化物腐食による軸方向ひびわれ発生時の自然電位を表-3に示す。かぶり2.5cmの供試体はスパー部のひびわれを除くと暴露5年まで塩化物腐食による軸方向ひびわれは観察されていない。シリカフュームの混入により電位は卑となり、水結合材比の大き

表-2 コンクリートの示方配合

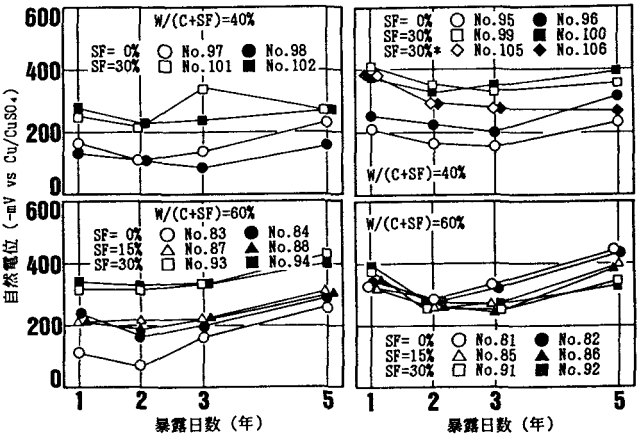
W/(C+SF) (%)	SF (%)	S/a (%)	単位量 (kg/m ³)					AE (%)	SP (%)	スランプ ⁷⁾ (cm)	空気量 (%)
			W	C	SF	S	G				
40	0	39	150	375	0	666	1070	0.095	0.5	8.3	6.6 3.0(3.8)
40	30	37	150	263	112	660	1155	0.095	3.3	9.3(11.1)	
60	0	43	150	250	0	778	1062	0.07	0	6.5	5.0 3.7 2.1
60	15	42	150	213	37	803	1139	0.07	1.5	9.2	
60	30	41	150	175	75	780	1153	0.07	2.7	9.0	

SF: シリカフューム, AE: A E剤, SP: 高性能減水剤, ()は塩水練り時の値
A E剤と高性能減水剤は、結合材重量に対する百分率表示

表-3 塩化物腐食による軸方向ひびわれ発生時の自然電位

W/(C+SF) (%)	SF (%)	はり No.	自然電位 -mV Cu/CuSO ₄	暴露 期間 (年)	ひびわれ幅 (mm)
40	0	95 96	---	5 5	未発生 未発生
40	30	99 100	352 327	2 2	0.1 0.2~0.25
40*	30	105 106	384 386	1 1	0.05~0.08 0.05~0.08
60	0	81 82	335 325	3 3	0.05 0.05~0.40
60	15	85 86	266 242	3 3	0.15~0.40 0.20
60	30	91 92	373 392	1 1	0.05 0.15

*: 塩水練り



a) かぶり2.5cm

b) かぶり1cm

図-1 自然電位の経時変化

注): 塩水練り

い60%では暴露に伴い電位の卑化が進行している。かぶり1 cmの供試体は、シリカフューム混入量が増加するに伴い早期に軸方向ひびわれが発生した。ひびわれ(約0.05mm)発生時の自然電位は幾分の変動はあるものの、約-370mV (Cu/CuSO₄)であった。この電位は、ASTM C 876 の

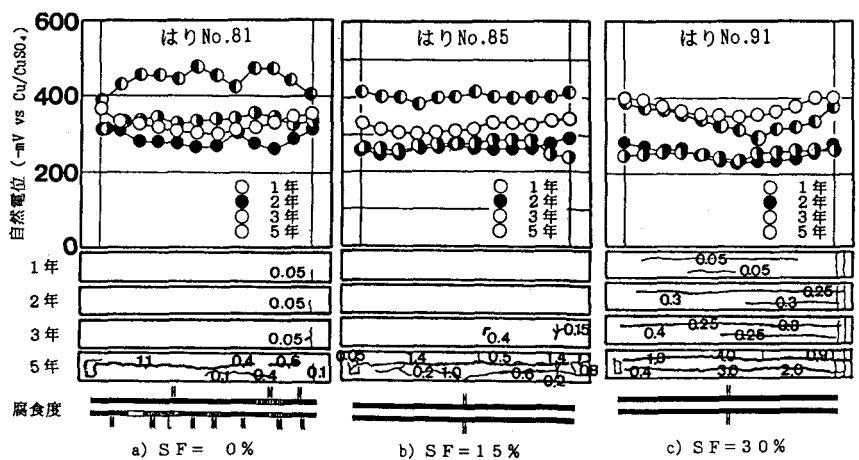


図-2 自然電位、ひびわれ状況、鉄筋の腐食度 [W/(C+SF)=60%, かぶり1 cm]

90%以上の確率で腐食が生じる電位 -350mV (Cu/CuSO₄)より少し卑であるが、同配合で同時打設し明石地区へ暴露した供試体の電位(約-500mV)¹⁾に比較するとかなり貴な値となった。自然電位分布、ひびわれ状況、鉄筋の腐食度の一例を図-2に示す。鉄筋の腐食度は、H(赤錆の盛り上がったもの)、L(わずかに腐食の認められるもの)、M(HとLの中間)の3段階で評価した。かぶりが1 cmと小さい供試体では、シリカフューム混入量が増加するほど塩化物腐食に対する抵抗性は低下する傾向にある。コンクリートのpH値と

表-4 コンクリートのpH値と中性化深さ

W/(C+SF) (%)	SF (%)	はり No.	pH 値**			中性化深さ(mm)	
			A	B	C	平均	最大
40	0	95	12.8	13.1	13.1	2.6	14.2
40	30	99	10.6	10.7	11.0	---	---
40*	30	105	10.1	10.8	10.8	---	---
60	0	81	11.9	12.6	12.9	5.0	16.3
60	15	85	10.4	12.0	12.1	7.8	19.2
60	30	91	9.8	10.5	10.8	---	---

*: 塩水練り, ---: フェノール法で測定不可能

** : A B Cは測定箇所を示す

中性化深さを表-4に示す。シリカフュームを混入していないコンクリートのpH値は12~13であるが、シリカフュームを混入するとそのボゾラン反応によりpH値は10前後に低下するため、塩化物腐食に対してはマイナス要因として作用する。本実験では、高炉セメントB種を使用していることも、アルカリ度の低下を助長しているものと考えられる。供試体下面(鉄筋側)から2 cmごとに測定した塩化物イオン量を図-3に示す。塩化物イオン量はシリカフュームの混入により著しく減少し、水結合材比60%では、シリカフュームを30%混入することにより部位A、B、Cの塩化物量は無混入時の約30~40%まで減少した。しかし、鉄筋位置である部位Aの塩化物イオン量はシリカフュームを15~30%混入しても

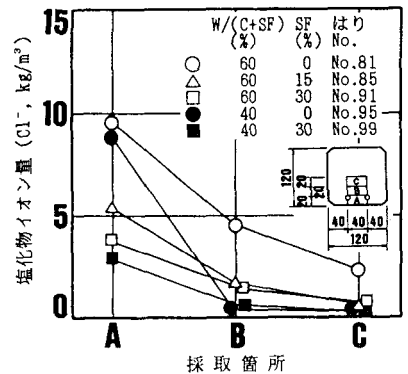


図-3 塩化物イオン量

約3~5 kg/m³あり、土木学会「コンクリート標準示方書(施工編)」の規制値0.6kg/m³を大きく越えている。更には従来から報告されている鉄筋の発錆に及ぼす塩化物イオンの限界値0.5~2.5kg/m³²⁾も越えている。シリカフュームの混入により塩化物イオンの浸透は著しく低下するものの、pH値の低下に伴い鉄筋発錆に及ぼす塩化物イオンの限界値が低下するため、塩化物イオンの限界値とその浸透速度を考慮した十分なかぶりを確保することがシリカフュームコンクリートにおいても重要となる。

参考文献 (1)N.Takagi et al., Chloride Corrosion of Reinforcing Steel in Silica Fume Concrete Exposed to Marine Environment, Proc. of Second CANMET/ACI Int. Conf. on Durability of Concrete, pp.479-497,1991 (2)土木学会, コンクリート標準示方書改定資料, コンクリート・ライブラリー-第61号, pp.2~3, 1986