

(V-52) 暴露環境が異なる低発熱コンクリートの中性化に関する研究

秩父小野田(株) 中央研究所 正会員 谷村 充
同 上 正会員 曾根 徳明
同 上 藤山 修

1. はじめに

近年、大型化するコンクリート構造物の温度ひび割れ防止・抑制対策として、各種低発熱セメントの使用が増大する傾向にあるが、この種のセメントを用いたコンクリートの耐久性に関し、総括的に検討した研究報告は比較的少ない。本報告は、セメントの種類、暴露環境条件の相違が低発熱コンクリートの中性化特性に及ぼす影響に関し、コンクリートの配合、養生条件を種々変化させて検討した結果を述べるものである。

2. 試験概要

(1) 使用材料及びコンクリートの配合— 試験には、高炉セメントB種を低発熱に改良した低発熱高炉セメントB種(記号:TBB, 比重:2.95, フルン:5410cm²/g, スラグ60%)、中熟セメントに高炉スラグ微粉末及びフライアッシュを併用混合した超低発熱セメント(記号:TS, 比重:2.74, フルン:4670cm²/g, スラグ60%, フライアッシュ27%)の混合セメント2種ならびにビーライト量が76%の高ビーライト系セメント(記号:BPC, 比重:3.22, フルン:3540cm²/g, C₃S=12%, C₂S=12%, C₂S=76%, C₃A=2%, C₄AF=10%)を用いた。細骨材には陸砂(比重2.59, 吸水率2.75%, 粗粒率2.75)、粗骨材には碎石(比重2.65, 吸水率0.78%, 粗粒率6.66)を用いた。混和剤としてリグニン系AE減水剤を使用した。コンクリートの配合は単位セメント量を260, 300及び340kg/m³とし、単位水量、細骨材率及び混和剤使用量は所要のスランプ(12±1.5cm)及び空気量(4.0±0.5%)が得られるよう試行によって定めた。練混ぜは20℃恒温で行い、強制100ℓパン型ミキサを用いた。

(2) 供試体作成、養生及び中性化深さの測定— 中性化試験に用いた供試体は10×10×40cm角柱体で、材齢1日間20℃, 80%R.H.の恒温室にて型枠内で養生後脱型し、所定の中性化試験開始材齢に達するまで標準養生(20℃水中)した。前養生期間(暴露開始までの標準養生期間)は3日, 7日, 14日, 28日及び91日の5材齢である。試験条件は屋内放置試験(試験室—炭酸ガス濃度:約900ppm, 温度20℃, 60%R.H.)及び屋外暴露試験(千葉県佐倉市—自然条件)である。中性化測定用供試体と同一環境下での圧縮強度を測定するためφ10×20cmの供試体を作成した。コンクリートの中性化は端面に平行に割裂した供試体の破断面にフェノールフタレイン1%アルコール溶液を噴霧し赤呈色部により判定し、供試体の打込み面及び底面を除く二側面について1cm間隔で赤呈色部までの深さをノギスを用いて測定し、その平均値を中性化深さとした。中性化深さの測定時期は、暴露開始から28日, 91日, 6ヶ月, 1年及び2年とした。

以下、中性化深さと経過時間との関係を $t^{1/2}$ 則($y = A \cdot t^{1/2}$, y :中性化深さ, t :暴露期間)に近似させたときの係数A(以後、中性化速度係数と呼ぶ)を用いて検討を行う。

3. 試験結果および考察

図-1に、中性化速度係数(A)に関して屋外暴露と屋内放置との関係を示す。BPCと混合系セメントの群に層別でき、同一屋内放置下のAに対する屋外暴露下のAはBPCの場合が混合系に比し小さい。BPCの場合、屋内のAは屋外の5~10倍の範囲にある。混合系の場合は、概ね屋外:屋内=1:2の線上にある。

図-2及び図-3は、屋内放置及び屋外暴露試験に関して、暴露時点での標準養生供試体の圧縮強度と中性化速度係数(A)との関係を示したものである。図より、いずれのセメントを用いた場合も強度発現に伴って中性化速度係数は小さくなるが、セメントの種類、水セメント比別に分類できる。セメントの種類について同一圧縮強度で比較すると、屋内放置試験下のAの値は概ねTS>TBB>BPCの順となる。これは、同一圧縮強度におけるコンクリートの空隙量がセメントの種類に関係なく大略同等であることより¹⁾、コンクリート中のCa(OH)₂生成量の差異²⁾によ

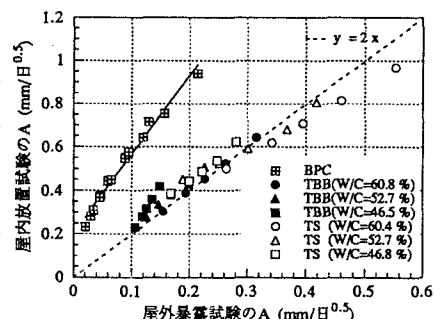


図-1. Aに関する屋外暴露と屋内放置との関係

るものと推察され、BPCが混合系のTBB、TSよりも $\text{Ca}(\text{OH})_2$ を多く生成すること起因しているものと考えられる。水セメント比に関しては、セメントの種類に拘わらず水セメント比の大きい（単位セメント量の少ない）場合が、同一圧縮強度に対するAは大きい。これは、圧縮強度と総細孔量との関係¹⁾から、単位容積中のセメント量が少ないものほどコンクリート中の $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 生成量が減少することに主因があると考えられる。屋外暴露環境下のAについても、同一圧縮強度で比較すると $\text{TS} > \text{TBB} > \text{BPC}$ の順であるが、屋内試験の場合に比べ混合系とBPCとの差が明瞭となる。

図-4及び図-5は、水セメント比53%程度のコンクリートに関して、前養生期間と圧縮強度発現速度（以下、 F' と略称）との関係を、それぞれ屋内放置及び屋外暴露試験について示したものである。ここで、圧縮強度発現速度とは、下式により算出した値で、暴露後の経過時間と同一暴露環境下に置かれた $\phi 10 \times 20\text{cm}$ 供試体の圧縮強度との関係を最小二乗法により $F = a + b \cdot \log(t)$ (F : 圧縮強度 (kgf/cm^2) , t : 暴露後の経過時間(日), a, b : 回帰係数)式に近似させた場合の、 dF/dt である。

$$F' = b / (t \times \ln(10))$$

ここに、 F' : 圧縮強度発現速度 ($\text{kgf}/\text{cm}^2/\text{日}$)

t : 暴露後の経過時間 (日)

b : 回帰係数

図より、前養生期間、暴露期間に拘わらず屋外暴露下の F' が屋内放置下のそれに比し大きい。屋外の場合には暴露後も雨水の供給があり、水和反応が屋内よりも進行するためである。前養生期間に関しては、暴露条件、セメントの種類に拘わらず前養生期間が長いものほど暴露後の F' が小さい。セメントの種類でみると、屋外暴露試験でのBPCの F' が、前養生期間に拘わらず混合系のTBB、TSに比し大きい。これは、BPCのC-S-H水和物が長期にわたって緻密な組織を形成する³⁾ことによると考えられ、前述の如く屋外暴露下におけるBPCの中性化速度が小さく、暴露条件や暴露時点の圧縮強度との関係において混合系のセメントの場合と傾向を異にするのは、暴露開始後のBPCの強度発現性に起因しているものと考えられる。

即ち、これまで述べたことを総合的に勘案すれば、BPCの場合、屋外、屋内といった所謂自然暴露環境下、特に屋外環境下での中性化抵抗性が優れることを示唆しているといえる。なお、著者らは今現在も同一な供試体を暴露中であり、将来この種のコンクリートの中性化特性がより明らかになるものと考えられる。

〔参考文献〕 (1) 内川, 羽原, 沢木; セメント・コンクリート論文集 No. 44, pp. 330-335 (1990)

(2) 堀口, 長曾我部, 五十畑, 鈴木; セメント・コンクリート論文集 No. 46, pp. 580-585 (1992)

(3) 内川, 羽原, 沢木, 野村; セメント・コンクリート論文集 No. 45, pp. 52-57 (1991)

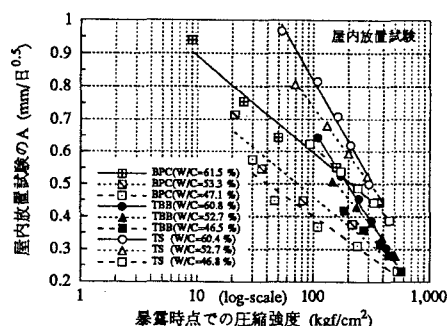


図-2. 暴露時点での圧縮強度と中性化速度係数Aとの関係（屋内放置試験）

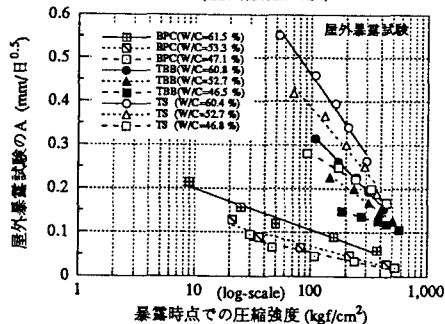


図-3. 暴露時点での圧縮強度と中性化速度係数Aとの関係（屋外暴露試験）

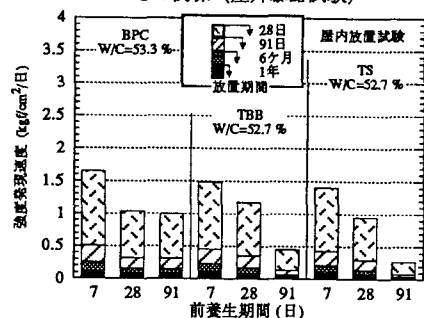


図-4. 屋内放置試験における強度発現速度

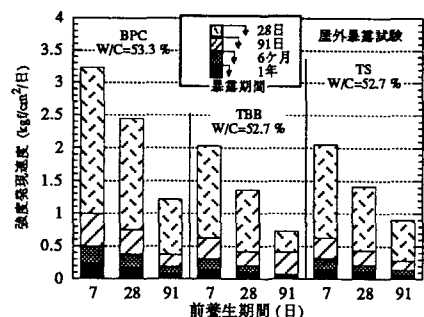


図-5. 屋外暴露試験における強度発現速度