

は、地中送電用シールドの覆工コンクリートに合わせたものであり、通常のコンクリートとは異なっている。

また、4種類のコンクリートの材齢28日における圧縮強度はJISA1108に準拠して求めたものであり、普通コンクリート(1)は 24.9N/mm^2 、普通コンクリート(2)は 24.8N/mm^2 であった。また、フライッシュコンクリートは 23.2N/mm^2 、膨張コンクリートは 24.8N/mm^2 であった。

2.2 試験結果

乾燥開始後を基準とした乾燥収縮曲線を図-1に示す。

乾燥開始182日間の乾燥収縮ひずみは、普通コンクリート(1)で 503×10^{-6} 、普通コンクリート(2)で 686×10^{-6} を示し、またフライッシュコンクリートは 548×10^{-6} であった。一方、水和熱抑制型膨張材を混和した膨張コンクリートは、 554×10^{-6} の収縮ひずみが測定された。

ただし、湿潤養生60日後において、普通コンクリート(1)と(2)は $40 \sim 50 \times 10^{-6}$ の収縮ひずみが生じたが、フライッシュコンクリートはほとんど生じなかった。一方、膨張コンクリートは打設1日で 148×10^{-6} の膨張ひずみが生じ、60日後においても約 100×10^{-6} の膨張ひずみが残留した。

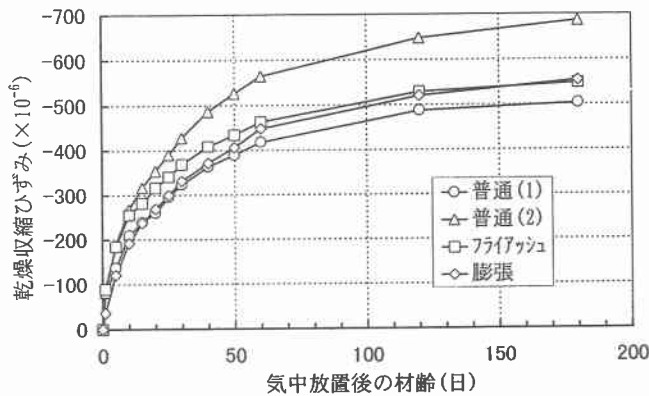


図-1 各種コンクリートの気中放置後の乾燥収縮曲線

3. 有限要素法による非定常水分拡散解析

3.1 非定常水分拡散方程式

コンクリート中の水分移動は水蒸気の拡散に因るものであり、浸透流はコンクリート中の含水量に無関係であると仮定するならば、水分移動は拡散方程式によって表すことができる。線形非定常の水分拡散の支配方程式は二次元問題の場合には、次式によって表される。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) \quad (1)$$

また、等方性 ($D_x = D_y = D$) を仮定すると次式のようになる。

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

境界条件には、表面の湿度が周囲の湿度と等しいとする固定境界条件と、表面の蒸発速度が内部と外表面の湿度差に比例するものとする水分伝達境界条件の2種類がある。

$$(a) \text{ 固定境界条件: } C = C_a \quad (3)$$

$$(b) \text{ 水分伝達境界条件: } D_n \frac{\partial C}{\partial n} + h(C - C_b) = 0 \quad (4)$$

ここで、 x, y は座標 (cm)、 C は単位体積当たりの水分量 (g/cm^3)、 D_x, D_y は x, y 方向の水分拡散係数 (cm^2/day)、 h は外部流体への水分伝達率 (cm/day)、 C_0 は固定境界上の単位体積当たりの水分量 (g/cm^3)、 C_b は外部流体の単位体積当たりの水分量 (g/cm^3)、 t は時間 (day) とする。また、初期条件は次式で与えられる。

$$C(x, y, t = 0) = C_0 \quad (5)$$

3.2 解析方法および解析結果

乾燥収縮試験におけるひずみの測定は、 $10\text{cm} \times 10\text{cm} \times 40\text{cm}$ の供試体の中央部表面で行われているので、平面保持の仮定から、測定されたひずみは断面内の平均ひずみである。また、ひずみ測定区間では端面の水分移動の影響をほとんど受けないので、二次元問題としてよい。

この乾燥収縮試験では、供試体の重量変化あるいはコンクリート中の含水量の分布は測定していないので、Pickett の論文³⁾から、水分拡散係数 (D) を $0.23\text{cm}^2/\text{day}$ に、水分伝達係数 (h) を $0.18\text{cm}/\text{day}$ に仮定した。実験室の気温は 20°C であり、相対湿度 60% であるので、外部空気の単位体積当たりの水分量は $1.04 \times 10^{-5}\text{g}/\text{cm}^3$ である。また、初期水分量は $0.3\text{g}/\text{cm}^3$ とした。これらの条件で図-2 に示すような要素分割に対して非定常水分拡散解析を行い、コンクリート供試体の水分量の経時変化を求め、図-3 に示した。この図から、コンクリート内部の水分移動は、はじめにコンクリート表面部付近から起こり、乾燥期間の経過につれて、次第に内部に及ぶことがわかる。特に、角部では X と Y の両水分伝達の影響を受けて、早期に水分移動が生じる。

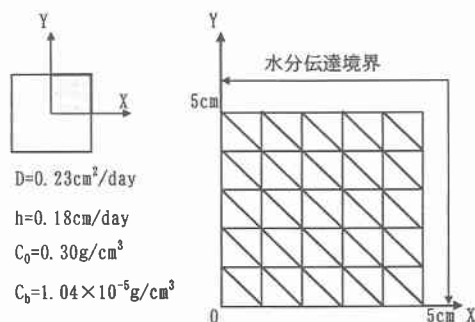


図-2 非定常水分拡散解析に用いた要素分割

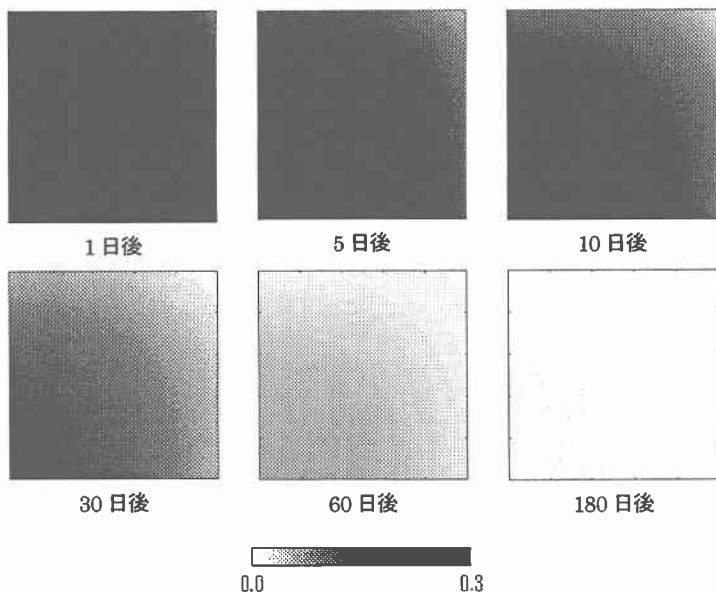


図-3 水分量の経時変化

4 水分変化量と乾燥収縮ひずみ

試験で得られた乾燥収縮ひずみ ε_s ($\times 10^{-6}$)と、解析で求めた平均的な水分量 Δ_c (g/cm^3)の関係を図-4に示す。ここで、図-4の直線の勾配は乾燥収縮係数 β_c ($\times 10^{-6}/\text{g}/\text{cm}^3$)に相当する。この図から明らかなように、乾燥期間が120日間($\Delta_c=0.294$)までは β_c はほぼ一定であると考えてよい。この乾燥期間における最大誤差は、 25×10^{-6} 程度であるものの、乾燥収縮ひずみと平均水分変化量との間には相当により線形性のあることが明らかにされた。非定常水分拡散解析によって、各材齢における Δ_c が得られれば、次の関係式によって乾燥収縮ひずみを求めることができる。

$$\varepsilon_s = \beta_c \cdot \Delta_c = \beta_c \cdot (C - C_0) \quad (6)$$

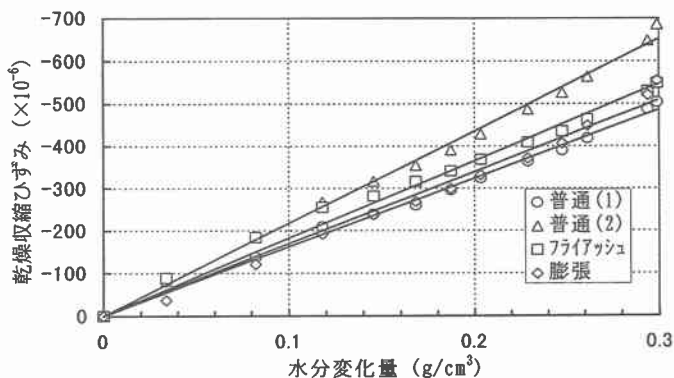


図-4 乾燥収縮ひずみと平均水分変化量の関係

5. まとめ

地中送電用覆工コンクリートに使用した4種のコンクリートについて、同一の養生条件に基づいた乾燥収縮試験を行い、非定常水分拡散解析と比較・検討した。

非定常水分拡散解析によって求めたコンクリート中の水分変化と、乾燥収縮試験から得られたひずみの時間変化は、全てのコンクリートで線形の関係にあることが明らかにされた。したがって、この勾配である乾燥収縮係数を用いることによって、解析的にコンクリートの乾燥収縮ひずみを算定することが可能である。

参考文献

- 1) G. Pickett : Shrinkage Stress in Concrete, ACI Journal, Vol. 17, No. 3, PP. 165~195, Jan. 1946.
- 2) J. Kasperkiewicz : Some Aspects of Water Diffusion Process in Concrete, Materials and Constructions, vol. 5, No. 28, PP. 209~214, 1972.
- 3) 山田和夫, 小林健, 山本俊彦 : 4面乾燥状態にあるコンクリートの水分移動性状に関する基礎的研究, セメント・コンクリート論文集, No. 50, PP. 467~471, 1996.
- 4) 藤田忠司, 石田宏, 帷子國成, 小西俊之 : コンクリートの乾燥収縮に及ぼす配合の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 11, No. 1, PP. 205~210, 1989.