

水分拡散に伴うコンクリート構造物の乾燥収縮ひび割れの解析的検討

北海道大学 学生会員 ○梅田 祐史

北海道大学 野田 淳人

北海道大学 正会員 大沼 博志

1 はじめに

コンクリート構造物に発生するひび割れは、構造物の安全性や耐久性の低下、美観の損失といった悪影響を及ぼすことがある。そのため、設計の段階でひび割れ発生の有無を予測することが重要である。ひび割れ発生の原因の一つに、コンクリートの乾燥収縮がある。

乾燥収縮ひずみの算定には従来から数多くの実験から得られた予測式が設計や解析に用いられてきた。本論文の特徴は、これらの予測式を用いるのではなく、3次元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量から、乾燥収縮応力やひび割れ発生の有無を算定しようとするものである。これによって、有限要素法による一貫した乾燥収縮ひび割れの解析が可能となる。

2 乾燥収縮係数

2.1 コンクリート供試体の3次元非定常水分拡散解析

既往の乾燥収縮試験¹⁾から、乾燥収縮ひずみの履歴曲線が得られている。この試験は、 $10 \times 10 \times 40 \text{ cm}$ の角柱供試体を用い、JIS A 1129に基づいたものであり、28日間水中養生した後、気温 20°C 、相対湿度60%の恒温室内において180日間乾燥収縮ひずみを測定した。

解析対象とした供試体は乾燥収縮試験に用いたのと同じとした。Pickettの論文²⁾から、水分拡散係数を $0.23 \text{ cm}^2/\text{day}$ とし、水分伝達係数を $0.18 \text{ cm}/\text{day}$ に仮定した。供試体の置かれた環境条件は、乾燥収縮試験と同じとしたので、外部空気の単位体積当たりの水分量は $1.04 \times 10^{-5} \text{ gr}/\text{cm}^3$ である。初期水分量は $0.18 \text{ gr}/\text{cm}^3$ とした。図-1に示すように、1/8断面モデルを用い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変化を求めた。コンクリートは均質でかつ等方性であるとし、水分拡散係数は打設方向に依存せず一定とした。また、コンクリート供試体の外表面は水分伝達境界条件とした。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から起こり、乾燥時間の経過とともに、次第に内部に及ぶ。乾燥開始約180日後には、コンクリート中の水分がほぼ完全に逸散した。

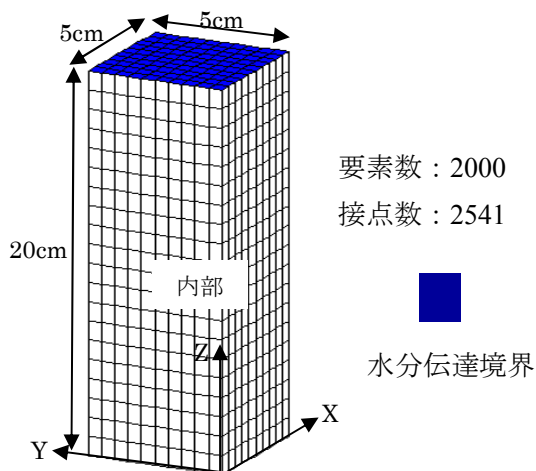


図-1 供試体解析モデル

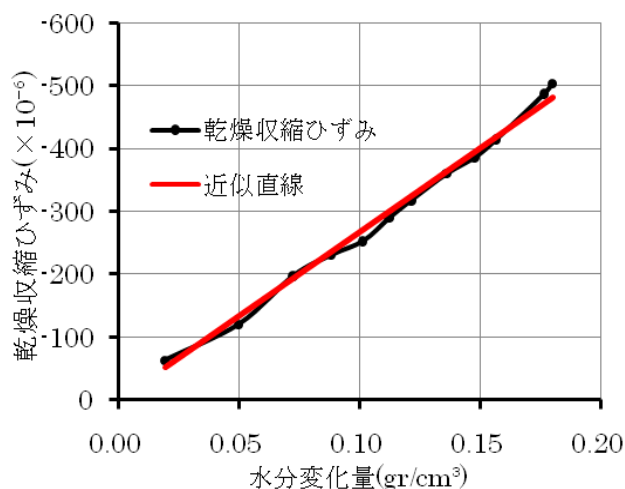


図-2 乾燥収縮ひずみと水分変化量の関係

キーワード 非定常水分拡散解析, 乾燥収縮ひずみ, 乾燥収縮係数, ひび割れ発生

連絡先 〒060-8628 北海道札幌市北区北13条西8丁目 北海道大学大学院工学研究科 TEL 011-706-7554

2.2 乾燥収縮係数の算定

既往の乾燥収縮試験で得られたコンクリートの乾燥収縮ひずみと、3次元水分拡散解析から求めた水分変化量の関係から、乾燥収縮係数を算定した。乾燥収縮ひずみと水分変化量の関係を示した図-2 から、乾燥収縮ひずみと水分変化量には線形の関係にあることが分かる。この勾配が水分拡散係数であり、その値は $2680 \times 10^{-6} / \text{g/cm}^3$ となった。

3 コンクリート構造物の乾燥収縮応力解析

解析対象は、図-3 のドア周囲のコンクリート壁(厚さ 16cm)とした。解析モデルは形状の対称性を考慮して 1/4 断面とした。コンクリートの表面は水分伝達境界条件、境界は水分移動が無いとした。解析モデルの要素数は 1062、接点数は 1592 であり、7 日間養生後に気中に曝されるとした。コンクリートの材料物性値は供試体と同一とした。

解析では、まず非定常水分拡散解析を行いコンクリート中の水分変化量を求めた。次に、この水分変化量に乾燥収縮係数を乗じて乾燥収縮ひずみを算定し、これを自由ひずみとして乾燥収縮応力を求めた。

図-4 の乾燥収縮応力解析の結果から、ドアの隅角部に大きな引張応力が生じることが示された。これは、水分拡散解析からコンクリート中の水分変化量が大きいことと、変断面部の応力集中によるものである。また、乾燥開始約 150 日後の隅角部近傍の引張応力は、コンクリートの引張強度を上回っているためひび割れが発生すると予測された。さらに、ひび割れの方向は y 軸(水平軸)に対して約 45° となることが分かった。

4 結論

3次元有限要素法プログラムを用いた非定常水分拡散解析、乾燥収縮応力解析から以下の結論が得られた。

- 1) 乾燥収縮試験から得られた乾燥収縮ひずみと、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量は、線形関係にあることが明らかにされた。その勾配を乾燥収縮係数と名付け、乾燥収縮応力解析に用いた。
- 2) コンクリート壁の非定常水分拡散解析に乾燥収縮係数を適用した乾燥収縮応力解析の結果からコンクリートに発生するひび割れの有無、発生したひび割れの方向、範囲およびひび割れ発生の時期を予測することができた。

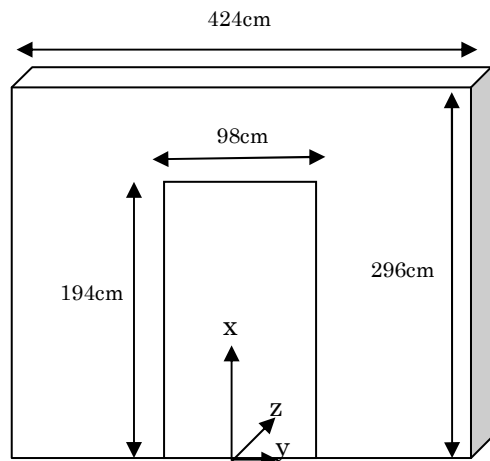


図-3 コンクリート壁の形状寸法

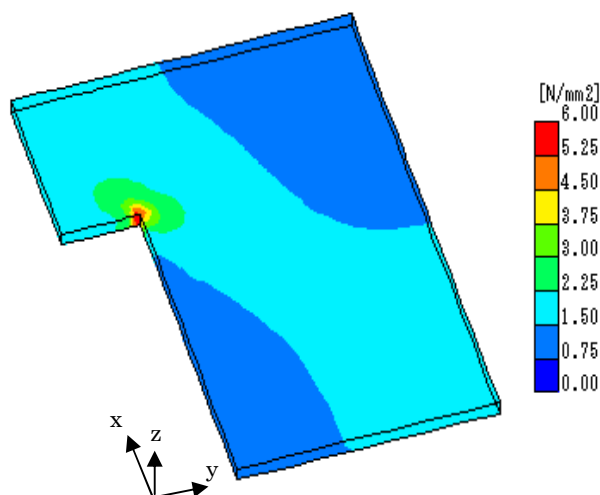


図-4 主応力分布図 (500 日後)

参考文献

- 1) H. Ohnuma, T. Nawa, K. Izumo: Drying Shrinkage of Concrete Based on Water Diffusion Analysis, Proceedings of the 4th Joint Symposium on Structural Materials between Japan and Korea, pp. 145-152, 2001.7
- 2) G. Pickett: Shrinkage Stress in Concrete, ACI Journal, Vol. 17, No. 3, PP. 165-195, Jan. 1946
- 3) 土木学会: 2007 年度制定 コンクリート標準示方書 [施工編], [設計編]