

乾燥収縮試験の乾燥開始材齢が収縮量へ及ぼす影響に関する考察

名古屋大学大学院環境学研究科都市環境学専攻
 新日鉄高炉セメント 技術開発センター
 芝浦工業大学土木工学科
 東京都市大学工学部建築学科

○丸山一平
 檀康弘
 伊代田岳史
 佐藤幸恵

1. はじめに

本考察では、乾燥収縮試験の乾燥開始材齢や前養生条件が、乾燥収縮の終局収縮量、すなわち、環境に対して定常状態になる状態の最終ひずみに及ぼす影響を取り上げる。

著者の一人である伊代田らは¹⁾、高炉セメントB種と普通ポルトランドセメントを用いた作製したコンクリートに対して、乾燥試験の前養生条件として水中、気中、散水、封緘とし、その後、一定環境条件に静置して、乾燥収縮ひずみを測定した。それらの結果は、収縮速度の違いはあっても、最終的に定常になる収縮ひずみは、ほぼ同一になるという結果であった。

また、同様に著者の一人である檀らの実験において、異なる乾燥開始材齢の乾燥収縮試験を行った場合でも再現されている²⁾。

一方、寺西らも同様の検討を行っているが、この場合は、わずかながら、乾燥開始材齢が大きくなるに従って収縮が小さくなる傾向が示されている³⁾。

この問題について、著者が提案した収縮理論に基づき、この現象に関する考察を行うこととした。

2. 理論

著者らの提案した分離圧 (=水和圧) 理論では⁴⁾、セメント硬化体の収縮は ①水とセメント硬化体表面の相互間力②比表面積の大きさ、および③体積弾性率によって決定される。このとき、セメント硬化体の収縮に関する支配方程式は、次式で表現される。

$$w \cdot \Pi(e) + K \cdot \Delta V / V = 0 \quad [1]$$

ここに、 w : 体積含水率、 K : 体積弾性率、 $\Delta V / V$: 体積ひずみ、 $\Pi(e)$: 吸着厚さ e の時の分離圧である。

この式は、次式のように変形することができる。

$$\Delta V / V = - \frac{S \cdot e \cdot \Pi(e)}{K} \quad [2]$$

ここで、 $w = S \cdot e$ の関係を用いた。 S : セメント硬化体の単位体積あたりの比表面積 (m^2/cm^3) である。セメント硬

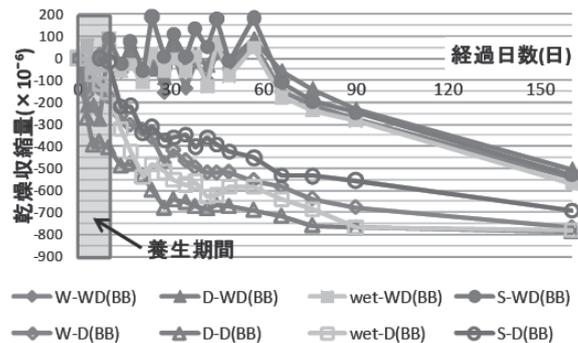


図1 異なる前養生条件のコンクリートの乾燥収縮¹⁾

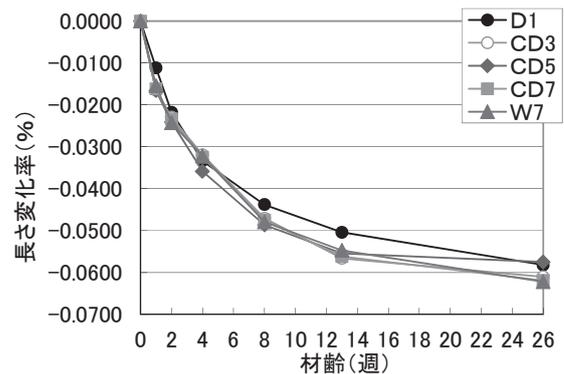


図2 異なる乾燥開始材齢の乾燥収縮試験結果²⁾
 (D1:材齢1日脱型, W7:7日まで標準水中養生, CD3~7:各数字の材齢まで、湿布養生)

化体の単位表面積あたりの吸着ポテンシャルが、材齢にかかわらず一定であると考えるのであれば、 e および $\Pi(e)$ は、平衡する相対湿度を対象とする限り、材齢にかかわらず同一になる。

このとき、材齢に依存する S および K が、水和プロセス中、原点を通る線形関係が保持されるのであれば、式(2)中の右辺は、材齢に依存せず、 $\Delta V / V$ は最終到達ひずみ(平衡になる点)として同一になる。

3. 実験概要と結果

体積弾性率と単位体積あたりの比表面積を求めることを実験的に検討した。実験には、混合材の入っていない普通ポルトランドセメントを用いた。水セメント比は0.55と0.40のセメントペーストとして、オムニミキサで練り混ぜた後、ブリーディングが無くなるまで練り返し

を行った。その後、容器に詰め、封緘を施し、所定の材齢まで 20°C±1°Cの恒温室で養生を行った。以下に示す試験を実施した材齢は、0.5,0.75,1,3,7,14,28,91,182 日である。

(1)水蒸気吸着試験

セメントペーストは各材齢において、ミキサーミルで粉碎後、ただちに多量のアセトンにより水和停止を行い、その後、LiCl 飽和水溶液により 20°C, 11%RH に保たれたデシケータで 3 週間調湿した後、容器に密閉した。水蒸気吸着等温試験には、25 μm 以上 50 μm 以下に分級した粉末を用いた。試料は水蒸気吸着試験の前に 105°C で真空脱気 (到達圧力 6.7×10²Pa) を 30 分実施した。水蒸気吸着には定容法を用いた。比表面積の算定には、BET 法を用いた。

(2)密度試験

セメントペーストを 5mm 角程度にハンマーで粉碎した後に、質量を測定した。その後、真空デシケータ中で水に浸け、真空脱気をしながら吸水させ、表面を濡れたウェスで拭き、質量を測定した。その後、アルキメデス法によって密度を測定し、その後、105°C に設定した循環式乾燥炉中に 24 時間静置し、飽水状態時の密度と 105°C 乾燥後の質量を基準とした含水率をもとに、105°C 乾燥時のセメントペーストの密度を算出した。

(3)体積弾性率

超音波試験に供するため 4×4×16cm 角柱試験体を作製した。打設直後から、角柱試験体はポリ塩化ビニルデン製のラップフィルムで封緘し、20±3°Cの恒温室に静置した。各材齢において、縦波および横波速度を測定した。超音波伝搬速度の計測には、Panametrics-NDTTM超音波探触子(V103-RM, V153-RM), Panametrics-NDTTMパルサーレーザ 5077PR (OLYMPUS 社製), 及びデジタルスコープ・オシロスコープ TDS2012B (Tektronix 社製) を使用した。測定条件として、パルス発振電圧: -400V, 探触子周波数: 1.0MHz, パルス繰返し周波数 (PRF) : 100Hz を与えた。

得られた縦波伝搬速度、横波伝搬速度及び密度から式 [3], [4]を適用することでヤング率(動弾性係数)を得た。

$$E = V_p^2 \cdot \rho \cdot \frac{(1+\nu)(1-2\nu)}{1-\nu} \quad [3]$$

$$\nu = \frac{1-2(V_s/V_p)^2}{2-2(V_s/V_p)^2} \quad [4]$$

ここで、E : ヤング率 (GPa), ρ : セメントペーストもしくはモルタルのみかけの密度 (g/cm³), ν : セメントペーストもしくはモルタルのポアソン比 (-), V_s : 縦

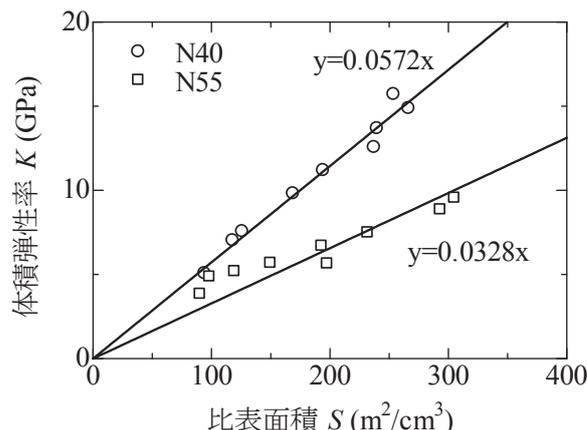


図3 比表面積と体積弾性率の関係

波伝搬速度 (km/s), V_p : 横波伝搬速度 (km/s) である。ここで使用したみかけの密度は、注水直後から一定値と仮定して、水セメント比と水、セメントの密度より求めた。

得られた実験値から、単位体積あたりの比表面積と体積弾性率の関係を示したのが図3である。

ここに示されるように、特に水セメント比 0.40 である N40 の試験体において、線形性が確認された。水セメント比 0.55 の場合の N55 についても線形性が確認されたが、原点を通らない傾向にあった。しかし、材齢 7 日以降については、原点を通る線形性を有していると考えても良さそうであった。

4. まとめ

セメント硬化体の収縮理論にもとづき、脱型時期が最終乾燥収縮ひずみに及ぼす影響がほとんど無い、ということ、体積弾性率-比表面積関係から生じうることを示した。

なお、本手法は、中性化などが無いことが前提となっているので、中性化が生じ易い実験条件では、異なる挙動が生じる可能性もあり、今後の課題である。

【参考文献】

- 1) 井ノ口公寛ほか: 初期養生方法と養生後の環境変化が乾燥収縮に与える影響, 土木学会第 65 回年次学術講演会, V-166, pp.331-332, (2010)
- 2) 檀康弘: 高炉スラグ微粉末を用いたコンクリートの耐久性能に及ぼす初期養生の影響に関する研究, 九州大学学位論文公聴会, (2011)
- 3) 半坂昌広ほか: コンクリートの乾燥収縮に対する外的要因の影響 (その 3. 乾燥開始材齢の影響), 日本建築学会大会学術講演梗概集(関東), pp.439-440 (2006)
- 4) I. Maruyama: Origin of Drying Shrinkage of Hardened Cement Paste: Hydration pressure, Journal of Advanced Concrete Technology, Vol. 8, No.2, pp.187-200 (2010)