

リチウムイオンの内部圧入に要する時間とコンクリートの含水状態との関係について

京都大学 学生員○阪口 晃祐 極東興和(株) 正会員 江良 和徳
 京都大学 正会員 山本 貴士 正会員 服部 篤史 フェロー 宮川 豊章

1. はじめに

近年、コンクリート構造物中の鉄筋がアルカリシリカ反応（以下、ASR と称す）によるコンクリートの膨張によって破断するという現象も報告されており、ASR 抑制技術の研究が急務となっている。ASR 対策の一つとして、コンクリート躯体に小径の削孔を行い、そこから亜硝酸リチウムを圧入するリチウムイオン内部圧入工が実用されている¹⁾。ASR による劣化が顕在化したコンクリートに対するリチウムイオン内部圧入に要する時間の推定に関して、施工対象コンクリートの強度低下や弾性係数の低下に応じて算定する経験式が提案されている²⁾。しかし、ASR による劣化がまだ顕在化していないコンクリートに対し、予防保全的に本工法を適用する場合の圧入に要する時間に関する研究はほとんどなされていない。本稿は、ひび割れのないコンクリートに対してリチウムイオン内部圧入工を適用する場合の注入時間について、コンクリートの含水状態に着目して検討を行ったものである。

2. 実験概要

供試体はφ100×H200mm のコンクリート円柱とし、骨材に反応性骨材として安山岩（北海道産）、チャート（岐阜県産）の2種類を用いた。コンクリートの配合は ASR による膨張が最大となる骨材比率のベシマム値を用い、添加アルカリとして NaCl を等価 Na₂O 量で 8.0 kg/m³ となるよう加えた。供試体数は安山岩、チャートそれぞれ 5 体ずつ用意した。40℃、RH95%の環境下で 1 ヶ月間促進養生を行った後、φ10×L150mm の圧入孔を削孔し、そこから亜硝酸リチウム 40%水溶液を 1.0MPa の圧力で圧入した。写真 1 に圧入装置一式を示す。圧入を行う直前に供試体を炉乾燥させ、乾燥前後の質量変化よりそれぞれの供試体の吸水率を算出した。亜硝酸リチウムの圧入に関して、各供試体における注入開始から終了までの時間（圧入に要した時間）と、注入された亜硝酸リチウム量を計測した。

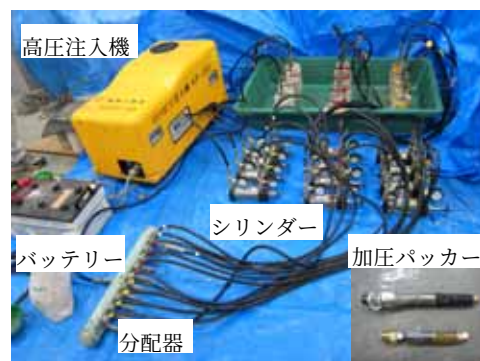


写真 1 圧入装置一式

3. 実験結果および考察

安山岩およびチャートを用いた供試体は促進養生 1 ヶ月後において、膨張率は-100 μ程度で、外観にひび割れは顕在化していなかった。その供試体各 5 体に対し、亜硝酸リチウムを 504 時間連続で加圧注入した。このときの各供試体に注入された亜硝酸リチウム量と、各供試体の吸水率との関係を図 1 に示す。ここで、吸水率は式(1)より算出した。

$$\omega = \frac{(\text{乾燥前の質量} - \text{乾燥後の質量})}{\text{乾燥後の質量}} \times 100 \quad (1)$$

ここに、 ω :吸水率(%)とする。

図中の A-1～5 は安山岩を用いた供試体、C-1～5 はチャートを用いた供試体であり、各 5 体の配合は同一である。図 1 が示すとおり、同一配合のコンクリートに一定の時間だけ亜硝酸リチウムを圧入したにも関わらず、圧入量に大きな差が生じており、吸水率の値が大きい（コンクリートの含水率が低い）ほど、圧入に要する時間が短い（圧入しやすい）という傾向が見られる。

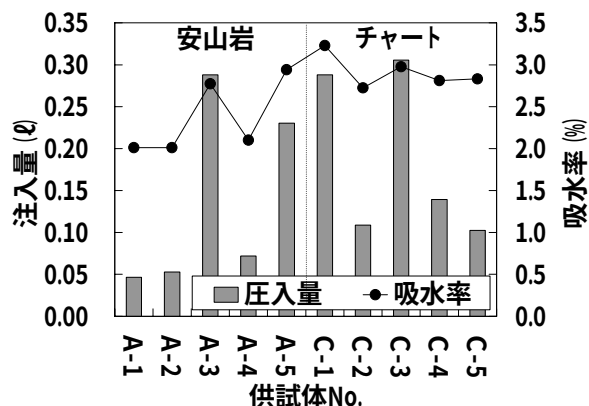


図 1 各供試体の亜硝酸リチウムの圧入量と吸水率との関係

キーワード： ASR, リチウム, 内部圧入, 圧入時間, 吸水率

連絡先： 〒615-8540 京都市西京区京都大学桂 TEL：075-383-3173 FAX：075-383-3177

本実験で得られた圧入時間を、供試体高さ (m) と亜硝酸リチウム量 (ℓ) で除して各供試体の亜硝酸リチウム単位量あたりに要する圧入時間としたときの、単位量あたりの圧入に要する時間と吸水率との関係を図 2 に示す。圧入に要する時間と吸水率との間には負の相関が見られる。

亜硝酸リチウムの内部圧入工における過去の施工管理の経験から、圧入開始後しばらくすると時間あたりの圧入量はほぼ一定となる傾向を確認している。つまり、内部圧入工においては概ね定圧、定流量の浸透となっていると推測できる。そこで、定常放射状流れの式を用いて、設計圧入時間の推定式を提案することとした。ただし、ひび割れのないコンクリートに亜硝酸リチウムを内部圧入する場合、圧入のしやすさはコンクリートの吸水率に影響を受けることが分かった。そこで、圧入時間の推定式はコンクリートの含水状態 (吸水率を指標とする) に応じた式とすることとした。設計圧入時間 t は以下の式(2)および(3)より求める。式(3)は、定常放射状流れの式より亜硝酸リチウムの時間あたりの注入量 q を算出する式である。

$$t = Q/q \quad (2)$$

$$q = 2\pi k_a L \frac{P}{\rho g} \cdot \frac{1}{\ln(4L/D)} \quad (3)$$

ここに、 t :設計圧入時間 (hour)、 Q :圧入孔 1 孔あたりに注入する亜硝酸リチウム量 (ℓ)、 q :時間あたりの注入量 (ℓ/hour)、 k_a :亜硝酸リチウムの加圧注入のしやすさに関するパラメータ、 P :設計圧入圧力 (N/m^2)、 ρ :亜硝酸リチウムの密度 ($=1.250 \text{ kg/m}^3$)、 g :重力加速度 ($=9.8 \text{ m/sec}^2$)、 L :供試体高さ (m)、 D :圧入孔径 (m) とする。

式(2)を k_a について書き直すと、式(4)になる。

$$k_a = \frac{q \cdot \rho g}{2\pi P L} \ln\left(\frac{4L}{D}\right) \quad (4)$$

この式(4)を用いて実験データより k_a を算出した結果を図 3 に示す。実線および点線の曲線は、安山岩およびチャートの供試体における k_a の回帰分析を行ったものである。回帰式は以下の式(5)および式(6)となり、 k_a の経験式とした。

$$\text{○安山岩の場合} \quad k_a = 1 \times 10^{-10} \cdot e^{1.8306\omega} \quad (5)$$

$$\text{○チャートの場合} \quad k_a = 2 \times 10^{-11} \cdot e^{2.2292\omega} \quad (6)$$

以上より、ひび割れのないコンクリートに亜硝酸リチウム内部圧入工を適用する場合の圧入に要する時間は式(2)、(3)、(5)、(6)を用いて算出することができる。実際の施工では、対象構造物より採取したコンクリートコアの吸水率を求め、その吸水率に応じた k_a を式(5)および(6)にて算出する。得られた k_a を用いて式(2)および(3)より圧入に要する時間を推定することができる。

4. 今後の課題

本研究で検討したのは供試体 10 体におけるデータのみであった。回帰分析を行うにはサンプル数が少ないため、今後はサンプル数を増やし、 k_a の経験式の精度を上げていく必要がある。

参考文献

- 1) 金好昭彦、内田博之、狩野裕之：大型コンクリート部材におけるリチウムの ASR 抑制効果に関する研究、コンクリート工学年次論文集、Vol.23、No.1、pp.403-408、2001
- 2) 江良和徳、為石昌宏、三原孝文、宮川豊章：リチウムイオンを内部圧入する場合の注入圧力と注入時間に関する考察、コンクリート構造物の補修、補強、アップグレード論文報告集、第 7 巻、pp.161-166、2007.11

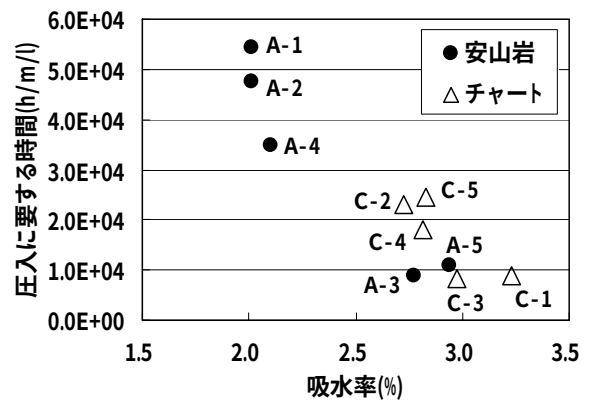


図 2 単位量あたりに要する圧入時間と吸水率

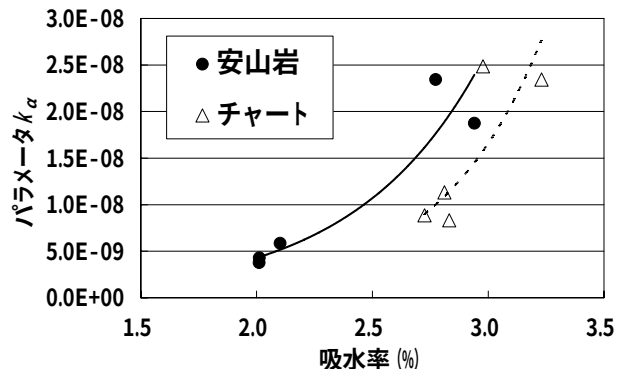


図 3 骨材別のパラメータ k_a と吸水率および回帰分析による近似関数