

コンクリートの凍害劣化評価における光ファイバセンシングと非破壊検査法の関係

太平洋セメント(株) 正会員 ○早野 博幸 城出 真弥 落合 昂雄 江里口 玲

1. はじめに

コンクリートの凍害劣化評価として、凍結融解試験においては一般的に相対動弾性係数および質量減少率が適用されている。また、JIS A 1148 附属書にはコンクリートの長さ増加比試験方法が定められており、凍結融解作用による損傷を、融解時の残留ひずみとして評価している。しかし、これらの評価方法はあくまでも凍結融解試験のコンクリート試験体において適用できるものである。一方、実構造物においては、非破壊試験では超音波法の適用が検討されている。実構造物では非破壊試験が望ましく、コンクリート表面から診断する超音波法などが有効であるが、実際にどの程度の深さを評価しているのか、あるいは表層からの深さ方向における劣化損傷を把握するためにはまだ課題が多い。そこで、センサが極めて細径である光ファイバセンサをコンクリート内部に予め埋設し、残留ひずみを連続的に計測して凍害劣化を評価する光ファイバセンシング技術に着目した。

本研究は、実構造物への適用に向けた基礎的検討として、凍結融解試験中に光ファイバセンサで計測したコンクリートの残留ひずみと、その他の非破壊検査による凍害劣化評価方法との関係について検討したものである。

2. 実験概要

試験体の概要を図-1 に示す。100×100×400mm の型枠にコンクリートを1/2の高さまで打設し、光ファイバセンサ(φ150μm)を100×100mm断面の中心に配置した後、さらにコンクリートを打設して試験体を作製した。水中養生後、JIS A 1148 A法に準拠して凍結融解試験を実施した。使用したコンクリートは、W/C60%、空気量2.4%、スランプ12cmである。

凍結融解試験中には、光ファイバセンサによるコンクリートひずみを試験体3体で連続的に測定するとともに、別途1体の試験体内部の中心温度も測定した。コンクリートの凍害劣化の評価方法としては、共鳴振動による動弾性係数と併せて、超音波伝播速度を測定した(センサ周波数:28kHz, φ25mm)。超音波伝播速度の測定方法は、図-1のように100×400mmのコンクリート1表面に2つの超音波探子を設置する表面法と、100×100mmの対面する表面に1つずつ探子を設置する透過法の2つの方法を適用し、測定は5回実施して平均値を採用した。なお、表面法の超音波探子間距離は、既往の研究¹⁾で凍害劣化の評価に適していると考えられる200mmとした。

3. 実験結果および考察

試験体①~③の凍結融解試験における相対動弾性係数および質量減少率の結果を図-2, 3に示す。相対動弾性係数はサイクル数の増加とともにやや低下しているものの、大きな劣化損傷はみられていない。コンクリート表面にはスケーリングが生じており、質量減少率が増加傾向を示している。

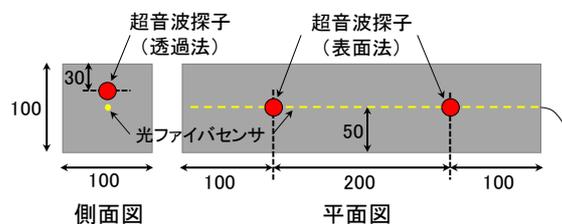


図-1 試験体の概要

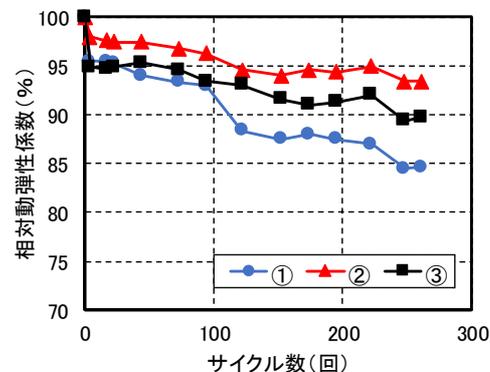


図-2 相対動弾性係数

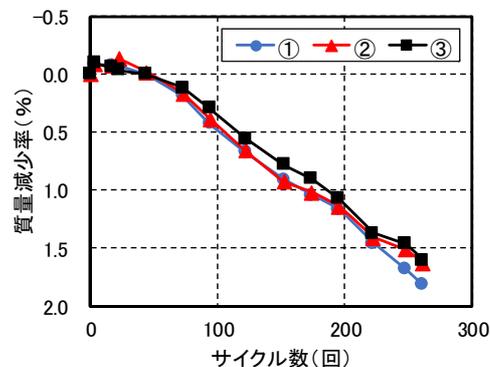


図-3 質量減少率

キーワード コンクリート, 凍害, 光ファイバセンサ, ひずみ, 動弾性係数, 超音波法

連絡先 〒285-8655 千葉県佐倉市大作2-4-2 太平洋セメント(株)中央研究所 TEL043-498-3902

光ファイバセンサで計測した各サイクルにおけるコンクリートの融解時の残留ひずみを図-4に示す。凍結融解サイクルの経過とともに残留ひずみは増加傾向を示した。コンクリートの残留ひずみは1000 μ 程度で相対動弾性係数が60%程度になると報告されているが³⁾、現状ではまだ300 μ 程度と小さく、今後凍害劣化が進行していくとともに増加していくものと考えられる。

超音波伝播速度は、透過法および表面法ともに2つの超音波探子がコンクリートに接している部分の中心間距離を、伝播時間で除して算出した。評価方法としては、既往の研究²⁾により検討された相対超音波伝播速度を式(1)によって算出して適用した。

$$RV_n = \frac{V_n^2}{V_0^2} \times 100 \quad (1)$$

RV_n : n サイクル時の相対超音波伝播速度(%), V_0 : 0 サイクル時の超音波伝播速度(m/s), V_n : n サイクル時の超音波伝播速度(m/s).

相対超音波伝播速度の透過法および表面法の結果を図-5, 6に示す。透過法では、相対動弾性係数や残留ひずみと同様にサイクルの経過とともに徐々に低下傾向がみられるが、表面法では試験体②は94サイクル以降、①③では122サイクル以降で安定した値が得られず、探子設置場所を変更しているため参考値とした(図中のマーカー白抜き部分)。表面法では、伝播経路が表層からの劣化にともなうスケールリングの影響を受けることに加え、超音波探子との接触部で平滑な面が確保しにくくなるなど、劣化程度が激しくなった場合にはコンクリート内部の深さ方向の診断について適用が難しくなると考えられる。一方で透過法では表面法ほどその影響は受けませんが、計測器とケーブルで繋がれた超音波探子をコンクリート両側から挟み込むように設置する必要があるため、試験体レベルでは問題ないが直接実構造物へ適用するには工夫が必要となる。

相対動弾性係数と残留ひずみの関係を図-7に示す。現段階では相対動弾性係数が85%以上であり比較的軽微な劣化に留まっているが、両者の関係は個々の試験体でやや差がみられる。

質量減少率と残留ひずみの関係を図-8に示す。ポップアウトは生じておらず質量減少は主にスケールリングによるものであり、まだ2%程度である。初期のコンクリートの吸水に起因する湿潤膨張に伴う残留ひずみの増加は100 μ 程度となり、それ以降のスケールリングによる質量減少率と残留ひずみは比較的良好な相関を示していることがわかる。

4. まとめ

光ファイバセンサを用いたコンクリートの残留ひずみによって凍害劣化を評価できる可能性を示すとともに、他の評価手法との比較検討を行った。今後は、劣化損傷がさらに進んだ場合の検討、ならびに自然環境下の凍結融解過程における検証を進めていく。

参考文献 1) 佐藤ほか：凍結融解作用を受けたコンクリートの損傷程度の非破壊評価に関する研究, 日本建築学会関東支部研究報告集, 2016. 2) 緒方ほか：超音波法によるコンクリートの耐凍結融解特性の評価, コンクリート工学年次論文集, Vol.24, No.1, pp.1563-1568, 2002. 3) 洪ほか：コンクリートの凍害と初期凍害, コンクリート工学, Vol.16, pp.1-11, 1978.

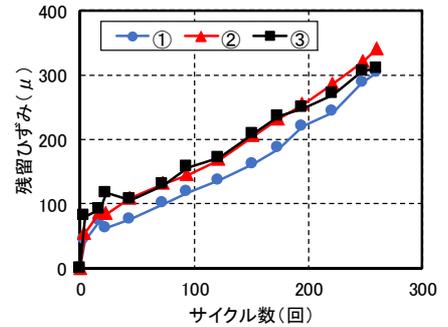


図-4 コンクリートの残留ひずみ

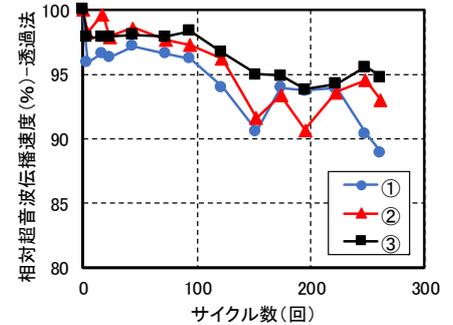


図-5 相対超音波伝播速度(透過法)

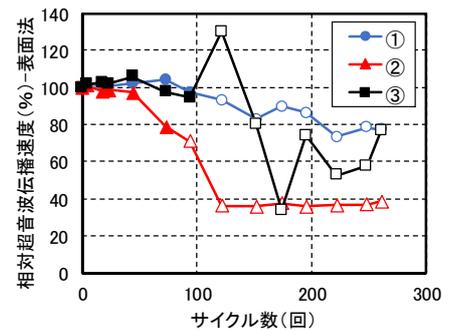


図-6 相対超音波伝播速度(表面法)

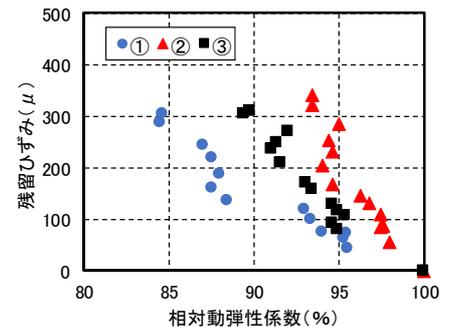


図-7 相対動弾性係数と残留ひずみの関係

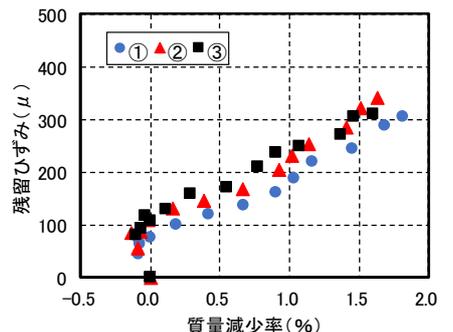


図-8 質量減少率と残留ひずみの関係