

論文 コンクリートの凍結融解試験方法の合理化に関する検討

伊藤 純平*1・出雲 淳一*2・坂本 竜樹*3

要旨：昨今さまざまな分野で試験法に関する合理化が進められているが、凍結融解試験法についてはそれ程大きな改良はない。労力軽減のために供試体を小型化することや、供試体形状の変更に伴う新たな評価法の確立など、合理化のための手法開発が望まれる。本研究では主に供試体の小型化と、超音波を用いた評価法の可能性について検討する。

キーワード：凍結融解試験，耐久性，超音波，形状・寸法

1. はじめに

(1) 現状

凍結融解試験では通常 100mm×100mm×400mm の角柱供試体を使用するが、36 サイクルを超えない間隔で凍結融解槽から取り出し、たわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) を測定するにはかなりの労力を伴う。凍結融解試験で用いられる供試体の寸法は、たわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) の測定などを考慮したものと考えられる。しかし別の測定法で供試体の破壊状態を数値化し、たわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) の測定による結果と相関関係を示せば、供試体寸法・形状の合理化について、検討の余地があると考えられる。

(2) 評価方法について

従来から超音波を用いたコンクリート診断は盛んに行なわれており、反射波や伝播速度の測定による解析が行われてきた。たわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) の測定は、凍結融解サイクル数 (回) の増加に伴う供試体の空隙や亀裂の広がりや一次共鳴点の周波数 (Hz) 測定により数値化したものである。同様の情報が超音波伝播速度 (m/s) の測定によっても得られる。超音波伝播速度 (m/s) とは超音波が物体を伝わる速度のことであるが、モデル (図-1) のように凍

結融解作用により供試体に亀裂や空隙の拡大などが生じると超音波が伝わりにくくなり伝播速度が低下する。こうした性質からたわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) の測定と近い結果が得られると考えられる。

(3) 供試体の寸法・形状について

圧縮強度試験に用いられる ϕ 100mm×200mm の円柱供試体は比較的取扱いが容易であり製作もしやすい。また構造体からコア供試体としても採取が可能である。これらの利点を考慮し凍結融解試験用供試体の寸法・形状として取り入れた。小口径の ϕ 50mm×100mm の円柱供試体については供試体間の粗骨材量や粗骨材形状等のばらつきが測定結果に影響を及ぼす可能性が高くなるため検討を見送った。

亀裂・空隙の有無

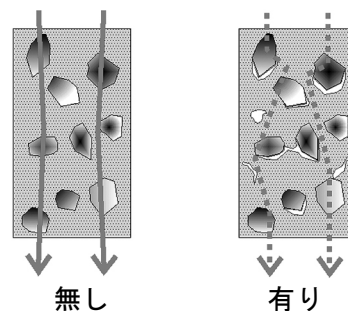


図-1 超音波の伝播イメージ

*1 横浜理化 (株) 技術部 (正会員)

*2 関東学院大学 工学部 社会環境システム学科 教授

*3 関東学院大学 工学部 社会環境システム学科

表-1 示方配合表

| 識別記号 | 粗骨材の最大寸法 (mm) | スランプ (cm) | 水セメント比 W/C (%) | 空気量 (%) | 細骨材率 (%) | 単位量 (kg/m ³) | | | | |
|------|---------------|-----------|----------------|---------|----------|--------------------------|--------|-------|--------|--------|
| | | | | | | 水 W | セメント C | 細骨材 S | 粗骨材 G | AE 減水剤 |
| R45 | 25 | 8 | 45 | 4.5 | 41.5 | 160 | 355.6 | 735.8 | 1077.6 | 3.6 |
| R55 | 25 | 8 | 55 | 4.5 | 43.5 | 163 | 296.4 | 789.4 | 1064.6 | 3.0 |

(4) 供試体容器の検討

JIS による凍結融解の試験方法では水中凍結融解試験法と気中凍結水中融解試験法を定めているが本試験では水中凍結融解試験法を用いた。水中凍結融解試験法の場合に使用する供試体容器は凍結融解中は常に約 3mm の水で供試体が覆われるものとし、原則として内面に突起部を有するゴム製の容器で 100mm×100mm×400mm の供試体が入るものと定めている。φ100mm×200mm の円柱供試体の試験には、JIS に定められる条件に準ずる容器を特別に製作した。

(5) 連続測定について

凍結融解試験では 36 サイクルを超えない間隔で供試体を凍結融解槽から取出し、たわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) を測定する。しかし労力軽減と連続測定の有意性からも凍結融解槽から供試体を取出すことなく、連続して 1 サイクルごとの超音波伝播速度の測定を自動的に行うことが望ましい。これにより凍結融解試験中の人的作業が基本的に不要となるため、大幅な労力軽減と人為的な測定誤差の回避にもつながる。また 1 サイクルごとの連続測定が可能になれば急激な破壊情報や今まで断続測定で見過ごされていた詳細情報も入手出来る。

2. 試験方法

(1) 評価方法

(表-1) の示方配合で水セメント比 45%及び 55%の角柱供試体 (100mm×100mm×400mm) を作製して凍結融解試験を行ない、各サイクルにおける、たわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz) か

ら (1) 式の相対動弾性係数 (%) を求める。

次に同じ示方配合で円柱供試体 (φ100mm×200mm) を作製し凍結融解試験を行い、各サイクルにおける超音波伝播速度 (m/s) を測定し(2)式で相対超音波伝播速度 (%) を求めた。(1),

(2)式から求めた値をプロットし相対動弾性係数 (%) と相対超音波伝播速度 (%) の相関関係を調べた。

相対動弾性係数 (%)

$$Pn = \left[\frac{f_n^2}{f_0^2} \right] \times 100 \quad (1)$$

Pn : 凍結融解 n サイクル後の相対動弾性係数 (%)

f_n : 凍結融解 n サイクル後のたわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz)

f_0 : 凍結融解 0 サイクルにおけるたわみ振動の一次共鳴振動数 (Hz)

相対超音波伝播速度 (%)

$$Rc = \left[\frac{V_n^2}{V_0^2} \right] \times 100 \quad (2)$$

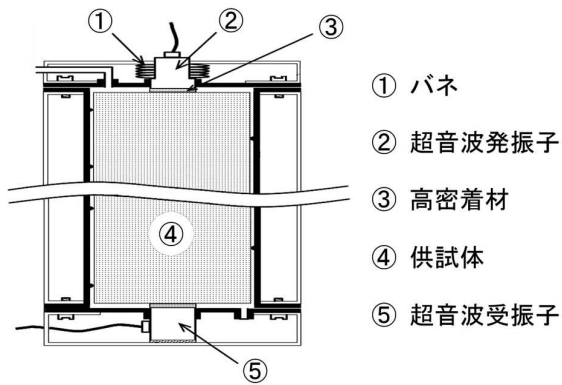
Rc : 凍結融解 n サイクル後の相対超音波伝播速度 (%)

V_n : 凍結融解 n サイクル後の超音波伝播速度 (m/s)

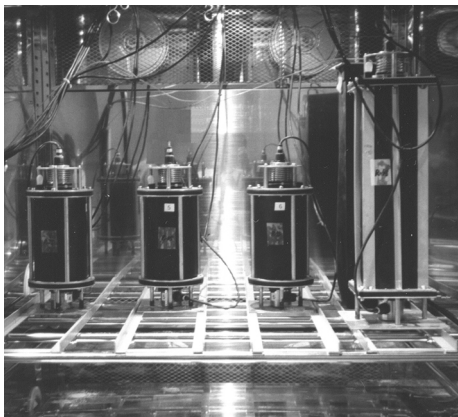
V_0 : 凍結融解 0 サイクルにおける超音波伝播速度 (m/s)

(2) 超音波伝播速度測定用供試体容器の構造

JIS が定める条件に準じ、円柱供試体（φ100mm×200mm）収納容器（図－2）を製作した。容器はゴム製で内面に突起部を有し供試体は常に3mmの水で覆われる構造とした。1サイクルごとの超音波伝播速度の測定を連続的に行なうため、供試体容器の上下に超音波発振子と受振子を取付けた。また供試体と発振子、受振子の接合部は密着性を向上させるための高密着材をはさみ、さらに上部発振子にバネを取付けて密着性を高めた。以上の構造により長期間のサイクル試験において安定した連続測定が可能となる。実際の設置状況を写真（図－3）に示す。



図－2

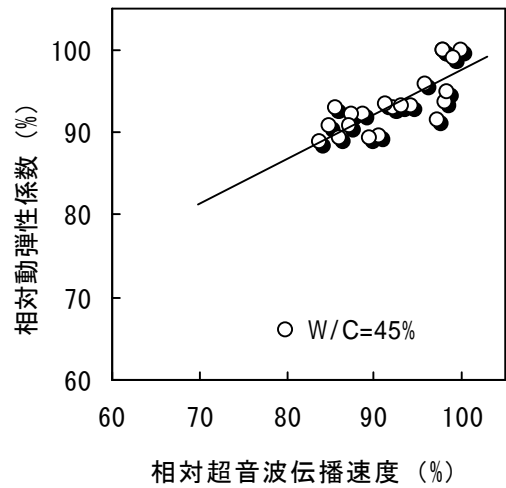


図－3

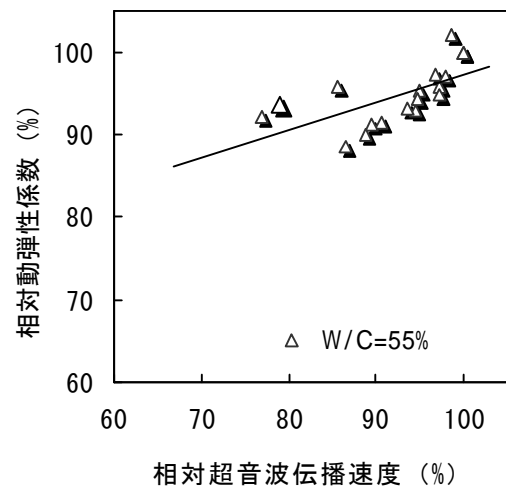
3. 結果

(1) 相対動弾性係数と相対超音波伝播速度の関係

（図－4，5）に示すように水セメント比45%と55%の角柱供試体（100mm×100mm×400mm）の相対動弾性係数（%）と円柱供試体（φ100mm×200mm）の相対超音波伝播速度（%）の間には相関関係が見られた。たわみ振動の一次共鳴振動と超音波は供試体に生じる破壊を全く同じように検出する訳ではないが、破壊状況を捉える上では相関関係がある。



図－4



図－5

(2) 超音波伝播速度の連続測定による試験結果

一般的な示方配合で W/C=50%, 60%, 70%の円柱供試体 (φ100mm×200mm) を作製し超音波伝播速度の連続測定を行なった。得られた結果を

(2) 式で相対超音波伝播速度 (%) に換算しグラフ (図-6) を作成した。結果が示すように水セメント比が凍結融解抵抗性に大きく影響することが分かる。また構造体から採取したコア供試体 (φ100mm×200mm) についても試験を行なった。(図-7) が示すように W/C=60%のコンクリートでも打設不良や環境劣化などの要因により凍結融解抵抗性が落ちていることが分かる。

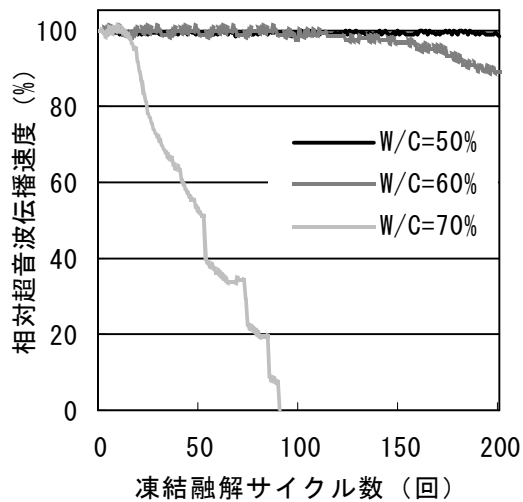


図-6

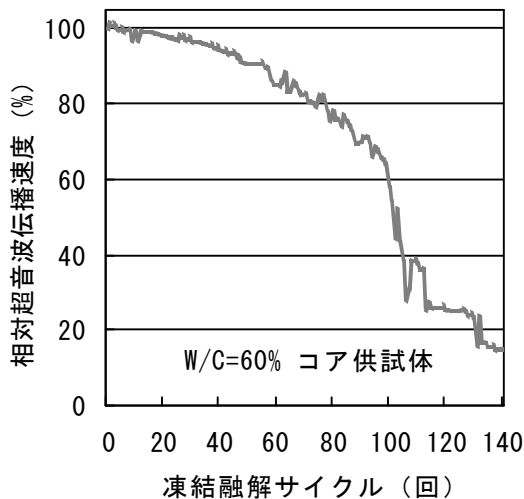


図-7

4. まとめ

(1) 結論

従来の角柱供試体 (100mm×100mm×400mm) を円柱供試体 (φ100mm×200mm) にし、たわみ振動の一次共鳴振動数の測定を超音波伝播速度の測定に変えても凍結融解抵抗性に関する同様な情報が得られた。また一連の操作を合理化することも出来た。

(2) 今後の方向性

凍結融解試験は寒冷地におけるコンクリートの劣化を評価する目的で行なわれてきた。しかし凍結融解試験は耐久性試験の中でも過酷な試験であり、短期間でコンクリートの劣化を促進することが出来ることからコンクリートの耐久性を評価する上で優れた方法とも言える。このことから測定を合理化し自動化を行なうことによりコンクリートの幅広い分野での活用が期待出来る。

参考文献

- 1) 伊藤純平, 小倉守衛, 花崎勝彦: 凍結融解試験の全自動測定装置と試験結果について
土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部 p630, 1998. 10
<http://yokohamarika.com/pdf/concrete01.pdf>
- 2) 加藤直樹, 加藤清志, 河合糺茲: 凍結融解試験供試体の形状および寸法の合理化に関する研究, 土木学会第 53 回年次学術講演会講演概要集 第 5 部 p632, 1998. 10
- 3) 高田龍一, 平木洋輔, 緒方英彦, 服部九二雄: 超音波伝播速度を利用したコンクリートの凍結融解試験結果, 松江高専研究紀要第 39 号
<http://www.matsue-ct.ac.jp/tosho/kiyou39/pdf/k-report07.pdf>