

論文 拘束治具により作用力を導入したコンクリート供試体の凍結融解抵抗性の評価方法に関する検討

浅津 春花*1・緒方 英彦*2・石神 暁郎*3・河合 正憲*4

要旨：作用力がコンクリートの凍結融解抵抗性に及ぼす影響を解明するため、本論文では拘束治具によって作用力を導入したコンクリート供試体の凍結融解抵抗性の評価方法を検討した。相対動弾性係数の評価に用いるたわみ振動の一次共鳴振動数は、拘束治具によって作用力を導入したコンクリート供試体でも、JIS A 1127と同じ方法で測定できることが分かった。また、たわみ振動の一次共鳴振動数から求めた相対動弾性係数と超音波伝播時間から求めた伝播時間による動弾性係数の変化率は良好な対応関係を示した。

キーワード：たわみ振動, 相対動弾性係数, 超音波伝播時間, JIS A 1148, JIS A 1127

1. はじめに

凍結融解作用を受けるコンクリートは凍結時に膨張挙動を示す。凍結膨張が融解時に残留するとコンクリートは長さ変化を生じ、組織の緩みとして蓄積することでコンクリートの劣化が進行する。このような凍結膨張に対して、コンクリートに拘束圧を導入すると凍結融解抵抗性が変化することが報告されている^{1) 2)}。筆者らは作用力が凍結融解抵抗性に及ぼす影響の解明を目的として、作用力を考慮したコンクリート供試体の凍結融解試験方法の提案に向けた研究に取り組んでいる。既報では、試験に用いる拘束治具の設計と供試体作用荷重の管理方法³⁾およびA法(水中凍結融解)での温度管理方法⁴⁾を検討した。現在はJIS A 1148を参考に、作用力を考慮した凍結融解試験の試験方法を検討している。

JIS A 1148では、凍結融解抵抗性の評価項目としてたわみ振動の一次共鳴振動数による相対動弾性係数を規定している。たわみ振動の一次共鳴振動数の測定方法はJIS A 1127に規定されており、供試体の両端が自由で、振動が妨げられない状態で測定しなければならない。拘束治具を用いる場合、供試体の両端が拘束されるためJIS A 1127の測定条件を満足できないと考えられる。そのため、作用力を考慮した凍結融解試験でのたわみ振動の測定方法を検討する必要がある。また、同じくコンクリートの凍結融解作用に対する内部損傷への抵抗性の試験規格であるRILEM CIFでは、超音波伝播時間による動弾性係数の変化率を規定している。既往の研究より、JIS A 1148による試験において、伝播時間による動弾性係数の変化率はたわみ振動の一次共鳴振動数による相対動弾性係数と同様に凍結融解抵抗性を評価できることが示されており⁵⁾、作用力を考慮した凍結融解試験でも利用可能であ

れば、試験をより確実に遂行できる。

以上より、本論文では、拘束治具により作用力を導入したコンクリート供試体の凍結融解抵抗性の評価方法として、たわみ振動の一次共鳴振動数による相対動弾性係数と超音波伝播時間による動弾性係数の変化率の2つの方法を検討した。

2. 拘束圧の導入

2.1 拘束治具

本論文で用いた拘束治具を図-1に示す。この拘束治具は筆者らが既報において構造と材質を検討したものである³⁾。拘束治具は上部および下部の拘束端板と可動板、拘束棒、ナットおよびボルトから構成される。拘束端板をそれぞれナットで固定し、下部拘束端板と可動板の間に供試体を設置する。上部の拘束端板からM12ボルトを締めたときの軸力で可動板を供試体に押し付け、载荷を行う機構である。拘束治具はすべての部材をSUS304で作製した。既報³⁾から次の2点を変更している。(1) 供

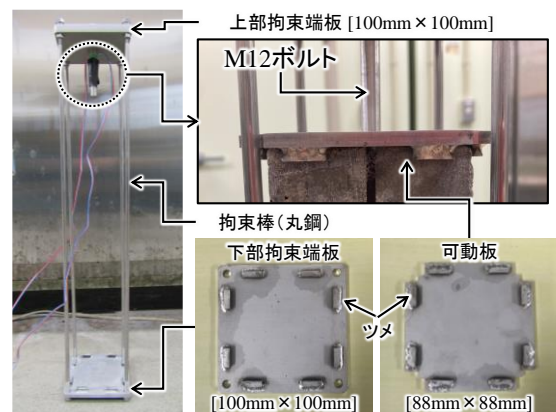


図-1 拘束治具 (SUS304 製)

*1 鳥取大学大学院 連合農学研究科国際乾燥地科学専攻 修士(農学) (学生会員)

*2 鳥取大学大学院 連合農学研究科教授 博士(農学) (正会員)

*3 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所寒地農業基盤研究グループ水利基盤チーム主任研究員 博士(農学) (正会員)

*4 (国研) 土木研究所 寒地土木研究所寒地農業基盤研究グループ水利基盤チーム研究員 (正会員)

表-1 コンクリート供試体の配合および性状

バッチ	Gmax (mm)	w/c (%)	s/a (%)	フレッシュ性状		単位量 (kg/m ³)				
				スランプ (cm)	空気量 (%)	C	W	S	G	Ad (g/m ³)
1	20	57.5	50.4	8.0	3.6	299	172	915	954	1,196
2	20	57.5	50.4	5.0	3.4	299	172	915	954	1,196

試体の寸法精度によっては荷重導入時に可動板の孔壁と拘束棒が接触し載荷精度に影響が生じると考えられたため、可動板の寸法を88mm×88mmとし、可動板の四隅を切り欠いて可動板に拘束棒を通さない設計とした。(2)可動板の四隅を切り欠くと凍結融解試験の測定作業中に供試体が拘束治具から脱離する可能性が考えられたため、供試体の脱離防止の目的で可動板と下部拘束端板にツメを設置した。供試体中心軸上にツメが存在すると、ピックアップ端子の設置およびたわみ振動の共鳴が妨げられるため、ツメは供試体中心軸を避けて設置した。

2.2 荷重の管理およびモニタリングの方法

拘束治具による作用荷重は、ひずみゲージ法を用いてモニタリングした。ボルトひずみは、ボルトの平滑部にCN系接着剤で貼付けた測温機能付き一般ひずみゲージ(FLA-1T-17-3TLJBT, 東京測器株式会社)で測定した。このとき、ひずみゲージの上からブチルテープを貼付け防水処理を行った。コンクリート供試体ひずみは測温機能付き埋設型ひずみゲージ(PMFL-50T-3TLJBT, 東京測器株式会社)をコンクリート供試体の中心に埋設し測定した。ひずみゲージ法によるボルト軸力は式(1)で求めた。

$$F_b = A_b \cdot E_b \cdot \varepsilon_b \quad (1)$$

ここに、 F_b :ボルト軸力(N), A_b :ボルトの断面積(mm²), E_b :ボルトの弾性係数(N/mm²), ε_b :ボルトひずみである。ただし、 A_b は使用したM12ボルトの半径が10mmであることから78.5mm², E_b はボルトを含む拘束治具全体の部材がSUS304で作製されていることから193×10³N/mm²とした⁶⁾。

3. 凍結融解試験

3.1 コンクリート供試体

本論文で使用したコンクリートの配合、配合条件および性状を表-1に示す。コンクリートの材料はセメントに普通ポルトランドセメント(密度3.12g/cm³), 細骨材に岡山県産砕砂と鳥取県産砂丘砂の混合砂(重量換算で等量配合, 絶乾密度2.58g/cm³, 吸水率1.44%), 粗骨材に山口県産安山岩碎石(絶乾密度2.65g/cm³, 吸水率0.91%), 混和剤に高性能AE減水剤を用いた。練り混ぜは同日に2バッチ行い, 空気量およびスランプは1バッチ目で3.6%と8.0cm, 2バッチ目で3.4%と5.0cmであった。

1バッチ目のコンクリートから, 凍結融解抵抗性評価用として75mm×75mm×400mmの寸法で3体のコンクリート供試体を作製した。2バッチ目のコンクリートか

ら, 凍結融解試験の温度管理用として75mm×75mm×400mmの寸法で1体, 静弾性係数試験用としてφ100mm×200mmの寸法で3体のコンクリート供試体を作製した。凍結融解抵抗性評価用のコンクリート供試体はコンパネで作製した型枠を用いて打設した。このとき, 型枠側面に削孔した穴に水糸を通し, 測温機能付き埋設型ひずみゲージ(PMFL-50T-3TLJBT, 東京測器株式会社)を供試体中心に位置するよう固定した。温度管理用の75mm×75mm×400mmのコンクリート供試体は, 100mm×100mm×400mmの鋼製型枠内にコンパネを差し込んで寸法を調整したものをを用いて打設した。φ100mm×200mmのコンクリート供試体はプラスチック製型枠を用いて打設した。供試体は材齢1日で脱型後, 材齢21日まで気中養生(室温20±1℃), 材齢28日まで標準水中養生(水温20±1℃)を行った。

φ100mm×200mmのコンクリート供試体を3体用いてJIS A 1149に準拠した静弾性係数試験を行った。試験は材齢28日で行われ, コンクリートの静弾性係数として31.2kN/mm²を得た。

3.2 凍結融解試験の方法

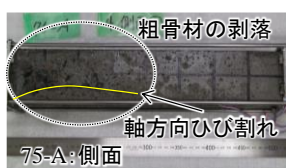
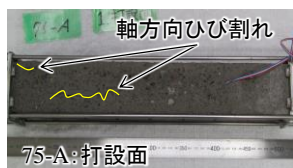
(1) 試験手順

本論文では試験開始材齢を材齢28日として試験を行った。拘束圧導入前にコンクリート供試体の寸法, 質量, たわみ振動の共鳴振動数および超音波伝播時間を測定した。拘束圧導入後はコンクリート供試体の質量, たわみ振動の共鳴振動数および超音波伝播時間の初期値を測定し, 以降は凍結融解サイクルを30サイクル間隔で実施した。凍結融解30サイクル終了ごとにコンクリート供試体を試験槽から取り出し, 測定項目の測定と供試体の撮影を行った。作業後のコンクリート供試体は拘束治具で挟み込まれた状態であることから, 上下を入れ替えず, 凍結融解試験槽内の元の位置から時計回りに1体分ずらして戻し, 凍結融解試験を再開した。

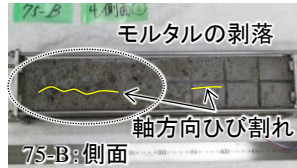
(2) 作用力の導入

凍結融解抵抗性評価用の75mm×75mm×400mmの3体のコンクリート供試体へ, 初期値測定前に異なる大きさの作用力を温度が一定に保たれた室内(約25℃)で導入した。ここで, 凍結融解抵抗性評価用のコンクリート供試体の名称をボルト軸力が大きい順に75-A, 75-B, 75-Cとした。ボルト軸力は式(1)より算出し, 作用力導入直後のボルト軸力は75-A, B, Cでそれぞれ4976.9N, 2515.1N, 500.0Nであった。初期値測定後, ボルトひずみ

75-A : 90 サイクル終了後



75-B : 150 サイクル終了後



75-C : 30 サイクル終了後



図-2 凍結融解によるコンクリート供試体の劣化 (画像左側 : 下部拘束端板側, 画像右側 : 可動板側)

が初期値測定前より小さくなっていたため再度ボルトを締め込み、最終的にそれぞれ 5431.4N, 2893.5N, 620.9N の作用力を導入した。

(3) 温度管理方法

凍結融解試験中の凍結融解温度の管理、凍結融解の温度、1 サイクルの所要時間、凍結または融解行程の所要時間およびブラインの温度は JIS A 1148 に準拠した。温度管理は 75mm×75mm×400mm の温度管理用コンクリート供試体の中心温度で管理した。本論文では 75mm×75mm×400mm のコンクリート供試体を 100mm×100mm×400mm の供試体用の供試体容器に収納して試験を行うため、供試体容器内の間隙が大きくなる。供試体容器内の水量が多くなると、水の相変化の際に生じる潜熱の影響によって温度変化に時間を要し、JIS A 1148 の温度管理の規定を満足しない可能性がある。そのため、コンクリート供試体の打設面、底面、側面を覆うようにステンレス製の間詰材を 4 枚、下部拘束端板の下の空間を充填するようにゴム製の間詰材を配置し、JIS A 1148 の温度条件を満足するような水量調整を行った⁴⁾。ただし、これらの間詰材は測定の直前に取り外し、凍結融解サイクル再開前に再度取り付けた。

3.3 凍結融解試験

上述の条件で 75-A, B および C の凍結融解試験を実施した。ただし、本論文では質量減少率、凍結融解サイクル中のボルトおよびコンクリート供試体の温度とひずみ、供試体中心温度等のモニタリングデータは省略する。いずれのコンクリート供試体も凍結融解作用により大きな断面変化や質量減少、破断が生じた結果、凍結融解 300 サイクルに達する前に試験の継続が困難になった。大きな断面変化が生じた時点におけるコンクリート供試体の画像を図-2 に示す。75-A は凍結融解 60 サイクル終了時に下部拘束端板側の側面のモルタルが局所的に剥落しており、凍結融解 90 サイクル終了時にはさらに粗骨材が剥落し、打設面と側面に軸方向ひび割れが発生した。75-B は凍結融解 150 サイクル終了時に側面のモルタルが局所的に剥落し、骨材に沿った軸方向ひび割れが発生した。75-C は凍結融解 30 サイクル終了時に打設面のひずみゲージのリード線付近のモルタルが局所的に剥落し、以降のサイクルではさらに粗骨材が多く剥落した。後述

するたわみ振動や超音波伝播時間による評価項目は、供試体を貫通するひび割れや大きな断面変化が生じるまでが適用範囲である。そのため、本論文での議論は、これらの大きな断面変化が生じていない段階までのデータを用いることとした。

4. たわみ振動の測定方法に関する検討

たわみ振動は供試体の両端が振動の腹となる一次共鳴をピーク値として得るために、振動の節となる位置(供試体端部から供試体長さ L の $1/4$) に支持台、供試体の端部にピックアップを設置する。また、供試体の両端は自由なたわみ振動ができるようにあまり拘束されない必要がある。本論文のように拘束端板が供試体の両端に位置し拘束圧が与えられている場合、供試体は JIS A 1127 の規定を満足しないと考えられる。

既往の研究において、例えば土木学会 363 委員会¹⁾の報告では、コンクリート供試体の中心部を削孔して挿入した PC 鋼棒と供試体両端に設置した鉄板によってコンクリート供試体に作用力を導入している。このような方法で作用力を導入したコンクリート供試体では、たわみ振動の明確なピーク波形を確認できないことが示されている。國府²⁾は JIS A 6202 の附属書 B で規定されている拘束治具で拘束されたコンクリート供試体のたわみ振動において、支持台の位置は JIS A 1127 に規定されている方法で測定上問題がないことを報告している。

本論文で用いる拘束治具においても、たわみ振動の特性とそれを踏まえた測定方法を明確にする必要がある。本論文では、拘束治具の影響により、供試体の両端で自由端反射ではなく固定端反射すると仮定し、たわみ振動の測定方法を検討した。供試体の両端で弾性波が固定端反射、供試体中心の駆動端子部分が振動の腹となるときの最も小さい振動モードは三次となる。このとき、支持台の位置、すなわち振動の節となる部分は供試体端部から供試体長さ L の $1/3$ となる。ピックアップの位置は振動の腹となる位置になるため、供試体端部から供試体長さ L の $1/6$ となる。本論文の場合、供試体長さ L は 400mm であるから、支持台の位置は供試体端部から約 133mm、ピックアップの位置は供試体端部から約 67mm となる。以上の仮定より、本論文ではコンクリート供試体のたわ

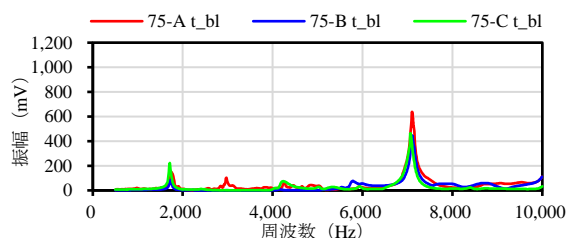
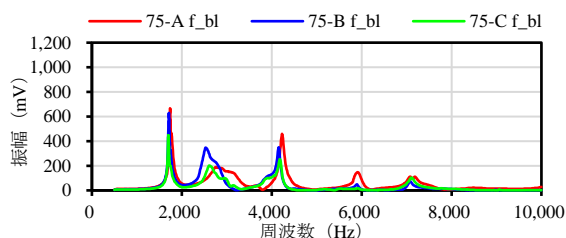


図-3 作用力導入前におけるたわみ振動の波形（左：f，右：t）

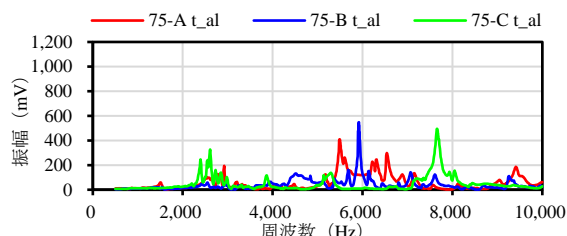
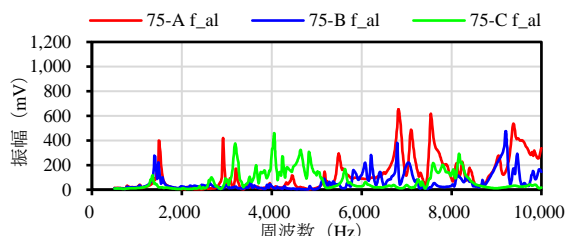


図-4 作用力導入後におけるたわみ振動の波形（左：f，右：t）

み振動を2つの方法で測定した。1つ目はJIS A 1127と同じく支点位置が供試体端部から1/4L(100mm)、ピックアップ位置が供試体端部のもの(以降、fとする)、2つ目は支点位置が供試体端部から1/3L(133mm)、ピックアップ位置が供試体端部から1/6L(67mm)のもの(以降、tとする)とした。たわみ振動の測定レンジは500～10,000Hzとした。ただし、たわみ振動はコンクリート供試体の側面間で、同一の面を上にして測定した。

4.1 凍結融解試験前のたわみ振動

(1) 拘束治具がない場合(作用力導入前)

図-3に作用力導入前に測定したたわみ振動の波形を示す。fおよびtの添え字のblは、作用力導入前(before loading)のデータを表す。f_{bl}における最大ピーク周波数は75-A, B, Cでそれぞれ1,739Hz, 1,713Hz, 1,701Hzとなり、いずれのコンクリート供試体も約1,700Hzで最大ピークが生じた。最大ピーク以降は約1,700Hz間隔でピークを確認できた。f_{bl}の最大ピーク周波数と供試体寸法と質量から求めた動弾性係数はそれぞれ37.8kN/mm², 34.6kN/mm², 35.9kN/mm²であり、これらの最大ピーク周波数は動弾性係数から考えてもたわみ振動の一次共鳴振動数であると判断できる。

一方、t_{bl}の最大ピーク周波数は75-A, B, Cでそれぞれ7,101Hz, 7,103Hz, 7,061Hzであり、最大ピークは約7,100Hz付近に生じることを確認した。t_{bl}の最大ピーク周波数はf_{bl}の一次共鳴振動数の約4倍であり、支持台が振動の節、ピックアップと供試体両端が振動の腹になることを考えると、t_{bl}は両端が振動の腹となる四次共鳴振動が生じるときに支持台による振動の妨げが最も小さくなり、最大ピークを示すことが示唆された。ただし、いずれのコンクリート供試体も約1,700Hz程度でピークが確認できることから、支持台とピックアップの

位置関係が変化してもたわみ振動の一次共鳴振動数の把握が可能であった。

(2) 拘束治具がある場合(作用力導入後)

図-4に作用力導入後に測定したたわみ振動の波形を示す。fおよびtの添え字のalは、作用力導入後(after loading)を表す。作用力導入後の共鳴振動は、f_{al}, t_{al}ともに周波数帯全体に多くのピークが発生し、最大ピークはそれぞれ異なる周波数に出現した。f_{al}では最大ピークとは別にf_{bl}の最大ピークと近い位置にピークが出現しており、これらのピーク周波数は75-A, B, Cでそれぞれ1,490Hz, 1,390Hz, 1,350Hzであった。t_{al}ではt_{bl}の最大ピーク周波数である約7,100Hzに対して、最大ピークは75-A, B, Cでそれぞれ5,491Hz, 5,917Hz, 7,657Hzに生じた。また、75-Aは1,500Hzにごく小さいピーク波形が生じたが、75-Bおよび75-Cでは確認できなかった。これらのたわみ振動の波形形状から、拘束治具で挟み込まれた供試体の共鳴振動について次のことが考えられた。一点目に、f_{al}とt_{al}の両方で作用力の大きさに関わらず複雑な波形形状を示したことから、拘束治具によって作用力を導入されたコンクリート供試体にたわみ振動を与えると、コンクリート供試体の端部で生じるのは完全な自由端反射でも固定端反射でもない反射であり、結果として応答が複雑になることが示唆された。二点目に、t_{al}はf_{al}よりたわみ振動の応答が全体的に小さく、また75-BおよびCにおいて約1,300Hz～1,500Hzにピーク波形を確認できなかったことから、tの測定方法だと共鳴振動が妨げられることが示唆された。三点目に、拘束圧導入後のたわみ振動において約1,300Hz～1,500Hzに現れるピーク周波数と供試体寸法、拘束治具と供試体の質量を用いて動弾性係数を算出すると、75-A f_{al}で38.5kN/mm², 75-B f_{al}で31.8kN/mm², 75-C f_{al}で

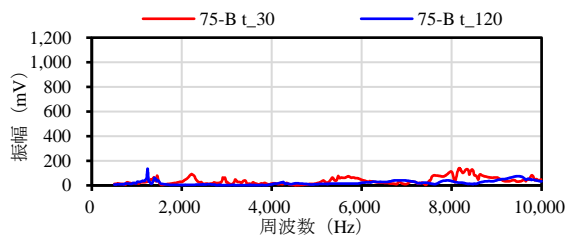
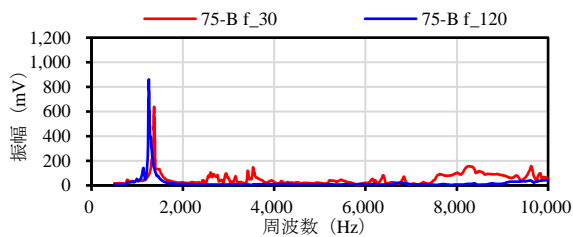


図-5 凍結融解試験中に測定したたわみ振動の波形 (左 : f, 右 : t)

31.5kN/mm², 75-A t_al で 39.0kN/mm² であった。値のばらつきはあるものの概ね動弾性係数として適当な値が得られたことから、拘束器具によって作用力が導入されている場合でも約 1,300Hz~1,500Hz に生じるピークをたわみ振動の一次共鳴振動とみなせることが示唆された。

4.2 凍結融解試験中のたわみ振動

凍結融解サイクルが異なる供試体のたわみ振動の波形形状を図-5 に示す。f および t の添え字は、測定した時点での凍結融解サイクル数を表す。75-A は凍結融解 60 サイクル、75-B は凍結融解 150 サイクル、75-C は凍結融解 30 サイクルで顕著な断面変化が生じた。同一供試体で比較を行うため、図-5 には 75-B の凍結融解 30 および 120 サイクルにおける波形のみを示し、75-A および 75-C は考察の対象外とした。f の測定条件で得られたたわみ振動の最大ピーク周波数は、75-B の凍結融解 30 サイクルで 1,370Hz、凍結融解 120 サイクルで 1,256Hz であった。図-4 の f_al と比較すると、凍結融解作用を受けたコンクリート供試体のピーク周波数は f_al と同程度の位置に生じたが、最大ピーク以降の周波数では応答が低減し、f_al と異なる波形形状を示した。f_30 と f_120 を比較すると、f_120 で最大ピーク以降の周波数における応答がより低減した。また、凍結融解サイクルが 90 サイクル進行することによる最大ピーク周波数の減少を確認できた。t の測定条件では、75-B の凍結融解 30 サイクルで 1,450Hz、凍結融解 120 サイクルで 1,241Hz となり、図-4 の t_al と比較するとかろうじてピーク周波数を確認できたものの、全体的な波形の応答は顕著に小さくなった。これらのことから、約 1,200Hz~1,600Hz に生じたピーク以降の応答は供試体や拘束器具の反射による複雑な合成波であり、凍結融解作用を受けたコンクリート供試体は内部に生じた微細なひび割れや表面劣化によって供試体が密実で均質な状態ではなくなるため、約 1,200Hz~1,600Hz 以降の複雑な合成波の応答が低減したと考えられる。特に t の測定条件では約 1,200Hz~1,600Hz のピークも含めて応答が著しく低減しており、支持台やピックアップの位置がたわみ振動を妨げていることが推察される。t の測定条件でははじめ明確な一次共鳴振動のピークが確認できていても、凍結融解作用による劣化が進行すれば明確な一次共鳴振動のピークを得ることが

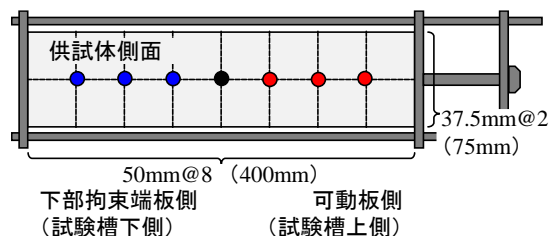


図-6 超音波伝播時間の測定位置

困難になると推察されることから、たわみ振動は JIS A 1127 の条件で測定することが望ましい。

5. 凍結融解抵抗性評価に関する検討

5.1 超音波伝播時間の測定方法

RILEM CIF に規定されている方法で超音波伝播時間の相対値を求め、たわみ振動と同様に凍結融解抵抗性を評価できるか確認を行った。超音波伝播時間の測定箇所を図-6 に示す。たわみ振動の測定方向と同一の方向で試験を実施するため、たわみ振動と同じ供試体の側面間で測定した。測定位置は可動板位置から 50, 100, 150, 200, 250, 300, 350mm の 7 箇所とした。測定時、供試体表面と端子が密着するよう、水性グリスを塗布した。

5.2 凍結融解抵抗性の評価方法

超音波の相対伝播時間 τ_n および伝播時間による動弾性係数の変化率 $R_{u,n}$ は RILEM CIF に基づいた式(2)および(3)より求めた⁵⁾。

$$\tau_n = \sum t_0 / \sum t_n \quad (2)$$

$$R_{u,n} = \tau_n^2 \quad (3)$$

ここに、 τ_n : 超音波の相対伝播時間 ($\mu\text{sec.}$), t_0 : 初期値における各点の超音波伝播時間 ($\mu\text{sec.}$), t_n : 凍結融解 n サイクルにおける各点の超音波伝播時間 ($\mu\text{sec.}$), $R_{u,n}$: 凍結融解 n サイクルにおける伝播時間による動弾性係数の変化率 (%) である。

たわみ振動の一次共鳴振動数による相対動弾性係数 R_{DM} は JIS A 1127 に準拠して測定し、約 1,500Hz 前後に現れたピークの周波数を用いて式(4)より求めた。

$$R_{DM} = [f_n^2 / f_0^2] \times 100 \quad (4)$$

ここに、 R_{DM} : 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) である。

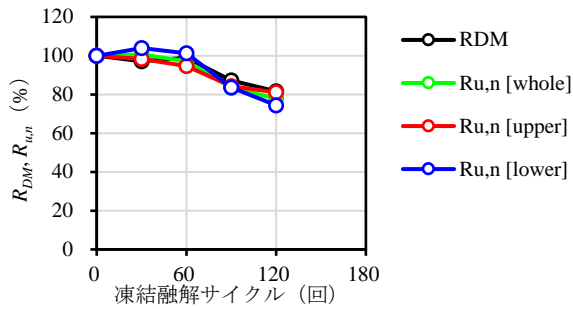


図-7 75-Bの凍結融解試験結果 (R_{DM} , $R_{u,n}$)

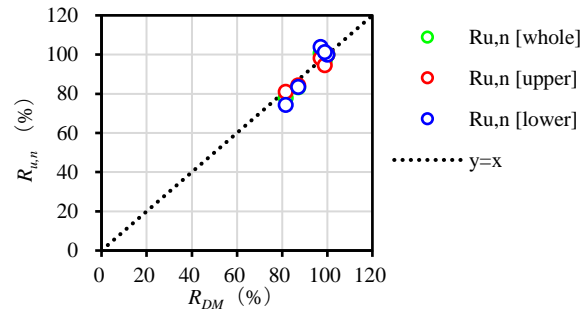


図-8 75-Bの R_{DM} と $R_{u,n}$ の関係

5.3 測定結果

75-Bの各凍結融解サイクルにおける R_{DM} と $R_{u,n}$ を図-7, R_{DM} に対する $R_{u,n}$ を図-8 に示す。75-A は凍結融解 60 サイクル, 75-C は凍結融解 30 サイクルで供試体に断面変化が生じたため, データの考察は 75-B のみで行った。ここで, $R_{u,n}$ [whole] は図-6 に示す測定点すべて, $R_{u,n}$ [upper] は 3 つの赤点, $R_{u,n}$ [lower] は 3 つの青点の合計値を用いてそれぞれ算出したものである。いずれの $R_{u,n}$ も R_{DM} とよい対応関係であり, 凍結融解抵抗性の評価に用いることが可能と考えられた。

凍結融解抵抗性の評価上の注意点として, 拘束治具によって作用力を導入したコンクリート供試体は試験槽内で上下を入れ替えずに試験を行うため, コンクリート供試体の劣化は図-2 のように下部拘束端板側から進行する傾向がある。また, 作用力を導入したコンクリート供試体には, 75-A や 75-B のように軸方向にひび割れが発生する傾向がある¹⁾。そのため, $R_{u,n}$ による凍結融解抵抗性の評価は局所的な劣化や過度なスケーリングにより超音波伝播時間が測定できなくなるまでのサイクルに限定される。

6. まとめ

本論文では, 拘束治具により作用力を導入したコンクリート供試体の凍結融解試験 A 法 (水中凍結融解) を実施し, 凍結融解抵抗性の評価方法を検討した。得られた知見を以下に示す。

1. JIS A 1127 に準拠して測定したたわみ振動の一次共鳴振動数は, 作用力導入前で約 1,700Hz, 作用力導入後および凍結融解作用を受けた後で約 1,200Hz~1,600Hz となり, 一次共鳴振動数が安定して確認できた。
2. 拘束治具によって拘束される供試体のたわみ振動は供試体両端で固定端反射をすると仮定し, コンクリート供試体端部から供試体長さの 1/3 に支持台, 1/6 にピックアップを配置したわみ振動を与えた。作用力導入前では一次共鳴振動のピークが約

1,700Hz 程度に出現したが, 作用力導入後や凍結融解作用を受けた後は一次共鳴振動のピークも合わせて全体的な応答が著しく低減し, ピークを明確に確認できなかった。このことから, 拘束治具によって作用力を導入されているコンクリート供試体のたわみ振動は JIS A 1127 に準拠して測定することが望ましい。

3. コンクリート供試体の側面間で測定した超音波伝播時間による動弾性係数の変化率は, たわみ振動の一次共鳴振動数を用いた方法と同様に凍結融解抵抗性の評価が可能である。

参考文献

- 1) 土木学会：プレストレストコンクリート黎明期に建設された茂喜登牛水路橋の解体調査研究小委員会 (363 委員会) 成果報告書, 土木学会, pp.223-249, 2024
- 2) 國府勝郎：膨張コンクリートの凍結融解抵抗性に関する基礎研究, 土木学会論文報告集, No.334, pp.145-154, 1983.6
- 3) 筏津春花, 篠原佳太, 石神暁郎, 緒方英彦：コンクリートの凍結融解試験に作用力を考慮するための拘束治具の設計と荷重の管理方法に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.46, No.1, pp.691-696, 2024.6
- 4) 河合正憲, 石神暁郎, 横地稔, 緒方英彦, 筏津春花：拘束圧を導入したコンクリートの凍結融解試験方法の提案 — 水中凍結融解試験における留意点 —, 2024 年度 (第 73 回) 農業農村工学大会講演会講演要旨集, pp.51-52, 2024.9
- 5) 谷口円, 緒方英彦：JIS A 1148 凍結融解抵抗性試験の指標値 (測定項目) に関する検討, コンクリート工学年次論文集, Vol.43, No.1, pp.580-585, 2021.7
- 6) ステンレスの導電率, 透磁率, 熱膨張率などの物理的性質について：<https://www.jssa.gr.jp/contents/faq-article/q6/> (閲覧日：2024 年 3 月 11 日)