学位論文題名

ポーラスコンクリートの耐凍害性に関する研究

学位論文内容の要旨

近年、自然環境の悪化が進みつつあり、自然環境の再生、保全は急務の課題となっている。本研究は河川護岸などの水辺環境に注目して、環境になじみの良い材料であると同時に自然災害を防ぐことができる構造材料としてポーラスコンクリートの研究開発に着手し、自然環境の持続的な保全の一端を担うことを目的としている。

現在、ポーラスコンクリートは研究が始まったばかりであり、その性能のみならず耐凍害性を主体とする耐久性の問題が未解決のままである。寒冷地においてポーラスコンクリートを有効に活用し、水辺空間はもとより歩道、道路などに適用を広げるためには基本課題となっている耐凍害性に関する研究が必要となっている。

本論文の各章の内容は以下の通りである。

第一章では本論文の研究背景、研究目的、論文構成および論文の位置付けを述べている。

第二章では、既往の研究による一般的なコンクリートの凍害メカニズムについて水圧説、限界飽水度説、氷とコンクリートの膨張差説などについて説明し、それに関連するコンクリート空隙による氷点降下、毛細管の吸水挙動などについて言及し、ポーラスコンクリートの耐凍害性を調べるための基礎理論について整理している。

これまで、耐凍害性を調べる試験にはアメリカの規準である ASTM C666 の A 法と B 法があり、日本の規準もほぼ同様のものである。一方、10 年前よりヨーロッパで開発された RILEM の基準の CIF 法(純水)、CDF 法(塩水)がある。これらの試験の大きな違いは、RILEM 法は凍結する最低温度を $-20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ と厳しく制御し、 -20°C の凍結温度に誤差があると劣化に大きな差が出てくることを抑制している点である。また、水のコンクリートへの供給は毛細空隙の吸引と考えると、コンクリートの下面より水を吸引させる方法を用いている点などの違いを明らかにしている。

耐凍害性を評価するために重要な AE 剤による気泡はその径と気泡間隔係数が重要となるが、測定に用いたリニアトラバース法について述べている。

第三章では、ポーラスコンクリートの配合と作製方法について述べている。ポーラス

コンクリートのフレッシュの状態がポーラスコンクリートの性能に大きく影響を受ける。まず、フレッシュポーラスコンクリートの性状について分類し、固相、液相、気相（連続空隙）が連続し、見た感触では、ねばねばした状態が良好な状態であることを把握している。配合方法はこれまでの経験的な方法を用いて、透水係数を定めるための粗骨材粒径、強度を決めるマトリックス量、水セメント比および耐凍害性を確保するための空気量などを決めている。製作は振動締固め法により成型し、湿潤養生を1日間行い、脱型後は所定の養生を行うことなどの供試体を作製する手順を述べている。また振動締固め法の違いによってポーラスコンクリートの性能に影響があることを明らかにしている。

第四章では、ASTM 法による凍結融解試験において、ポーラスコンクリートの凍結融解による劣化が激しく現れ、現場での劣化との違いが大きいことを指摘している。損傷はスケーリングが主体であることから試験法の違いによる検討が必要であると考え、ASTM (A/B) 法、RILEM 法の凍結融解作用による劣化の違いを検証している。

一方、現場暴露試験の損傷とこれらの試験法による劣化損傷と比較して、適切な試験方法を検証した結果、RILEM 法による損傷と暴露試験による損傷とがほぼ対応していることから、RILEM 法がより適当であることを明らかにしている。

第五章では、RILEM 試験を用いてポーラスコンクリートのマトリックス中の空気量、気泡間隔係数および水セメント比の凍害に対する影響をスケーリング量および動弾性係数などによって評価した結果、マトリックス中の空気量は 4~6%程度、水セメント比は強度を考慮しながら 25~35%のものが適当であることを明らかにしている。

また連続空隙率が大きいほど透水係数が大きく、圧縮強度は低下するが凍結融解試験による劣化は小さい傾向があることが分かった。凍結融解回数および混和材の影響についても明らかにしている。

第六章では RILEM 法の普通コンクリートに対する劣化規準を基にポーラスコンクリートの劣化について言及している。スケーリング量、内部損傷の基本となる動弾性係数比、（あるいは超音波速度変化率）および長さ変化などについて検証し、ポーラスコンクリートに対応する劣化規準を明らかにしている。

第七章は総括であり、ポーラスコンクリートの耐凍害性を評価するのに RILEM 試験法が有効であること、マトリックス中の空気量は 4~6%程度が適当なこと、水セメント比は強度を考慮して決められるが、25%~35%適当であること、ポーラスコンクリートの劣化はスケーリング量と超音波伝播速度の変化率などによって評価できることなどを総括している。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 佐 伯 昇
副 査 教 授 大 沼 博 志
副 査 教 授 千 歩 修
副 査 助 教 授 堀 口 敬

学位論文題名

ポーラスコンクリートの耐凍害性に関する研究

コンクリートは、土、水、大気などに接し、自然災害から守り、快適な生活、産業空間を造るために大きな役割を果たしている。土、水、大気などは生物にとって連続した空間であり、コンクリートなどによって強く遮断されることは生態系のバランスを崩し、持続可能な自然環境を保てない。本論文では、生態系あるいは自然環境に馴染のよいコンクリートとして透水性の機能を持つポーラスコンクリートの研究を取り挙げている。さらに、寒冷地に有効に利用するには、耐凍害性を主体とする耐久性の問題を解決することが必要となっている。

本論文は、ポーラスコンクリートの耐凍害性を調べる試験法、凍害損傷の特性、耐凍害性を確保するための配合、施工法などについて研究を行ったものである。

第1章では本論文の研究背景、研究目的、論文構成および論文の位置付けを述べている。

第2章では、既往の研究による一般的なコンクリートの凍害メカニズムについて水圧説、限界飽水度説、氷とコンクリートの膨張差説などについて説明し、それに関連するコンクリート空隙による氷点降下、毛細管の吸水挙動などについて言及し、ポーラスコンクリートの耐凍害性を調べるための基礎的理論について整理している。

これまで、耐凍害性を調べる試験にはアメリカの規準である ASTM C666 があり、日本の規準もほぼ同様のものである。一方、10年前よりヨーロッパで開発された RILEM TC-117 の規準がある。これらの試験の大きな違いは、後者は凍結する最低温度を $-20 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ と厳しく制御し、 -20°C の凍結温度に誤差があると劣化に大きな差が出てくることを抑制している点である。前者は、その温度を $-18 \pm 2^{\circ}\text{C}$ としている。また、水のコンクリートへの供給は毛細空隙の吸引と考えると、コンクリートの下面より水を吸

引させる方法を用いている、前者は浸漬によっている。これらの違いなどについて明らかにしている。

第3章では、ポーラスコンクリートの配合と作製方法について述べている。ポーラスコンクリートのフレッシュの状態がポーラスコンクリートの性能に大きな影響を受ける。まず、フレッシュポーラスコンクリートの性状について分類し、固相、液相、気相（連続空隙）が連続していることが良好な状態であることを把握している。配合方法はこれまでの経験的な方法を用いて、透水係数を定めるための粗骨材粒径、強度を決めるマトリックス量、水セメント比および耐凍害性を確保するための空気量などを決めている。製作は加圧式振動締固め法により成型し、湿潤養生を1日間行い、脱型後は所定の養生を行うことなどの供試体を作製する手順を述べている。また、練混ぜ、締固め法の違いがポーラスコンクリートの性能に影響を及ぼすことを明らかにしている。

第4章では、ASTM C666 法による凍結融解試験において、ポーラスコンクリートの凍結融解による劣化が激しく現れ、現場の劣化と違いが大きいことを指摘している。現場での損傷はスケーリングが主体であることから試験法の違いによる検討が必要であると考え、各試験法による検証を行っている。一方、現場暴露試験の損傷とこれらの試験法による劣化損傷と比較して、適切な試験方法を検証した結果、RILEM TC-117 法による損傷と暴露試験による損傷とがほぼ対応していることから、ポーラスコンクリートが浸漬状態でない限り RILEM TC-117 法がより適当であることを明らかにしている。

第5章では、ポーラスコンクリートのマトリックス中の空気量、気泡間隔係数および水セメント比の凍害に対する影響をスケーリング量および相対動弾性係数などによって評価した結果、マトリックス中の空気量は4~6%程度、水セメント比は強度を考慮しながら25~35%のものが適当であることを明らかにしている。

第6章では普通コンクリートに対する劣化規準を基にポーラスコンクリートの劣化規準について言及している。スケーリング量、相対動弾性係数などについて検証し、ポーラスコンクリートの耐凍害性を確保するための配合、練混ぜ、締固めなどについて明らかにしている。

これを要するに、著者はポーラスコンクリートの耐凍害性を確保するための配合、施工などについて新知見を得たものであり、コンクリート工学における新機能材料の実用化の向上に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格があるものと認める。