

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成24年6月11日現在

機関番号：10103

研究種目：基盤研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21360259

研究課題名（和文） 撥水性高強度セラミックによるコンクリートの凍結水圧緩和と力学性状の改善

研究課題名（英文） Improvement of relaxation of frost hydraulic pressure and mechanical properties of concrete by water-repellent high strength ceramics

研究代表者

濱 幸雄 (HAMA YUKIO)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号：70238054

研究成果の概要（和文）：本研究では、通常の AE コンクリートで生じる連行気泡による強度低下を低減し、耐凍害性向上に寄与できる新しい技術を確立することを目的として実施した。コンクリートと類似な細孔構造を有し、かつ撥水性をもつ高強度セラミック粉体をコンクリート用混和材料として用い、水を含まない細孔空隙（疎水空隙）を保持させることによって、凍結水量を低下させるとともに、AE 剤で連行される気泡と同様に凍結時に生じる水圧を緩和する機能を持たせることにより実現させようとするものである。その結果、表面が疎水性である粉体は AE 剤と同様の空気連行性を有し、耐凍害性を向上させることは可能であるものの、連行空気によるコンクリートの強度低下を防ぐことは不可能であり、その解決のためには、コンクリートと類似な細孔構造を有し、高強度でかつ表面が親水性であり空気連行性がなく、内部空隙が疎水性である多孔質な粉体の開発が不可欠であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study was to develop the new technology which can reduce the decrease of strength by entrapped air in AE concrete and contribute the improvement of frost resistance of concrete. The concept of this technology is that the high strength and water-repellent ceramic porous powder which have similar pore structure to concrete would be able to relieve the hydraulic pressure during freezing. Because the vacant capillary pore of powder would play a role of air void entrained by AE agent. It was clarified that the porous powder can improve the frost resistance of concrete; however, it cannot reduce the decrease of strength because it has air entraining property due to water-repellency on the surface. Therefore, it is necessary to develop the high strength porous powder which is hydrophobic in the pore and hydrophilic on the surface in order to improve the problem.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	10,000,000	3,000,000	13,000,000
2010年度	1,500,000	450,000	1,950,000
2011年度	1,600,000	480,000	2,080,000
総計	13,100,000	3,930,000	17,030,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：建築構造・材料

キーワード：コンクリート，凍結水圧，力学性状，耐凍害性

1. 研究開始当初の背景

コンクリートの耐凍害性に関する研究は古くから多くの研究が国内外で実施されており、コンクリートのゲル空隙、毛細管空隙、気泡を含む空隙構造が耐凍害性の支配的要因であることが知られている。すなわち、低W/C化などによってコンクリート組織を緻密にして凍結水量を低減させること、AE剤による連行空気により凍結時に発生する水圧を緩和することが極めて有効な耐凍害性向上策として実用化されている。また、軽微な乾燥は毛細管中に水分を含まない空隙を増加させ、凍結水量の減少と気泡と同様な水圧緩和の効果があり、耐凍害性を向上させることが指摘されている。

一方で、近年のコンクリートの高強度化に伴い、耐凍害性向上を目的として連行した空気による強度低下の問題が顕在化しており、寒冷地においても空気連行をできるだけ抑えたいとの要望が高まっている。しかし、高強度コンクリートでは経年による乾湿繰り返しの影響によるマイクロクラックおよび空隙構造の粗大化のために、ポテンシャルの耐凍害性が低下することが明らかとなっており、耐凍害性確保のためには空気の連行は必要不可欠とされている。

このような状況を踏まえて、これまでのコンクリートの凍害劣化機構に関する知見を総合して考察すると、コンクリートの耐凍害性はその空隙構造に依存し、細孔径分布および空隙の連続性、水蒸気の吸着特性、透気・透水性状が大きな影響要因であることは明らかである。また、耐凍害性向上のために必ずしも従来からのAE剤による空気連行が必要なわけではなく、コンクリート中に凍結時に発生する水圧を緩和できる水分を含まない細孔空隙が十分に存在していれば、凍害劣

化を免れることになるといえる。また、コンクリートの全空隙量をコントロールすることができれば強度の低下もないものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、通常のAEコンクリートで生じる連行気泡による強度低下を低減し、耐凍害性向上に寄与できる新しい技術を確立することが目的である。

コンクリートと類似な細孔構造を有し、かつ撥水性をもつ高強度セラミック粉体をコンクリート用混和材料として用い、水を含まない細孔空隙（疎水空隙）を保持させることによって、凍結水量を低下させるとともに、AE剤で連行される気泡と同様に凍結時に生じる水圧を緩和する機能を持たせることにより実現させようとするものである。

3. 研究の方法

本研究では、撥水性を有する軽量気泡コンクリート（撥水性ALC）に着目し、撥水性軽量気泡コンクリートを微細に粉砕した撥水性多孔質粉体をモルタルに混和して、水の入りにくい毛細管空隙をコンクリート中に存在させることによって、凍結融解作用時における水圧緩和の効果を検討した。

シリーズIでは、撥水性を有するものと持たないもの2種類の粉体を使用し、粉体の粒径を600 μm ～300 μm （DL）、300 μm ～150 μm （DM）、150 μm ～75 μm （DS）、75 μm 以下（DSS）の4水準、粉体置換率をセメントの外割りで0%、5%、10%、20%の4水準とし、撥水性多孔質粉体がモルタルの空気量へ及ぼす影響および撥水性を有する空隙の効果について、粉体の粒径、置換率の点から検討した。

シリーズIIでは、撥水性の有る粉体と消泡

剤を用いて、練り混ぜによって巻き込まれる空気連行の影響を極力取り除き、撥水性を有する空隙のみの耐凍害性への効果を確認することを目的とした。消泡剤の添加率は $C \times 0.01\%$ とした。

シリーズⅢでは粒径 $300\mu\text{m} \sim 150\mu\text{m}$ の撥水性多孔質粉体を置換率 10%, 20% 混和したものにフライアッシュをセメント重量の 20% を骨材置換して混和し、撥水性多孔質粉体がモルタルの空気量へ及ぼす影響を検討し、耐凍害性への影響についてもあわせて検討した。

4. 研究成果

(1) 気泡中への水分浸入について

暴露環境での耐凍害性低下メカニズムとしてエントラップドエア内へ水分が浸入する現象を図 1 に示す中性子ラジオグラフィによって確認した。

一般に AE コンクリートにおけるエントレインドエアは、練混ぜ時に、直径 $100\mu\text{m}$ 程度の独立気泡としてコンクリート内部に生成される。この独立気泡内部は、Kelvin 式で表現されるように非常に高い圧力の空気によって形成されており、それ故、硬化過程全般において、空隙が保持され、残存する。標準水中養生中において、内部がセメントの水和によって自己乾燥したとしても、一般的な強度のコンクリートでは、毛管空隙を含めたセメント硬化体中の大きな空隙を利用して周囲の水分がコンクリートの内部に取り入れられる。しかし、一般に水分は小さな空隙ほど吸着しやすく、また、毛管凝縮作用が生じやすいので、より小さい空隙で吸着・凝集を生じつつ内部へ水分が侵入していくことから、高い圧力を有するエントレインドエアによる空隙（以下、AE 空隙）内には水分が侵入しないままコンクリートは硬化していくと考えられる。しかし、コンクリート部材

が自然環境下に暴露され、AE 空隙周囲の水分が乾燥し、気相が外部環境と連結した場合には、AE 空隙内部の高い圧力は消失することになる。その後にあらためて、水分が供給された場合には、AE 空隙には水分が供給され、AE 空隙は耐凍害性に貢献しなくなると考えられる。

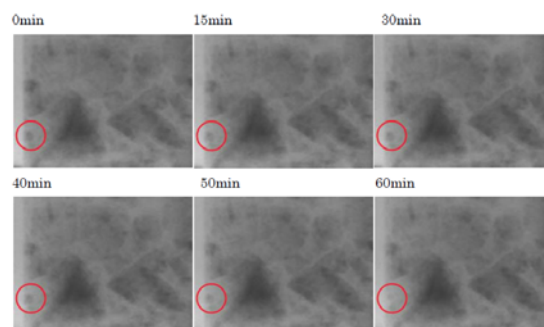


図 1 気泡中への水分浸入の様子

(2) 粉体の吸脱着等温線の測定条件について

水蒸気吸脱着等温線測定において、粒径 $80\mu\text{m}$ 以下と $2.5 \sim 5\text{mm}$ の試料の吸脱着等温線の差異が全湿度領域において明確に見られた。また、試料を粒径 $80\mu\text{m}$ 以下に粉砕することにより、最大吸着量は $1/2$ 以下となり、さらにはインクボトル空隙の存在など、セメント硬化体の耐久性に関連する重要な情報が損失されることがわかった。マクロスケールのセメント硬化体の細孔構造評価のためには、少なくとも粒径 5mm 以上の試料を用いる必要があることが明らかとなった。

(3) 撥水性多孔質粉体をモルタルの空気量

撥水性多孔質粉体をモルタルに混和することにより空気量は大きく増加し、撥水性を有する多孔質粉体は優れた空気連行性を有していることが明らかとなった。これは、AE 剤の起泡作用と同様に、撥水性を有する粉体の疎水性により、練り混ぜ時に水と空気の界面で起泡することにより、空気連行量が増加したものと考えることができる。

また、撥水性多孔質粉体の置換率が同じ場

合でのモルタル空気量は、150 μ m～300 μ mの粒径の粉体を用いた場合に他の粒径の粉体を用いたものと比べて良好な空気連行性を示した。これは、粒径の大きい粉体では界面が少ないために空気連行性が小さく、粒径が小さくなると界面が増加することによって空気連行性が向上したと考えられる。しかし、粒径がより小さくなると粉体の凝集の影響が現れることにより、粉体の界面が減少し空気連行性が低下しているものと考えられ、撥水性多孔質粉体の粒径によって空気連行作用は異なると考えられた。また、いずれの粒径の撥水性多孔質粉体を混和した場合も、置換率が増加するに従い空気量が増加した。

(4) フライアッシュを用いたモルタルでの撥水性多孔質粉体の効果

フライアッシュを用いたモルタルにおいても撥水性多孔質粉体の混和により空気量が増加した。このことから、一般にフライアッシュは未燃炭素の影響で通常のAE剤では空気連行性が悪化するという問題があるが、撥水性多孔質粉体を用いることでフライアッシュコンクリートでの空気連行性を改善できる可能性が示唆された。

(5) 撥水性多孔質粉体をモルタルの耐凍害性

コンクリートの耐凍害性は空気量が4～7%の範囲で良好な耐久性を示すことが指摘されているが、撥水性多孔質粉体を混和した場合においても、空気量が3%程度以上となっている場合には、耐久性指数が大きく増加しており良好な耐凍害性を示した。一方、撥水性の無い多孔質粉体を混和したものは空気泡が連行されておらず、このために耐凍害性が確保できなかったことから、撥水性多孔質粉体を混和するとAE剤と同様に空気を連行する効果があり、モルタルの空気量が増加することにより凍結融解抵抗性が向上することが明らかとなった。また、消泡剤を用い

て練り混ぜ時の空気連行の影響を極力取り除いた場合には凍結融解抵抗性の顕著な向上は認められなかった。

(6) 撥水性多孔質粉体中の疎水空隙の効果

撥水性多孔質粉体中の水の入らない空隙が凍結融解時の水圧を緩和する役割を果たすか否かについては、撥水性多孔質粉体による連行空気を完全に排除した試験体の作製ができなかったため明確にはできなかった。加えて、強度性状についても、連行空気を低減できなかったため、改善効果を評価することができなかった。

表面が疎水性である粉体はAE剤と同様の空気連行性を有し、耐凍害性を向上させることは可能であるものの、連行空気によるコンクリートの強度低下を防ぐことは不可能であり、その解決のためには、コンクリートと類似な細孔構造を有し、高強度でかつ表面が親水性であり空気連行性がなく、内部空隙が疎水性である多孔質な粉体の開発が不可欠であることが明らかとなった。

表面の濡れ性の良くない疎水性の固体粒子は、界面活性剤と同様に空気/溶液界面に吸着/沈着し、コンクリート混練時に生成した泡を安定化させる働きを持つため、空気泡の非連行性、消泡化のためには粒子表面を親水化することが必要である一方で、本研究の所期の目的である高耐久化のためには疎水空隙を確保しなければならず、その相反する性質をもつ粉体は今回の検討の範囲では見出すことができなかった。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

① 新大軌，谷本文由，岸本嘉彦，濱幸雄：

撥水性多孔質粉体を混和したモルタルの空気量および凍結融解抵抗性の変化, コンクリート工学年次論文集, 32, 1, 2010.7, 査読有

- ② 岸本嘉彦, 高橋力也, 濱幸雄, 新大軌: セメント硬化体の水蒸気吸脱着等温線測定のとばす資料粒径の影響, コンクリート工学年次論文集, 32, 1, 2010.7, 査読有

[学会発表] (計2件)

- ① 濱幸雄: コンクリートの耐凍害性とエン
トラップドエア内への水分移動現象, 日
本建築学会大会学術講演会, 2010.9
- ② Y.HAMA: Study on the
Influence of Particle Size of
Measurement Sample on Vapor
Adsorption and Desorption
Isotherms, 4th International
Symposium between Korea,
Japan and China on
Performance Improvement of
Concrete for Long life span
Structure (PICLS2010), 2010.8

6. 研究組織

(1) 研究代表者

濱 幸雄 (HAMA YUKIO)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 70238054

(2) 研究分担者

新 大軌 (ATARASHI DAIKI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号: 70431393

岸本 嘉彦 (KISHIMOTO YOSHIHIKO)

室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号: 30435987