

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 1 日現在

機関番号：32665

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25820272

研究課題名(和文)ハイブリッド型繊維補強によるポーラスコンクリートの耐久性の改善

研究課題名(英文)Improvement of Durability of Porous Concretes by Hybrid-Type Fiber-Reinforcement

研究代表者

齋藤 俊克(SAITO, Toshikatsu)

日本大学・工学部・助教

研究者番号：70547819

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、ポーラスコンクリートに対して、ビニロン短繊維及び微細繊維による複合補強並びに、セメント混和用ポリマーの混入による結合材の改質というハイブリッド型の補強・改質手段を適用することによって、ポーラスコンクリートの耐久性の改善におけるハイブリッド型繊維補強の有用性を明らかにした。又、セメントコンクリート系材料の耐久性は力学的性質と相関があることが知られていることから、ポーラスコンクリート性能設計を可能にするため、その静弾性係数と圧縮強度の関係を明らかにし、複合則を適用した静弾性係数推定式を提案している。

研究成果の概要(英文)：The improvement of the durability of porous concretes is successfully achieved by applying the reinforcement with vinylon short- and micro-fibers and the binder modification with cement modifier. The better correlation between the durability and mechanical properties is recognized for the ordinary cement concrete. The relationships between the static modulus of elasticity, dynamic modulus of elasticity and compressive strength of the porous concretes are clarified for the performance design. The equation for estimating the static modulus of elasticity of the porous concretes is proposed by applying the law of mixture introducing the correction coefficient of the voids.

研究分野：建築材料学

キーワード：ポーラスコンクリート 繊維補強 ハイブリッド 耐久性 性能設計

### 1. 研究開始当初の背景

近年、水や空気を通ず連続空隙を有するポーラスコンクリートが透・排水性舗装、緑化用基盤、水質浄化などに利用され、「エコマテリアル」として注目されており、そのような用途においては、連続空隙が多いこと、換言すれば、大きな連続空隙率を持つことが要求される。一般に、大きな連続空隙率を得るためには、最大寸法の大きな粗骨材の使用が有利である。しかし、連続空隙率を大きくすること、並びに最大寸法の大きな粗骨材の使用は、粗骨材間の付着特性を低下させることになり、ポーラスコンクリートの機械的性質及び耐久性の低下を招くことになる。

申請者はこれまで、ポーラスコンクリートの機械的性質の改善を目的に次のことを試みている。

(1) 粗骨材間を架橋する長さを持つ短繊維で補強する。

(2) 結合材としてのセメントモルタルを繊維補強する。

(3) 結合材をセメント混和用ポリマーの混入によって改質する。

その結果、これらの手法を適用することによって、ポーラスコンクリートの機械的性質が著しく改善され、一般の普通セメントコンクリートに匹敵する機械的性質を持つ繊維補強ポーラスコンクリートの製造を可能にしている。

一方、一般に、セメントコンクリート系材料において、その機械的性質の改善は耐久性の向上につながるものであり、これらの手法の適用によって、ポーラスコンクリートの耐久性の改善が期待される。

### 2. 研究の目的

本研究においては、「ハイブリッド型繊維補強によるポーラスコンクリートの耐久性の改善」を目的に、次のことを明らかにする。

(1) 粗骨材間を架橋する長さを持つ短繊維で補強した繊維補強ポーラスコンクリートの耐久性

(2)(1)に加え、結合材を繊維補強したハイブリッド型繊維補強ポーラスコンクリートの耐久性

(3)(1)及び(2)に加え、結合材にポリマーを混入したハイブリッド型繊維補強ポーラスコンクリートの耐久性

又、セメントコンクリート系材料の耐久性は機械的性質と相関性があるとの観点から、ポーラスコンクリートの性能設計を可能にするために、次のことを明らかにする。

(4) ポーラスコンクリートの静弾性係数及び動弾性係数と圧縮強度の関係の解明及び複合則を適応した静弾性係数推定法の提案

### 3. 研究の方法

以下に示す研究項目ごとに、繊維補強ポーラスコンクリートの耐久性を、北海道泊村(以下、北海道)及び東京都三宅島(以下、

三宅島)における屋外暴露試験結果、並びに促進試験(凍結融解試験及び乾湿繰返し試験)結果から明らかにして、ハイブリッド型繊維補強によるポーラスコンクリートの耐久性の改善効果を明らかにする。なお、繊維については、例えばF40のように記述し、数値は繊維長さ(mm)を示している。

耐久性改善効果の研究では、次の(1)~(3)の条件の供試体について耐久性試験を行う。

(1)一定長さの繊維を用いた組織の補強(以下、単独補強)

・結合材:セメントモルタル

・目標空隙率:15, 20, 25%

・短繊維:ピニロン繊維 F40

・繊維混入率:0, 0.3, 0.5, 1.0%

(2)組織の補強と結合材補強の併用(以下、ハイブリッド型補強)

・結合材:繊維補強セメントモルタル

・目標空隙率:20%

・短繊維:ピニロン繊維(F12及びF40)

・繊維混入率:0, 0.3, 0.5, 1.0%

(3)(2)の補強と接着界面の性能改善による併用(以下、ハイブリッド型補強)

・結合材:ポリマー混入繊維補強セメントモルタル(P/C:2, 4, 6%)

・目標空隙率:20%

・短繊維:ピニロン繊維(F12及びF40)

・繊維混入率:0, 0.5%

又、ポーラスコンクリートの性能設計法の確立を目的に、次のような調合条件の供試体について圧縮性状を明らかにし、その静弾性係数の推定を試みる。

(4) 供試体の調合条件

・結合材:セメントモルタル

・目標空隙率:15, 20, 25%

・短繊維:なし

### 4. 研究成果

(1) 屋外暴露試験結果

北海道泊村及び東京都三宅島での屋外暴露2年を経過した時点で実施した相対動弾性係数及び質量減少率の測定結果から、現状では明らかな劣化が認められなかった。そこで、当初予定した曲げ試験等は今後実施することとし、屋外暴露試験を継続することにした。

(2) 凍結融解抵抗性

図-1には、凍結融解試験前後における繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度とF12混入率の関係を示す。F40及びF12混入率にかかわらず、凍結融解試験後の繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は、試験前のそれに比べて著しく減少する。しかしながら、凍結融解試験前後における繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は、F40混入率にかかわらず、F12混入率0.4又は0.6%で最大値を示す。又、いずれのF12混入率においても、F40混入率0.5%の繊維補強ポーラスコンクリートが凍結融解試験前後において最も大きな曲げ強度を与える。

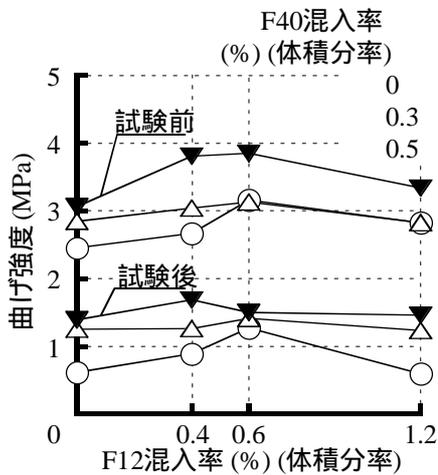


図-1 凍結融解試験前後における繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度とF12混入率の関係

図-2には、繊維補強ポーラスコンクリートの凍結融解試験前後における曲げ強度を示す。凍結融解試験後の繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は、試験前のものに比べて、著しく低下する傾向にある。しかしながら、凍結融解試験後における無補強ポーラスコンクリートの曲げ強度に比べて、ポリマー混入ハイブリッド型繊維補強ポーラスコンクリートのそれは大きな値を示す。粗骨材間を架橋する長さを有する短繊維及び、結合材に微細繊維並びにセメント混和用ポリマーを複合使用(ハイブリッド型補強)することで、それらを単独使用する場合に比べて、ポーラスコンクリートの耐凍結融解性を改善することができる。

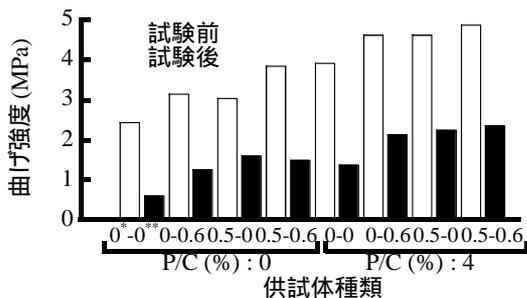


図-2 繊維補強ポーラスコンクリートの凍結融解試験前後における曲げ強度  
注): コンクリート中のF40混入率 (%) (体積分率)  
\*: モルタル中のF12混入率 (%) (体積分率)

### (3) 乾湿繰返し抵抗性

図-3には、乾湿繰返し試験前後の繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度とF12混入率の関係を示す。乾湿繰返し試験前の繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度は、F12混入率0.15%までの増加に伴い増大し、その後減少する傾向にある。一方、乾湿繰返し試験後の繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度に及ぼすF12混入率の影響は明確ではない。

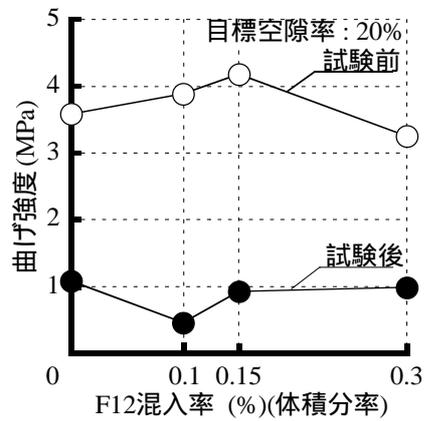


図-3 乾湿繰返し試験前後の繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ強度とF12混入率の関係

### (4) 性能設計のための圧縮性状の検討

図-4には、ポーラスコンクリートの静弾性係数及び動弾性係数と圧縮強度の関係を示す。ポーラスコンクリートの静弾性係数及び動弾性係数とも、圧縮強度の増加に伴って増大する傾向にある。これは、普通コンクリートにおける弾性係数と圧縮強度の関係と同様である。又、ポーラスコンクリートの静弾性係数及び動弾性係数と圧縮強度の間には、高い相関性が認められ、それらの関係は図中に示す実験式で表すことができる。

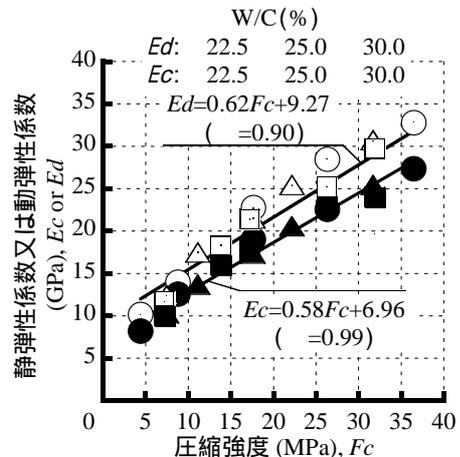


図-4 ポーラスコンクリートの静弾性係数及び動弾性係数と圧縮強度の関係

次に、ポーラスコンクリートを三相系複合材料ととらえ、セメントコンクリートの静弾性係数推定式として知られるHashin-Hansen式を基本式として、結合材相を一定量の空気を含むセメントモルタル、粒子相を粗骨材とし、空隙率を考慮した、次のようなポーラスコンクリートの静弾性係数推定式を導いた。

$$E_c = \frac{(1 - V_g)E_m + (1 + V_g)E_g}{(1 + V_g)E_m + (1 - V_g)E_g} E_m \cdot C_v$$

$$C_v = 1.08e^{-0.05V_v}$$

$$V_v = V_t - V_m$$

ここに、 $E_c$ : ポーラスコンクリートの静弾性係数 (GPa)  
 $E_m$ : 結合材(セメントモルタル)の静弾性係数

(GPa)

$V_g$ : 粗骨材の体積分率 ( $m^3/m^3$ )

$E_g$ : 粗骨材の静弾性係数 (GPa)

$C_v$ : 空隙補正係数

$V_v$ : 補正空隙率 (%)

$V_t$ : ポーラスコンクリートの全空隙率 (%)

$V_m$ : 結合材(セメント等)の空気量 (%)

図-5には、上述の推定式で得られるポーラスコンクリートの静弾性係の推定値と実測値の関係を示す。図中に示した近似式から明らかのように、静弾性係数の推定値はその実測値とほぼ近似している。なお、本研究で用いた調査は、一般に使用されるポーラスコンクリートの空隙率並びに、低強度から高強度の圧縮強度が得られる範囲を広く網羅しており、提案したポーラスコンクリートの静弾性係数の推定式は有用であると考えられる。

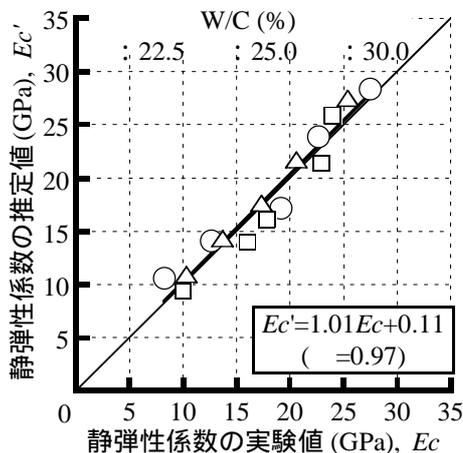


図-5 ポーラスコンクリートの静弾性係数の推定値と実測値の関係

以上のことから、本研究では、ポーラスコンクリートに対して、ビニロン短繊維及び微細繊維による複合補強並びに、セメント混和用ポリマーの混入による結合材の改質というハイブリッド型の補強・改質手段を適用することによって、ポーラスコンクリートの耐久性の改善におけるハイブリッド型繊維補強の有用性を明らかにした。今後は、屋外暴露試験を継続することで、実環境における有用性について検討を続ける予定である。

又、本研究成果をもとに、今後、耐久性評価に用いられる動弾性係数や曲げ強度と圧縮性状の関係などを詳細に検討することによって、ポーラスコンクリートの耐久性を含む性能設計に寄与できるものと考えられる。

## 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4件)

齋藤俊克、出村克宣: 複合則を適用したポーラスコンクリートの静弾性係数推

定法の提案, 日本建築学会構造系論文集, 査読有, Vol.81, No.723, pp.825-832, 2016.5

齋藤俊克、出村克宣: ポーラスコンクリートの圧縮強度, 静弾性係数及び動弾性係数の関係, セメント・コンクリート論文集, 査読有, No.69, pp.251-256, 2016.3  
十文字拓也、齋藤俊克、出村克宣: 繊維補強ポリマーセメントモルタルを結合材としたハイブリッド型ビニロン繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ性状, コンクリート工学年次論文集, 査読有, Vol.36, No.1, pp.1666-1671, 2014.6

十文字拓也、齋藤俊克、出村克宣: ビニロン短繊維及び微細繊維を併用した繊維補強ポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性, セメント・コンクリート論文集, 査読有, No.67, pp.514-520, 2014.2

[学会発表](計7件)

齋藤俊克、出村克宣: ポーラスコンクリートの静弾性係数と動弾性係数の相関性, 2015年度日本建築学会大会(関東), 2015/9/6, 東海大学

齋藤俊克、出村克宣: ビニロン短繊維及び微細繊維を併用した繊維補強ポーラスコンクリートの曲げ性状, 第12回日本・韓国建築材料施工 Joint Symposium, 2015/7/18, 日本大学生産工学部

齋藤俊克、出村克宣: ポーラスコンクリートの静弾性係数と動弾性係数の関係, 第78回日本建築学会東北支部研究報告会, 2015/6/20, 山形大学

齋藤俊克、十文字拓也、出村克宣: ポリマー混入ハイブリッド型繊維補強ポーラスコンクリートの耐凍結融解性, 2014年度日本建築学会大会(神戸), 2014/9/13, 神戸大学

齋藤俊克、十文字拓也、出村克宣: ポリマー混入ハイブリッド型繊維補強ポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性, 第77回日本建築学会東北支部研究報告会, 2014/6/22, 日本大学工学部

十文字拓也、齋藤俊克、出村克宣: 結合材を繊維補強セメントモルタルとした繊維補強ポーラスコンクリートの耐凍結融解性, 2013年度日本建築学会大会(北海道), 2013/9/1, 北海道大学

十文字拓也、齋藤俊克、出村克宣: 結合材を繊維補強セメントモルタルとした繊維補強ポーラスコンクリートの凍結融解抵抗性, 第76回日本建築学会東北支部研究報告会, 2013/6/22, 岩手県公会堂

## 6. 研究組織

(1)研究代表者

齋藤 俊克 (SAITO, Toshikatsu)

日本大学・工学部・助教

研究者番号: 70547819