

人工軽量骨材を用いたコンクリートの凍害改善に関する研究

芝浦工業大学大学院 学生員 ○柴田 晴彦
 芝浦工業大学 正会員 矢島 哲司
 芝浦工業大学 正会員 勝木 太
 前田建設工業 正会員 白根 勇二

1. 背景

膨張性頁岩を主原料とした人工軽量骨材は吸水率が20~30%と大きく、砕石や天然骨材と比べ耐凍結融解抵抗性が低いとされている。また、最近では、吸水率を5%以下に抑えた真珠岩系人工軽量骨材や、石炭灰を主原料とした人工軽量骨材も開発されつつあるが、その製造の難しさやコスト等の問題から未だ普及には至っていない。しかし、近年コンクリート用骨材の枯渇化、骨材採取による環境破壊が問題とされており、しかも年々、コンクリート構造物は長大化・大規模化の傾向にある中、資源の有効利用かつ普通コンクリートに比べ、約20%の死荷重を低減させることが可能な人工軽量骨材の開発、研究が望まれている。

そこで、本研究では、2種類の人工軽量骨材、すなわち、比較的安価ではあるが、耐久性に劣るといわれている膨張性頁岩を主原料とした人工軽量骨材(以下 LA 骨材)および吸水率の小さい石炭灰を主原料とした人工軽量骨材(以下 FA 骨材)を使用したコンクリートの凍結融解抵抗性の改善を目的とした。

2. 実験概要

本研究で使用した材料を表-1に、実験要因と水準を表-2に、またそれらを考慮した配合の種類を表-3に示す。なお、目標スランブは 12 ± 2 cm、空気量は $6 \pm 1.5\%$ である。

凍害改善の方法としては、練り混ぜ方法及び粗骨材の含水状態を変化させた。

通常練り混ぜ…LA骨材、FA骨材、砕石を表乾状態で一括練り、W/Pは表に示すように、LA骨材は40%~55%、砕石およびFA骨材は40%、60%を選定。

①微粉末の骨材への含浸練り混ぜ…LA骨材またはFA骨材を絶乾状態にして、(シリカフェーム(以下 SF)):(水+高性能AE減水剤)を重量比で1:3の割合の溶液に混合して2分間練り混ぜ、その後、他の材料を混入して1分間練り混ぜる。W/Pは、LA骨材40%~55%、FA骨材60%(配合記号FA60SF-A)を選定。

②骨材への表面処理…絶乾状態のFA骨材を(水):(SF)を重量比で1:2の割合で混ぜたものの中に24時間以上入れ、その後取り出し、再び絶乾状態にしたものを通常骨材として一括練りを行う。W/Pは60%(配合記号FA60SF-B)を選定。

以上の2方法と通常練り混ぜとの比較、検討を行った。BSはLA骨材に比表面積 $8120\text{cm}^2/\text{g}$ のものを、FA骨材には $6100\text{cm}^2/\text{g}$ のものを使用し、SF/CはLA骨材コンクリートで4%、FA骨材コンクリートで60%である。

なお、本研究における凍結融解試験(ASTM C 666 A法の準拠)は、 $-18^\circ\text{C} \sim +5^\circ\text{C}$ を約4時間で1サイクルとし、測定項目は、たわみ振動による一次共鳴振動数および供試体の質量とし、評価は、300サイクル、相対動弾性

キーワード：凍結融解、膨張性頁岩及び石炭灰を使用した人工軽量骨材、シリカフェーム、絶乾状態
 芝浦工業大学：〒108-8548 東京都港区芝浦3-9-14 Tel：03-5476-3054 Fax：03-5476-3166

表-1 使用材料

項目	物性
普通ポルトランドセメント	密度 $3.16\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $3300\text{cm}^2/\text{g}$
細骨材	表乾密度 $2.61\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率2.29%、FM2.42
粗骨材	LA骨材：表乾密度 $1.69\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率26.4%、FM6.29
	FA骨材：表乾密度 $1.84\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率3.23%、FM6.94
	砕石：表乾密度 $2.73\text{g}/\text{cm}^3$ 、吸水率0.5%、FM6.88
混和材	高炉スラグ微粉末：密度 $2.91\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $8120\text{cm}^2/\text{g}$ 及び $6100\text{cm}^2/\text{g}$ シリカフェーム：密度 $2.20\text{g}/\text{cm}^3$ 、比表面積 $21000\text{cm}^2/\text{g}$
混和剤	高性能AE減水剤：ポリカルボン酸エーテル系 AE剤：アルキルアリスルホン酸系

表-2 配合要因と水準

実験概要		水準
A	水粉対比(W/P)	LA骨材40%、45%、50%、55%
		砕石40%、60%、FA骨材40%、60%
B	粗骨材の状態	LA骨材：48時間以上吸水、絶対乾燥状態
		FA骨材：24時間以上吸水、絶対乾燥状態
		砕石：24時間以上吸水
C	混和材の種類	シリカフェーム、高炉スラグ微粉末
D	養生期間	14日、28日

表-3 配合の種類

配合記号	W/P	s/a	混和材	骨材の種類	粗骨材の含水状態/練り混ぜ方法
N45-13	45%	43%	-	人工軽量骨材 (膨張性頁岩)	48時間以上吸水 通常練り混ぜ
N50-5	50%	44%			
N55-11	55%	44%			
N40SF5-12	40%	42%			
N45SF5-17	45%	43%	SF(5%)	人工軽量骨材 (膨張性頁岩)	絶対乾燥状態 骨材シリカ含浸練り混ぜ
N55SF5-12	55%	44%			
D40SF5-25	40%	41%	SF(5%)	人工軽量骨材 (膨張性頁岩)	絶対乾燥状態 骨材シリカ含浸練り混ぜ
D45SF5-6	45%	43%			
D50SF5-4	55%	44%	SF(15%)	人工軽量骨材 (膨張性頁岩)	絶対乾燥状態 骨材シリカ含浸練り混ぜ
D45SF5-11	45%	42%			
D50SF5-8	50%	43%	SF(5%)	人工軽量骨材 (膨張性頁岩)	絶対乾燥状態 骨材シリカ含浸練り混ぜ
D55SF5-5	55%	44%			
D40SFBS-20	40%	41%	SF(5%)	人工軽量骨材 (膨張性頁岩)	絶対乾燥状態 骨材シリカ含浸練り混ぜ
D45SFBS-19	45%	42%			
D50SFBS-17	50%	43%	BS(40%)	人工軽量骨材 (石炭灰)	24時間以上吸水 通常練り混ぜ
C60-10	60%	45%			
C40-10	40%	41%	BS(40%)	人工軽量骨材 (石炭灰)	24時間以上吸水 通常練り混ぜ
FA60-10	60%	45%			
FA40-10	40%	41%	SF(47%)	人工軽量骨材 (石炭灰)	絶対乾燥状態 骨材シリカ含浸練り混ぜ
FA60SF-A	60%	45%			
FA60SF-B	60%	45%	BS(40%)	人工軽量骨材 (石炭灰)	絶対乾燥状態 骨材シリカ含浸練り混ぜ

※混和材のQ内は全粉体量に対する割合とする

W/Pは60%(配合記号FA60SF-B)を選定。

係数が60%以下または供試体の破壊によって測定不能になるまで行った。

3. 実験結果及び考察

3.1 石炭灰を主原料とした人工軽量骨材(FA骨材)の凍結融解作用結果

FA骨材および、砕石における相対動弾性係数の経時変化を図-1に示す。FA骨材を使用した通常練り混ぜ供試体は、W/P=40%、60%のものはそれぞれ210、90サイクルで60%以下となったが、塗膜(FA60SF-A)したものは、W/Pが60%の砕石とほぼ同程度まで改善された。また、含浸した骨材(FA60SF-B)は、W/P=60%にも関わらず、W/Pが40%の砕石を上回る結果となった。

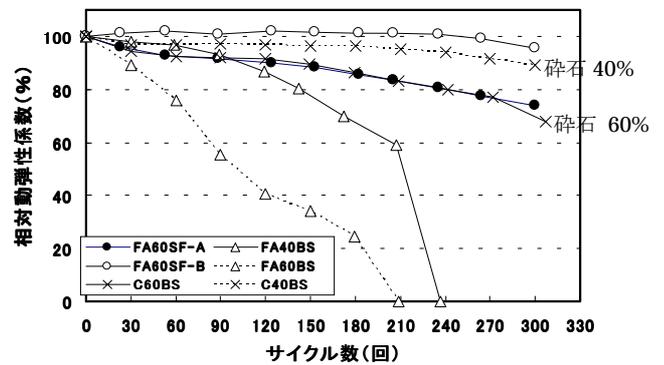


図-1 FA骨材及び砕石における相対動弾性

3.2 膨張性頁岩を主原料とした人工軽量骨材(LA骨材)の凍結融解作用結果

LA骨材における相対動弾性係数の経時変化を図-2に示す。通常練り混ぜをしたコンクリート(N45、N50、N55)は、60サイクルですべて破壊してしまいましたが、SFを含浸させたコンクリート(D40SF5、D45SF5、D50SF5)では、W/P=50%のものは相対動弾性係数が300サイクルで60%以下だが、D40SF5、D45SF5においては相対動弾性係数が、80%以上となった。BSを混和材としてさらに加えたコンクリート(D40SFBS、D45SFBS、D50SFBS)では、W/P=50%のコンクリートでもBSを加えることにより300サイクルで相対動弾性係数が約90%以上の値を示した。

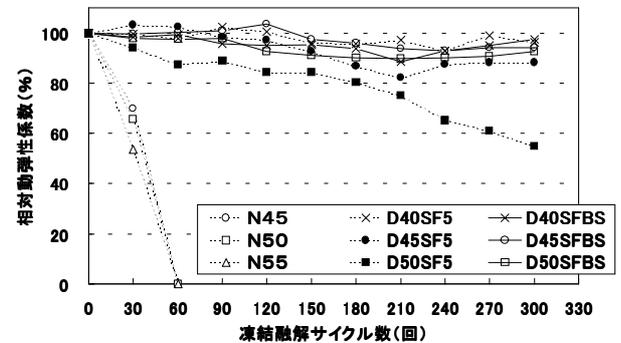


図-2 LA骨材における相対動弾性

なお、吸水率が26.4%と大きいLA骨材にSFを含浸させ、改善させたコンクリートは、骨材を絶乾状態で使用したため、練り混ぜ時には、W/Pを50%、45%、40%と吸水率を無視してコンクリートを作成した。そこで、図-3に示す48時間以上吸水させた骨材を用いた通常練り混ぜを行ったコンクリートの強度と粉体水比(P/W)の関係より、含浸方法の粉体水比を推定した。また、表-4にはその配合の圧縮強度、動弾性係数、単位体積重量を示す。図-3よりW/P40%→37%、W/P45%→36%、W/P50%→40%となった。図-2の凍結融解抵抗性がマトリクス強化によって改善されたとも考えられるが、図-3のN40SF5とD50SF5は圧縮強度、動弾性係数、単位体積重量がほぼ同一であるにも関わらず、含浸した供試体の耐久性が改善されていることから、この改善方法の可能性が示されたと考えられる。

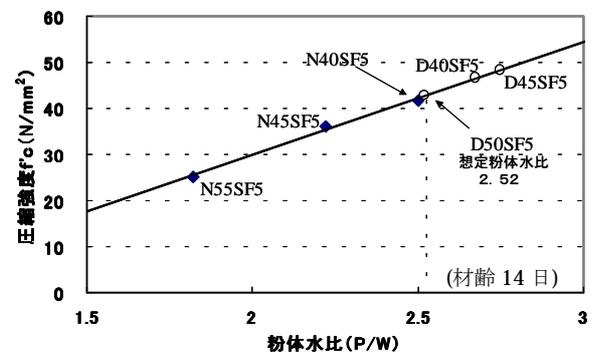


図-3 FA骨材コンクリートにおける圧縮強度と粉体水比の関係

表-4 通常練り混ぜコンクリートと含浸練り混ぜコンクリートの比較

供試体	骨材の含水状態	強度 (N/mm ²)	動弾性係数 (KN/mm ²)	単位体積重量 (kg/m ³)
N40SF5	表乾状態	41.7	25.2	1.93
N45SF5	表乾状態	35.6	22.6	1.92
N55SF5	表乾状態	24.6	20.7	1.84
D40SF5	絶乾状態	46.5	27.8	1.82
D45SF5	絶乾状態	48.4	26.2	1.92
D50SF5	絶乾状態	42.7	27.7	1.83

4. まとめ

本研究で試みた骨材シリカ含浸方法により、LA及びFA骨材を使用した軽量コンクリートの凍結融解作用による劣化改善の可能性を示す事が出来た。また、今後の課題として、絶乾状態の骨材を使用したため、ポンプ圧送等の実施工を考慮した練り混ぜから打設時までの時間経過によるスランプロス等を検討していく必要があると考えられる。