空気量を小さく設定したフライアッシュコンクリートの耐久性

徳島大学大学院　学生会員　○福冨　隼人
高知工業高等専門学校　正会員　横井　克則
和歌山工業高等専門学校　正会員　三岩　敬孝
CDR コンサルタンツ　正会員　原田　隆敏

1. はじめに

石炭火力発電所から副産されるフライアッシュ(以下，FA)の発生量は年々増加しており有効利用が求められている. また, 四国内において環境保護の観点から海砂の採取規制が行われるなど骨材資源の確保が急務となっている. このため，FA を細骨材補充材として使用する研究が進められている [1)]．FA を細骨材置換したコンクリートは長期強度の増進，乾燥収縮の抑制などの長所がある一方で，FA 中の未燃カーボンが AE 剤を吸着するため，空気量の確保が困難になり空気量に依存する耐凍害性などの耐久性の発現に影響が出ることが考えられるが，データが不足している状態である. そこで本研究では, FA を細骨材置換したコンクリートにおいて空気量が十分に確保できないことを想定して，空気量を小さく設定したコンクリートを作製し，強度及び耐久性に与える影響を調査することとした．FA は FAⅡ種及び FAⅣ種を細骨材置換率 10%で使用し，FA の種類による影響を検討した．また，セメントは普通セメント及び高炉セメント B 種を使用し，セメントの種類による影響を検討した.

2. 使用材料及び試験方法

セメントは普通セメント(密度 3.16 g/cm^3)及び高炉セメント(密度 3.04 g/cm^3)を使用した. 骨材には高知県産の骨材を用い，細骨材に石灰石砕砂(S1，密度 2.66 g/cm^3）及び除塩海砂(S2，密度 2.61 g/cm^3)，粗骨材には石灰石砕石 1505 及び 2010(G1，G2，ともに密度 2.69 g/cm^3)を使用した．FA は JIS 規格を満足している FAⅡ種及び FAⅣ種を海砂の補充材として使用した．混和剤はポリカルボン酸系の AE 減水剤及びレジン系の AE 調整剤を使用した.

配合表を表 1 に示す．配合名の N は普通セメント，BB は高炉セメントの使用を示し，Ⅱは FAⅡ種，ⅣはⅣ種の使用を示す．練混ぜは，強制 2 軸ミキサを使用して行い，練混ぜ後は円柱型枠および角柱型枠に打設した．これを計 6 配合作製し試験を行った．供試体は所定の材齢に達するまで標準養生を行い，各試験は JIS に規定されている方法に準じて実施した．試験内容はフレッシュコンクリート試験として，スランプ試験及び空気量試験を目標値を設定せずに実施した．硬化コンクリート試験として，圧縮強度試験，長さ変化試験，促進中性化試験及び凍結融解試験 A 法を実施した.

表 1　配合表及びフレッシュ性状

配合名	W/C（%）	s/a（%）	単位量（kg/m^3）									フレッシュ性状	
			水	セメント	細骨材			粗骨材		AE減水剤	AE剤	空気量（%）	スランプ（cm）
					S1	S2	FA	G1	G2				
N	60	46.8	150	250	631	270	0	467	571	2.50	－	3.4	8.0
N-Ⅱ					814	0	79				1.50	2.8	11.5
N-Ⅳ							75					3.1	10.5
BB			145	242	634	272	0	470	574	2.42	－	3.1	7.5
BB-Ⅱ					819	0	79				1.45	3.0	15.0
BB-Ⅳ							75					3.1	14.0

3. 試験結果及び考察

3.1　フレッシュ性状

スランプ試験及び空気量試験の結果を表 1 に示す. 空気量試験はすべての配合で 3%前後の値となった. この結果をもとに強度試験及び耐久性試験への影響を検討する．スランプ試験は FA を混和した配合のスランプ値が大きくなった．これは，FA の形状が球形のため，材料の流動性が改善されたためであると考えられる.

3.2　圧縮強度

圧縮試験の結果を図 1 に示す．FAⅡ種を混和した配合は，材齢 7 日における強度が FA 無混和の配合とほぼ同等であるが，材齢 28 日以降，特に材齢 91 日で大きくなることが確認できた．これは，FA を使用したことでポゾラン反応が発生し，コンクリートが長期にわたって強度増進したためであると考えられる．また，FAⅡ種とⅣ種では，

キーワード　フライアッシュ，細骨材補充材，空気量，耐久性
〒770-8506　徳島県徳島市南常三島 2 丁目 1 番地　徳島大学　Email：s1422@gm.kochi-ct.jp

Ⅱ種の方が比表面積及び活性度指数が大きいことなどからⅣ種より強度が増加したと考えられる．高炉セメントを使用した配合では，潜在水硬性により長期強度が増加し，普通セメントの配合と同等になると考えていたが，FAⅡ種を使用したBB-Ⅱで若干強度が低下した．これはFAと併用したことで，$Ca(OH)_2$の消費が促進され高炉セメントの潜在水硬性が十分発現しなかったと考えられる．しかし，活性度指数が小さいFAⅣ種を使用した配合においては高炉セメントの方が長期強度は大きくなった．

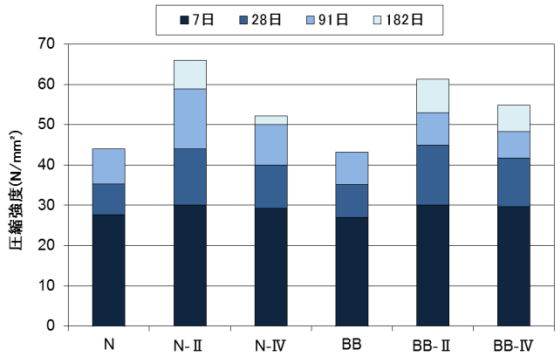

図1　圧縮強度試験

3.3　長さ変化

乾燥収縮による長さ変化試験の結果を図2に示す．FAを混和した配合では，普通セメント及び高炉セメントにおいても長さ変化が抑制される結果が得られた．これは，FAのポゾラン反応により水和物が生成されることで内部組織が緻密化し，コンクリート中の水分の逸散が低減したためであると考えられる．また，FAⅡ種とⅣ種，普通セメントと高炉セメントで比較すると長さ変化に大きな差は見られなかった．

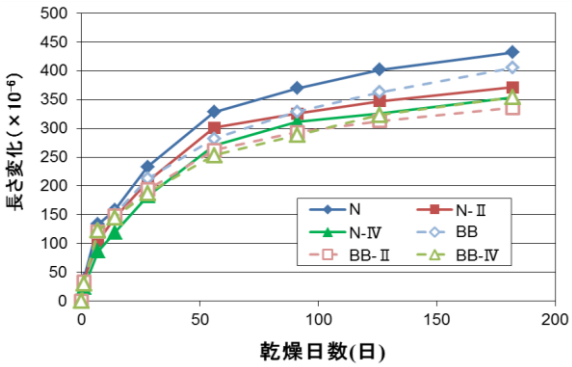

図2　長さ変化試験

3.4　中性化

促進中性化試験の結果を図3に示す．この結果では，高炉セメントを使用した配合が普通セメントの配合より中性化が進行した．これは，高炉セメントは高炉スラグ微粉末と普通セメントとの混合セメントであるため，普通セメントに比べ水和物である$Ca(OH)_2$の量が少なく，さらに潜在水硬性はこの$Ca(OH)_2$を消費して反応を起こすため，pHが低下したのではないかと考えられる．また，FA無混和と混和の配合，FAⅡ種とⅣ種では中性化に大きな差は見られなかった。

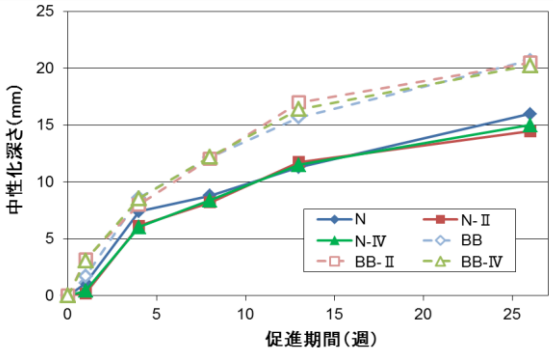

図3　促進中性化試験

3.5　耐凍害性

凍結融解試験の結果を図4に示す．Nは30サイクル時から相対動弾性係数の低下が顕著となった一方で，FAを混和したN-Ⅱは150サイクル時で30%程度まで低下し，N-Ⅳは180サイクル時で相対動弾性係数が60%を下回った．この結果はFAを混和することで材料の分散性が向上し，連行される空気が微細になったためと考えられ，空気量が十分確保できない場合もFAを使用した配合では耐凍害性が向上する可能性があるといえる．しかし，N-Ⅳに比べN-ⅡがN-Ⅳに比べ空気量が少なかったためと考えられる．また，高炉セメントの配合は普通セメントの配合に比べ耐凍害性は向上した．

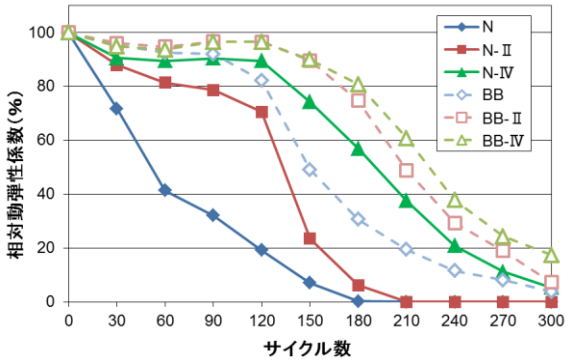

図4　凍結融解試験

4. まとめ

(1)空気量を小さく設定した場合，強度はFAを使用した配合，特にFAⅡ種を使用した配合で向上した．

(2)耐久性はFAを使用することで長さ変化，耐凍害性が向上した．また，高炉セメントを使用することで中性化が進行したが，耐凍害性は普通セメントの配合より向上した．

参考文献

1) 日本コンクリート工学会四国支部, フライアッシュコンクリート耐久性評価研究委員会報告書, 2013, pp.100-110.