

フライアッシュコンクリートの乾燥収縮および強度発現に及ぼす脱型材齢の影響

(財)電力中央研究所 正会員 蔵重 勲 西田 孝弘
 (株)セレス 正会員 ○下村 和也 仲 亮介 石川 弘毅

1. はじめに

産業副産物の有効利用や CO₂ 排出量の抑制は循環型社会を実現するための必要対策であることは自明である。セメント・コンクリート産業に目を向けると、鉄鋼製造時の副産物である高炉スラグの普及は進んでいるものの、石炭火力発電で副産されるフライアッシュはマスコンクリート等に用途が限られる傾向がある。今後、循環型社会実現に向けて貢献するためには、電気事業より年間 1000 万トン近く排出される石炭灰のうち、コンクリート用混和材であるフライアッシュとして有効利用量を拡大することが望まれる。一方、近年、コンクリートの収縮ひび割れが問題視され、その発生抑制を志向した設計体系の議論が JCI 混和材料委員会等で進められている。また、土木学会 335 委員会等で指摘されている様に、脱型材齢や養生方法などが耐久性に及ぼす影響の把握も重要と考えられ、収縮特性やひび割れ抵抗性に対しても施工要因の影響評価が必要と考えられる。以上より、関連する知見が未だ十分でないフライアッシュコンクリートを対象に実験的検討を行った。

2. 実験概要

表 1 に示す配合に従って乾燥収縮ひずみ、質量減少率の測定用に角柱供試体(10x10x40cm)を、圧縮強度、引張強度、静弾性係数の測定用に円柱供試体(Φ10x20cm)を作製した。配合は、フライアッシュコンクリート(FB)の他に普通コンクリート(N)を設定するとともに、脱型材齢を 3, 7, 14, 28(FB のみ)日と変化させて、上記物性を比較評価した。なお、供試体は脱型後、室温 20°C、湿度 60%RH の環境に曝露した。乾燥収縮ひずみの測定には埋込み型ひずみ計を用い、供試体の両側面(10x40cm)のみを開放した状態で経時変化を調べた。質量減少率も同様に、両側面のみを開放した供試体に対して測定した。圧縮強度、引張強度、静弾性係数は、それぞれ JIS A-1108-2006, JIS A-1113-2006, JIS A-1149-2001 に準拠し、脱型直後、材齢 14 日、28 日において実施した。

3. 実験結果および考察

図 1 に示すように、脱型後の乾燥収縮ひずみの増加傾向は、コンクリートの種類および脱型時期を問わずほぼ同様であることがわかった。しかし、より詳細に見ると、例えば F28 供試体のように脱型までの期間をより長く確保した場合、単位時間当たりの収縮ひずみ増分が大きくなる傾向もうかがえた。図 2 に示す質量減少率に着目してみると、コンクリート種類や脱型材齢の影響が大きく、FB 供試体の方がより大きな値を示し、早期に脱型するほど質量減少率は大きくなった。両図より、供試体間で質量減少率に大きな差異があるにもかかわらず、収縮ひずみにそれほど大きな相違が見られなかったことを確かめるため、両者の関係を図 3 のように整理した。これを見れば、フライアッシュを用いた脱型材齢の若い F3 供試体で、水分逸散に対する収縮ひずみの増分が小さくなっており、これに対して普通ポルトランドセメントを用い、脱型までの期間が長い N14 供試体ではその増分が最も大きくなった。このような傾向は、空隙構造の相違に由来するものと思われ、水分逸散による収縮力発生に寄与する微細な空隙の構造や存在量で説明付けられるものと考えられる¹⁾。

他方、ひび割れ抵抗性を左右する強度の発現に及ぼすフライアッシュ置換や脱型材齢の影響を調べるため実施した圧縮強度、引張強度、静弾性係数の測定試験の結果をそれぞれ図 4~6 に示す。圧縮強度や引張強度に及ぼす配合や脱型材齢の影響は大きく、それぞれ N 配合で大きい値を示し、脱型材齢が若くなることもなって値が低下する傾向も確認され

表 1 コンクリートの配合と供試体の種類

種類	W/B (%)	s/a (%)	SP (%xB)	AE (%xB)	単位量 (kg/m ³)					Sl. (cm)	Air (%)	脱型材齢および供試体の略号			
					W	C	F	S	G			3 日	7 日	14 日	28 日
N	50	46.7	1.2	0.0010	175	350	0	825	949	18.5	5.7	N3	N7	N14	—
FB			0.7	0.0015		280	70	814	936	18.5	4.3	F3	F7	F14	F28

SP:高性能 AE 減水剤添加率, AE:AE 剤添加率, B:結合材(C+F), W:水, C:普通ポルトランドセメント, F:フライアッシュ II 種, S:砕砂, G:砕石

キーワード: フライアッシュ, 強度発現, 乾燥収縮, ひび割れ抵抗性, 脱型材齢

連絡先: 〒270-1166 千葉県我孫子市我孫子 1646 (財)電力中央研究所内 (株)セレス 地質・原燃サイクル部 TEL (04)7179-6211

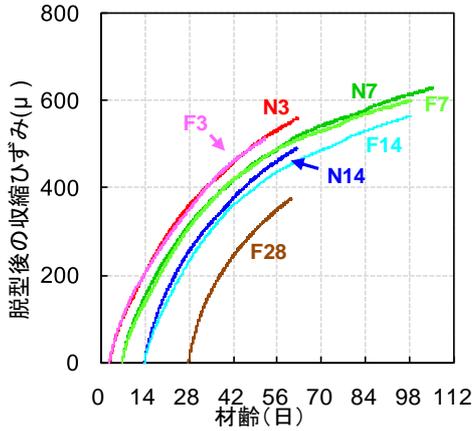


図1 脱型以降の収縮ひずみ変化

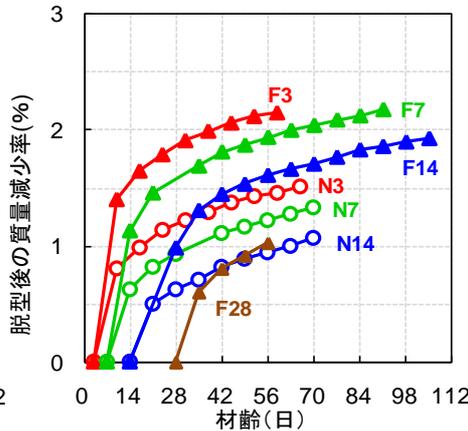


図2 脱型以降の質量減少率推移

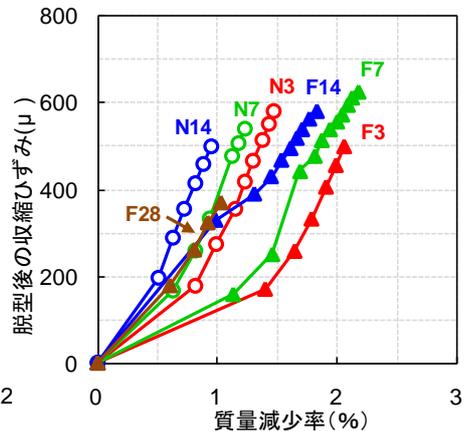


図3 質量減少率と収縮ひずみの関係

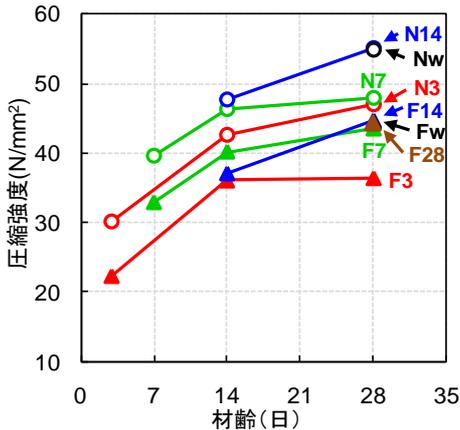


図4 圧縮強度の経時変化

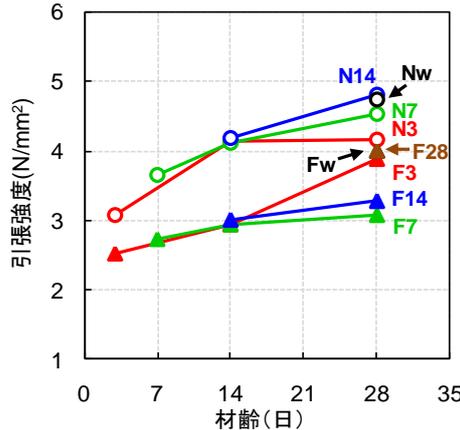


図5 引張強度の経時変化

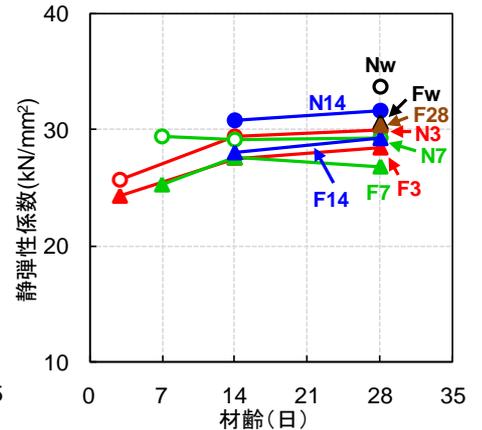


図6 静弾性係数の経時変化

た。静弾性係数についても同様の傾向が見られた。なお、図中のNw, Fwはポテンシャル評価のために作製した水中養生供試体(脱型材齢1日)の測定結果である。これを見ると、N配合では脱型材齢が14日の供試体でNwと同等の強度発現が得られ、FB配合では脱型材齢28日の供試体がそれに相当する結果が本実験の範囲内で得られた。

これらの結果を用いてひび割れ抵抗性の簡易比較評価を行った結果を図7に示す。収縮ひび割れ抵抗性指数は、ひび割れ指数の算定方法を参考に、乾燥収縮によるひび割れの発生に対する抵抗性として次式のように定義した。

$$\text{収縮ひび割れ抵抗性指数} = \text{引張強度} / (\text{脱型後の収縮ひずみ} \times \text{静弾性係数})$$

なお、材齢56日のひび割れ抵抗性指数は、材齢28日の引張強度、静弾性係数を用いて便宜的に算出した。収縮ひび割れ抵抗性指数は、引張強度の増進が材齢14日以降は小さいため、収縮ひずみの増加に依存して低下した。絶対値の比較をすると、早期に脱型した供試体ほど小さくなる傾向が認められた。これは、脱型後の乾燥期間が収縮ひずみの増加量を左右していることに起因するため、長期材齢での収縮ひび割れ抵抗性指数の比較については詳細検討が望まれる。しかし、拘束度が高い部材や乾燥の厳しい条件では、若材齢においてもひび割れ発生が懸念されるため、脱型材齢の影響も重要視されるものと考えられる。

乾燥による水分逸散やそれともなう収縮応力の発生はコンクリート中の空隙構造に依存するため、微視的現象のモデル化による収縮挙動の説明やひび割れ抵抗性の評価法を確立するためには、混和材の使用によって大きく変化する空隙構造の理解とそれを機軸とした各種現象の解明が今後の研究課題として挙げられる。

乾燥による水分逸散やそれともなう収縮応力の発生はコンクリート中の空隙構造に依存するため、微視的現象のモデル化による収縮挙動の説明やひび割れ抵抗性の評価法を確立するためには、混和材の使用によって大きく変化する空隙構造の理解とそれを機軸とした各種現象の解明が今後の研究課題として挙げられる。

参考文献:1) 辻貴大, 浅本晋吾, 蔵重勲: フライアッシュを混和したモルタルの収縮特性と空隙構造に関する研究, 第64回セメント技術大会講演要旨, 2010.(投稿中)

謝辞: 本研究は土木学会 333 委員会および JCI 混和材料委員会の活動に関連して実施したものです。委員各位との議論は研究推進にとって大変有益でした。深く感謝申し上げます。また、本研究の一部は、国土交通省建設技術研究開発補助金(実用化研究開発:コンクリート構造物長寿命化に資する品質保証/性能照査統合システムの開発, 代表者: 東京大学石田哲也准教授)の助成を得て実施したことを付記致します。

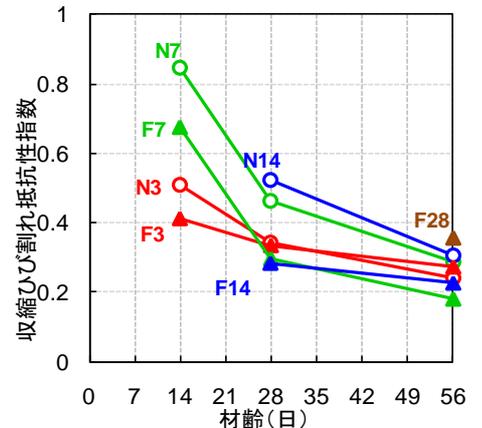


図7 収縮ひび割れ抵抗性指数の経時変化