

初期ひび割れ予測に用いるヤング係数の実験的検討

呉工業高等専門学校 学生会員 ○山田 浩司
 呉工業高等専門学校 正会員 三村 陽一
 呉工業高等専門学校 正会員 堀口 至

1. はじめに

コンクリートの初期ひび割れを制御・抑制する方法は多くある。それらを効率的に行うためには、初期ひび割れ発生の可能性を事前に予測することが重要である。初期ひび割れの予測を行う際、時間の経過とともに発現するコンクリートの様々な力学的特性を時系列で把握しなければならない。ヤング係数は、計測や解析から得られるひずみを応力に換算する際に必要となり、応力算定の精度に直接関与するものである。石炭火力発電所から排出されるフライアッシュ(以下、FA)は、初期ひび割れ対策として使用される。FA をコンクリートに添加することで、セメントの水和熱を抑制できるため、初期ひび割れ抑制の効果を有する。

そこで本研究では、普通コンクリートおよび FA コンクリートを用いた圧縮実験および引張実験を通して、初期ひび割れ予測に用いるヤング係数の経時変化を検討した。

2. 実験方法

本実験における普通コンクリートおよび FA コンクリートの配合を、表-1 に示す。本研究では引張ヤング係数を求めるため、図-1 に示すドッグボーン供試体および荷重装置を用いて引張実験を行った。ひずみが 10×10^{-6} 増を目安に手で引張応力を増加させ、目安のひずみに達した後、その時点におけるひずみと荷重を記録して直ちに除荷を行い、除荷時のひずみも記録した。得られた応力-ひずみ関係を線形回帰することで引張ヤング係数を求めた。

表-1 コンクリート配合

		普通	FA	
水結合材比 (W/B)		57.2%	57.2%	
FA 置換率 (内割置換)		0%	20%	
単位量	水 W	上水道水	169	170
	セメント C	OPC	295	236
	フライアッシュ FA	JIS II 種相当品	0	59
	細骨材 S	砕砂	894	904
	粗骨材 G1	砕石 2015	575	575
	粗骨材 G2	砕石 1505	385	385
	混和剤 Ad1	AE 減水剤	4.13	3.30
	混和剤 Ad2	AE 助剤	0	0.17

(単位量 : kg/m^3)

また、圧縮ヤング係数や圧縮強度などを求めるため、直径 100mm×高さ 200mm の円柱供試体を用いて圧縮実験を行った。圧縮実験でも先述の引張実験と同様、ひずみ 10×10^{-6} 増を目安に荷重・除荷を繰り返しながらひずみと荷重を記録した。引張実験ではドッグボーン供試体が破壊するまで荷重したが、圧縮実験では、ひずみが 100×10^{-6} に達した段階(供試体が破壊していない段階)までの荷重時と除荷時の記録を行った。その後、JIS

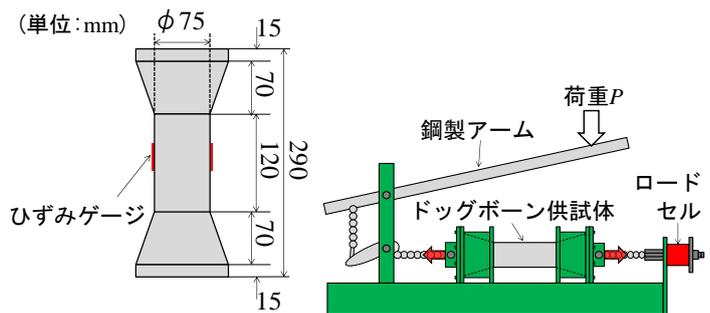


図-1 ドッグボーン供試体寸法および荷重装置

A 1149 に準拠した荷重方法でも同一の供試体で圧縮実験を供試体が破壊するまで行い、圧縮強度を算出した。荷重速度を毎秒 $0.1 \sim 0.3 \text{N/mm}^2$ の範囲とし、荷重 10kN 増を目安にひずみと荷重を記録した。圧縮実験で得られたデータを用いて、引張実験と同様の算定方法で圧縮ヤング係数(割線係数)を求めた。また、ひずみが 50×10^{-6} の点と圧縮強度の 1/3 となる点との割線の傾きから、圧縮ヤング係数(線形係数)を算定した。なお、実験を行った材齢は 2, 3, 5, 7, 8, 10, 12, 14, 16, 17, 21, 28 日であり、FA コンクリートにおいても同じ材齢で同様の実験を行った。

キーワード 若材齢コンクリート、ヤング係数、水セメント比、フライアッシュ

連絡先 〒737-8506 呉市阿賀南 2 丁目 2 番 11 号 呉工業高等専門学校 三村教員室 TEL:0823-73-8476

3. 実験結果

引張実験により得られた応力-ひずみ関係の例を、図-2 に示す。ここで示すひずみとは、荷重時のひずみから除荷時のひずみを除去したものである。FA コンクリート、普通コンクリートともに、応力とひずみの関係は概ね線形性を示した。引張実験と同様の方法で行った圧縮実験によっても同様の応力-ひずみ関係が得られた。したがって、これらの応力-ひずみ関係を線形回帰し、その傾きから引張ヤング係数および線形係数を求めた。

引張実験、圧縮実験で得られた引張ヤング係数、割線係数および線形係数を図-3 に示す。多少ばらつきはあるものの、普通コンクリート、FA コンクリートともに、線形係数と引張ヤング係数の値が同等であった。既往の研究¹⁾により、引張ヤング係数と圧縮ヤング係数の違いは応力レベルによる可能性が指摘されている。そのため、本稿では以下から、線形係数は引張ヤング係数と同等であるとして考察するものとする。線形係数と一般的に用いられる割線係数を比較すると、すべての材齢において割線係数より線形係数が大きく、割線係数に対して線形係数は 8~16%大きかった。この差は、既往の研究¹⁾と同様で、引張と圧縮の応力レベルによるものと推察することができ、FA コンクリートについても同様の傾向があることを確

認できた。本研究および既往の研究¹⁾で得られた圧縮強度とヤング係数の関係を、図-4 に示す。なお、実験結果の回帰には、式(1)を用いた。

$$E(t) = k\sqrt{f'(t)} \quad \text{式(1)}$$

ここに、 $E(t)$: (有効)ヤング係数、 $f'(t)$: 圧縮強度、 k : 定数を表す。

図-4 に示すように、実験結果の回帰により、定数 k は 6260 となった。W/C=57.2%の配合が W/C=62.5%の配合より、若干ながらも下回った結果となったが、いずれも式(1)による計算値の±10%の範囲内であった。なお、コンクリート標準示方書[設計編]²⁾では、定数 $k=4700$ が示されており、本研究の実験結果の回帰より得られた 6260 より 25%程度小さいものであった。これは、 $k=4700$ が応力緩和の影響を考慮した有効ヤング係数を対象としているためであると考えられる。

4. まとめ

本研究で得られた知見を、以下に要約する。

- (1) すべての材齢において、普通コンクリート、FA コンクリートともに、一般的にコンクリートのヤング係数として用いられる割線係数よりも線形係数の値の方が 8~16%大きかった。
- (2) 水セメント比の差が 10%程度や内割置換率 20%の FA の差であれば、得られる線形係数は同様の傾向となり、±10%の範囲で一つの式で圧縮強度との関係を表すことができた。

参考文献

- 1) 山田浩司, 三村陽一, 堀口 至: 若材齢コンクリートのヤング係数に関する引張・圧縮実験, 第 67 回土木学会中国支部研究発表会概要集, 2015
- 2) 土木学会: 2013 年制定, コンクリート標準示方書[設計編], 2013

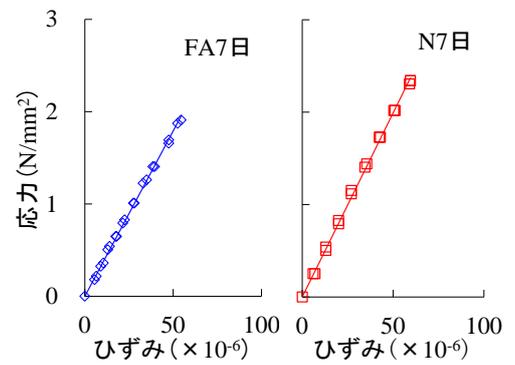


図-2 応力-ひずみ関係 (引張実験)

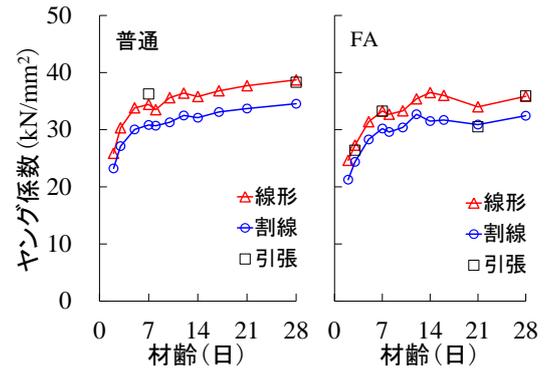


図-3 ヤング係数の経時変化

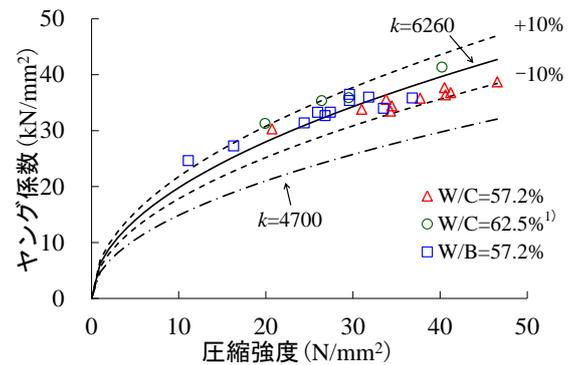


図-4 ヤング係数と圧縮強度の関係