研究成果報告書

研　究　題　目		フライアッシュによるコンクリート初期ひび割れ抑制の定量評価	実 施 年 度 ２５　年度
代表研究者	所属	呉工業高等専門学校　環境都市工学科	
	氏名	三村　陽一　　印	

１．研究の目的・背景

コンクリート分野では，初期の水和熱(セメントと水の化学反応により生じる反応熱)に起因したひび割れ(初期ひび割れ)がしばしば問題となっている．セメントの一部をフライアッシュ(以下，FA)に置き換えることで，水和熱の低減が可能となり，初期ひび割れを抑制できる．こうした初期ひび割れは，一般的なコンクリート構造物でも発生しうるものである．したがって，FA の初期ひび割れ抑制効果を定量的に示すことができれば，コンクリート分野において，さらなる積極的な FA の有効活用を促進することができる．

コンクリートに発生する過度なひび割れは，構造物の長期的な耐久性あるいは使用性能を著しく損なう主な要因となる．コンクリート構造物を設計・施工するうえで，ひび割れの抑制・制御は極めて重要な課題のひとつである．近年のコンクリート構造物は，大型化・高強度化・急速施工化が顕著であり，従来にも増してセメント系結合材の使用量が多くなり，初期の水和熱に起因した初期ひび割れがしばしば問題となっている．そこで，セメントの一部を FA に置き換えることで，水和熱の低減が可能となることから，初期ひび割れの抑止を図ろうとするものである．

電力需要の増加に加え，原子力発電所の相次ぐ運転停止により，石炭火力発電所からの FA 排出量も増加傾向にある．このような FA をコンクリート分野で積極的に活用されることは，循環型社会形成や環境負荷低減に大きく貢献するものである．

セメントの水和熱に起因した初期ひび割れを限られた予算の中で効果的・合理的に抑制するためには，設計段階あるいは施工の事前におけるひび割れ予測が必要である．コンクリートの力学特性などの根幹となるデータは，こうしたひび割れ予測のために行われる FEM 解析の入力値となるものであることから，不可欠なものである．特に，水和熱の発生が顕著な，建設から間もない期間(若材齢期)のコンクリートは，強度などの力学特性が発現過程にある．したがって，初期ひび割れ予測を適切に行うためには，若材齢期に時間の経過とともに発現する力学特性を，できるだけ正確に予測・評価しなければならない．特に本研究では，変形(ひずみ)から応力に換算される際に用いるヤング係数の評価方法について検討した．

２．研究成果及び考察（申請時の計画に対する達成度合を織込む）

引張ヤング係数と JIS の規定に従って求めた圧縮ヤング係数(割線係数)を**図-1** に示す. FA を混和していない一般的なコンクリート(普通コンクリート)の引張ヤング係数は, JIS に規定される方法で求めた割線係数より 16～29%大きかった．FA を混和した FA コンクリートでは，割線係数に比べて引張ヤング係数の方が小さい傾向にあったが，材齢 7 日では引張ヤング係数の方が 9%大きかった．これはヤング係数の算定方法の違いや，ヤング係数算定時の応力・ひずみレベルの違いによると考えられる．

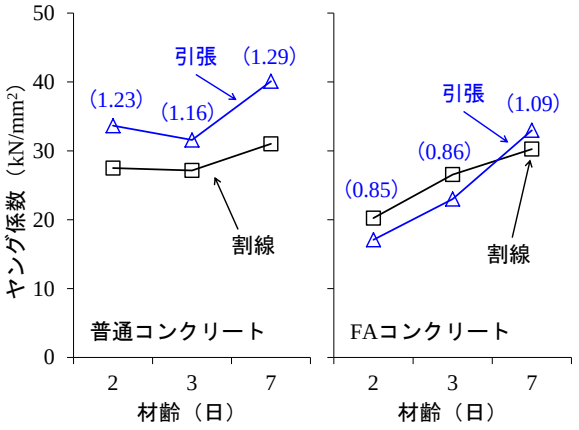

図-1　各材齢のヤング係数

そこで，圧縮試験で得られた応力－ひずみ関係を，3 次式($\sigma=a\cdot\varepsilon^3+b\cdot\varepsilon^2+c\cdot\varepsilon$)で回帰し 3 次式の各係数を求めた．その結果を**図-2** に示す．なお，**図-2** に示す線形係数とは，引張ヤング係数算定と同等のレベルまでの応力－ひずみ関係を線形回帰して求めたものである．なお係数 c は，応力－ひずみ曲線の初期接線の勾配を表す．**図-2** に示すように，普通コンクリートでは，線形係数・引張ヤング係数が係数 c の±5%の範囲内にあった．また，FA コンクリートでは，係数 c より引張ヤング係数が小さくなる傾向にあり更なるデータの蓄積が必要であるが，線形係数は概ね±5%の範囲内にあった．**図-3** に示すように係数 c と圧縮強度には相関関係があった．以上の結果から，特殊な設備を必要とする引張実験ではなく，一般的な圧縮試験により初期ひび割れ予測に用いるヤング係数の評価できる可能性がある．

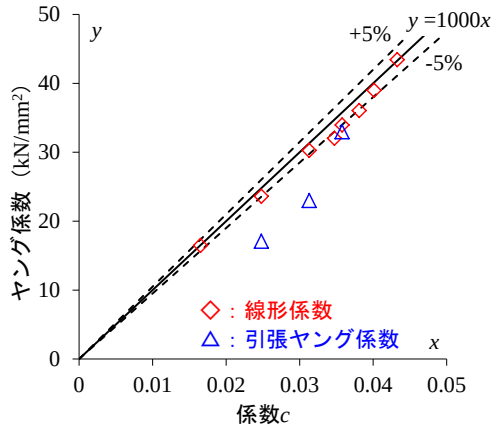

図-2　係数 c とヤング係数の関係

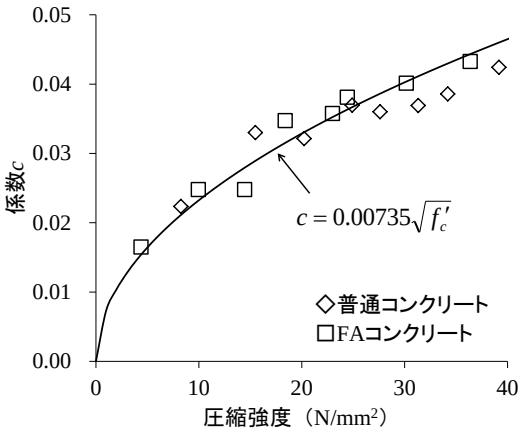

図-3　圧縮強度と係数 c の関係

なお，引張ヤング係数について当初予定より詳細な検討を行ったため，引張強度の評価にまでは至らなかった．

３．経費の使用状況（申請時の計画に対する実績を記述）

本研究における経費の使用状況を以下の表に示す.

	申請時(千円)	実績(千円)
設備備品費(ドッグボーン型枠兼載荷治具)	300	360
消耗品(ひずみゲージ)	160	26
旅　費	40	14
合　計	500	400

４．将来展望（今後の発展性、実用化の見込み等について記述）

初期ひび割れの予測には，入力値となるコンクリートの力学特性を適切に評価することが肝要である．引張応力推定に用いるヤング係数は引張ヤング係数であることが望ましいが，本研究の結果，一般的な圧縮試験でも適切に初期ひび割れ予測に用いるヤング係数を評価できる可能性を指摘した．その結果，特殊な装置を使用しなくても，FA などの混和材を使用した特殊なコンクリートのヤング係数評価を行うことができ，初期ひび割れ予測の高精度化を期待できるであろう.

初期ひび割れ予測における引張応力の推定には，本研究で対象としたヤング係数のみならず，コンクリートのクリープ特性についても適切に評価しなければ，過剰に安全側の予測を行うこととなる．一般にクリープによる応力緩和現象は，ヤング係数を低減することによって考慮される．FA コンクリートのクリープ特性，特に初期ひび割れの発生する若材齢期における FA コンクリートのクリープに関する研究事例はほとんどない．そこで，クリープ特性を考慮した有効ヤング係数の定量化することが今後の課題である.

FA は水和熱低減による初期ひび割れ抑制効果を期待できる．事前予測により FA の効果を定量的に示すことができれば，コンクリート分野における FA の有効活用がより積極的となり，資源循環の活性化に貢献できると考えられる.

５．成果の発表（学会での発表、学術誌への投稿等を記載。予定を含む）

1) 三村陽一，吉武　勇，堀口　至：初期ひび割れ予測に用いるヤング係数に関する実験的検討，コンクリート工学年次論文集，Vol.35，2014（掲載決定）