

フライアッシュコンクリートの初期強度発現の温度依存性の評価

函館工業高等専門学校 社会基盤工学専攻 学生会員 ○松倉 光輝
 函館工業高等専門学校 社会基盤工学科 正会員 澤村 秀治

1. 目的

フライアッシュをコンクリート用混和材として適切に用いると、コンクリートの耐久性の改善、マスコンクリート対策としての水和熱の低減などのメリットが期待できる。しかし、フライアッシュのポゾラン反応は緩やかに進行するため、強度発現が遅いことがフライアッシュコンクリートの有効利用の妨げになっている。特に北海道は積雪寒冷地であるため強度発現のさらなる遅れは避けられない。そこで本研究では、寒冷時におけるフライアッシュコンクリートの強度発現特性を明らかにするために、初期温度を低くしたコンクリートの強度発現を超音波によって計測した。

その結果、寒冷時におけるフライアッシュコンクリートの初期強度発現の温度依存性を定量的に評価することができた。

2. 実験概要

2.1 実験の要因・コンクリートの配合

本研究では、寒冷地におけるフライアッシュコンクリートの温度依存性の評価を行うために、フライアッシュ置換率と打設時の温度の2つを実験要因として超音波伝播速度の計測を行い、フライアッシュコンクリートの特性を評価することとした。フライアッシュ置換率は0%、10%、20%、30%（今後それぞれFA00、FA10、FA20、FA30と表記）とした4水準に加え、打設温度を10℃、15℃、20℃の3水準の計12水準で実施した。また、コンクリートの配合は水セメント比及び細骨材率をフライアッシュ置換率に関わらず同じとして比較、評価を行った。表1に本研究で使用したコンクリートの配合、表2に使用した材料を示す。

表1 コンクリートの配合

配合名	FA	W/C	s/a	単位質量(kg/m ³)							打設温度 °C
	%	%	%	W	C	FA	S	G	減水剤	AE助剤	
FA00-10	0			165	300.0	0.0	715.4	1101.7	3.00	1.500	10
FA00-15											15
FA00-20											20
FA10-10	10			162	265.1	29.5	716.8	1103.9	2.95	2.945	10
FA10-15											15
FA10-20											20
FA20-10	20			158	229.8	57.5	720.1	1108.9	2.87	4.309	10
FA20-15											15
FA20-20											20
FA30-10	30			155	197.3	84.5	721.8	1111.5	2.82	5.636	10
FA30-15											15
FA30-20											20

表2 使用材料一覧

名称	仕様等	密度 g/cm ³
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16
混和材（フライアッシュ）	北海道産フライアッシュ	2.32
細骨材	瀬棚産天然砂	2.63
粗骨材	峯郎産碎石2005	2.70
AE減水剤	Pozzolith 78S	1.10
AE助剤	micro-air 101	1.00

2.2 供試体及び測定方法

実験に用いる供試体は200mm×150mm×150mmの型枠に打設直後のコンクリートを流し込み、締固めて作成した。その後供試体を測定器にセットし、超音波伝播速度の経時変化を超音波計測システムにより計測した。超音波計測システムは超音波速度測定器と計測制御・データ収録用のノートPC、コンクリート温度測定用のデジタルデータロガー、プローブを装着したコンクリート供試体に一定の温度環境を与える恒温・恒湿槽から構成されている。また、計測期間や計測間隔は超音波計測システムにより制御し、計測間隔を10分、計測期間を有効材齢で7日間として計測を行った。なお、この超音波計測システムは平成18年度と平成19年度に本研究室で行われた実験結果において、超音波速度と動弾性係数に関係性があることが確認されており、定量的に評価することができる。[1]

キーワード フライアッシュ、初期強度発現、アレニウスプロット、有効材齢、温度依存性

連絡先 〒042-8501 北海道函館市戸倉町14-1（函館工業高等専門学校） TEL0138-59-6489

3. 実験結果及び考察

3.1 有効材齢による温度依存性の評価

はじめに、温度によるコンクリートの強度発現の促進・遅延の影響を考慮するため有効材齢の理論を用いた温度依存性の評価を行った。有効材齢とは、水和反応に及ぼす影響を養生温度 20°C の場合の水和温度と等しくなるように換算した材齢である。アレニウス反応速度則に従うため、コンクリート温度 20°C のときの反応速度を基準反応速度とする。なお、コンクリート標準示方書では、この活性化エネルギーに相当する値を一律に 4000 としている。[2]

この解析理論を用いてフライアッシュ置換率ごとの超音波伝播速度と有効材齢のグラフを作成し、FA00, FA10 のグラフにおいて温度依存性を評価できた。しかし、FA20 と FA30 については、図 1 の左グラフに示すように温度ごとにばらつきが生じており、十分に温度依存性を評価できなかった。そこで、活性化エネルギーを変更して一致するものを探したところ、FA20 の場合 5200 で図 1 の右グラフのように一致した。FA00, FA10 の場合は活性化エネルギー 4000 で理論通り同一線上にグラフが作成できたことから、配合によって適切な活性化エネルギーが変化すると考えた。よって、有効材齢を用いる際、フライアッシュ置換率によって活性化エネルギー 4000 ではなく、十分に温度依存性を評価できる適切な値を採用することを提案する。

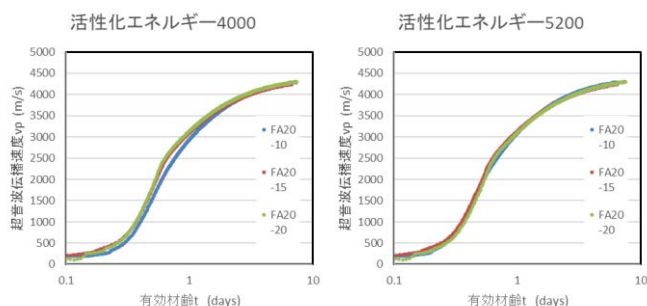


図 1 超音波伝播速度と有効材齢の関係 (FA20)

3.2 アレニウスプロットによる温度依存性の評価

式 1 はアレニウスプロットの式を示しており、コンクリートの水和反応による温度変化と反応速度の関係性を定量的に表すために用いた。この式を用いて FA00, FA10, FA20, FA30 の 4 条件のもと超音波速度 v_p を 300m/s~4000m/s の区間で、100m/s ごとに、縦軸に超音波変化率の対数、横軸に絶対温度の逆数

と、縦軸に超音波変化率の対数、横軸に絶対温度の逆数を取り、アレニウスプロットを作成した。それぞれのアレニウスプロットは、良好な直線性を示した。

次に、打設箇所の温度条件による強度発現を推定するため、図 2 に示すように超音波伝播速度 v_p の軸をとった三次元曲面化したアレニウスプロットをフライアッシュ置換率ごとに作成した。この三次元推計モデルから超音波伝播速度を求める際は、推計モデルを多項式近似し、任意の温度履歴と超音波伝播速度から得られる超音波伝播速度変化率 $\ln(dv_p/dt)$ の対数を取り、積分することで求めることができる。

$$\ln\left(\frac{dv_p}{dt}\right) = \ln\left(\frac{dv_p}{dt}(T_s, v_p)\right) - \frac{E(v_p)}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right) \quad \text{式 1}$$

$-E(v_p)/R$: 活性化エネルギー ($\text{m}^\circ \text{K/s} \cdot \text{h}$)
 T_s : 基準温度 ($^\circ\text{C}$)

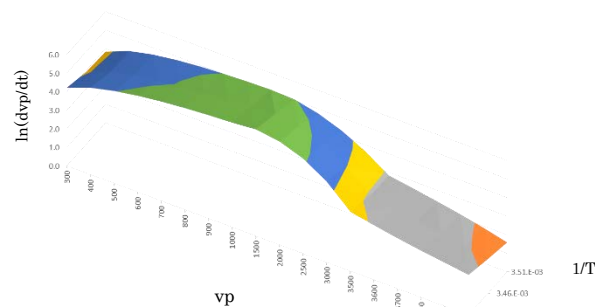


図 2 曲面表示したアレニウスプロット (FA20)

4. 結論

本研究では、寒冷地におけるフライアッシュコンクリートの初期強度発現の温度依存性をアレニウスプロット、有効材齢の理論を用いて評価した。本研究で得られた結論を要約すれば次の 3 点となる。①有効材齢から初期強度発現の温度依存性の評価を行った。②フライアッシュ置換率を変えた場合には、それぞれ適切な活性化エネルギーが存在することが明らかとなった。③曲面化推計モデルを作成し、温度履歴と任意の超音波伝播速度から、温度依存性を考慮した超音波伝播速度を得ることができた。

参考文献

- [1] 澤村秀治：超音波伝播速度による若材齢コンクリートの強度発現・弾性係数の評価方法に関する研究，2008.3
- [2] 土木学会，2017年制定コンクリート標準示方書【設計編】