

## 超音波によるフライアッシュコンクリートの若材齢時強度発現の温度依存性の評価

函館工業高等専門学校 社会基盤工学科 正会員 ○澤村 秀治  
東京ガス(株) 大清水知穂

函館工業高等専門学校 環境システム工学専攻 学生員 熊城 圭佑

### 1. はじめに

フライアッシュを効果的に使用したコンクリートは、硬化体組織が緻密になりコンクリート構造物の耐久性向上に寄与するが、緩慢なポゾラン反応のため初期強度発現が遅いという認識が強く、利用促進を妨げる要因となっている。そこで本研究では、フライアッシュを使用したコンクリートの初期強度発現特性を精密に調べるために、超音波計測システム<sup>[1]</sup>によって3水準の温度条件で強度発現を測定し、有効材齢およびアレニウスの反応速度則によって、若材齢時強度発現の温度依存性を評価することとした。

### 2. 実験概要

本研究では、フライアッシュ (FA) を添加したコンクリートの若材齢時強度発現の温度依存性について、3水準のFA置換率 (0%, 15%, 30%), 3水準の温度 (10°C, 20°C, 30°C) を組み合わせた9ケースの超音波計測により評価した。表1に本研究で用いた材料、表2にコンクリートの配合を示す。

超音波による若材齢時強度発現試験の供試体を、図1に示す。あらかじめ超音波プローブをセットした型枠にコンクリートを打設し、直後から超音波速度の変化を計測した。また、コンクリート温度は表面と中心部に設置した熱電対により測定した。

### 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

式1に、土木学会コンクリート標準示方書 (設計編) で用いられる有効材齢を示す。有効材齢は、アレニウスの反応速度則において活性化エネルギーを反応レベルに関わらず一定値として、反応速度の温度依存性を評価しようとするものである<sup>[2]</sup>。

$$t_e = \sum_{i=1}^n \Delta t_i \cdot \exp \left[ 13.65 - \frac{4000}{273 + T/T_0} \right] \quad \text{式 1}$$

$t_e$  : 有効材齢,  $\Delta t_i$  : 温度が  $T$  である時間(日)

表1 使用材料一覧

名称	仕様等	密度 (g/cm <sup>3</sup> )
セメント	普通ポルトランドセメント	3.16
フライアッシュ	北海道産フライアッシュ	2.31
粗骨材	峯郎産砕石2005	2.67
細骨材	瀬棚産天然砂	2.61
混和剤	No.78	1.07
助剤	micro-air101 (1000倍希釈)	1.0

表2 コンクリートの配合

配合名称	W/C		単位質量(kg/m <sup>3</sup> )						
	%	s/a	W	C	FA	S	G	減水剤	AE剤
FA00	55	43	165	300	0	769	1047	3	1.32
FA15			162	295	44.2	769	1046.0	2.95	1.296
FA30			159	289	86.7	768	1046	2.89	1.272

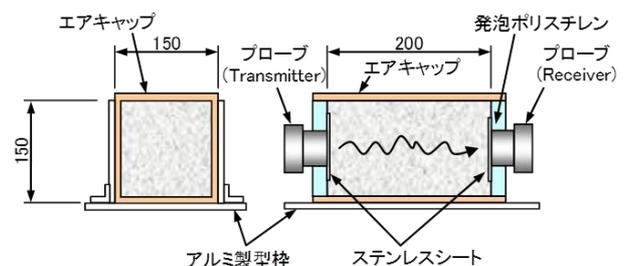


図1 供試体の概要

図2に、例としてFA15の超音波速度と実材齢の関係を示す。実材齢では、コンクリート温度の違いが、超音波速度の上昇、すなわち強度発現に著しく影響を及ぼすことがわかる。図3にFA15の超音波速度と有効材齢の関係を示す。材齢を有効材齢で表すことにより、コンクリート温度が異なっても、3本の超音波速度上昇曲線は概ね一つのラインに集まり、有効材齢によって温度依存性をある程度評価できることがわかる。しかし、中では10°Cの曲線がラインから外れるなど、その精度は十分とは言えない。

#### 3.2 アレニウスプロットによる温度依存性の定量化

実験より得られた超音波速度の変化のデータから超音波速度変化率を求め、またその時の温度データを抽出し、超音波速度変化率の対数を縦軸、絶対温度の逆数を横軸としてアレニウスプロットを作成した。式2は、超音波速度変化率の対数と絶対温度の逆数

キーワード フライアッシュ, 超音波計測, 温度依存性, 有効材齢, アレニウスプロット

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 社会基盤工学科 TEL:0138-59-6489

の関係を示す直線の式であり、いわゆるアレニウスプロットである<sup>[3]</sup>。例として、FA15のアレニウスプロットを図4に示す。また、このアレニウスプロットを連続的に3D表示したものを図5に示す。超音波速度のアレニウスプロットは良好な直線性を示し、それらの線形回帰から活性化エネルギーと基準超音波速度変化率を求めることができる。

$$\ln\left(\frac{dV_p}{dt}\right) = \ln\left(\frac{dV_p}{dt}(T_s, V_p)\right) - \frac{E(V_p)}{R}\left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_s}\right) \quad \text{式2}$$

$V_p$ : 超音波速度(m/s)  
 $T$ : 絶対温度(°K)  
 $-E(V_p)/R$ : 活性化エネルギー(m/s・°K/day)  
 $T_s$ : 絶対温度(293°K=20°C)

### 3.3 強度発現の温度依存性のモデル化

図5のように活性化エネルギーと基準超音波速度変化率をモデル化すれば、式2に現在時刻の超音波速度と温度を与えることにより、このときの超音波速度変化率を求めることができる。これによって、温度依存性を完全に考慮したフライアッシュコンクリートの強度発現の評価が可能となる。

### 4. まとめ

フライアッシュ置換率と温度を要因とした若材齢時超音波計測の実験結果より、以下の知見を得た。

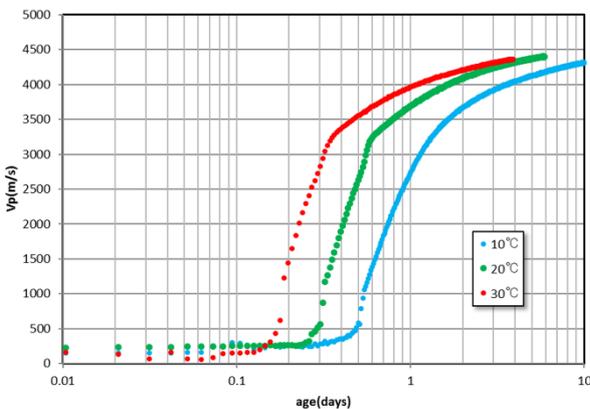


図2 超音波速度と実材齢の関係(FA15)

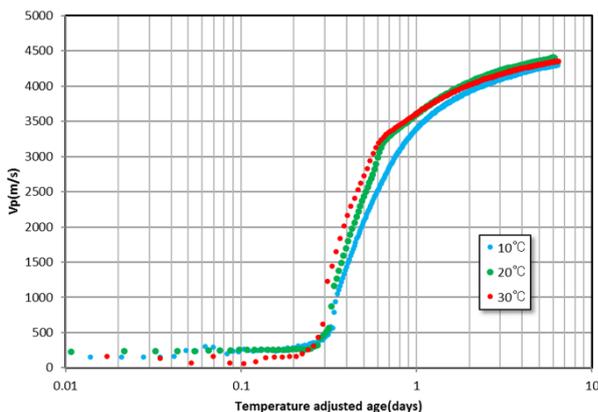


図3 超音波速度と有効材齢の関係(FA15)

- ① 有効材齢によって温度依存性をある程度評価できるが、その精度は十分とは言えない。
- ② アレニウスプロットによって得られた回帰直線より求まる活性化エネルギーと基準超音波速度変化率から、アレニウスの式より超音波速度の変化、強度発現の温度依存性をモデル化できる。
- ③ 本報告ではFA15を例として示したが、フライアッシュ置換率の異なるデータについても同様の分析を行い、フライアッシュ置換率が超音波速度の変化、強度発現に及ぼす影響を確認した。

### 参考文献

- [1] 澤村秀治・須藤卓哉・丸山久一・永島裕二：超音波伝播速度による水和熱抑制型膨張コンクリートの強度発現特性の評価，コンクリート工学年次論文集，第29巻，pp.705-710，2007.7
- [2] Anton K. Schindler：Effect of Temperature on Hydration of Cementitious Materials, ACI Material Journal, VOL.101 No.1, pp.72-81, January-February 2004
- [3] 岡村甫，前川宏一，小澤一雅：ハイパフォーマンスコンクリート，技報堂出版，pp.140-149,1997.6

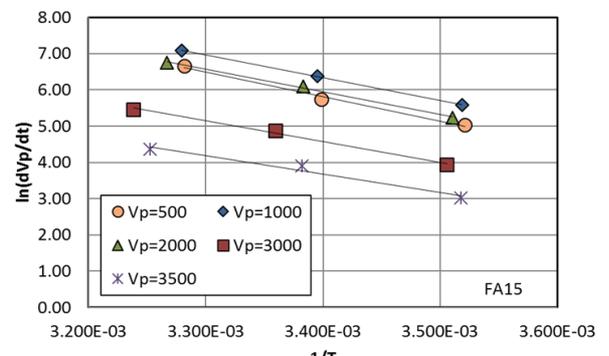


図4 アレニウスプロット(FA15)

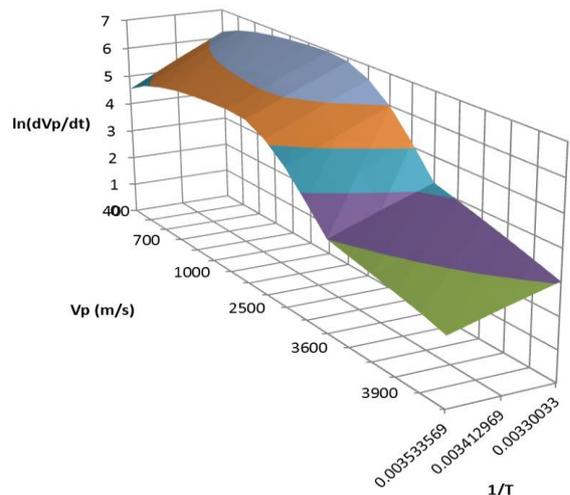


図5 アレニウスプロットの3D表示(FA15)