超音波伝播速度を用いたコンクリートの剛性変化推定モデルの精度に関する検討

A Study on an Accuracy of the Estimation Model of Hardening Behavior in Concrete by Ultrasonic Wave Velocity

函館工業高等専門学校 環境システム工学専攻 〇学生員 須藤 卓哉 (SUDO Takuya) 函館工業高等専門学校 環境都市工学科 正 員 澤村 秀治 (SAWAMURA Shuji) 函館工業高等専門学校 環境都市工学科 正 員 橋本紳一郎 (HASHIMOTO Shinitirou) アイレック技建㈱ 営業開発本部 永島 裕二 (NAGASHIMA Yuji)

1. はじめに

これまで筆者らは、若材齢コンクリートの強度発現・ 剛性変化性状を、超音波伝播速度による連続自動計測で 評価することを試みてきた. そのなかで, 高温時に反応 が遅延するという特殊な温度依存性を有する水和熱抑制 型膨張材を用いた膨張コンクリートの強度発現特性を, 超音波伝播速度の変化を介して、非線形アーレニウスプ ロットによってモデル化できることを示している¹⁾. こ の剛性変化推定モデルは、一定温度で養生した供試体に おける超音波伝播速度の変化のデータを基に作られてい るが、実際のコンクリート構造物、特にマスコンクリー ト構造物においてコンクリートは激しい温度変化を受け るため、このような温度履歴下での推定精度について確 認する必要がある.本研究では、普通コンクリートおよ び膨張コンクリートの供試体に、実構造物のような温度 変化を強制的に与えながら超音波伝播速度の変化を計測 し、それぞれの剛性変化推定モデルの適合性について検 討した.

2. 実験概要

2.1 コンクリートの使用材料と配合

実験は、普通ポルトランドセメントのみを用いた普通 コンクリートと普通ポルトランドセメントと水和熱抑制 型膨張混和材を併用した膨張コンクリートを対象に行っ た. 表-1 に本実験での普通コンクリートと膨張コンクリ ートの配合,表-2に使用材料を示す.配合は,水結合材 比を55%とし、膨張コンクリートは普通ポルトランドセ メントに CSA 系水和熱抑制型膨張混和材をメーカー推 奨の標準使用量である 20kg/m³ 内割置換した,一般的な 収縮補償用のコンクリートである.

2.2 供試体および計測方法

実験におけるそれぞれのコンクリートの打設温度は, 普通コンリートでは、15.0℃,20.0℃,24.0℃の3水準、 膨張コンクリートでは、11.0℃、13.0℃、14.0℃、17.9℃、 18.4℃, 23.1℃, 27.0℃の7水準である.供試体は, 図-1 に示す超音波プローブをあらかじめセットした型枠にコ

ンクリートを打設する供試体を用い,写真-1に示す計測 システムによって、打設直後から恒温槽内の空気の温度 をコンピュータによって制御し、実構造物を想定した温 度変化を強制的に供試体に与え、15分間隔で超音波伝播 速度の変化を測定した.

表-1 膨張コンクリートの配合

Nama	W/C	s/a	単位質量(kg/m ³)						
Name	%	%	W	С	Ex	s	G	AE減水剤	AE助剤
TCN	55.0	41.5	168	305	0	754	1082	4.58	2.14
TCR	55.0	41.5	168	285	20	753	1081	4.58	2.14

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	3.15
膨張混和材	CSA系水和熱抑制型	2.83
細骨材	函館市豊原産天然砂	2.64
粗骨材	上磯峩朗産砕石2005	2.70
混和剤	AE減水剤標準型	1.08
助剤	空気調整剤	1.00





写真-1 超音波自動計測システム

3. 実験結果および考察

3.1 超音波伝播速度による剛性変化推定モデル

川尻ら¹⁾は、コンクリートの剛性を表すパラメータの 一つとみなすことができる超音波伝播速度の変化を,図 -1の供試体を用い,普通コンクリートで4水準,膨張コ ンクリートで10水準の温度条件で計測している.図-3, 図-5 に各温度水準におけるコンクリート温度の実測値 を示す. これらの温度履歴には、恒温槽内の温度を一定 に保っているものの、水和熱の影響による若干の温度上 昇が含まれている.これらの温度履歴データ,および超 音波伝播速度の計測値を用い、普通コンクリートと水和 熱抑制型膨張コンクリートの強度発現・剛性変化の温度 依存性を、アーレニウスの反応速度則を適用しモデル化 することができる. 図-4, 図-6は, 超音波伝播速度別に 3 次式で近似したアーレニウスプロットを補間したもの である. 普通コンクリートではアーレニウスプロットが 直線になり平面を捻ったような形状になるが、水和熱抑 制型膨張コンクリートは、特殊な温度依存性を有するた めアーレニウスプロットが直線にならず、全体としてド ーム型の形状となる.この曲面は、ある任意の時刻の超 音波伝播速度 Vp とその時刻のコンクリートの絶対温度



図-4 曲面化した超音波伝播速度と多項式近似した アーレニウスプロットの関係(普通コンクリート)

の逆数 1/T を代入すると、その時刻での超音波伝播速度 変化率 $\ln(dV_{P}/dt)$ を求めることができる計算モデルであ る. さらに得られた $\ln(dV_{P}/dt)$ の対数をはずし、時間で 積分することにより超音波伝播速度 V_{P} の変化を算出で きる. 実際の計算では、式-1 のようにある任意の時刻の 超音波伝播速度 $V_{P0}(t_{0})$ を初期値として一定の時間刻み t_{i} ごとに $\ln(dV_{P}/dt)$ *i* を求め、式-1 のように積算し、温度 履歴を考慮した超音波伝播速度の変化を推定できる.

$$V_{P} = \sum_{i=1}^{n} \left(\frac{dV_{P}}{dt} \right)_{i} \cdot \Delta t_{i} + V_{P0}(t_{0}) \quad \text{$\vec{\textbf{x}}$-1}$$

3.2 実構造物の温度条件での推定モデルの適合性

実際のマスコンクリート構造物では、コンクリート自 身は水和熱によって大きな温度変化を受ける.そこで、 実構造物の温度変化条件における超音波伝播速度による 剛性変化推定モデルの精度を確認することを目的とし、 供試体に強制的な温度変化を与えた実験を行った.図-7、 図-8 に、普通コンクリート、膨張コンクリートそれぞれ の供試体の温度履歴を示す.供試体に与えた温度変化は、 実構造物を想定した FEM 温度解析結果を参考に決めて おり、ピーク温度は打込み温度プラス 23℃としている.



図-6 曲面化した超音波伝播速度と多項式近似した アーレニウスプロットの関係(膨張コンクリート)

3.2.1 普通コンクリート

普通コンクリートの超音波伝播速度の推定値と実測値 の比較を図-9,図-10,図-11に示す.図-4の計算モデル による超音波伝播速度の変化の推定結果は,強制温度変 化を与えた供試体の実測値とよく一致している.供試体 に図-3のような一定温度を与えた実験結果を基に作成 した超音波伝播速度推定モデル(図-4)によって,図-7 に示す図-3と全く異なった温度履歴を受けるコンクリ ートの超音波伝播速度の変化を推定できることが分かる.

3.2.2 水和熱抑制型膨張コンクリート

水和熱抑制型膨張混和材を用いた膨張コンクリートの 推定値と実測値の比較を図-12 に示す.推定モデルは, 全体として超音波伝播速度の変化の大まかな傾向は捉え ることはできるものの,普通コンクリートに比べ推定精 度は十分でなく,コンクリート温度が高いほど精度が低 下する傾向が認められた²⁰.水和熱抑制型膨張コンクリ ートは,若材齢の高温領域で強度発現が著しく遅延する という特殊な温度依存性を有しており,図-6の計算モデ ルを作成する基となった温度履歴(図-5)と全く異なっ た温度履歴(図-8)を受ける場合には,その特殊な温度 依存性のため,十分な推定精度が得られないのではない











図-11 実測値と推定値の比較(普通コンクリート, 24.0℃)



平成19年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第64号

かと考えている.精度を向上させるためには,さらに温 度の範囲を広げた実験データを加え,計算モデルに取り 入れることが必要である.

3.3 アーレニウスプロットの比較

図-13 に普通コンクリートにおける超音波伝播速度 V_P が 1000(m/s)の時の一定養生温度条件下と強制温度変化 条件下でのアーレニウスプロットの比較を,図-14 に膨 張コンクリートのおける超音波伝播速度 V_Pが 1000(m/s) の時の一定養生温度条件下と強制温度変化条件下でのア ーレニウスプロットの比較を示す.

普通コンクリートにおいては、一定養生温度の実験結 果を基に作られた超音波伝播速度のアーレニウスプロッ トと、図-7のような強制的な温度履歴を与えた場合の実 験結果を基にしたアーレニウスプロットは概ね重なって いる.このことより、普通ポルトランドセメントのみを 用いたコンクリートでは、コンクリートが受ける温度履 歴が異なっても、超音波伝播速度のアーレニウスプロッ トは等しくなると予想され、図-10から図-12に示したよ



うに,計算モデルが実測値をうまく再現できることを裏 付けるものとなっている.

一方,膨張コンクリートのアーレニウスプロットは直線にならず,また,一定温度条件下(図-3)の実験結果を基にしたアーレニウスプロットと,強制的な温度履歴(図-8)を与えた実験結果を基にしたアーレニウスプロットは大きく乖離し,強制温度変化を与えた場合には,超音波伝播速度変化率 dV_P/dtの値が全体として大きいことがわかる.そのため,図-12 においては,推定値が実測値を大きく下回り,十分な推定精度が得られない.水和熱抑制型膨張コンクリートのアーレニウスプロットは,同じ超音波伝播速度 V_Pの水準でも,コンクリートが受ける温度履歴によって異なるものとなる.

4. まとめ

コンクリート供試体に強制的な温度変化を与えて行っ た実験結果から,超音波伝播速度を用いたコンクリート の剛性変化推定モデルの精度および温度履歴の影響につ いて検討し,以下の知見を得た.

- ② 水和熱抑制型膨張材を添加したコンクリートは、その特殊な温度依存性のため温度履歴が違う場合には、異なったアーレニウスプロットを与える、剛性変化推定モデルの精度は十分とはいえず、今後データを蓄積し、更なる検討を加える必要がある。

謝辞:本研究は,平成 18 年度科学研究費補助金 基盤研 究(C) 課題番号:18560456(代表:澤村秀治)により遂行し たものである.ここに記して謝意を表する.

参考文献

- 川尻峻三・澤村秀治・永島裕二:超音波伝播速度による 膨張コンクリートの剛性変化推定モデルに関する研究, 平成18年度土木学会北海道支部論文報告集第63号, E-19,2007.2
- 2) 須藤卓哉・澤村秀治・橋本紳一郎・永島裕二:温度履歴 が超音波伝播速度を用いたコンクリートの剛性変化推定 モデルの精度に及ぼす影響,土木学会第62回年次学術 講演会講演概要集5-012, pp23-24, 2007.9