

V-328 圧縮応力を受けたコンクリートの破壊状況と熱情報との関係

日本大学 正会員 ○柳内 陸人

日本大学 正会員 竹内十三男

1. はじめに

コンクリートが圧縮を受けると、内部にモルタルクラックやボンドクラックなどの微小クラックが発生しこれが進展し破壊に致る。円柱型のコンクリート供試体による圧縮強度試験では、供試体の中央部が破壊され、両端には円錐状の破壊されない部分が残存する。本研究は、このようなコンクリートの円柱供試体における破壊状況を超音波測定器を使用して伝播速度の変化、また、熱赤外線センサによる熱伝導状態の変化から立証した実験報告である。

2. 実験概要

(1) 超音波の伝播速度測定

超音波伝播速度は、破壊寸前時の圧縮応力を載荷した円柱供試体の軸方向中心部と1/4 分割部の径方向の値を測定した（図-1参照）。伝播速度は、デジタル超音波測定器（周波数50kHz 縦波）を用いて測定した伝播時間と測定距離を基に、次式を用いて算定した。

$$V = L / T \quad \text{----- (1)}$$

ここに、V：超音波速度（m/s）、T：伝播に要した時間（s）、

L：測定距離（m）

(2) 赤外線センサによる表面温度測定

図-1 超音波法による測定図

熱伝導状態は、破壊寸前時の圧縮応力を載荷した円柱供試体の軸方向の中心部と1/4 分割部を径方向に切断し、その円形断面の径方向の表面温度を測定した。本研究における熱伝導状態とは、円柱供試体の径方向における2 点間の温度差から次式で求まる温度勾配である。

$$\sigma = \log_e (r_2 / r_1) / (\theta_1 - \theta_2) \quad \text{----- (2)}$$

ここに、 σ ：温度勾配、 θ ：温度（℃）、r：半径方向の距離（m）

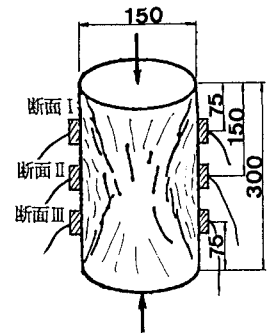
熱伝導状態は、常温時の温度測定に適している熱赤外線センサ（AGA社製の8.0～12.0 μ m に応答波長領域を持つ遠赤外線センサ）を用い、円柱供試体の軸方向中心部に挿入した棒状発熱体から供給した熱が径方向に伝導して定常状態に達した時、表面温度を測定した。

(3) 測定状況

実験に用いた供試体は $\phi 15 \times 30$ cmの円柱型であり、打設後 20 ± 3 ℃の水中で28日間標準養生したものである。使用した材料は、セメントが普通ポルトランドセメント（比重3.16）、細・粗骨材が茨城県鹿島産の陸砂（比重2.64、F.M.2.61）および陸砂利（比重2.58、F.M.7.40）、碎石は栃木県産（比重2.56、F.M.5.85）硬質砂岩である。

超音波法による測定は、川砂利コンクリート（配合：W/C=55%、C=270、300、330kg/m³、s/a=45%）を準備し、図-1に示す位置〔供試体の軸上方向1/4 分割部（断面Ⅰ）、中心部（断面Ⅱ）、軸下方向1/4 分割部（断面Ⅲ）〕に水平方向表面にグリースで圧着した発振子と受振子を対称に設置し、圧縮応力の載荷開始時から破壊時までリアルタイムに測定を行い伝播速度の算定を行った。

熱赤外線センサによる表面温度の測定は、所定の養生を行った2 種類の供試体（川砂利および碎石コンクリート）に圧縮応力をJIS A 1108に準じて破壊時まで載荷した供試体を軸上方向1/4 分割部（断面Ⅰ）およ



び中心部（断面Ⅱ）の位置でコンクリートカッターを用いて $\phi 15 \times 15 \text{ cm}$ に切断し、中心軸に沿って $\phi 1.2 \text{ cm}$ の棒状発熱体を埋め込み、 $200 \text{ kcal/m} \cdot \text{s}$ の熱を供給し、供試体の径方向への熱伝導が定常状態になった時点の上部端断面の温度分布を鉛直方向から熱赤外線センサを用いて測定を行った。

3. 実験結果および考察

(1) 超音波法による伝播速度

表-1に、川砂利コンクリート ($W/C=55\%$, $C=270$ 、 300 、 330 kg/m^3) 供試体が圧縮応力を受けた時の中心および1/4 分割部におけるリアルタイムの伝播速度変化を示した。

どの配合のコンクリートでも軸上・下方向1/4 分割部（断面Ⅰ・断面Ⅲ）が中心部（断面Ⅱ）より伝播速度が速く測定されている。

超音波の伝播速度は空気が混入している程遅くなることから1/4 分割部では中心部に比べて空気の混入が少なく、それが破壊部分が少ないことを示している。

(2) 赤外線センサによる表面温度の観測

図-2、3に、川砂利コンクリートの圧縮応力（破壊荷重）を受けた供試体を軸上方向1/4 分割部（断面Ⅰ）および中心部（断面Ⅱ）の位置でカットして $\phi 15 \times 15 \text{ cm}$ の表面温度測定用供試体を作成し、所定の熱量を与え、定常状態時の径方向の温度分布を示した。径方向の温度変化の変曲点が現れ、軸上方向1/4 分割部（断面Ⅰ）が中心部（断面Ⅱ）の変曲点より熱源から遠い位置で発生している。これは、軸上方向1/4 分割部（断面Ⅰ）の位置が中心部に比べて径方向の遠い部分であることを示している。

表-3に、図-2および3で求めた表面温度の変曲点およびその断面での超音波の伝播速度を示した。

4. まとめ

超音波の伝播速度からコンクリートの内部性状を推察することは既知されているが、これに熱赤外線センサにて観察した温度情報を

加えると、なお詳細な破壊状況を推定することができることを本実験では示された。この種の実験を蓄積することによりコンクリート内部の破壊や空隙の状態を測定する技術が確立されることになる。

参考文献

- ・圧縮応力を受けたコンクリートの温度特性 柳内 陸人、竹内十三男 土木学会 第42回年次学術講演会概要集 昭和62年9月
- ・圧縮応力を受けたコンクリートの内部性状と表面温度との関係 柳内 陸人、竹内十三男 土木学会関東支部 第16回関東支部技術研究発表会講演概要集

表-1 各断面の応力比と伝播速度の関係

圧力比	超 音 波 伝 播 速 度 (km/s)								
	C=270 (kg/m ³)			C=300 (kg/m ³)			C=330 (kg/m ³)		
	断面Ⅰ	断面Ⅱ	断面Ⅲ	断面Ⅰ	断面Ⅱ	断面Ⅲ	断面Ⅰ	断面Ⅱ	断面Ⅲ
0.00	4.82	4.81	4.82	4.82	4.82	4.84	4.81	4.78	4.79
0.10	4.84	4.82	4.84	4.84	4.84	4.87	4.82	4.79	4.81
0.20	4.85	4.84	4.85	4.85	4.85	4.90	4.84	4.81	4.84
0.30	4.87	4.87	4.85	4.87	4.87	4.92	4.87	4.82	4.85
0.40	4.89	4.89	4.87	4.89	4.89	4.94	4.89	4.85	4.88
0.50	4.90	4.90	4.88	4.90	4.89	4.95	4.90	4.89	4.90
0.60	4.92	4.91	4.89	4.94	4.90	4.97	4.92	4.90	4.93
0.70	4.93	4.93	4.95	4.95	4.90	4.99	4.93	4.92	4.97
0.80	4.94	4.94	4.94	4.97	4.92	5.00	4.96	4.93	4.99
0.90	4.85	4.81	4.85	4.87	4.85	4.89	4.87	4.82	4.85
1.00	4.78	4.67	4.78	4.79	4.76	4.81	4.76	4.72	4.78

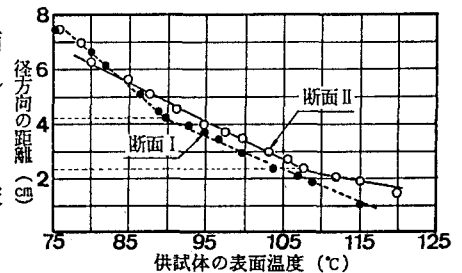


図-2 表面温度分布
(川砂利コンクリート)

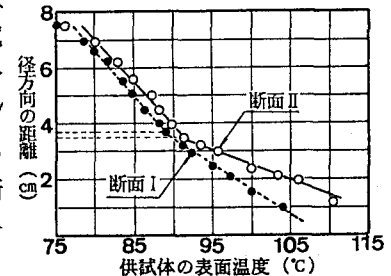


図-3 表面温度分布
(砕石コンクリート)

表-2 表面温度と超音波の伝播速度

コンクリート種類	測定断面	変曲点の位置 (mm)	変曲点の表面温度 (°C)	温度勾配 (1/°C)	超音波の伝播速度 (km/s)
川砂利コンクリート	断面Ⅰ	42.9	90.4	1.200 0.788	4.79
	断面Ⅱ	24.1	108.0	1.029 0.727	4.76
砕石コンクリート	断面Ⅰ	37.5	88.6	0.918 0.708	4.69
	断面Ⅱ	34.8	91.8	0.740 0.762	4.50