

V-24 損傷力学理論に基づいたコンクリートのAE特性の考察

福島高専 正 山ノ内 正司

1. はじめに

コンクリートの破壊におけるボンドクラックやモルタルクラックの成長過程は、変形の非線形挙動やAE事象として現れる。この内部の動的な構造変化に対応したAEの発生パターンから、強度特性や損傷度（劣化度）などを評価する試みが行われている。これまで、AE発生モデルとして、非弾性縦ひずみに関連付けられた指数型モデルや、応力レベルに関連付けられたレートプロセス理論によるモデルなどが提案されている。

本研究では、損傷力学理論に基づき、これらの力学量とは別にコンクリート内に累積した微視クラックの密度を表す内部状態量を導入することによってAE発生モデル化を行い、コンクリートの破壊過程におけるAE特性を考察する。

2. 損傷力学理論に基づいた一軸圧縮時の構成則

損傷力学理論に基づき、スカラーパラメータモデルを仮定する。ひずみ等価性の仮説によって、実質応力 σ^* と見掛け応力 σ との関係は、次のように表される（図-1）。

$$\sigma = \sigma^* (1 - \Omega) \quad \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 Ω は、クラック進展に伴う有効面積の減少度を表す損傷変数である。また、上式より、非弾性縦ひずみ ϵ_p と Ω の関係は、

$$\epsilon_p = \epsilon \Omega \quad \dots\dots\dots (2)$$

となる。

ここで、損傷変数 Ω を導入しているため、損傷場の発展式を仮定する必要がある。本研究では、各種実験データに基づき、損傷変数 Ω と非弾性縦ひずみ ϵ_p の関係を次のように仮定する（図-2）。

$$\Omega = \alpha \epsilon_p^\beta \quad \dots\dots\dots (3)$$

α 、 β は、そのコンクリートの力学特性を表す固有のパラメータである。以上から、一軸圧縮時における構成則は、

$$\sigma = E \left[\epsilon - (\alpha \epsilon)^{\frac{1}{1-\beta}} \right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

となり、 $\beta = 1/2$ の場合放物線型の構成式に一致する。また、強度 σ_f は、 α 、 β 、弾性係数 E により

$$\sigma_f = E \left[\frac{1-\beta}{\alpha^{\frac{1}{1-\beta}}} \right] \beta \quad \dots\dots\dots (5)$$

と表される。

種々のコンクリートについて α 、 β を最小二乗法により決定し、上式より求められたモデル強度と実際の強度との関係を図-3に示す。両者はほぼ一致し（4）式の適合度が高いことを示している。

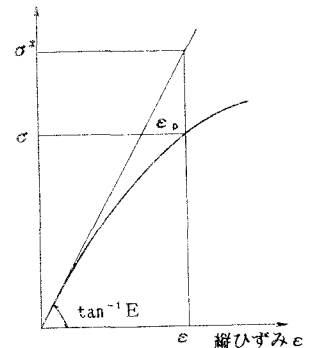


図-1

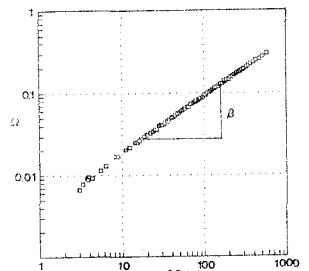


図-2 発展式

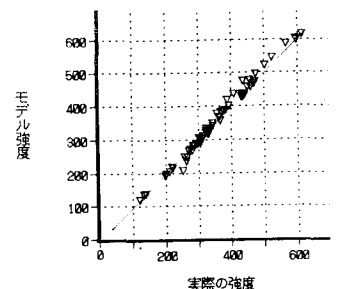


図-3 適合度の検討

3. AE発生モデル化

AE発生速度 N (AE事象率)と損傷速度の関係を次のように仮定する。

$$dN/dt = \Psi(\Omega) \cdot d\Omega/dt \quad \dots\dots\dots (6)$$

図-4は、一軸圧縮時の $dN/d\Omega \sim \Omega$ 関係を表したものである。損傷速度に対するAE発生速度の比 $dN/d\Omega$ が、急激に増加し始める点 Ω_{cr} を境にAE発生特性に大きな違いが認められる。これより、 $\Psi(\Omega)$ は、

$$\Psi(\Omega) = \begin{cases} \eta & (\Omega \leq \Omega_{cr}) \\ \eta \exp[\gamma(\Omega - \Omega_{cr})] & (\Omega > \Omega_{cr}) \end{cases} \quad \dots\dots\dots (7)$$

Ω_{cr} 以前の過程では、損傷速度とAE事象数は比例関係にあり、局所的なマイクロクラックの発生が他の要素に影響を及ぼすことなく材料全体に平均的に分散累積し、安定な構造変化が生じている。多くの場合、 Ω_{cr} に対応する応力レベルが70%前後であることから、この点は、モルタルクラックが発生し始める限界状態を表していると考えられる。

図-5に、各種コンクリートの Ω_{cr} 、 γ と強度との関係を示す。強度が低いコンクリートほど Ω_{cr} は大きくなる傾向がある。 Ω_{cr} はモルタルクラック発生時に既に累積したボンドクラックの密度に関係しており、付着力が低いコンクリートほどボンドクラックの分散密度が高く、ひずみエネルギーの開放過程が進行していると言える。更に、モルタルクラック進展時のクラックアレスト力が低く段階的なクラック成長が促進され、その結果 γ が小さくなる。

最後に、これまでの研究結果確認されているAE発生関係式 $\ln(dN/dep) = m ep + C$ と、本モデルとの関係を図-6に示す。実線は本モデルによる結果を示しており、応力レベル約20%以降最終破壊時までよく一致している。ここで、極小点は限界状態に対応しており、上式で得られるパラメータ m は、モルタルクラックが発生成長する主破壊過程の破壊特性を表していることがわかる。

4. おわりに

本文では、損傷力学理論に基づいた一軸圧縮時の構成式およびAE発生モデルを示し、いくつか有効な知見が得られた。本モデルでは、履歴載荷やひずみ(応力)速度変化時の複雑な負荷を受ける場合には適用できず、これらの問題については今後の課題である。

【参考文献】

- ・山ノ内・佐武：土木工学におけるAE研究発表会、JNDT資料 No.006-148、1988
- ・大津：土木工学におけるAE研究発表会、JNDT資料 No.006-185、1989

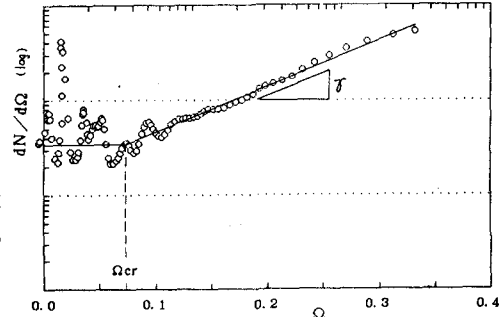


図-4 AE発生モデル関数

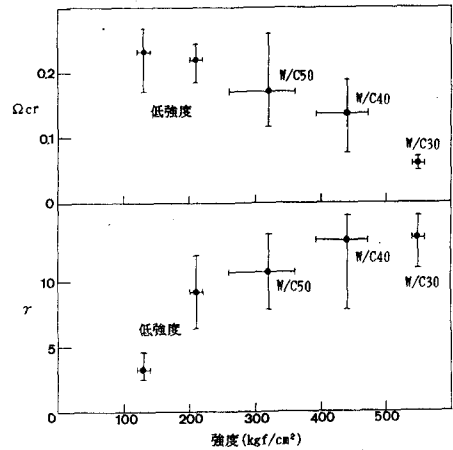


図-5 $\Omega_{cr} \cdot \gamma \sim$ 強度

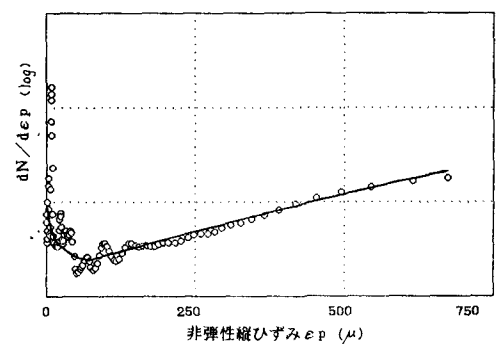


図-6 $dN/dep \sim ep$