

高速载荷を受けるコンクリート円柱供試体の飛散片に関する実験的検討

防衛大学校 学生会員 ○足立 国明 学生会員 原木 大輔 正会員 香月 智

1. 緒言

コンクリート構造物が衝突や爆発などの衝撃荷重を受ける場合、構造破壊に至る前段階として、表面剥離、裏面剥離、衝突物の貫通・貫入などのコンクリート片の飛散現象をともなう破壊形態が生じる。このような破片によって構造物周辺あるいは内部にある設備や人命の安全性を脅かす 2 次被害の可能性もある。また衝撃荷重を受けるコンクリート構造物の全体挙動に関する研究は多くあるが、飛散片に着目した研究は少ない。そこで本研究は、強度と粗骨材寸法の異なる標準供試体の急速载荷実験を行い、破壊によって生じた飛散片の性状や飛散速度について基礎的な検討を行ったものである。

2. 実験の概要

本研究では、図-1 に示すサーボ制御式急速载荷装置を用いて、直径 10cm、高さ 20cm のコンクリート円柱供試体を急速(2m/sec)で载荷し、破壊によって生じた破砕片の飛散速度、質量、粒径を計測した。以下に実験ケース、計測要領について述べる。

2.1 実験ケース

強度および粗骨材最大寸法の違いによる影響を検討するため、配合のみを実験パラメータとした。水セメント比 4 種類、粗骨材最大寸法 3 種類、これらの組み合わせ 12 種類の供試体を作成した。

2.2 計測要領

図-2 に供試体の設置状況を示す。供試体に作用する荷重は上下に取り付けたロードセルにより計測した。ひずみは左右対称に上下 2 ヶ所、合計 4 ヶ所の表面ゲージにより計測するとともに、渦電流式変位計を用いて供試体の上下端面の変位差を計測することにより、供試体の変形量を求めた。

破砕片の飛散速度は高速ビデオカメラを用いて以下の要領で計測した。図-3 に示すように、供試体から約 2m 離れた位置で破砕片の飛散を撮影した。次に、図-4 は高速ビデオカメラによって撮影された画像の一例であるが、時間ごとに水平方向座標、鉛直方向座標をプロットし、画面上の速度を求める。また画面上の速度は平面への写像であるから、実速度は次式により求められる。

$$v_x = \left\{ \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{x_{i+1} - x_i}{t_{i+1} - t_i} \right) \right\} / \cos \alpha \quad (\cos \alpha = a / \sqrt{a^2 + b^2}) \quad (1)$$

$$v_z = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{z_{i+1} - z_i}{t_{i+1} - t_i} \right) \quad (2)$$

$$v = \sqrt{v_x^2 + v_z^2} \quad (3)$$

ここで、 v_x : 水平方向の実速度、 v_z : 鉛直方向の実速度、 x_i : i 回目プロットした点の x 座標、 z_i : i 回

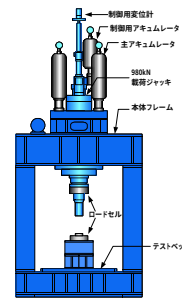


図-1 急速载荷装置の概要

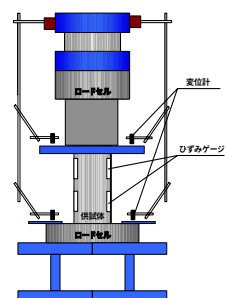


図-2 供試体設置要領

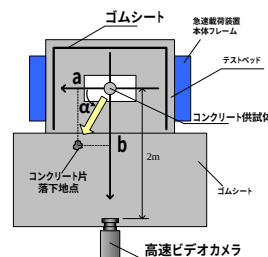


図-3 破砕片計測要領

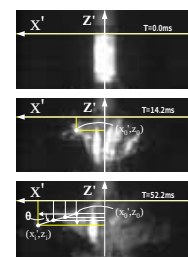


図-4 飛散片速度計測要領

目にプロットした点の z 座標、 t_i : i 回目の時間、 n : プロットした回数、 v : 破砕片の実速度、 α : 撮影平面と破砕片の飛散方向がなす角度、 a, b : 破砕片の落下位置。

3. 実験結果と考察

3.1 応力～ひずみ関係および吸収エネルギー

図-5 にはケース C20-G10 の急速载荷における応力～ひずみ関係を示す。図中の点線はひずみゲージから得られたひずみ、実線は渦電流式変位計から得られた変位をひずみに変換したものを示している。このように双方のひずみは概ね一致しており、供試体の吸収エネルギーを求める際には渦電流式変位計から得られたひずみを用いることとした。図-6、図-7 には各ケースの最大応力および吸収エネルギーを示す。図中の○は急速载荷におけるケースごとの最大応力、●はその平均値、△は静的载荷時の最大応力の平均値を表している。図-6 の最大応力は、各骨材寸法ごと、水セメント比が小さくなると一様に最大応力が大きくなっていることがわかる。また、図-7 の吸収エネルギーも水セメント比が小さくなると、大きくなる傾向があるが、逆転している場合も見受けられる。

3.2 形状分類

図-8 に、質量の 3 乗根と粒径との関係を示す。図中の点線は飛散片の形状が球である場合、実線は飛散片の短辺と長編の比が 10:1 になる場合の関係を示している。飛散片の多くは実線分布しており、その形状は球形の場合もあるが、多くは細長い形状となる。

キーワード コンクリート飛散片、急速载荷実験、飛散エネルギー

連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校 TEL:046-841-3810 FAX:046-844-5913

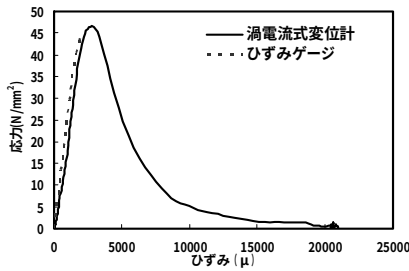


図-5 応力～ひずみ関係(C20-G10)

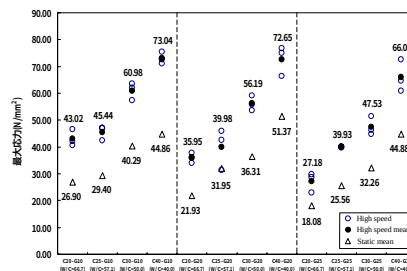


図-6 最大応力

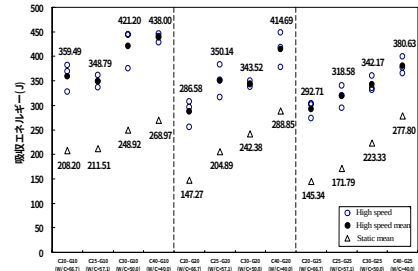


図-7 吸収エネルギー

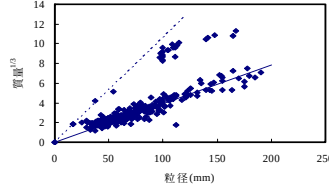
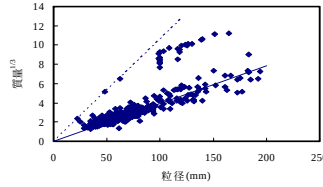
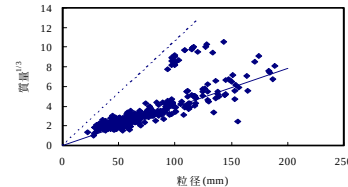
(a) $G_{max}=10mm$ (b) $G_{max}=20mm$ (c) $G_{max}=25mm$

図-8 質量～粒径関係

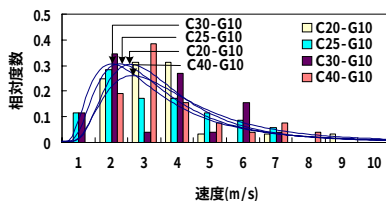
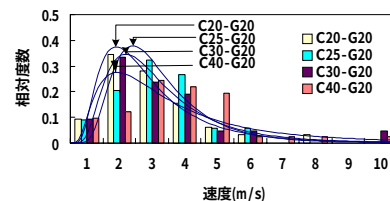
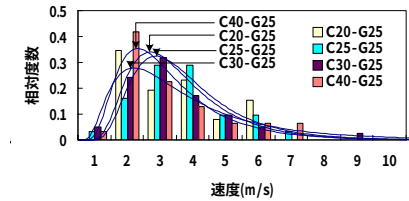
(a) $G_{max}=10mm$ (b) $G_{max}=20mm$ (c) $G_{max}=25mm$

図-9 速度分布

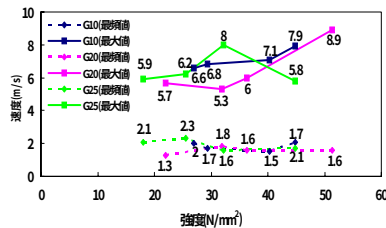


図-10 強度と飛散速度の最大値および最頻値の関係

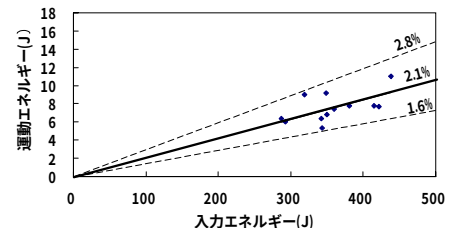


図-11 運動エネルギー～入力エネルギー関係

3.3 飛散速度

図-9 に骨材寸法ごとの速度分布を示す。また各ケースの飛散速度の頻度分布と対応する対数正規分布曲線も合わせて示す。各ケースの強度とその飛散速度の最頻値および最大値の関係を図-10 に示す。骨材寸法ごと比較すると、強度が大きいほど最大速度が大きくなる傾向があることがわかる。また、飛散速度の最頻値は1.3～2.3 (m/s)、載荷速度(端面変形速度)の2.0(m/s)程度である。最大速度は5.3～8.9(m/s)で載荷速度の2.7～4.5倍である。

3.4 飛散エネルギー

コンクリート供試体が吸収したエネルギーすなわち供試体に入力されたエネルギーのうちどの程度のエネルギーが、飛散片の運動エネルギーに変換されたのかを求める。各ケースで計測できた飛散片の有するエネルギーと飛散片全体のエネルギーの比率が、速度を計測できた個数と計測した飛散片全体の個数の比率と一致すると仮定して、飛散片全体のエネルギーを推定した。すなわち、

$$E = \sum_{i=1}^n \frac{1}{2} m_i v_i^2 \times \frac{N}{n} \quad (4)$$

E : 供試体全体の運動エネルギー, n : 速度を計測し

た破片の個数, m_i, v_i : 信頼できる速度を計測できた破片の質量とその速度, N : 回収した破片の個数。

図-11 に入力エネルギーと運動エネルギーの関係を示す。また全吸収エネルギーの2.1%ラインを実線で、1.6%, 2.8%ラインを点線で示した。点は2.1%変換ライン付近に分布しており、入力エネルギーが増加すると、運動エネルギーが一様に増加する傾向があることがわかる。

4. 結 言

本研究は、コンクリート円柱供試体を用いて急速破壊実験を行い、破壊によって生じた破片の特性について基礎的な検討を行ったものである。以下に本研究で得られた成果を示す。

- (1) 供試体の強度が大きくなると破砕片の最大速度は大きくなる傾向があり、載荷速度(端面変形速度)の2.7～4.5倍程度である。
- (2) 入力エネルギーから運動エネルギーへの変換率は1.6%～2.8%の間に分布しており、飛散片の運動エネルギーは、吸収エネルギーの2%程度である。

参考文献

- 1) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法，構造工学シリーズ 6, 1993.1