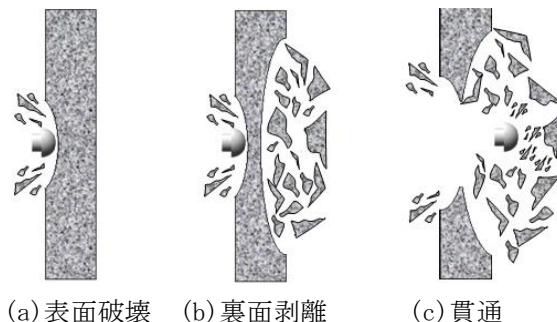


高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊に関するエネルギー論的考察

防衛大学校 学生会員 ○勇 玲菜 上野 裕稔 正会員 別府 万寿博

1. 緒言

近年、爆破テロ事件や爆発事故が多発しており、爆発によって高速で飛散するコンクリート塊や金属破片等が、人命や構造物に被害を与えている。このような被害を防ぐため、飛散物の高速衝突を受けるコンクリート構造物の防護設計法の確立が必要である。コンクリート部材が高速衝突を受けると、図-1のように、表面破壊、裏面剥離および貫通等の局部破壊が生じることがわかっている。Li ら¹⁾は、これらの破壊を飛翔体の運動エネルギーを指標として評価する方法を提案しているが、実際に実験を行って検討した研究はない。本研究は、同一の衝突エネルギー下におけるコンクリート板の局部破壊実験を行い、局部破壊と衝突エネルギーの関連性を検討したものである。



(a) 表面破壊 (b) 裏面剥離 (c) 貫通

図-1 コンクリート板の破壊モード

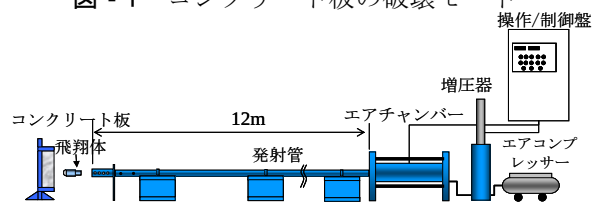


図-2 高圧空気式飛翔体発射装置

2. 実験の概要

2.1 実験装置

実験には、図-2に示す高圧空気式飛翔体発射装置を用いた。写真-1に鋼製飛翔体を示す。飛翔体は、先端形状は半球型、直径2.5cmで、質量を46g、250g、500g、1,000gと変化させた。

2.2 試験体および計測項目

コンクリート試験体の寸法は、縦50cm、横50cmで、板厚を8cm、10cmおよび13cmの3種類を作製した。コンクリートの圧縮強度は 25N/mm^2 である。実験パラメータは、運動エネルギーを $E_k=2,250\text{J}$ 、 $4,000\text{J}$ 、 $6,000\text{J}$ とし、飛翔体の質量と衝突速度を変化させ、合計24ケースの実験を行った。計測項目は、コンクリート板の貫入深さ、裏面剥離深さ、表面および裏面の破壊の直径である。貫入深さおよび裏面剥離深さは、表面および裏面の破壊の一番深い位置とした。表面及び裏面破壊の直径は、試験体の表面および裏面の中央を中心として、垂直方向、水平方向および斜め 45° の4方向を計測し、その平均値とした。

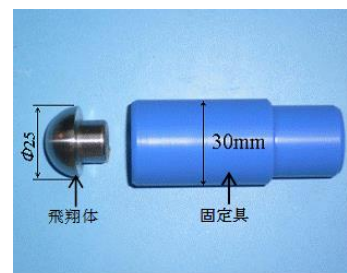


写真-1 飛翔体

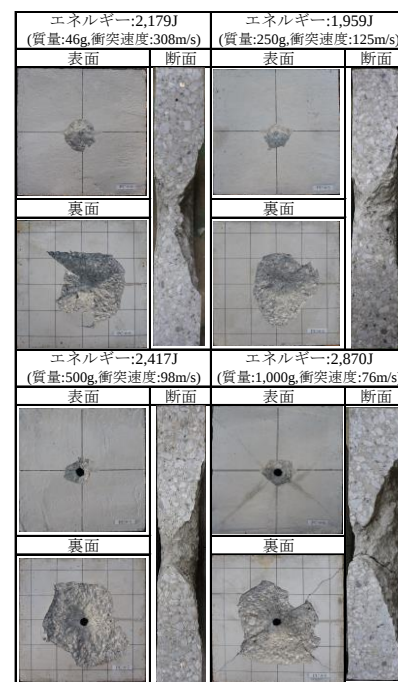


図-3 局部破壊モードの変化 (板厚 8cm)

3. 実験結果および考察

3.1 破壊性状

図-3および表-1に、飛翔体の運動エネルギー $E_k=2,250\text{J}$ の場合における局部破壊モードの変化および貫入深さ等の実測値をそれぞれ示す。質量46g、衝突速度308m/sのケースでは裏面剥離が生じ、貫入深さは29.0mm、裏面剥離深さは55.3mmであ

キーワード 高速衝突, 局部破壊, エネルギー

表 - 1 実験結果 ($E_k=2,250J$)

No	実験ケース	飛翔体の質量 (g)	衝突速度 (m/s)	エネルギー (J)	板厚 (mm)	破壊モード	貫入深さ(mm)	表面破壊直径(mm)	裏面剥離深さ(mm)	裏面剥離直径(mm)
							平均	平均	平均	平均
1	C-50-1	46	308	2,179	80	裏面剥離	29.0	119.3	55.3	289.5
2	C-250-1	250	125	1,959	80	裏面剥離	26.4	90.5	54.8	253.5
3	C-500-1	500	98	2,417	80	貫通	-	103.0	-	317.3
4	C-1000-1	1,000	76	2,870	80	貫通	-	109.0	-	304.3

った。質量 250g, 衝突速度 125m/s のケースでは裏面剥離が生じ、貫入深さは 26.4mm, 裏面剥離深さは 54.8mm であった。質量 500g, 衝突速度 98m/s および質量 1,000g, 衝突速度 76m/s のケースでは貫通となった。このように、エネルギーが同じであれば破壊モードもほぼ同等となることがわかる。ただし、エネルギーは同じでも、質量が大きいほど破壊の程度が大きくなる傾向が認められる。

3.2 局部破壊の特徴

図 - 4 に、飛翔体の運動エネルギーと貫入深さの関係を示す。図から、エネルギーが増加すると貫入深さが大きくなる傾向にあることがわかる。さらに、同じエネルギーでも飛翔体の質量が大きい程、貫入深さが大きくなる傾向を示すことがわかる。この理由としては、質量が 500g および 1,000g のケースは、46g および 250g のケースに比べて衝突速度が遅いため、ひずみ速度効果も相対的に小さくなり、衝突時の抵抗力が小さくなるためであると考えられる。ただし、質量が 500g と 1,000g では貫入深さの差が小さくなっていったことから、質量がある程度大きくなると、貫入深さは変わらないと考えられる。

図 - 5 に、飛翔体の運動エネルギーと破壊モードの関係を示す。飛翔体の運動エネルギー約 4,000J のケースは、質量によらず破壊モードはほぼ同じであった。飛翔体の運動エネルギー約 2,000J のケースをみると、板厚が 80mm の場合、質量 46g のケースは表面破壊および裏面剥離となるが、質量 500g のケースは貫通となるという結果が得られた。すなわち、エネルギーが同じであっても質量の増加にともなって破壊モードも進展することを示している。その理由は、質量が大きくなると貫入深さが大きくなり有効板厚が薄くなるため、裏面剥離が生じやすくなるためと考えられる。

4. 結言

本研究は、高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊と衝突エネルギーとの関連性を実験的に検討したものである。実験の結果、飛翔体の運動エネルギーを用いて、貫入深さおよび破壊モードをある程度は評価できることがわかった。しかし、エネルギーが同じであっても、質量が大きい程貫入深さが大きく、また破壊モードが進展する傾向があることがわかった。

参考文献

1) Li, Q. M., Reid, S. R., Ahmad-Zaidi, A. M., Critical impact energies for scabbing and perforation of concrete target, Nuclear Engineering and Design, Vol. 236, pp. 1140-1148, 2006

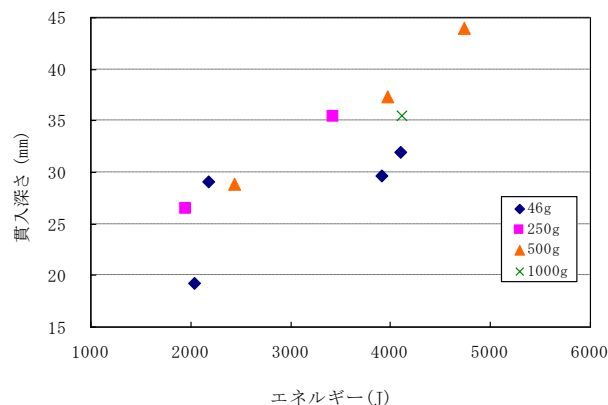
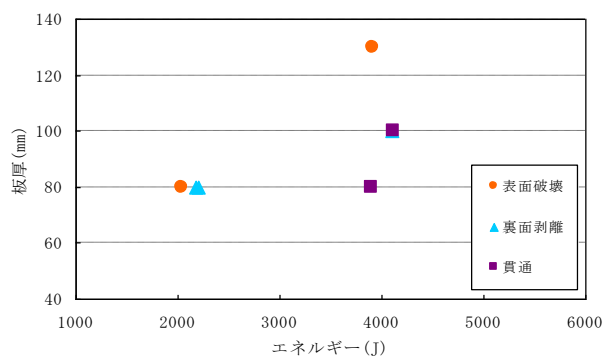
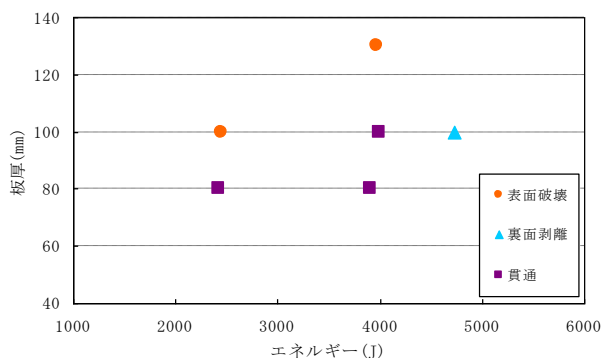


図 - 4 飛翔体の運動エネルギーと貫入深さの関係



(a) 飛翔体の質量 46g



(b) 飛翔体の質量 500g

図 - 5 飛翔体の運動エネルギーと破壊モードの関係