

I-513

筒体強度と先端形状が異なる物体の高速衝突に対するRC板の局部破壊

防衛大学校 学員 小暮 幹太・松本 憲幸
同 正員 大野 友則・内田 孝

1. まえがき

物体が鉄筋コンクリート構造物に高速で衝突すると、構造物には裏面剥離や貫通などの局部的な破壊が生ずる。従来行われた研究は、物体が剛体とみなせる、いわゆる衝突によって変形が生じない飛翔体を用いて行われた衝突実験に基づいたものである。しかしながら、実際に起こり得ると考えられる衝突問題（例えば航空機の墜落や高速車両の衝突事故など）では、衝突に際して物体自体にも変形が生ずる。したがって、剛な物体の衝突を対象として提案されたコンクリートの局部破壊の予測式¹⁾をそのまま用いると、局部破壊の大きさが過大に評価されることになる。本研究では、物体の胴体部の強さ（筒体強度と定義する）および先端の形状がコンクリートの局部破壊に及ぼす影響を高速衝突実験により調べたものである。

2. 高速衝突実験の概要

(1) RC板試験体：試験体は、図-1に示すように7~15×60×60cmの正方形単鉄筋コンクリート板である。実験では、主としてコンクリート板厚の相違が局部破壊の大きさに及ぼす影響を調べることが目的とすることから、鉄筋径(φ6)および鉄筋の配置間隔(16cm)は一定とした。

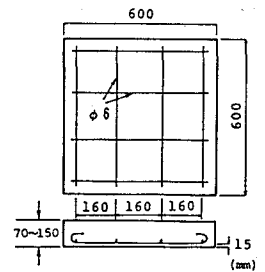


図-1 RC板ターゲットの形状・寸法

(2) 飛翔物体：飛翔物体（単に飛翔体と呼ぶ）の一例を図-2に示す。飛翔体は、材質が異なる頭部・胴体部および尾部から成っている。頭部は鋼製(重量)は160gで一定で、先端形状は平坦・半球および円錐の3種類である。図-3にその諸元を示す。胴体部には、表-1に示すように筒体強度の異なる5種類の中空パイプを用いた。



図-2 飛翔体の概要

(3) 衝突実験装置：衝突実験装置は、高速載荷装置と飛翔体発射装置²⁾(図-4)から構成される。本装置は、発射管(内径40.0mm)内にトルクリングで固定した物体を、増圧ジャッキによって発生した高速・高圧の圧搾空気の高圧の圧力によって発射させるものである。すなわち、約7kgf/cm²に与圧した空気が封入されている増圧ジャッキのピストンを、上方から高速載荷装置で高速載荷(約4m/sec)することにより、空気圧を瞬時に約28kgf/cm²に増圧するものである。高圧空気の圧縮力が飛翔体の拘束力以上に達すれば、物体は押し出され長さ2.5mの発射管を通過する間に加速される。本実験に用いた物体の重量は約430gであり、衝突速度は約200m/secであった。RC板のターゲットは、発射管の出口から1.2mの位置に置いた。また、RC板の上部を2本のスリングで吊って、飛翔体が衝突した際衝突方向に移動可能な機構とした。

	平坦	半球	円錐
	3.5	3.4	3.4
重量	160gf		
形状係数	0.72	0.84	1.14

図-3 頭部の形状・寸法

3. 実験結果および考察

(1) 衝突後の飛翔体の変形状：図-5に、衝突によって生じた各飛翔体（頭部はすべて平坦）の変形の一例を示す。胴体部に鋼パイプを用いた飛翔体は、パイプが外側に広がる変形を生じているが、軸方向の変形はほとんど認められなかった。ステンレスおよびアルミニウムパイプの飛翔体には、リング状の座屈変形が連続的に生じた。塩ビパイプの飛翔体は、衝突時にパイプ全体が破碎した。ここで、図-5に示すように胴体部の元の長さとは変形後の長さの差を座屈長さとして定義する。

表-1 飛翔体胴体部の諸元

胴体部材	外径 (cm)	肉厚 (cm)	長さ (cm)	重量 (gf)	座屈耐力 (conf)
鋼 (厚肉)	3.83	0.42	5.0	173.10	19.02
鋼 (薄肉)	3.46	0.23	8.85	172.65	11.38
ステンレス	3.41	0.15	15.0	174.15	5.10
アルミニウム	3.49	0.20	15.0	76.95	3.74
塩化ビニル	3.82	0.36	15.0	79.35	1.90

図-6に、RC板の板厚とステンレスおよびアルミニウム飛翔体の座屈長さの関係を示す。筒体強度が小さいアルミニウム飛翔体の方が、座屈長さは大きい。RC板を貫通しない場合は板厚によらずほぼ一定の座屈長さとなる。

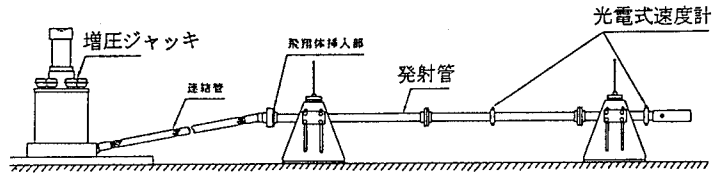


図-4 発射装置の概要

(2) RC板の局部破壊：本実験では、飛翔体の重量および衝突速度は一定でありRC板の厚さだけが異なる。実験で生じたRC板の局部破壊の程度は板厚によって異なる。板厚が厚い場合には、衝突点近傍のコンクリートの剥離と曲げひび割れが生じる。厚さが小さくなると、表面破壊は小さくなるが裏面には押し抜けせん断による円状のひび割れが生じる。さらに薄くなると、表面破壊に加えて裏面のコンクリートも剥離する。ある厚さ以下では、飛翔体はRC板を貫通する。

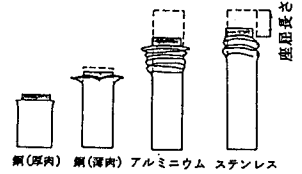


図-5 衝突後の飛翔体の変形

(3) 筒体強度と局部破壊の大きさの関係：図-7は、飛翔体の筒体強度と局部破壊の関係を示したものである。図で、縦軸はRC板厚を飛翔体の直径で除した値を表わし、横軸は飛翔体の筒体強度を剛体とみなせるパイプの筒体強度（ここでは便宜的に、中実軟鋼棒の筒体強度23tonfを基準とした）で除した値で表わしている。図から、筒体強度が小さくなればRC板の裏面剥離および貫通限界厚が減少することが認められる。参考までに、剛飛翔体を対象とするNDRC式¹⁾を用いて算定した剥離限界厚と貫通限界厚を図中に破線で示している。筒体強度が小さくなるほど、NDRC式による推定値との差が大きくなる。

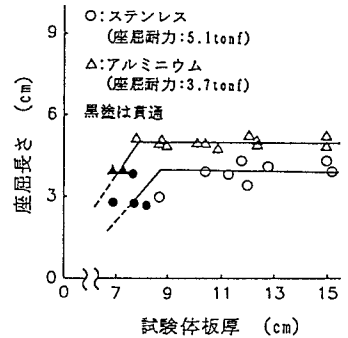


図-6 筒体強度の相違による座屈長さとの関係

(4) 先端形状と局部破壊の大きさの関係：図-8は、先端形状の相違を表わす形状係数と局部破壊の大きさの関係を示す。形状係数が高いほど先端は鋭くなることを表わす。飛翔体の胴体部はすべてステンレスパイプである。図から、貫通限界厚は先端形状の相違によらずほぼ一定となることがわかる。一方、剥離限界厚は先端形状が鋭くなるにしたがい減少する傾向がある。NDRC式においても先端形状の影響が考慮されているが、図中

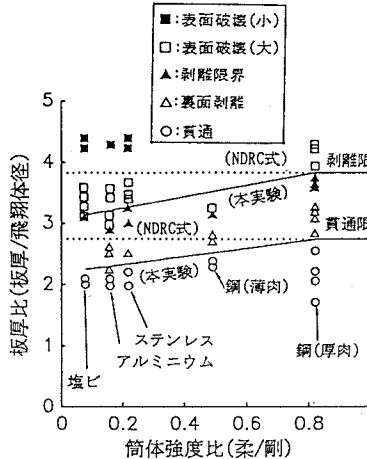


図-7 筒体強度と局部破壊の関係

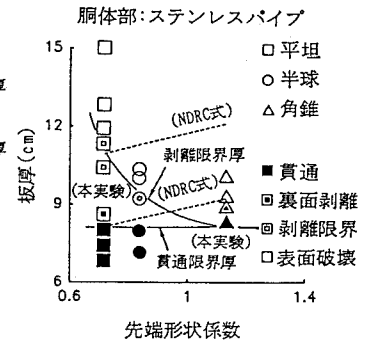


図-8 先端形状とRC板の局部破壊の関係

に破線で示すようにいずれの限界厚も先端形状が鋭くなるにつれて比例的に大きくなっている。

「謝辞」本研究の一部は、松永慶二君が卒業研究として行ったものであり、ここに謝意を表する。

「参考文献」1) George E. S.: Assessment of Empirical Concrete Impact Formulas, Proc. of ASCE, Vol.106, ST5, pp.1023-1045, 1980. 2) 内田他：高速載荷および高速衝突実験装置の開発、落石等による衝撃問題に関するシンポジウム論文集、pp.105-110, 1991.