

I-469 飛翔体の高速衝突に対する2重RC板の耐衝撃性

防衛大学校 学員○北川 真正員 大野友則・内田 孝
大林組技術研究所 正員 井元 勝慶

1. はじめに RC構造物に飛来物が高速で衝突した場合、貫入、裏面剥離あるいは貫通といった局部破壊が生じる。近年、我が国でも原子力関連施設等の重要構造物にあっては、このような局部破壊に対するRC構造物内部の人員・機器等の安全性の検討が重視されている。このため、高速衝突を受けるRC構造物の耐衝撃性に関する研究が行われ、各種の耐衝撃性改善法が検討されるようになった。本研究では、局部破壊のうちとくに裏面剥離を防止する一方策として2重壁構造を考え、厚さの異なる2枚のRC板を組み合わせた2重RC板を対象とした高速衝突実験を行い、その破壊状況や加速度応答に着目して通常のRCと比較することによって耐衝撃性を評価するものである。また、緩衝材の効果についても調べている。さらに、既往の局部破壊評価式を用いて局部破壊の推定を行い、実験結果との比較検討を行っている。

2. 高速衝突実験 (1) 実験装置: 高速衝突実験装置は、高速載荷試験装置と加速管から構成されている。本装置は、加速管に連結した増圧ジャッキの内部に予め注入された空気を高速載荷装置で瞬間的に高速・高圧にし、その圧搾空気を利用して加速管内の飛翔体を発射させるものである。本実験では、衝突速度は約170m/sであった。

(2) 飛翔体: 飛翔体は図-1に示すように、頭部、胴体部及び尾部から構成されている。本実験では、胴体部に筒体強度の異なる鋼パイプ(19.0tf)とステンレスパイプ(5.1tf)の2種類を使用した。なお、飛翔体の全重量については、430gfと一定にした。

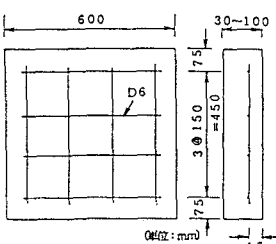


図-2 試験体寸法

(3) 試験体: 試験体は正方形単鉄筋コンクリート板(3~10×60×60cm)を使用し、鉄筋径6mm、鉄筋間隔15cmは一定とした(図-2)。試験体は、空隙型、積層型及び比較のための一体型(通常のRC)とし、空隙型と積層型については前後2枚の板厚の和が一体型の板厚(以下、基準板厚とする)に等しくなるように前後の板厚を変化させた(表-1)。また、板間隔は3cmと一定にし、空隙型には空隙を設け、積層型には緩衝材として圧縮強度1.23kg/cm²の硬質ウレタンフォーム(3×60×60cm)を2枚のRC板の間に配置した。

(4) 計測: 試験体裏面7箇所に加速度計(10,000~100,000G:圧電素子電圧出力型)を取付け加速度を計測した。

3. 実験結果及び考察 (1) 破壊状況: 図-3は、破壊状況の一例を示したもので基準板厚10cmに鋼パイプの飛翔体が衝突した場合である。いずれの場合も貫通はし

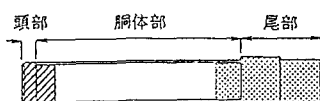


図-1 飛翔体の概要

表-1 試験体の構成

Type	一体型 (基準板厚=d)	空隙型			積層型								
		d1=d2	d1>d2	d1<d2	d1=d2	d1>d2	d1<d2						
板厚	8	4	4	5	3	3	5	4	4	5	3	3	5
厚	9	4.5	4.5	6	3	3	6	4.5	4.5	6	3	3	6
(cm)	10	5	5	7	3	3	7	5	5	7	3	3	7

側面図	空隙型		積層型	
	d1	d2	d1	d2
	t=3cm		t=3cm	

Type	一体型	空隙型	積層型
板厚	10cm	5+(3)+5ca	5+(3)+5ca
破壊状況			

図-3 破壊状況の比較の一例(鋼パイプ)

なかったが、裏面の破壊径を比較すると一体型に比べて空隙型と積層型は局部破壊が小さく抑えられていることがわかる。また、図-4から、とくに積層型については前壁厚が厚いほど局部破壊を抑える効果が顕著となる傾向が認められる。これは、前壁が厚いほど飛翔体が前壁を貫通するのに多大なエネルギーを失うので後壁に対する衝撃力が小さくなるためと考えられる。なお、ステンレスパイプを使用した場合にも同様の傾向が認められた。

(2)加速度応答:図-5に試験体裏面の加速度分布の一例として前壁厚7cmの場合(積層型、空隙型)の加速度分布と一体型の加速度分布を比較したものを示す。加速度分布から、衝突点近傍(0~15cm)における試験体裏面の加速度は、一体型よりも積層型と空隙型の方が低い値を示しており局部的な応答が抑えられていることがわかる。

4. 局部破壊の推定 ここでは、2重RC板(空隙型)について後壁の局部破壊を既往の算定式を用いて求め、前・後壁厚関係が局部破壊に及ぼす影響について予測を行った。

(1)後壁に対する衝突速度 V_r の算定²⁾:まず、式(1)により前壁の限界貫通速度 V_c を求め、次に式(2)により衝突速度 V_r を算定した。

$$V_c = 1.3 \rho^{1/6} f_{cy}^{1/2} \{ p e^2 / \pi m \}^{2/3} (r + 0.3)^{1/2} \quad (1)$$

$$V_r^2 = V_i^2 - V_c^2 \quad (2)$$

ここに、 ρ :コンクリート密度(kg/m³)、 f_{cy} :コンクリート圧縮強度特性値(Pa)
 p :飛翔体の周長(m)、 e :RC板厚(m)、 m :飛翔体質量(kg)
 r : $100 \times \alpha / (c \times e)$ (%)、 V_i :前壁に対する衝突速度(m/s)
 (α :鉄筋断面積、 c :鉄筋間隔)

(2)局部破壊の推定:剛な飛翔体を対象とした修正NDRC式³⁾を後壁に適用し、裏面剥離限界厚及び貫通限界厚を求めた。計算結果は図-6の実線に示すとおりである。なお、柔な飛翔体(ステンレス)については著者らが過去に行った実験¹⁾の結果から得た低減係数を修正NDRC式に乗じて推定した。

5. 実験結果との比較検討 図-6より、計算結果は実験結果(破線)に比べてかなり大きめの値を示していることがわかる。また、計算結果から前・後壁厚の和が一定の場合、前壁が貫通限界厚(図中A点)以上であれば後壁の裏面剥離を防止することができ、後壁は前壁裏面のコンクリート塊の飛散を防ぐ程度の厚さがあれば十分であると予測できる。これは実験で得られた結果に一致している。

5. まとめ 本研究の結論を要約すると、①実験結果より、2重壁構造は後壁の裏面剥離に対して有効であり、特に前壁を厚くするほど耐衝撃性が向上する。②本実験で行った条件(衝突速度、ウレタン厚)では、ウレタンによる効果は顕著ではなかった。③既往の局部破壊評価式(修正NDRC式)を用いた2重RC板の局部破壊の簡易推定法は実験結果よりかなり安全側の値を示す。

謝辞:実験を行うに際し、日清紡西新井化成工場技術課の方々には試料提供ならびに技術上の貴重なご助言を頂いた。ここに謝意を表する。

参考文献] 1)松本、高橋、大野、内田:飛翔体の高速衝突に対するコンクリートの局部破壊,第18回関東支部技術研究発表会,1991。 2)GUIDELINES FOR THE DESIGN AND ASSESSMENT OF CONCRETE STRUCTURES SUBJECTED TO IMPACT(SRD-R-439),1990。 3)George E.S.:Assessment of Empirical Concrete Impact Formulas,Proc.of ASCE,Vol.106,S75,pp.1023-1045,1980。

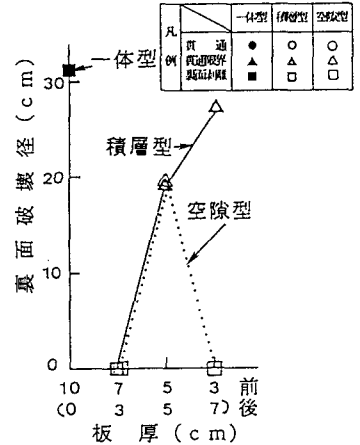


図-4 裏面破壊径～前(後)壁厚関係(飛翔体:鋼パイプ)

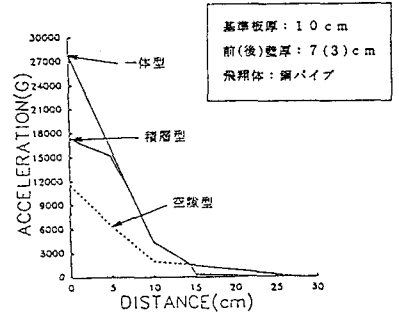


図-5 加速度分布の一例

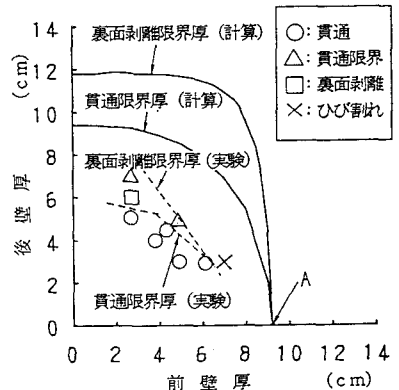


図-6 前・後壁厚関係が局部破壊に及ぼす影響(飛翔体:鋼パイプ)