

剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊に関する解析的検討

防衛大学校 学生会員 ○三輪 幸治 正会員 別府万寿博
正会員 大野 友則 正会員 片山 雅英

1. 緒言

高速回転するタービン翼の機械的故障による破損あるいは金属容器内での火薬類の爆発などでは、金属破片等が高速度で飛散し、人命や構造物に対して被害をもたらす可能性がある。このような飛来物の高速衝突によるコンクリートの局部的破壊を抑止する設計法を確立するためには、局部破壊の程度を精度よく評価できる実験や解析法が必要である。本研究は、剛飛翔体の高速衝突を受けて生じるコンクリート板の局部破壊について数値シミュレーションを行い、解析手法の妥当性について検討を行ったものである。

2. コンクリート板に対する高速飛翔体の衝突実験

2.1 高圧空気式飛翔体発射装置および飛翔体

図-1 に、飛翔体発射装置の概要を示す。装置は、エアコンプレッサー、増圧装置、エアチャンバー、発射管（長さ：12m、内径：35mm）および操作・制御盤から構成される。飛翔体は、エアコンプレッサーおよび増圧装置で圧縮された空気の高圧力によって発射される。飛翔体の概要を写真-1 に示す。飛翔体は、頭部と尾部から構成され、全質量は 100g（頭部の質量はそれぞれ 50g）である。頭部は鋼製で、直径 25mm、先端形状は半球型である。尾部はナイロン MC901 製で、直径 35mm である。

2.2 実験の概要

コンクリート板の寸法は、縦 50cm×横 50cm で、板厚 3～13cm の供試体を 8 種類作製した。コンクリート板の強度は、 25N/mm^2 である。供試体は、発射管出口から 1m の位置に設置し、上下 2 辺をクランプで固定した。実験ケースを表-1 に示す。実験は、飛翔体を速度 200～500m/s の範囲でコンクリート板に衝突させ、コンクリート板に生じる局部破壊の種類を調べた。

2.3 実験結果及び考察

本研究では、図-2 に示すように、局部破壊を、表面破壊、裏面剥離、貫通の 3 種類に分類して評価する。図-3 に、衝突速度と板厚の関係において発生した局部破壊を示す。この図から、板厚が小さくなるにしたがい、また飛翔体速度が増加するにしたがって、表面破壊、裏面剥離、貫通と局部破壊が異なって生じることがわかる。

3. 数値シミュレーション

3.1 解析モデル

衝撃解析コード AUTODYN¹⁾ を用いて、裏面剥離が生じたケー

表-1 実験ケース

板厚(cm)	速度(m/s)	板厚(cm)	速度(m/s)
13	500	8	400
12	400	8	300
10	500	8	200
10	300	7	300
9	400	6	200
		3	200

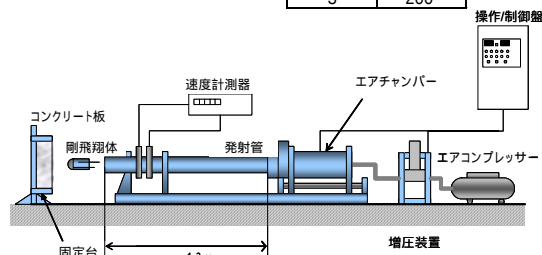


図-1 高圧空気式飛翔体発射装置

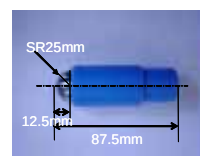


写真-1 剛飛翔体

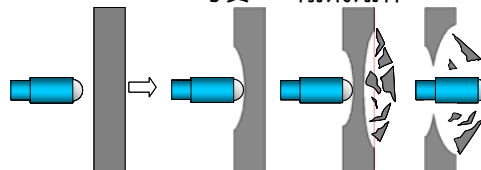


図-2 局部破壊の種類

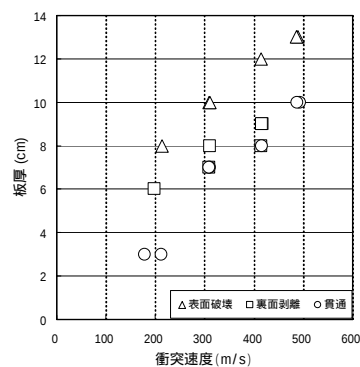


図-3 局部破壊の発生状況

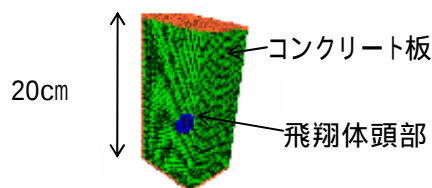


図-4 解析モデル

キーワード：高速剛飛翔体、コンクリート板、局部破壊、数値シミュレーション

連絡先：〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 Tel：046-841-3810(ex3521) E-mail：g44051@nda.ac.jp

ス(飛翔体速度 300m/s, コンクリート板厚 8cm)をシミュレートした。本解析では, コンクリートおよび飛翔体頭部ともに 3 次元モデルを作成した。図-4 に, 解析モデルを示す。計算時間を短縮するために, コンクリート板の試験体は衝突部近傍の 200mm×200mm を切り出し, 対称性を考慮して板の半分のみをモデル化した。コンクリート板の要素分割は 100×50×40 分割で, 総分割数は 200000 である。飛翔体頭部の総分割数は 322 である。境界条件は, コンクリート板の上下が固定である。なお, 重力および空気抵抗は無視した。

3.2 材料モデル

表-2 に, 材料モデルおよび材料定数を示す。コンクリートの状態方程式には多孔質モデル, せん断降伏はRHTコンクリートモデルとした。また, 引張破壊は強度が 2.5N/mm^2 を越えたらカットオフさせ, 軟化特性は考慮していない。エロージョン値は 2.5 とした。材料定数は圧縮強度が 25N/mm^2 , 引張強度は圧縮強度の 10 分の 1 (2.5N/mm^2) とした。また, コンクリート板と飛翔体頭部の摩擦係数は 0.1 に設定した。

3.3 解析結果および考察

表-3 および図-5 に, 解析結果を示す。図-5 から, 衝突後 0.055ms において裏面側に数本のひび割れが発生していることがわかる。その後 0.33ms には, 飛翔体頭部の貫入にともなって断面内に斜め方向へのひび割れが多数発達し, 最終的には裏面を押し抜くように破壊が進行している。ちなみに, 衝突後 0.86ms には飛翔体は停止(速度がゼロ)した。

図-6 は, 表面及び引張による裏面剥離が生じた裏面の破壊状況に対する解析と実験の比較を示している。解析による破壊の大きさは実験結果に比べてやや小さいが, 実験結果と同様に, 表面破壊より裏面破壊の直径の方が 2 倍ほど大きくなっている。図-7 は, 裏面の圧力分布を示している。衝突後 0.055ms において, 衝突点での圧力は約 900MPa である。また, 裏面における圧力は約 -1.8MPa であり, 裏面上に衝突中心から円状に負圧領域が広がっていることが確認できる。すなわち, 裏面の広い範囲に大きな引張応力が発生して引張による裏面剥離が生じたものと考えられる。

以上より, 解析による表面および裏面に生じる破壊領域は, 実験と比較してやや小さいが, 破壊の傾向は比較的良好にシミュレートできることがわかる。

4. 結言

本研究の成果を要約すると以下のとおりである。

- (1) 局部破壊は, 速度および板厚の相違によって, 表面破壊, 裏面剥離, 貫通と異なって発生する。
- (2) 適切な数値モデルを構築することによって, 剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊が比較的良好にシミュレートできる。

参考文献

- (1) AUTODYN Theory Manual, revision 5.2, Century Dynamics.

表-2 コンクリートの材料モデル, 材料定数

状態方程式	P - alpha (多孔質モデル)	せん断弾性係数	10.4N/mm^2
せん断降伏	RHTコンクリート	圧縮強度	25N/mm^2
引張破壊	cut-off	引張強度	2.5N/mm^2
エロージョン値	2.5	摩擦係数	0.1
体積弾性係数	13.5N/mm^2		

表-3 実験と解析結果の比較

破壊モード	表面破壊深さ (cm)	表面破壊直径 (cm)	裏面破壊直径 (cm)
解析 裏面剥離 (限界)	2.7	7	14
実験 裏面剥離	2.4	12	20

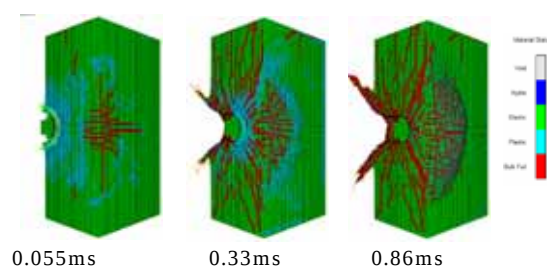
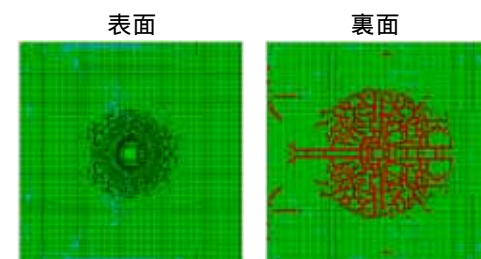
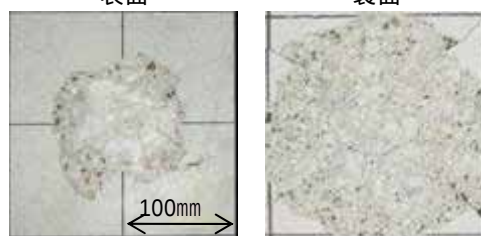


図-5 解析による破壊の進行



(a) 解析結果



(b) 実験結果

図-6 表面・裏面に生じた破壊の比較

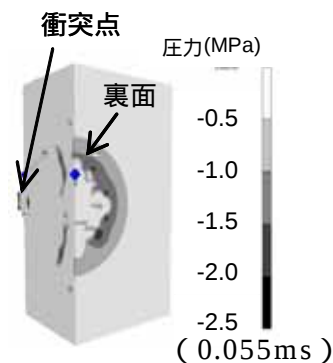


図-7 裏面の圧力分布