

変形可能な飛翔体とコンクリート板構造物の高速衝突実験の再現解析

パシフィックコンサルタンツ株式会社 正会員 ○高橋 千明
 群馬大学大学院 正会員 蔡 飛

コンクリート板構造物に変形可能な飛翔体を衝突させた衝突実験について、汎用衝撃解析コード LS-DYNA を用いてシミュレーションを実施し、衝突挙動ならびにコンクリート板構造物の局部破壊メカニズムを数値解析で再現する際の課題及び留意点を整理したのでここに報告する。

1. 目的

本研究は、飛翔体衝突実験を数値解析で再現し、変形可能な剛飛翔体とコンクリート板との衝突による局部破壊メカニズムをより細かく分析することを目的に実施した。

2. 実験ケース

田中らによる斜め衝突実験では、先端形状の鋭い 2 種類の小径飛翔体を幅 500mm×高さ 350mm×厚さ 30~100mm の無筋コン

クリート板に 300~920m/s の衝突速度で衝突させる実験を実施した。なお、衝突角度は、板を傾斜させて 10~90° で設定し、斜め衝突の影響を確認するための実験を実施した。

コンクリート板の配合は表 1 に示すとおりで、圧縮強度は 28.5MPa、飛翔体の材料は鉛であり、質量は図 1 に示すタイプ A で 0.01kg である。

表 1 コンクリートの配合

粗骨材 最大寸法 (mm)	スラブ (cm)	水セメント 比 W/C (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m ³)				
				水 W	セメント C	細骨材	粗骨材	混和剤
20	15	49	44.7	167	341	793	1011	3.41

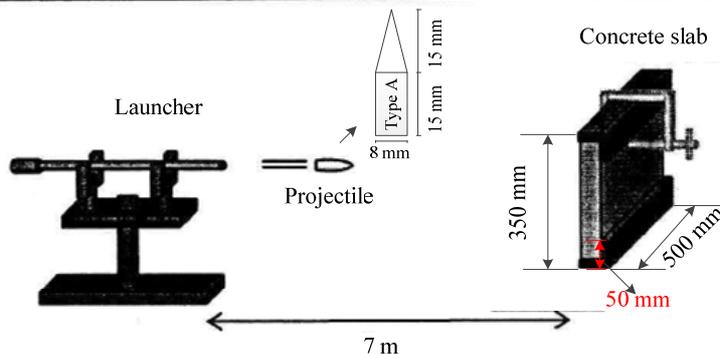


図 1 衝突実験装置と飛翔体形状

3. 解析モデル

(1) 解析モデル

作成した解析モデルを図 2 に示す。解析モデルは局所的な破壊モードを詳細にシミュレートするため、半径 35cm の軸対称モデルとした。

(2) 要素種類

コンクリート及び飛翔体を各材料の特性を考慮し、コンクリート及び飛翔体をソリッド要素でモデル化した。

(3) メッシュ分割

メッシュサイズの影響について感度分析を行い、貫入、背面剥離、貫通を表現するために、コンクリートを 1cm ピッチで細かく分割し、コンクリート板構造物及び飛翔体の衝突箇所付近 (0 ≤ X ≤ 7cm、-7cm ≤ Y ≤ 7cm の範囲) の要素サイズは 0.25cm とした。

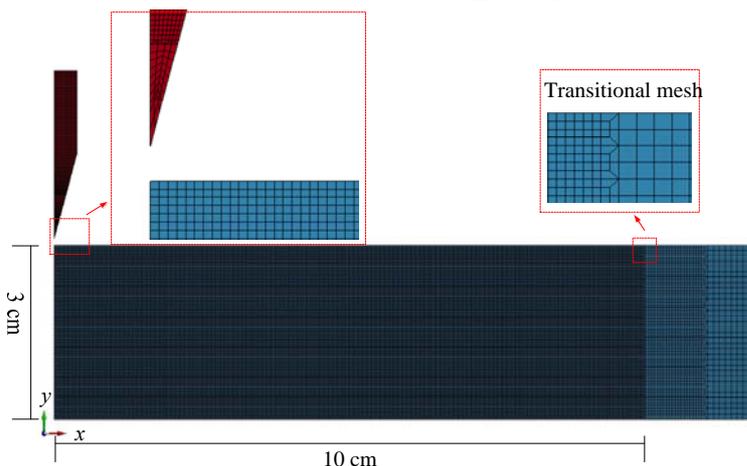


図 2 解析モデル

キーワード 高速衝突, 飛翔体, コクリート, 局部破壊, 再現解析

連絡先 〒101-8462 東京都千代田区神田錦町三丁目 22 番地

パシフィックコンサルタンツ株式会社交通基盤事業本部 耐震センター TEL03-6777-4790

(4) 材料モデル

飛翔体には steinberg model、コンクリートには RHT concrete model を適用した。高速衝突時に鉛の飛翔体は個体から液体に変化することを考慮する必要があるため、そのモデルパラメータを表 2 に示す。また、鉛材料の状態方程式のパラメータを表 3 に示す。

表 2 飛翔体の状態方程式のパラメータ

Parameters	G_0 (10^{11} Pa)	σ_0 (10^{11} Pa)	σ_m (10^{11} Pa)	β	n	G'_p/G_0 (10^{11} Pa)	G'_T/G_0 (K^{-1})	f	T_{m0}	A	γ_0	a
Value	0.086	0.00008	0.001	110	0.52	11.6	0.00116	0.001	760	82	2.74	2.2

4. 解析ケース

解析ケースを表 4 に示す。本研究では、衝突速度を一定として、コンクリート板厚を 3 パターンに変化させた垂直衝突実験について再現解析を行った。実験結果では、コンクリート厚さが最も薄い $t=3\text{cm}$ のケースでは貫通であったが、 $t=5\text{cm}$ 、 7cm のケースでは、貫入であった。

表 3 鉛材料の状態方程式のパラメータ

Parameter	C (cm/ μs)	S_1	S_2	S_3	γ_0	a
Value	0.2051	1.46	0	0	2.77	0

表 4 解析ケース及び実験結果

Cases	Impact velocity (m/s)	t (cm)	Experimental damage mode	Maximum penetration depth (cm)	
				Experiment	Simulation
Case 1-1	337	3	Perforation	-	Perforation
Case 1-2	337	5	Penetration	0.64~0.9	0.86
Case 1-3	337	7	Penetration	0.64~0.9	0.82

4. 再現解析結果

再現解析結果を図 3 に示す。また、再現解析における破壊モードと貫入量を表 4 に示す。再現解析における破壊モードと貫入量は実験と整合している。

5. 結論と今後の課題

今後、再現解析の精度を更に高めるためには、以下の事項が課題と考えられる。

- ① コンクリートの構成則の選択によって、実験結果の再現性が変化することが明らかとなった。ただし、コンクリート強度のばらつきや配筋パターンとの組み合わせ等も考えられることから、更なるデータの蓄積が重要である。
- ② エロージョン則に関しても、コンクリートの引張強度等、物性のばらつきについての評価が必要である。
- ③ 柔飛翔体においては、材料特性及び幾何条件等で座屈性状が支配されるので、予め座屈試験等実施の上、再現性を確保する解析が大切である。
- ④ 飛翔体の質量や径、剛・柔といった条件に対して、各々の影響度合いを評価する目的では LS-DYNA による解析が有用と考えるが、衝突実験の実施、コンクリートや鉄筋あるいは飛翔体等の材料試験の実施、評価式による破壊モードの推定など、各々のバランスを考慮した使い方について今後検討が必要である。

参考文献

・田中信行、大野友則：高速飛翔体の斜め衝突を受けるコンクリート板の損傷評価，構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集，7 巻，pp.147-152，2004。

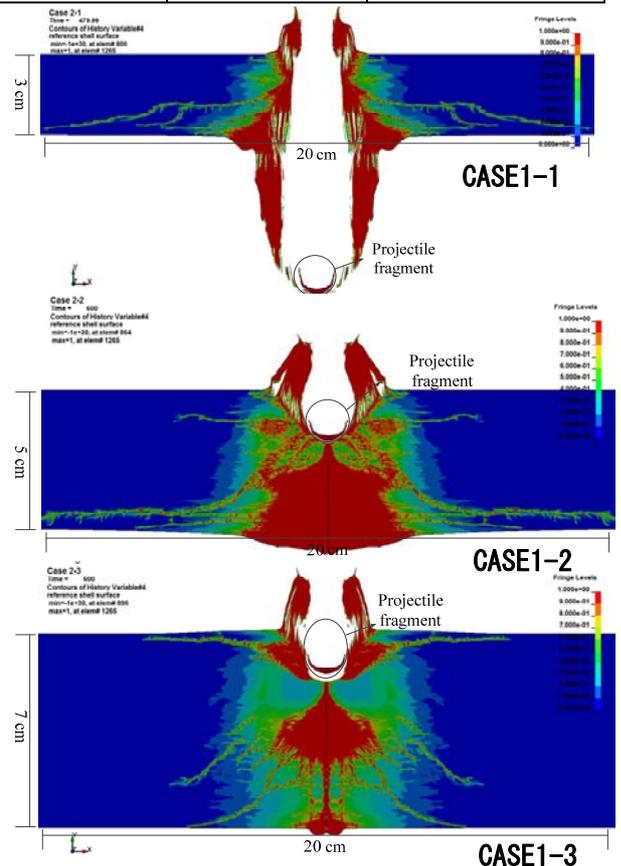


図 3 衝突実験の再現解析結果