

高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊評価に関する検討

防衛大学校 学生会員 ○上野 裕稔 最上 舜久 正会員 別府 万寿博

1. 緒言

コンクリート部材が高速衝突を受けると、表面破壊、貫入、裏面剥離および貫通などの局部破壊が生じる。これらの局部破壊を評価する方法は、主として実験に基づいた評価式で行われてきたが、ばらつきが非常に大きいという問題点がある。そこで、三輪¹⁾は、局部破壊メカニズムに基づいて裏面剥離を解析的に判定する方法（解析的判定法）を提案している。しかし、解析的判定法は板厚 13cm 以下の小型実験に基づいて提案されており、より大型の試験体に対する検証が必要である。本研究は、板厚 18cm のコンクリート板を作製して実験を行い、解析的判定法の適用性について、検討したものである。

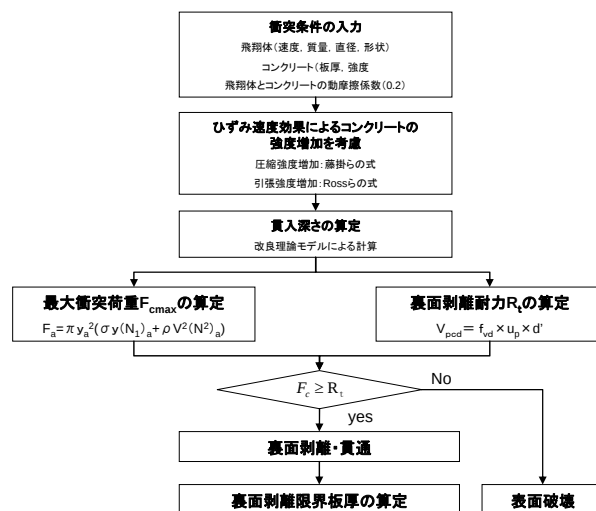


図-1 解析的判定法のフローチャート

2. 解析的判定法の概要

図-1 に解析的判定法のフローチャートを示す。貫入深さの算出については Li²⁾らの力学モデルに対して非線形型の Drucker-Prager 降伏基準およびひずみ速度効果による強度増加を考慮したモデルとなっている¹⁾。全体の貫入深さ x を微小量 Δx で n 個に分割し、運動エネルギーと仕事の保存則を適用する。ステップ i における抵抗力 F_i に対する増分仕事 ΔE_i と飛翔体の運動エネルギーの減少量 ΔE_{ke} を等置して貫入深さを求める。この理論モデルでは、貫入深さとともに荷重も求めることができる。

次に、裏面剥離に対する抵抗力を求める。裏面剥離耐力は、破壊モードを押し抜きせん断型と仮定して、板厚から貫入深さを減じた板厚の押し抜きせん断耐力としている。上記で求めた最大衝突荷重 F_{max} と裏面剥離耐力 V_{pc} とを比較して、 F_{max} が V_{pc} を越えなければ表面破壊、超える場合には裏面剥離以上の破壊モードと判定する。

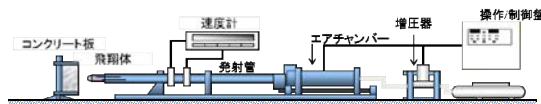


図-2 高圧飛翔体発射装置の概要



写真-1 剛飛翔体の概要

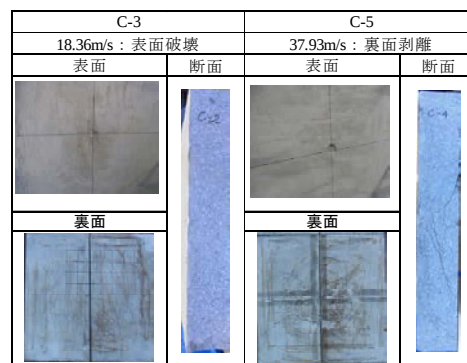


写真-2 コンクリート板の破壊状況

3. 高速衝突実験および実験結果

実験は、図-2 に示す高圧飛翔体発射装置を用いて、写真-1 に示す鋼製剛飛翔体（質量 8.3kg）をコンクリート板に衝突させた。試験体は、発射管出口から約 10cm の位置に設置した。飛翔体の衝突速度は 15～38m/s の範囲とした。試験体の寸法は、縦 118cm×横 118cm、板厚は 18cm である。なお、コンクリート板には破片化することを防ぐため補強用鉄筋（D22）を周囲に配筋している。試験体の圧縮強度は、29.4N/mm² である。高速衝突によって生じるコンクリート板の局部破壊は、表面破壊、裏面剥離および貫通の 3 種類のモードに区別し評価を行った。表-1 に実

キーワード：高速剛飛翔体、コンクリート板、局部破壊、防護設計

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

表-1 実験結果および解析的判定法による結果

実験ケース名	板厚	衝突速度 (m/s)	破壊モード	実験	解析的判定法(ひずみ速度 10^{-5})			
	(cm)			貫入深さ (cm)	貫入深さ (cm)	誤差率 (%)	裏面剥離限界厚(cm)	破壊モード
C-1	18.0	12.9	表面破壊	0.45	0.73	64.04	9.03	表面破壊
C-2	18.0	16.4	表面破壊	0.59	0.92	55.93	10.42	表面破壊
C-3	18.0	18.4	表面破壊	0.64	1.02	60.63	11.12	表面破壊
C-4	18.0	20.0	表面破壊	0.70	1.10	57.14	11.60	表面破壊
C-5	18.0	37.9	裏面剥離	1.23	2.02	64.23	16.72	表面破壊

験ケースと実験で得られた貫入深さ、破壊モードを示す。破壊の例として、実験ケース C-3、C-5 の破壊性状を写真-2 に示す。衝突速度 18.4m/s のケース C-3 では、表面破壊のみが生じた。衝突速度 38.0m/s のケース C-5 では、表面破壊に加え裏面剥離も生じた。断面を見ると、板内部より斜めひび割れが進展していることがわかる。

4. 解析的判定法の適用

衝突実験に対して解析的判定法を適用する。解析的判定法では、飛翔体とコンクリート板の間に生じる摩擦力を考慮するが、ここでは動摩擦係数を 0.5 とした。また、斜めひび割れの角度については、計測結果をもとに 29.7° とした。コンクリート材料は、衝撃荷重を受けるとひずみ速度が大きくなるため、ひずみ速度に応じた強度の増加を考慮する必要がある。三輪らは、局部破壊は 0.3ms 前後に終了していること、一般に数 100～数 1000 μ 程度のひずみで損傷、破壊することからひずみ速度 10^{-5} (静的)～ 10^2 (1/s)の範囲で検討を行っている。本研究では、大型衝突実験における衝突速度が小型衝突実験より小さいため、ひずみ速度を 10^{-1} よりも小さい範囲で変化させて、解析結果に与える影響を考察した。各々のひずみ速度における衝突速度～貫入深さの関係および裏面剥離限界板厚～衝突速度の関係を図-3 および図-4 に示す。図-3 から、貫入深さは実験よりも 20～40% 過大に評価した。図-4 から、裏面剥離限界板厚はやや小さめの結果となった。また、ひずみ速度が静的な値に近づくほど、貫入深さ、裏面剥離限界板厚ともに、より安全側に判定することがわかる。

以上より、ひずみ速度効果が 10^{-5} の場合における解析的判定法を大型衝突実験へ適用した結果を表-1 に示す。すべての実験ケースにおいて、貫入深さを安全側に判定している。また、裏面剥離限界板厚は約 7% 危険側に見積もっている。今後、実験データのさらなる収集とともに、解析的判定法の改良を行う予定である。

5. 結言

本研究は、板厚 18cm のコンクリート板を用いた高速衝突実験に対する解析的判定法の適用性について検討したものである。実験では、衝突速度約 38m/s で裏面剥離が生じた。また、解析的判定法は、貫入深さを実験よりも約 40% 安全側に評価し、裏面剥離限界板厚については約 7% 危険側に評価することがわかった。

参考文献

- 1) 三輪幸治：剛飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の裏面剥離の発生メカニズムと耐衝撃補強に関する研究，防衛大学校理工学研究科後期（博士）課程論文，2010.3

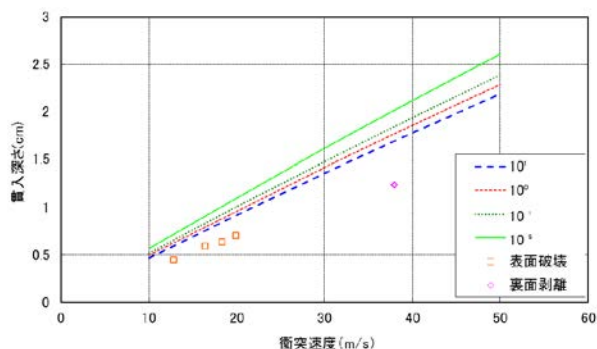


図-3 貫入深さ～衝突速度関係

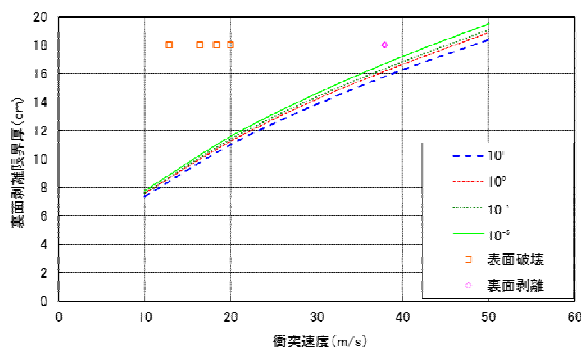


図-4 裏面剥離限界板厚～衝突速度関係