

# 衝撃荷重を受ける鉄筋コンクリート版の破壊挙動に関する解析的研究

防衛大学校 学生会員 ○杉山 佳那恵 片岡 新之介  
正会員 別府 万寿博

## 1. 緒言

爆発や高速衝突などの衝撃荷重が鉄筋コンクリート (RC) 部材に作用すると、構造物全体が変形することで生じる全体破壊に加え、荷重作用位置近傍が局部的に破壊する局部破壊が生じることが知られている<sup>1)</sup>。これらの破壊モードは衝撃力特性によって変化するが、破壊メカニズムについて詳細な検討を行った例は少ない。本研究は、衝撃荷重を受ける RC 版の破壊挙動について数値解析的に検討を行ったものである。

## 2. 解析手法および解析モデルの概要

本解析では、表面積分法を適用した2次元有限差分コードを用いて解析を行った<sup>2)</sup>。表面積分法は、グリーンの定理と中間値の定理で構成されており、ひずみ速度及び節点力を求める際に使用する。図-1に、RC版の解析モデルを示す。解析モデルは1000mm×1000mm×160mmのRC版とし、両側下端部のx軸およびy軸方向の節点自由度を固定した。要素寸法は2.5mm×2.5mmの正方形で、総節点数は6369個である。衝撃荷重は、版中央上端部の80mm×80mmの範囲に作用させた。鉄筋についてはかぶりを15mmとして、圧縮鉄筋及び引張鉄筋をRC版の上側および下側に配置した。せん断補強筋については、スパン中央から100mm間隔で9本配置した。なお、引張鉄筋比、圧縮鉄筋比およびせん断補強筋比はいずれも2%である。コンクリートおよび鉄筋の構成則にはVon-Misesの降伏関数を適用し、コンクリートの破壊則には負圧破壊基準を適用した。また、既往研究を参考にひずみ速度効果によるコンクリートの圧縮および引張強度の増加率を、それぞれ藤掛らの式およびRossらの式を用いて算出した<sup>3)</sup>。以上の解析モデルを用いて、衝撃荷重の荷重～時間関係を図-2に示す。なお、衝撃荷重の入力値については、外力 $F_0$ を1000kN、荷重時間 $t_0$ を0.01s(固有周期の0.1倍)、および0.19s(固有周期 $T_0=0.12$ の1.5倍)として直角三角形と2等辺三角形に変化させ、RC版の破壊性状および衝撃応答について考察する。

## 3. 解析結果および考察

図-3および図-4に、RC版の破壊の進展状況を時刻歴で示す。なお、RC版の色については弾性領域を緑、破壊領域は赤で示している。図-3に示す $t_0=0.01$ sのケースでは、いずれの荷重特性においても下端部の中心にx軸方向のひび割れが生じた。これは、荷重によって生じた圧縮の応力波が伝播し、下端部で自由端反射す

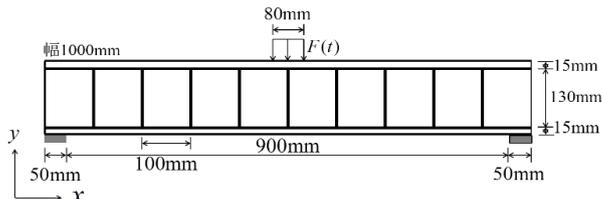
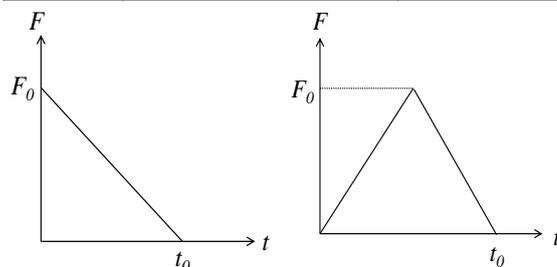


図-1 解析モデル

表-1 解析定数

項目	材料	コンクリート	鉄筋
降伏条件		Von-mises降伏条件	Von-mises降伏条件
破壊則		負圧破壊基準(破壊圧: MPa)	
圧縮強度		静的: 25.0 N/mm <sup>2</sup>	静的: 235 N/mm <sup>2</sup>
引張強度		静的: 2.5 N/mm <sup>2</sup>	静的: 400 N/mm <sup>2</sup>
弾性係数		25.5 kN/mm <sup>2</sup>	200 kN/mm <sup>2</sup>
ポアソン比		0.15	
密度		2.3 g/cm <sup>3</sup>	7.85 g/cm <sup>3</sup>



(a) 直角三角形荷重 (b) 2等辺三角形荷重

図-2 荷重～時間関係

時間(ms)	荷重時間 $t_0=0.01$ s	
	直角三角形荷重	2等辺三角形荷重
0.05		
0.10		
0.15		
0.20		
0.25		
0.30		
0.30(500倍)		

図-3 RC版の破壊進展状況

キーワード 衝撃破壊, 鉄筋コンクリート版, 破壊メカニズム

ることによって生じる引張の応力波による破壊と考えられる<sup>1)</sup>。  
 図-4に示す  $t_0=0.19s$  のケースをみると、直角三角形荷重では RC 版の上端部中央付近から斜めひび割れが中央付近に集中して生じ、その後中心部に台形状の破壊領域を形成した。一方、2等辺三角形モデルにおいては RC 版中央下端部から上方向へ伸展するひび割れが生じており、曲げ破壊のようなモードを示している。その後、時間が経過すると RC 版上端部から斜めひび割れが生じ、せん断ひび割れのような破壊性状も示した。したがって、直角三角形荷重のケースでは局部的な破壊を示すが、2等辺三角形荷重のケースではより全体的な破壊を示していることがわかる。ここで、図-5に示す  $t_0=0.19s$  のケースにおいて RC 版に生じた速度分布をみると、直角三角形荷重では載荷直後から 0.30ms にかけて RC 版の中心部に速度が集中して生じている。一方で、2等辺三角形荷重では曲げ破壊のようなひび割れが生じた時刻 0.10~0.15ms の間で RC 版の下端部中心に速度が集中して生じた後に、版全体へ速度が伝播していることがわかる。

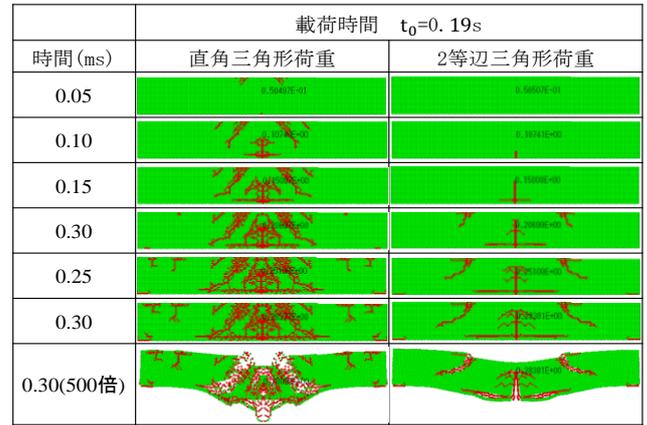


図-4 RC 版の破壊進展状況

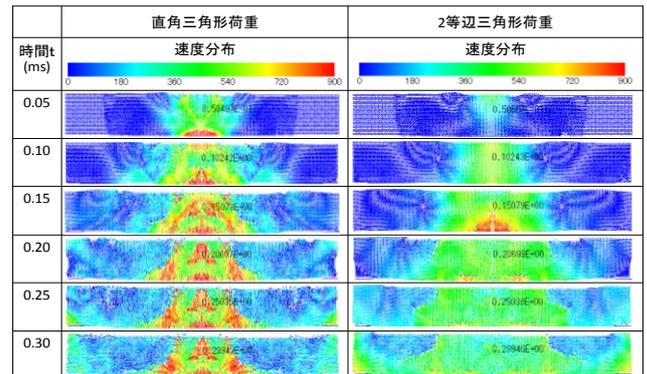


図-5 RC 版の速度分布( $t_0=0.19s$ )

図-6に示す RC 版の x 軸方向の応力分布をみると、 $t_0=0.01s$  のケースではいずれの荷重特性においても、明確な差が認められない。これはいずれのケースとも下端部においても局部破壊を示したためと考えられる。 $t_0=0.19s$  の直角三角形荷重をみると、時刻 0.10ms で上端部に圧縮応力が生じ、y 軸方向の下端部に引張応力が生じているが、その後は上端部と下端部で明確な違いは認められない。2等辺三角形荷重をみると、時刻 0.10ms で圧縮応力が生じ y 軸方向の下端部には引張応力が生じており、その後も上端部と下端部でそれぞれ圧縮と引張の応力が生じている。これは、2等辺三角形荷重のケースでは、RC 版が全体的に応答し曲げ破壊のような破壊性状を示したことと対応している。

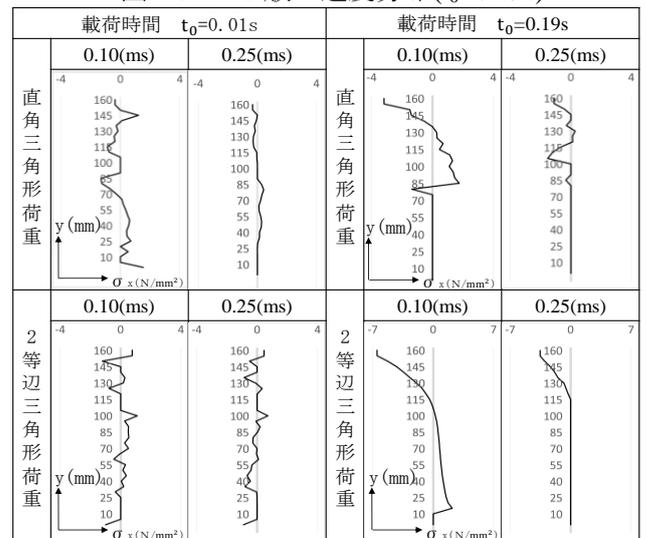


図-6 RC 版断面内の応力分布

4. 結言

本研究は、衝撃荷重を受ける RC 版の破壊挙動に関して、数値解析的に検討を行ったものである。その結果、衝撃荷重特性を直角三角形荷重から 2等辺三角形荷重に変化させることで、RC 版の破壊モードは局部的な破壊から全体的な破壊に推移し、載荷時間が短くなるといずれの荷重特性においても局部的な破壊を示すことがわかった。

参考文献

- 1) 土木学会：構造物の衝撃挙動と設計法，構造工学シリーズ，1993.
- 2) Mark L. Wilkins: Computer Simulation of Dynamic Phenomena, Springer Berlin Heidelberg, 1999.5
- 3) 三輪幸治，別府万寿博，大野友則，伊東雅晴，片山雅英：改良理論モデルによるコンクリート板の局部破壊評価法，土木学会論文集 A Vol. 65 No.4, 844-858, 2009. 10