## 粒子法による剛飛翔体の中速度衝突を受ける UFC 版の局部破壊解析

大成建設(株)	技術センター	正会員	○小尾	博侈	亡 て			
大成建設(株)	原子力本部		神田	鰵,	太田	成,	笠置	昌寿
大成建設(株)	設計本部		宇賀	田俊	ŧ			

#### 1. はじめに

超高強度繊維補強コンクリート(以下, UFC)は高強 度・高靭性を有する材料であり、その優れた力学特性 から衝撃荷重を受ける部材への適用が検討されている. 本研究では片岡らの衝撃実験 1)を例に、中速度衝突を 受ける UFC 版の局所的な破壊挙動を数値シミュレー トすることを目的とした.一般に,表面破壊,裏面剥 離、貫通などの局部破壊を有限要素法に代表される連 続体モデルで解析する場合,要素のつぶれによる計算 の困難さを避けるためエロージョン(破壊した要素の 削除)が必要となる.ここでは、要素のつぶれやゆが みにも特別な処理の必要がなく、剥離や貫通などの不 連続現象を表現できる粒子法 (SPH) を用いた.また, 衝撃荷重を受ける部材には高いレベルのひずみ速度が 生じるため, UFC には既往の研究からひずみ速度依存 性を考慮した材料特性を設定した. なお, 解析コード にはLS-DYNA (R9.1.0) を用いた.

### 2. 解析条件

解析対象とする試験体の寸法は縦・横共に 1150mm で、版厚は 60mm、90mm および 120mm である. 解析 モデルは図-1 に示すように 1/4 対称モデルとし、UFC 版の中心から縦・横 300mm の範囲は SPH 粒子で、そ の外側はソリッド要素でモデル化した. 飛翔体は剛体 とし、質量は 8.3kg で先端形状は直径 90mm の半球体 である. 試験体の支持具はシェル要素でモデル化し弾 性材料とした. UFC の材料定数および解析ケースを表 -1、表-2 にそれぞれ示す. UFC の材料モデルには LS-DYNA に組み込まれている K&C コンクリートモデル <sup>2)</sup>を用いた. この材料モデルは普通コンクリートを対象 としたモデルであるが、本研究では引張特性に関する パラメータを調整することにより繊維の架橋効果を考 慮している. 引張特性について普通コンクリートと UFC の比較を図-2 に示す. また、UFC のひずみ速度依 存性は圧縮側に藤掛らの研究<sup>3</sup>を,引張側に千賀らの 研究<sup>4)</sup>を適用した.このときの DIF(降伏強度の動的倍 率)とひずみ速度の関係を図-3に示す.



図-1 解析モデル(1/4 対称モデル)

表-1 UFC の材料定数

弹性係数 E (GPa)	50
圧縮強度 f <sub>c</sub> (MPa)	216
引張強度 f <sub>t</sub> (MPa)	11

表-2 解析ケース

No.	版厚 (mm)	衝突速度 (m/s)	実験時破壊モード		
1	60 41.9		貫通		
2	90	41.4	裏面剥離		
3	120	41.6	表面破壊		



キーワード 粒子法, 剛飛翔体, 中速度衝突, 超高強度繊維補強コンクリート, ひずみ速度依存性
 連絡先 〒245-0051 横浜市戸塚区名瀬町 344-1 大成建設(株) 技術センター 都市基盤技術研究部 TEL045-814-7227

-218

### -218

## 3. 解析結果

実験と解析の破壊状況の比較を図-4 に示す.解析結 果のコンター図は相当ひずみを表し,出力時間は 10ms とした.解析結果の破壊モードは版厚 60mm が貫通, 90mm, 120mm はそれぞれ裏面剥離,表面破壊を示し ており,実験結果の破壊モードにほぼ整合している. 飛翔体衝突力および支承反力の時刻歴を図-5,図-6 に



図-4 破壊状況の比較

示す. 衝突力は時刻 0.5ms までに主要な波動は終了している. 一方,支承反力は 0.5ms 以降に立ち上がり始め,衝突力がほぼ除荷された時刻で最大反力を生じることが分かる.



# 図-6 支承反力の時刻歴

### 4. まとめ

本研究では UFC 版の局所破壊挙動について粒子法 を用いた数値解析を試みた.その結果,UFC の引張特 性やひずみ速度依存性を適切に考慮することで,裏面 剥離や貫通などの局部破壊を概ね再現できることがわ かった.今後は貫通した孔径や剥離面積等について詳 細な検討を行う必要があると考える.

### 参考文献

- 片岡新之助ほか:中速度衝突を受ける超高強度繊維補 強コンクリートパネルの衝撃応答特性に関する基礎的 検討,コンクリート工学年次論文集,Vol.38,No.2, pp.757-762,2016
- 2) Lei Mao ほ か: Numerical simulation of ultra high performance fiber reinforced concrete panel subjected to blast loading, International Journal of Impact Engineering 64, pp.91-100, 2014
- 藤掛一典ほか:高速度の三軸圧縮載荷を受ける鋼繊維
   補強高強度モルタルの動的挙動とその特性モデル,土
   木学会論文集 No.704/V-55, pp.37-53, 2002.5
- 4) 千賀孝宣ほか:超高強度繊維補強コンクリートの動的 引張特性に関する実験的研究,土木学会関東支部第 32 回技術研究発表会,2005.3