

衝突によって生じるコンクリート内部の応力波伝播と破壊に関する数値シミュレーション

防衛大学校 学生会員 ○山倉一高 正会員 別府万寿博 大野友則
(株)CRC ソリューションズ 正会員 片山雅英

1. 緒言

飛翔体の高速衝突や爆発による爆風圧を受けるコンクリート構造物の安全性を照査するためには、コンクリートの損傷・破壊を精度良く評価できる解析および実験手法の確立が不可欠である。本研究は、衝撃解析コード「AUTODYN」を用いて、コンクリート棒部材のスポール破壊および飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊など、主としてコンクリートの引張破壊が支配的な現象をシミュレートしたものである。

2. コンクリート棒部材のスポール破壊のシミュレーション

2.1 実験の概要

コンクリート棒部材に対して、図-1 に示すような振り子式衝突実験を行った。コンクリート棒供試体は直径 60mm、長さ 1000mm で、その圧縮強度は 27 および 45N/mm² の 2 種類である。衝突体には直径 75mm、長さ 91mm の鋼塊(3.2kg)を使用した。衝突速度は、衝突体の落下高さを調節することで、速度 2.0m/s~3.0m/s とした。計測項目は、図-1 に示す 3 箇所(A, B, C)のひずみとし、ひずみの大きさや伝播の状況を調べた。写真-1 に、衝突体を速度 2.8m/s で衝突させた場合のコンクリート棒部材の破壊状況を示す。これより、破壊面が 2 箇所が発生したことがわかる。

2.2 シミュレーション結果および考察

解析モデルを図-2 に示す。コンクリート棒および衝突体のモデルは一辺 10mm の立方体で約 2800 個に要素分割した。解析において使用したコンクリートの材料特性を表-1 に示す。また、図-3 に、コンクリートの構成モデルを示す。圧縮側は Drucker-Prager の降伏条件を用い、引張側は主応力が 2MPa に達した時点で応力をゼロとした。図-4 に、点 A におけるひずみ～時間関係を実験と比較して示す。これより、ひずみの最大値や波形の形状などは比較的よく一致している。また、解析によるコンクリート棒の破壊状況を図-5 に示す。これより、解析による破壊の発生位置は実験とやや異なっているが、破壊面は実験と同様に 2 箇所が発生した。図-6 に、解析で得られた応力の伝播状況を示す。t=0.1~0.3ms において応力波は棒先端へ向かって進行し、その部分のみに圧縮応力が発生している。その後、応力波が t=0.3ms で棒先端に到達すると、自由端反射によって引張の応力波に転じ、コンクリート棒に引張破壊が生じたと考えられる。

表-1 コンクリートの材料特性

密度 (g/cm ³)	体積 弾性係数 (GPa)	せん断 弾性係数 (GPa)	引張強度 (MPa)
2.22	12.8	9.56	2.0

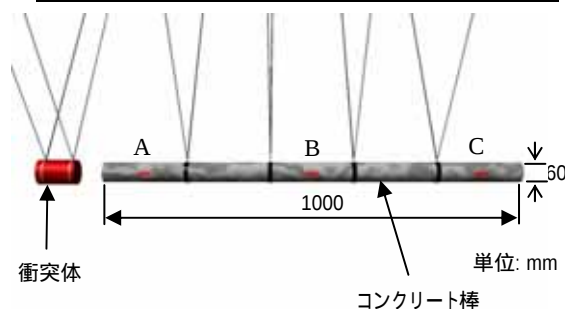


図-1 実験の概要



写真-1 コンクリート棒部材の破壊状況

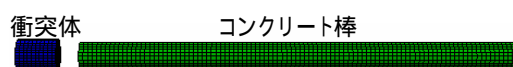


図-2 解析モデル

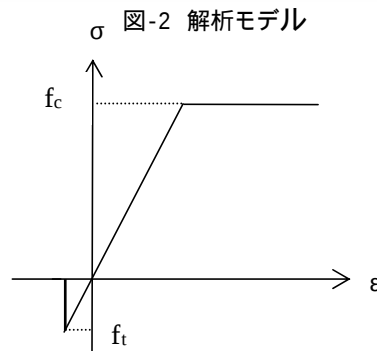


図-3 コンクリートの応力～ひずみ関係

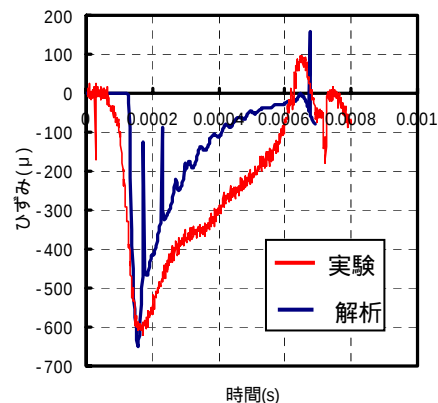


図-4 解析と実験の比較(ひずみ～時間関係)

キーワード：3D-AUTODYN、衝突、応力波の伝播、コンクリート

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 Fax：046-844-5913

3. 飛翔体の高速衝突を受ける局部破壊のシミュレーション

3.1 実験の概要

ここでは、鉛製飛翔体の高速衝突を受けるコンクリート板の局部破壊のシミュレーションを行った。図-7 に火薬式高速飛翔体発射装置を示す。発射装置から約 7m 離れた位置に供試体を設置し、コンクリート板は上下 2 辺を L 型鋼で支え、クランプを用いて固定している。コンクリート板の寸法は縦 500×横 350×厚 70mm である。飛翔体の寸法は、直径約 8mm、長さ約 30mm で、その先端は円錐状である。実験では、この飛翔体を速度約 700m/s でコンクリート板に垂直に衝突させている¹⁾。

3.2 シミュレーション結果および考察

解析モデルは、コンクリート板については実験と同じ寸法とし、一辺 10mm の立方体で約 12300 個に要素分割した。実験で用いた高速飛翔体の先端は円錐状であるが、鉛製で非常に柔らかいので、先端形状がコンクリート板の破壊に与える影響は小さいと考えて、ここでは円柱としてモデル化した。コンクリートの構成モデルや破壊の条件は前述のとおりとし、飛翔体については一辺 2mm の立方体で要素分割した。鉛の材料定数は、密度 11.3g/cm³、体積弾性係数 37.8GPa、せん断弾性係数 4.72GPa とした。また、計算過程において相当ひずみが 2.0 以上になった要素は数値モデルから削除して計算を続けた。

解析によるコンクリート板表裏面の破壊状況を図-8 に示す。これより、解析および実験ともにコンクリート板は貫通せず、破壊の形状も同様であることがわかる。飛翔体が衝突してからコンクリート板が破壊するまでの板厚方向の応力分布を図-9 に示す。これより、衝突直後では衝突部位の直下において圧縮応力のみが発生しているが、裏面での反射によって引張応力が発生してくることがわかる。破壊の直前($t=0.002\text{ms}$)には、衝突位置から斜めの方向やコンクリート板底面にも引張応力が卓越し、最終的にこの引張応力によって図-8 に示すような裏面剥離が生じたと考えられる。

4. 結言

衝突によって発生するコンクリート部材中の応力波の伝播および破壊に至るまでの挙動を、衝撃解析コード「AUTODYN」によりシミュレートすることができた。本研究では、主としてコンクリートの引張破壊をシミュレートしたが、今後圧縮やせん断破壊に対しても検討する必要があると考えている。

参考文献

- 1) 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, 第 7 回構造物の衝撃問題に関するシンポジウム講演論文集 pp.159 - 164, 2004.11.



(a) 実験



(b) 解析

図-5 破壊状況の比較

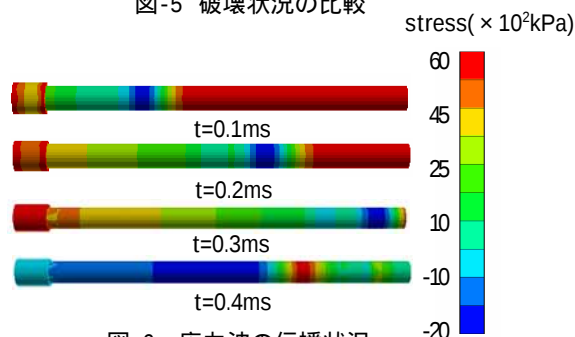


図-6 応力波の伝播状況

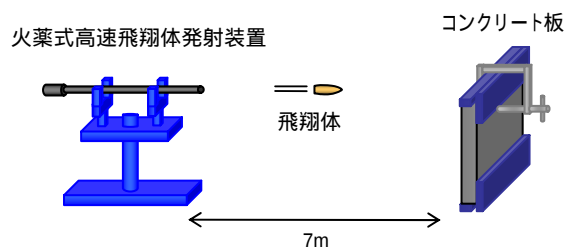


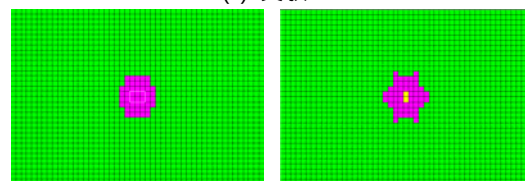
図-7 実験の概要



表

裏

(a) 実験



表

裏

(b) 解析

図-8 破壊状況の比較

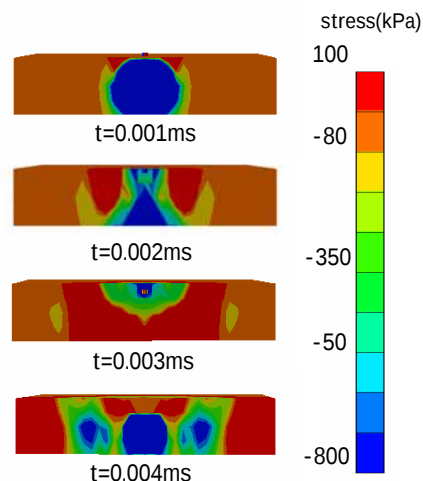


図-9 板厚方向の応力分布