衝突によって生じるコンクリート部材の破壊に関する数値解析的検討

防衛大学校学生会員 大山浩代 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荷重に対してコンクリート構造物を安全 に設計するためには、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,主としてコンクリートの引張破壊 が支配的なコンクリート棒部材の破断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破断

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 27N/mm² 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 2.7m/s および 2.85 m/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.

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 要素に分割した. 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、衝突速度 2.85 m/s のときの点 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箇所で発生した. 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 いて衝突によって発生した圧縮応力波が棒先端へ向かって進行して

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.

3. 飛翔体の高速衝突を受ける局部破壊

実験の概要 3.1

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

-301-





(b)解析 図-5 破壊状況の比較

(a)実験

時間(s)

図-4 解析と実験の比較(ひずみ~時間関係)

ft

200 100

-100 (h) -200

ີ່ຫຼຸ - 300

-400

-500

-600

-700

図-3 コンクリートの応力~ひずみ関係

実験

解析

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 要素に分割した.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.図-9は,破壊径~板圧関係を 実験結果と比較したものである.これより,表面,裏面の破壊と もによくシミュレートできていることがわかる.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 -10 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=0.002ms)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 リ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

 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.

