高速衝突を受けるコンクリート板のひずみ応答に関する数値シミュレーション

防衛大学校 学生会員 〇片岡 新之介 正会員 別府 万寿博

1. 緒言

近年,不測の爆発事故や爆破テロが世界的に頻発している. これらの災害では,高速度の飛散物が構造物に衝突し,構造物 や人命に被害が生じることが報告されている.高速飛翔体から コンクリート構造物を防護するため,局部破壊に対する耐衝撃 設計法や補強方法の確立が必要であり,コンクリートが衝撃荷 重を受ける際の破壊メカニズムの解明が不可欠である.本研究 は,高速衝突を受けるプレーンコンクリート板供試体のひずみ 応答を数値解析したものである.

2. 実験の概要

(1)実験装置および計測項目

実験は、図-1 に示す高圧空気式飛翔体発射装置を用いて行った.写真-1 に飛翔体の概要を示す.飛翔体の先端形状は半球型で、質量 46g、直径 25 mmである.この飛翔体を専用の固定具に取り付けて空気圧により発射させた.コンクリート板は縦 50cm×横 50cm,板厚は 10cm で、四隅を固定して発射管出口から 1mの位置に写真-2 のように設置した.飛翔体の衝突速度は 300m/sとし、図-2 に示すように、ひずみゲージを貼付けたアクリル棒をコンクリート板内部に埋め込み、ひずみ応答を計測した¹⁾. (2)実験結果及び考察

実験結果を図-3 に示す. 破壊モードは表面破壊であり, 裏面 剥離は発生しなかった. ただし, 裏面上にひび割れが発生した. 図-4 に板内部のひずみ応答を示す. 図-4(a)を見ると, ひずみ応 答は t=1.0ms にはほぼ終了し, その後は一定値を示している. 図-4(b)はひずみゲージ C (衝突方向)のひずみ応答を示している. このから, C1 は t=0.025(ms)において圧縮ひずみが増加し, その後 t=0.2ms で引張ひずみに転じている. これは, 裏面に到 達した圧縮応力波が自由端反射して, 引張応力波が発生したた めと考えられる. 図-4(c), (d)は, ひずみゲージ S, T (斜め方 向)のひずみ応答を示している. これより, S と T は同じ位置 で, ほぼ同時刻にひずみ応答が始まっている. また, 衝突部か ら近い位置の最大圧縮あるいは引張ひずみが大きいことがわか る. このひずみは, 動的な引張破壊限界ひずみ 200 μ ~300 μ を 超えており, 板表面側に近い位置から順に板内部で引張破壊が 生じていると考えられる.



キーワード:高速剛飛翔体,コンクリート供試体,数値解析,ひずみ応答 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 E-mail:s56143@ed.nda.ac.jp

3. 数值解析

(1) 解析モデル

数値解析は,AUTODYNver.13.0 を用いて行った.計算時間 の短縮のため,解析には図-5 に示す 1/4 モデルを作成した. コ ンクリート板は,125×125×50 分割とし,総要素数は 781,250 である.飛翔体の総要素数は 1,200 分割である.境界条件は, コンクリート板の四隅を固定している.

(2) 材料モデル

表-1 に、コンクリートの解析定数を示す.状態方程式は線形型とし、降伏条件は非線形 Drucker-Prager 降伏基準を用いた. 破壊則はスポール破壊を考慮し,スポール圧力は-9.0×10³(kPa) を用いた. 圧縮強度および引張強度には,動的な強度としてひず み速度 10¹(1/s)を考慮し、静的強度に動的倍率を乗じた.縦弾性 係数には圧縮強度から推定した 30.0(kN/mm²)を用いた.

(3) 解析結果および考察

図-6 および図-7 に解析結果を示す. 衝突後 t=0.070ms におい て、裏面にひび割れが発生している. t=0.11ms において、内部 に斜めひび割れが発生し、t=0.21ms でひび割れの進展が終了し た. なお、内部の斜めひび割れは裏面まで到達していないため、 裏面剥離は発生していない. 図-7 は、供試体表面および裏面の 破壊状況を示している. 図-3 の実験結果と比較すると、裏面の ひび割れの進展状況を比較的良好に再現できた.

図-8に、コンクリート板内部のひずみ応答を示す.図-8(a)から、ひずみ応答はt=0.20(ms)でほぼ終了している.図-8(b)より、 C1に生じた初期の圧縮ひずみがt=0.09(ms)で引張波に転じており、最大圧縮ひずみは、C1では9000µ,C2では1000µであった.図-8(c)、(d)より、ひずみゲージS,Tは実験と同様に、同じ位置においてほぼ同時刻にひずみ応答が始まっている.図-8(d)より、表面に近いS1では、最大圧縮ひずみが5,100µであった.表面から離れたS1,S2では実験結果よりかなり小さな結果となった.図-8(c)より、最大引張ひずみはT1では6000µ,T2では800µであり、実験結果をある程度再現できた.

4. 結言

本研究の成果を要約すると以下のとおりである.

- (1) 三次元数値解析により,供試体内部のひび割れ状況やひ ずみ応答を,ある程度良好に再現できた.
- (2) コンクリート板の損傷は,裏面の自由端反射による引張 (c) ひずみゲージT1,T2
 応力波および斜め方向の引張破壊が原因であるとわかった.
 図-8 数値解析

250mm 250mm 250mm 100mm 100mm 図-5 三次元解析モデル

衣 コン	クリートの解析正毅
状態方程式	線 形 型
降伏条件	Drucker-Prager降 伏 基 準
体積弾性係数	1.666666 × 10 ⁷ (kPa)
せん断弾性係数	1.250000 × 10 ⁷ (kPa)
破壊基準	ス ポ ー ル 破 壊
エロージョンひずみ	2.5
圧 縮 強 度	<u>静的:38.9(N/mm²)</u> <u>動的(10¹(1/s)):66.1(N/mm²)</u> 強度倍率:1.7
引 張 強 度	<u>静的:3.89(N/mm²)</u> <u>動的(10¹(1/s)):15.9(N/mm²)</u> 強度倍率:4.1
縦弾性係数	30.0(kN/mm ²)
ポアソン比	0.15
密度	2.31(g/cm ³)



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内部の裏面剥離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

- 4