衝撃荷重を受けるコンクリート板の局部破壊に関する基礎的考察

防衛大学校 学生会員 〇稲村 秀人 正会員 別府 万寿博

1. 緒言

爆発や高速衝突による衝撃荷重がコンクリート部材に作用す ると、局部的な破壊が生じる.局部的な破壊が生じる原因を大 きく区分すると、応力波の伝播に起因するスポール破壊と、局 所的な変形による押し抜きせん断に類似した破壊の2種類が考y えられるが、そのメカニズムには不明な点が多い.本研究は、 コンクリート板を対象とした波動伝播解析を行い、荷重の条件 が破壊の生じる位置および破壊モードに与える影響を検討した ものである.

2. 解析手法の概要

本研究では,表面積分法を適用した有限差分コード¹⁾で解析を 行った.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、ひずみ速度および節点力を求める際に使用した. 材料モデルには, 塑性, 破壊およびひずみ速度効果を考慮した. 塑性の判定には Von Mises 降伏条件を, 破壊には主応力破壊基準 を適用した.ひずみ速度効果は、三輪らの局部破壊解析²⁾を参 考にして、動的圧縮強度の増加率に藤掛らの式、動的引張強度 の増加率に Ross らの式を用いた.

3. 解析結果および考察

解析モデルを図-1に、解析に用いた材料定数を表-1に示す. 解析モデルは長さ480mm,高さ80mmとし、板の両端を固定し た. 要素寸法は 2.5mm×2.5mm の正方形とし, 総節点数は 6369 個である.荷重は板中央の幅 20mm (9 節点) に作用させた.

荷重~時間関係は図-2に示す三角パルスとした.最大荷重 Fo は2.6kNとし、荷重条件は荷重の継続時間t₀を表-2 に示す条件 -①,②のように変化させた.本解析モデルでは、応力波が板の 下端に到達する時刻はt₁ = 0.024ms である.条件①では継続時間 $t_0 \varepsilon t_1$ の半分,条件②では $t_0 \varepsilon t_1$ の1.5倍に設定した.データを 出力する要素は、図-1 に示す A~D に設定した. これは、後述 するようにスポール破壊やせん断破壊の位置に対応する要素で ある.

荷重条件①で生じた塑性および破壊状況を図-3 に示す.破壊 部を赤色, 塑性部を緑色で表している. また, 図示している時 刻はそれぞれt = 0.030ms, t = 0.060msにおける状況である.

キーワード 局部破壊、スポール破壊、斜めひび割れ、表面積分法 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: s57055@ed.nda.ac.jp



表-1 材料定数

降伏条件	Von Mises降伏条件
破壊基準	主応力破壊
圧縮強度	静的:25.0N/mm ²
引張強度	静的:2.5N/mm ²
縦弾性係数	25.5kN/mm ²
ポアソン比	0.15
密度	2.3g/cm ³



図-2荷重~時間関係

表-2 荷重条件

	荷重	荷重継続時間
	kN	ms
荷重条件①	2.6	0.012
荷重条件②	2.6	0.036



この条件では、まず荷重点近傍において塑性化が広がるとと もに塑性領域の近傍でひび割れが発生する.その後板下部にス ポール破壊が生じる.荷重条件②で生じた塑性および破壊状況 を図-4に示す.図の時刻はそれぞれ*t*=0.030ms,*t*=0.060msに おける破壊状況を示している.この条件では、荷重条件①と同 様に塑性領域の近傍でひび割れが発生し、下端で破壊が生じる. その後、中央部近くから徐々に、斜めひび割れが形成された.

条件①,②のy方向全応力 σ_{yy} の分布を図-5 に示す.図示し ている時刻は、応力波が下端に到達した直後のt = 0.027ms であ る.条件①では、 σ_{yy} の反射によって引張応力が大きくなって いる.一方、条件②では、反射による引張波が継続して入射さyれる圧縮波と干渉するため、引張応力は小さくなっている.条 件①,②のせん断応力 τ_{xy} 分布を図-6 に示す.図示している時 刻はt = 0.031ms である.図から、荷重継続時間 t_0 が大きい方 が τ_{xy} が大きいことがわかる.条件②では①と比べて、明瞭に斜 めひび割れが進展している.

条件①, ②における要素 A~D の破壊時刻直前の応力状態を 表-3, 4に示す. σ_{xx} , σ_{yy} , τ_{xy} の中で最も大きい応力を黄色で 網かけして示している. 表-3 から, 条件①の場合は, 要素 A で は σ_{yy} が卓越しているため, スポール破壊は σ_{yy} によるものであ ると考えられる. 要素 B ではいずれの荷重条件でも σ_{xx} が卓越 して破壊が生じたことがわかる. 要素 D では, 条件①において は σ_{xx} が, 条件②においては τ_{xy} が卓越している. 斜めひび割れ の進展には, σ_{xx} および τ_{xy} がともに影響していると考えられる.

条件①と②の比較から、条件①のように荷重継続時間 t_0 が下端への到達時刻 t_1 に比べて小さければ、要素 A 付近で σ_{yy} によりスポールを形成しやすいと考えられる.一方、条件②のように t_0 が t_1 に比べて大きければ、要素 A 付近では、載荷部から継続して入射される圧縮応力の影響で、スポール破壊を形成しにくいと考えられる.また、 t_0 が大きければ、せん断応力 τ_{xy} が大きくなる特徴がある.

4. 結言

本研究は、コンクリート板の局部破壊に対する荷重条件の影響を,波動伝播解析により検討したものである.解 析結果から,荷重継続時間の違いが,コンクリート板に入射される圧縮応力と反射する引張応力の干渉やせん断応 力の違いを生じさせ,破壊の生じる位置および破壊モードが変化することがわかった.すなわち,荷重継続時間が 長くなると,スポール破壊が起こりにくく,斜めひび割れが生じやすいということがわかった.

参考文献

Mark L. Wilkins: Computer Simulation of Dynamic Phenomena, Springer Berlin Heidelberg, 1999.5
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





表-3 破壊時の応力(荷重条件①)

	$\sigma_{_{XX}}$	$\sigma_{_{yy}}$	$ au_{xy}$	破壊時刻	
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	ms	
要素A	10.79	23.15	0.24	0.031	
要素B	21.94	2.54	1.30	0.036	
要素C					
要素D	21.63	9.89	7.02	0.031	

表-4 破壊時の応力(荷重条件2)

	$\sigma_{_{xx}}$	$\sigma_{_{yy}}$	$ au_{xy}$	破壊時刻	
	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	ms	
要素A					
要素B	20.38	-1.94	0.29	0.032	
要素C	25.09	7.65	1.91	0.043	
要素D	9.16	-9.38	17.49	0.031	