

衝撃荷重を受ける RC 梁の局部損傷に関する解析的研究

防衛大学校 学生会員 ○藤巻 遼太郎 正会員 別府 万寿博
学生会員 上野 裕稔 正会員 市野 宏嘉

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斜めせん断破壊の 2 種類が考えられる。一般的に、このような局部破壊に対する配筋の影響は小さいと報告されているが、詳細に検討した例は少ない。本研究は、RC 梁を対象とした波動伝播解析を行い、配筋条件が破壊性状へ与える影響について検討したものである。

2. 解析手法および解析モデルの概要

本研究では、表面積分法を適用した 2 次元有限差分コード¹⁾を用いて解析を行った。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。コンクリートおよび鉄筋の塑性判定には Von-Mises の降伏条件を、コンクリートの破壊判定には主応力破壊基準を適用した。また、ひずみ速度による動的圧縮強度の増加率は藤掛らの式²⁾、動的引張強度の増加率は Ross らの式³⁾を用いて算出した。

図-1 および表-1 に、解析モデルおよび解析に用いた材料定数をそれぞれ示す。解析モデルは長さ 480mm、高さ 80mm、幅 40mm の鉄筋コンクリート (RC) 梁とし、梁の両側下端部を固定した。要素寸法は 2.5mm×2.5mm の正方形で、総節点数は 6,369 個である。荷重は梁中央上部の幅 40mm に位置する 17 節点に作用させた。RC 梁に作用させる荷重～時間関係は、図-2 に示す最大荷重 15.2kN、荷重継続時間 0.07ms の三角形パルスとした。鉄筋については、圧縮鉄筋および引張鉄筋をモデル上端および下端からそれぞれ 10mm の位置に配置した。せん断補強筋については、スパン中央から 60mm 間隔で 7 本配置した。引張鉄筋比、圧縮鉄筋比およびせん断補強筋比は 2% である。本研究では表-2 に示すように、鉄筋無しのケース、主鉄筋のみのケースおよび主鉄筋に加えてせん断補強筋を配筋したケースの 3 種類について解析を行った。

3. 解析結果および考察

(1) 破壊状況

図-3 に、各ケースの最終的な破壊状況 (t=0.3ms) を示す。緑は弾性領域を、赤は破壊領域を表している。

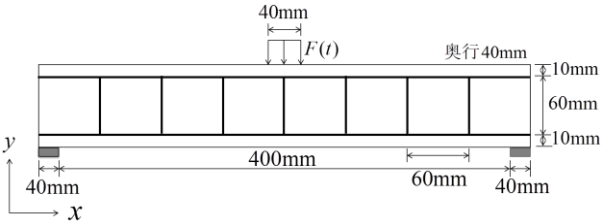


図-1 解析モデル

表-1 材料定数

	コンクリート	鉄筋
降伏条件	Von-Mises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	静的：235.0N/mm ²
引張強度	静的：2.5N/mm ²	静的：400.0N/mm ²
弾性係数	25.5kN/mm ²	200.0kN/mm ²
ポアソン比	0.15	
密度	2.3g/cm ³	7.85g/cm ³

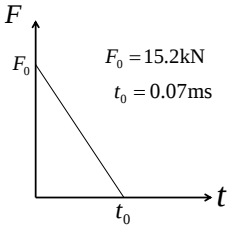


図-2 荷重～時間関係

表-2 解析ケース

ケース1	鉄筋無
ケース2	主鉄筋有
ケース3	主鉄筋+せん断補強筋有

キーワード 局部破壊, スポール破壊, 斜めせん断破壊

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 : 090-6496-6227 E-mail : beppu@nda.ac.jp

鉄筋無のケース 1 は、梁中央下部部に応力波の影響によるスポール破壊が生じるとともに、梁全域に渡って梁上部から下方向あるいは斜め方向へのひび割れ（図-3 中の①）が確認できる。これらのひび割れは、高次の変形モードによって発生したものと考えられる。主鉄筋を配置したケース 2 では、鉄筋補強により梁上部において広範囲に生じたひび割れが抑制されていることがわかる。一方で、梁中央部において破壊が集中しているが、これは鉄筋補強により梁の全体変形が抑制された影響と考えられる。さらにせん断補強筋を配置したケース 3 では、ケース 1 において梁中央下部に生じた斜めひび割れ（図-3 中の②）も抑制されていることがわかる。このように、局所的な破壊であっても、主鉄筋やせん断補強筋を配置することで破壊を抑制する効果があることが認められる。

(2) 応力分布

図-4～図-6 に時刻 $t=0.03\text{ms}$ における、各ケースの x 方向、 y 方向応力 (σ_x , σ_y) およびせん断応力 (τ) 分布をそれぞれ示す。なお、本解析モデルでは、応力波が梁の下端に到達する時刻は 0.024ms であり、図は荷重が RC 梁に作用して、応力波が梁の下端に到達した直後の状態を示している。図-4 に示す σ_x 分布から、主鉄筋やせん断補強筋を配置することにより、梁中央下部の引張応力の分布範囲が大幅に縮小していることがわかる。また、せん断補強筋を配置することで梁中央部に発生する応力も抑制された。図-5 に示す σ_y 分布から、鉄筋配置によって梁中央部の応力が低減した。なお、せん断補強筋を配置したケース 3 は、ケース 2 と比べて梁中央部においてスポール破壊した要素が少ないため、ケース 2 と比べると圧縮応力の範囲がやや広がった。図-6 に示す τ 分布から、鉄筋補強によってせん断応力分布が変化していることが認められる。ケース 2 では主鉄筋補強によって梁全体の破壊が抑制されたが、逆に梁中央部の破壊が増加したことで梁中央部のせん断応力が低減したと考えられる。一方、せん断補強筋を配置したケース 3 では、この梁中央部の破壊やせん断変形が抑制されたことから、全体的にせん断応力が低減された。

4. 結言

本研究は、衝撃荷重を受ける RC 梁の衝撃応答および配筋条件が破壊性状へ与える影響について、数値解析を行って検討したものである。解析の結果、主鉄筋やせん断補強筋によって、応力分布が大幅に変化し、破壊が抑制されることがわかった。

参考文献

- 1) Marc L. Wilkins: Computer Simulation of Dynamic Phenomena, Springer Berlin Heidelberg, 1999.5.
- 2) 藤掛一典, 上林勝敏, 大野友則, 水野淳, 鈴木篤: ひずみ速度を考慮した三軸応力下におけるコンクリートの直交異方性構成モデルの定式化, 土木学会論文集, No.669/V-50, pp.109-123, 2001.
- 3) Ross, C. A., Thompson, P. Y. and Tedesco, J.W.: Split-hopkinson pressure-bar tests on concrete and mortar in tension and compression, *ACI Materials Journal*, Vol.86, pp.475-481, 1989.

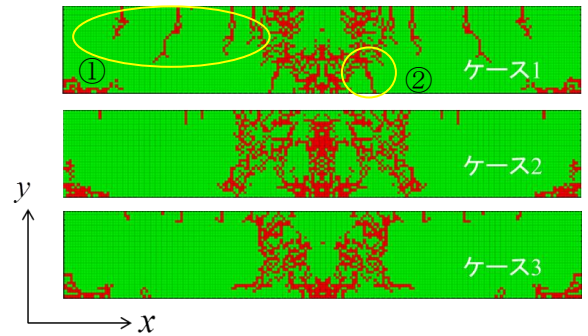


図-3 最終破壊状況 ($t=0.3\text{ms}$)

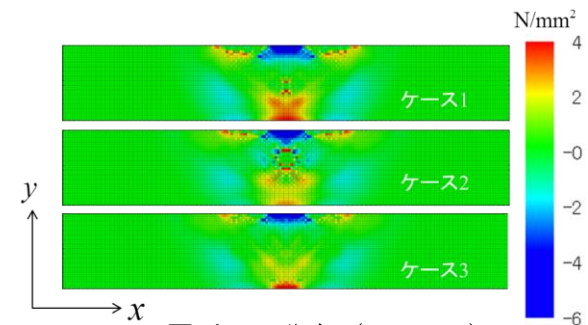


図-4 σ_x 分布 ($t=0.03\text{ms}$)

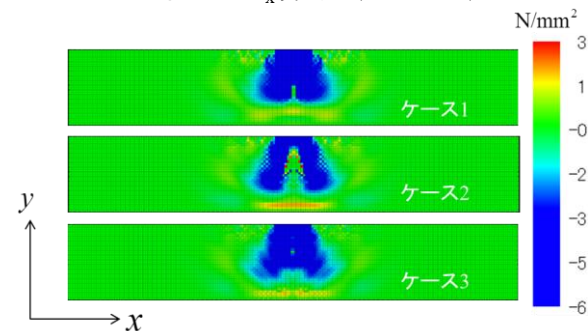


図-5 σ_y 分布 ($t=0.03\text{ms}$)

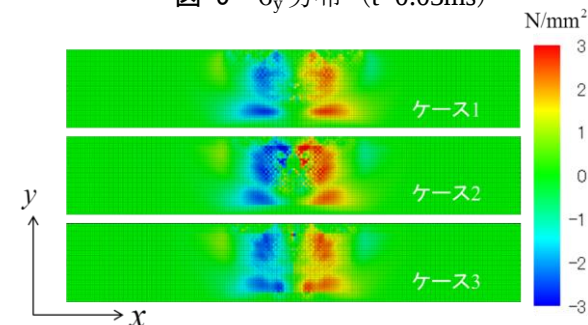


図-6 τ 分布 ($t=0.03\text{ms}$)