

コンクリートはり試験体の寸法効果に及ぼす動的な引張軟化特性とひずみ速度の影響

防衛大学校 正会員 別府万寿博 藤掛一典 大野友則

1. はじめに

コンクリート強度の寸法依存性（寸法効果）を理論的かつ定量的に推定するために、力学モデルに基づいた評価手法の開発が望まれている。その一つとして、コンクリートのひび割れ進展にともなう破壊現象に対し、引張軟化特性を考慮するようにしたコンクリートの破壊力学が注目されている。この引張軟化特性は、高ひずみ速度下では大きく変化することがわかっている¹⁾。したがって、衝撃または高速载荷を受けて引張破壊するようなコンクリート試験体の強度は、寸法の影響と同時にひずみ速度の影響も受けるものと考えられる。本研究は、切り欠きを有するコンクリートはりを対象として、高速で曲げ引張破壊する試験体の寸法効果について、動的な引張軟化特性を考慮した FEM 解析により基礎的に検討したものである。

2. 解析手法

2.1 解析モデル

図-2(a)に示すようなはり高とスパンの比が 2.5 の切り欠きを有するコンクリートはり試験体の左半分を、図-2(b)のようにモデル化した。モデルの寸法は、はり高 $d=6\text{cm}$ のものを Small モデルとし、その 2, 4 倍の大きさをそれぞれ Middle, Large モデルとした。

2.2 载荷条件の設定

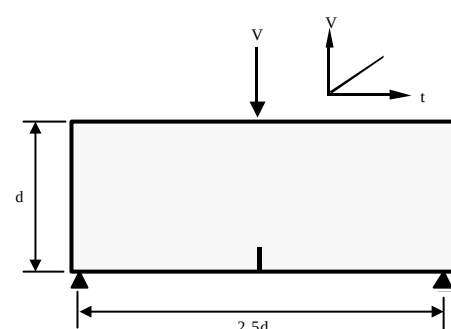
寸法が動的な破壊挙動に与える影響を調べるための要件として、各モデルに対して载荷速度を等しくすることおよび破壊モードを変化させないことが重要である。そこで、入力速度はスパン中央に作用させ、その大きさは時間とともに線形に上昇させた。ここで、载荷点変位は各モデル間で寸法比を満たすようにしている。すなわち、Small, Middle および Large モデルでそれぞれ、载荷後 1.25, 2.5, 5ms で 1m/s となるように設定した。

2.3 構成則

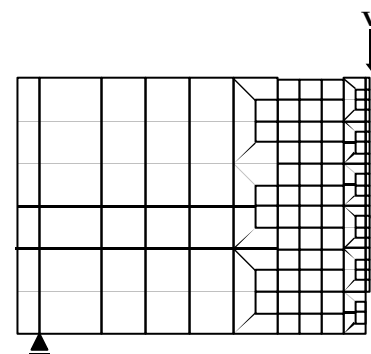
構成則については、圧縮側は Drucker-Prager 則を用いている。引張側は主応力が引張強度に達すると引張破壊が発生し、その後軟化勾配を直線近似するモデルとした。ここで、軟化勾配については、ひずみ速度効果の影響を検討するため図-3 に示す藤掛ら¹⁾の実験結果を基に決定した。まず、動的な引張強度の増加率 $h(\dot{\epsilon})$ は次式で与えられている。

$$h(\dot{\epsilon}) = \frac{f_{td}}{f_{ts}} = 0.0433 \left(\frac{\dot{\epsilon}}{\dot{\epsilon}_s} \right)^{0.3363} \quad (\dot{\epsilon} \leq 7.22 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}) \quad (1)$$

ここに、 f_{td} ：任意のひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ で载荷した場合の引張強度、 f_{ts} ：



(a)切り欠き試験体



(b)要素分割図

図-2 解析モデル

表-1 解析に用いた係数

弾性係数	30GPa
ポアソン比	0.2
粘着力	5.5MPa
内部摩擦角	60°
硬化係数	1.0×10^5
引張強度	3.0MPa

キーワード：寸法効果、引張軟化特性、ひずみ速度効果、切り欠き試験体

〒239-8686 横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科

TEL：0468-41-3810 FAX：0468-44-5913

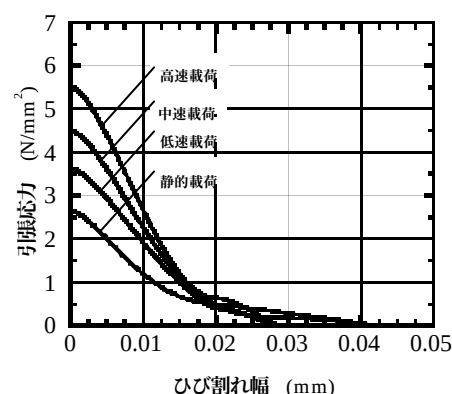


図-3 動的な引張応力～ひび割れ幅関係¹⁾

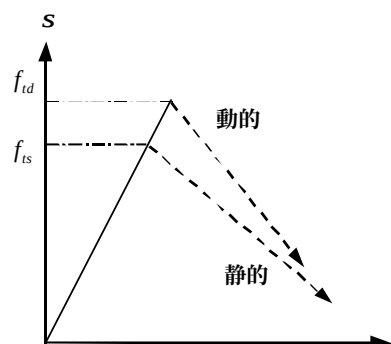


図-4 引張強度後の挙動

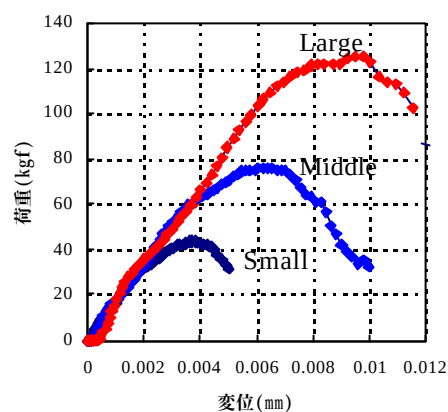


図-5 各モデルの荷重～変位関係

静的載荷における引張強度， ϵ_s ：静的載荷におけるひずみ速度である。次に，解析モデルにおけるクラック発生部の要素が図-3の応力～ひび割れ幅関係を満足するように応力～ひずみ関係を求めた。したがって，引張側の応力～ひずみ関係は，図-4に示すようにひずみ速度が大きくなると強度が高くなり，軟化領域ではより脆性的な挙動を示すことになる。表-1に解析定数を示す。

3. 解析結果

図-5にSmall, Middle および Large モデルの荷重～変位関係を示す。これより，いずれのケースも安定して最大荷重をむかえた後軟化挙動を示している。図-6にひずみ速度効果を考慮した場合における最大荷重時の載荷点断面の応力分布を示す。一般に，寸法が小さい場合は，引張強度よりも軟化領域の勾配が破壊に大きく影響するが，寸法が大きくなると中立軸が下がり，軟化域の挙動よりも引張強度の影響の方が大きいことが知られている。

本解析では，引張縁におけるひずみ速度が，Small モデルの場合で約 1.0 (1/s)，Large モデルで 0.25 (1/s) となった。このため，Small モデルの方が Large モデルに比べ引張強度の増加率は大きくなり，軟化領域ではより脆性化する。図-7にSmallモデルを基準とした強度比と寸法比の関係を示す。まず，ひずみ速度を考慮していない場合は，寸法が大きくなるにしたがい強度は小さくなる傾向が認められる。次に，Small や Middle モデルでは，ひずみ速度効果の影響による強度の変化が小さいことがわかる。一方，Large モデルではひずみ速度効果を考慮することにより，考慮しないケースに比べ強度がさらに 5%ほど低下している。すなわち，高速度で曲げ変形して引張破壊する問題では，ひずみ速度による引張強度とポストピークでの脆性化の変化が最大荷重に大きな影響を与えるものと考えられる。

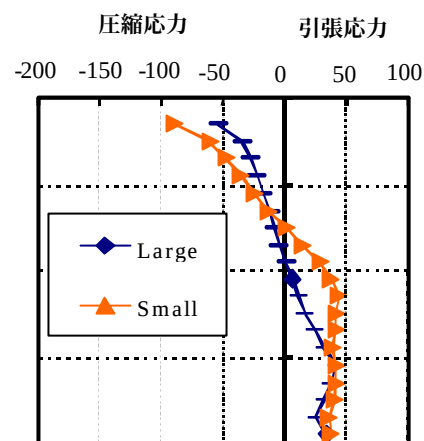


図-6 最大荷重時の応力分布

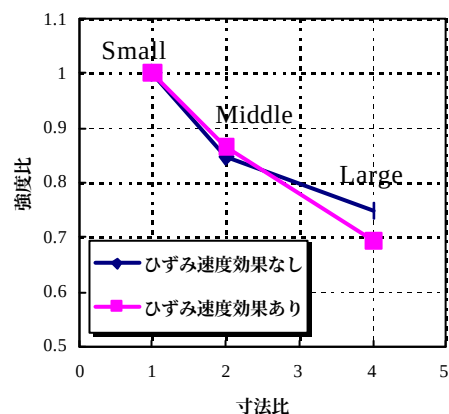


図-7 強度比と寸法比の関係

参考文献

- 1) 藤掛一典，上林勝敏，大野友則，江守克彦：ひずみ速度の影響を考慮したコンクリートの引張軟化特性の定式化，土木学会論文集，No.669/V-50，pp.125-134，2001.2