急速曲げ載荷を受ける鋼繊維補強超高強度コンクリート梁の動的非線形解析

防衛大学校	学生員	○宇野	隆浩,	防衛大学校	学生員	千賀	孝宣
太平洋セメント	正会員	上田	宣人,	防衛大学校	正会員	藤掛	一典
太平洋セメント	正会員	片桐	誠,	防衛大学校	正会員	大野	友則

## 1. 目的

既に著者らは圧縮強度が 200MPa を超える鋼繊維補強超高強度コンク リート(RPC:反応性粉体コンクリー ト)を用いた梁の急速曲げ載荷試験 を行い載荷速度、引張鉄筋量が荷重 -変形関係に及ぼす影響を調べた<sup>1)</sup>。 本研究では、Fig.1,2に示す急速曲げ 載荷を受ける RPC 梁の耐力 - 変形関 係を解析的に評価する手法を確立す ることを目的とする。解析方法は、 カーひずみ関係を用いたファイバー モデルによるモーメントー曲率関係 の算定、②その結果に基づきはりの 荷重-変位関係の算定から構成され る。



(a) Fiber element (b) Strain and strain-rate distributions (c) Stress distributions Fig.3 Dynamic section analysis by a fiber element method

# 2. ファイバーモデルに基づく梁の動的非線形解析

## 1) 断面解析上の仮定

ファイバーモデルに基づく断面解析では、Fig.3 に示すように RPC 梁 部材断面を微小なファイバー要素に分割し、曲げモーメントー曲率関係 を計算するために次の仮定を設ける。①変形前に平面であった部材断面 は、変形後も平面を保つ。②分割した各微小要素内における応力および ひずみは一定とする。③せん断変形は考慮しない。④鉄筋とコンクリー トの付着は完全とする。⑤構成材料の応力ーひずみ関係は既知とする。 ⑥載荷速度の影響を考慮するために曲率は一定曲率速度 $\phi$ で変化するも のとし、梁中央部の変形速度 $\delta$ と曲率速度 $\phi$ の間には  $\phi = 24\delta/(3L^2 - 4L_1^2)$ の関係が成り立つものとする。

2)構成材料のひずみ速度効果を考慮した応力--ひずみ関係

Fig.4(a)に鋼繊維補強超高強度コンクリートの応力-ひずみ関係を示 す。引張側には千賀らによる RPC の動的引張応力-ひび割れ幅関係を用 いる<sup>2)</sup>。ただし、ファイバーモデルによる断面解析に容易に適用できる ように、破壊力学的考え方に立脚しひび割れ間隔に相当する特性長さ*L*。



(b) Re-bar Fig.4 Stress-strain relationships

キーワード 鋼繊維補強超高強度コンクリート, RPC 梁, ファイバーモデル, 動的非線形解析 連絡先 〒239-8686 神奈川県横須賀市走水 1-10-20 防衛大学校建設環境工学科 TEL 046-841-3810 を用いて、ひび割れ幅をその区間内の平均ひずみとして評価している。 動的最大引張応力  $f_{f,d}$  はひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ の関数として次式で与える。

$$f_{t,d} = f_{t,s} \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{st}}\right)^{0.0013 \left[Log\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{st}}\right)\right]^{1.95}}$$
(1)

ここで、 $f_{if,s}$ =10.8 MPa,  $\dot{\varepsilon}_{st}$ =1.0×10<sup>-6</sup> 1/sec である。また、 $\varepsilon_{if,d} = f_{if,d}/E_c$ ,  $\varepsilon_{i1} = \varepsilon_{if,d} + w_1/L_c$ ,  $\varepsilon_{i2} = \sigma_2/E_c + w_2/L_c$ ,  $\varepsilon_{i3} = w_3/L_c$ と表され、ここに  $E_c$ =55.0 GPa,  $w_1$ =0.4 mm,  $\sigma_2$ =4.8 MPa,  $w_2$ =2.0 mm,  $w_3$ =4.4 mm を用 いる。圧縮側は線形弾性とし、ひずみ速度の影響を考慮した動的圧縮強 度  $f'_{cf,d}$  に達した点を終局状態と定義する。動的圧縮強度は、藤掛らの研 究 <sup>3</sup>を参考にして次式で与える。

$$f_{cf,d}' = f_{cf,s}' \left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{sc}}\right)^{0.0055 \left[Log\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_{sc}}\right)\right]^{0.951}}$$
(2)

ここで、 $f'_{cf,s}$ =214.7 (MPa),  $\dot{\varepsilon}_{sc}$ =1.2×10<sup>-5</sup> (1/sec)である。

鉄筋の応力ーひずみ関係には Fig.4(b)に示すバイリニア型の関係を用 いる。弾性係数( $E_s=200$  GPa)および降伏後の塑性硬化係数( $E_{sp}=0.01 E_s$ ) は載荷速度によらず一定とする。ただし、降伏強度( $f_{sy,d}$ )はひずみ速度 の影響を受けるものとし、高橋によって提案された次式で与える<sup>4)</sup>。

 $f_{sv,d} = f_{sv,s} \left( 1.202 + 0.040 \times \log_{10} \dot{\varepsilon} \right) \quad (3)$ 

ここで、 f<sub>sys</sub>=静的載荷における降伏強度=295 MPa である。 3) モーメントー曲率関係を用いた梁の荷重-変形関係の解析方法 急速載荷を受けるはりの変形量は、載荷速度の影響を考慮したファイバ ーモデルによる断面解析で得られた曲げモーメントー曲率関係に基づ いて、はりの曲率分布を求め、それを積分することによって求めること ができる。

### 3. 解析方法の検証

Fig.5 に RPC 梁(FM13 試験体と FM19 試験体)の静的載荷における試験 結果と解析結果をあわせて示す。ただし,引張応力-ひずみ関係を評価 するための特性長さ( $L_c$ )には 50,75,100,125(mm)の4つの値を用い た。この図から、解析結果は $L_c$ =75mmで試験結果と良い一致を示して いることがわかる。次に、鉄筋量が異なる FM13 ならびに FM19 試験体 の変位速度 $\dot{\delta}$ =2.1m/sec で得られた試験結果と解析結果の比較を行った。 その結果を Fig.6 に示す。なお、本解析では静的載荷の場合の結果を踏 まえて $L_c$ =75mm とした.解析結果は試験結果と良い対応を示しており, 本解析方法の妥当性が検証されたと考える.

#### 参考文献

1) 千賀孝宣他: 第59回年次学術講演会講演概要集, 土木学会, Disk 1, 1-373, 2004年9月.

- 2) 千賀孝宣他:第32回土木学会関東支部技術研究発表会講演概要集, I-34, 2005年3月.
- 3) 藤掛一典他: 土木学会論文集, No.704/V-55, pp.37-53, 2002 年 5 月.
- 4) 高橋芳彦:九州大学学位論文, 1990年10月.

