

超高強度合成繊維補強コンクリートを用いた RC 梁の疲労耐荷性に関する基礎的検討

清水建設株式会社（元九州大学院生）
九州大学大学院
株式会社エスイー
九州大学大学院

正会員
フェロー会員
正会員
正会員

○ 原 紘一朗
園田 佳巨
野澤 忠明
玉井 宏樹

1. はじめに

コンクリート材料の高強度化が進む昨今，超高強度合成繊維補強コンクリート（以下，PVA-UFC）が開発され，道路橋への利用に向けた種々の研究が行われている．PVA-UFC の道路橋への利用に向けては，部材に働く疲労荷重の影響を考慮する必要があるが，既往の研究では，RC 床版に対する輪荷重走行試験が数回行われただけでり，知見不足は否めない．そこで，本研究では，PAV-UFC を用いた RC 梁の疲労耐荷性を明らかにすることを目的とした解析的な検討を行った．具体的には，接合部の有無を考慮した 2 種類の供試体による疲労耐荷性確認試験を実施し，疲労試験による耐荷性の変化を再現可能な力学モデルを提案するため，連続体損傷力学に基づく有限要素解析を用いて疲労試験のシミュレーション解析を試みた．

2. 疲労耐荷性確認試験について

2.1. 試験概要

本研究では，接合部が無い（一体打ち）の case-1 供試体と，スパン中央部に接合部（重ね継手長 200mm）を有する case-2 供試体の 2 体を用いて試験を行った．供試体概要図を図-1 に，PVA-UFC の材料特性を表-1 に示す．本供試体は，PVA-UFC の高い圧縮強度に釣り合いを持たせるため，引張側主鉄筋には D22 の超高強度鉄筋 USD590（降伏強度 590MPa）を用いている．本試験は 200 万回の繰り返し載荷試験と，静的 4 点曲げ試験の 2 段階に分かれており，繰り返し載荷試験では，供試体設計時の断面計算より，主鉄筋に作用する応力度が永続作用時の制限値（165MPa）から，変動荷重作用時の制限値（300MPa）になる荷重範囲，最小で 75kN，最大で 135kN になるような正弦波型荷重を載荷速度一定（1Hz）で与えた．載荷は治具を用いて 2 点載荷で行い，支持条件は単純支持とした．計測項目は，図-1 に示す位置における鉄筋ひずみ，圧縮側コンクリートひずみ，支点反力，供試体底面変位，接合部界面における目開き

量（case-2 のみ）としている．

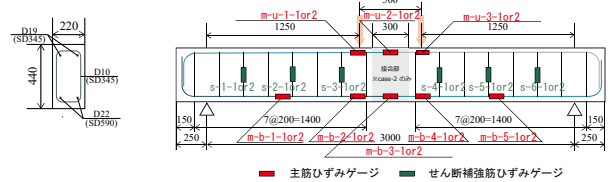


図-1 供試体概要図

表-1 材料特性（PVA-UFC）

項目	単位	特性値
圧縮強度	N/mm ²	150
引張強度	N/mm ²	6.8
ヤング率	N/mm ²	46000
ポアソン比		0.2

2.2. 試験結果

静的載荷試験で得られた荷重-変位関係を図-2 に示す．接合部が無い case-1 供試体は，約 325kN でスパン中央位置の主鉄筋が降伏した後も耐荷力を失わず，約 90mm の変位後も PVA-UFC の圧壊は生じなかった．さらに，健全状態を想定した FEM 解析と比較した場合にも耐荷力の低下は殆ど見られず，本供試体が，高い疲労耐荷性および靱性を有することが明らかとなった．一方，接合部を有する case-2 供試体は，主鉄筋の塑性荷重に至る前に約 200kN 付近で接合部界面付近を中心に脆性的な破壊が生じた．このことから，作用曲げモーメントが大きな領域に接合部を設けるべきでなく，重ね継手と異なる接合形式を採用すべきであることが判った．

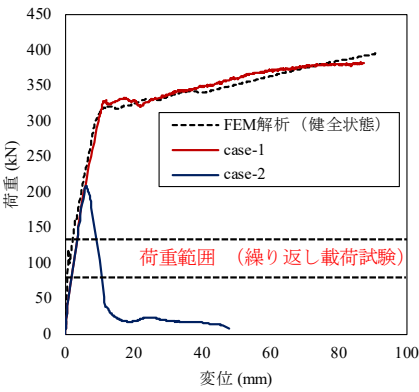


図-2 荷重-変位関係

3. 疲労耐荷性確認試験の再現解析について

3.1. 解析概要

本研究では、接合部を有する case-2 供試体に着目し、その挙動の再現解析を試みた。図-3 に解析モデルを示す。寸法・材料定数は実験時の値を用いているが、部材接合部界面に関しては、コールドジョイントを考慮し、引張強度を母材の 90%と低減させた。さらに、本解析では 200 万回の繰り返し载荷により、重ね継手部と部材接合部界面の荷重伝達機能の低減、母材コンクリートに多数の微細ひび割れが生じたと仮定し、その影響を表す損傷度 D に応じて、該当する要素の引張強度を低減し、部材内に蓄積される損傷による耐力低下をモデル化した。損傷の進展則には、Peerlings ら²⁾が考案した進展式を、相当塑性ひずみを変数とする形に修正した式(1)を採用している。ここで、 κ_0 は損傷開始時の相当ひずみ、 $\bar{\varepsilon}_p$ は相当塑性ひずみ、 α 、 β は、それぞれ損傷進展に関わる材料パラメータである。本解析では損傷度の上限值を、重ね継手部、母材コンクリート部で 0.4、部材接合部界面で 0.5 とした。 $\bar{\varepsilon}_p$ の計算においては、重ね継手および部材接合部界面における損傷の進展は、近傍コンクリートに生じる損傷に基づくことを仮定して、線形 Drucker-Prager の降伏関数に関連流れ則を適用することで、式(2)により算出している。

$$D = 1 - \frac{\kappa_0}{(\kappa_0 + \bar{\varepsilon}_p)} [(1 - \alpha) + \alpha e^{-\beta \bar{\varepsilon}_p}] \quad (1)$$

$$d\bar{\varepsilon}_p = \frac{\alpha I_1 + \sqrt{J_2}}{\bar{\sigma}} \sqrt{\frac{d\varepsilon_{ij}^p d\varepsilon_{ij}^p}{1 + 3\alpha^2}} \quad (2)$$

なお、本解析では試験結果より、図-4 に示す段階的な強制変位条件を作成し、簡易に繰り返し载荷試験を再現した。また、本解析では、実験同様に解析を 2 段階に分け、1 段階目で繰り返し载荷試験の再現を、2 段階目では疲労損傷を考慮した有限要素モデルを用いて静的 4 点曲げ载荷解析を実施した。なお、本解析には、汎用有限要素解析ソフト MSC.Marc を用いている。

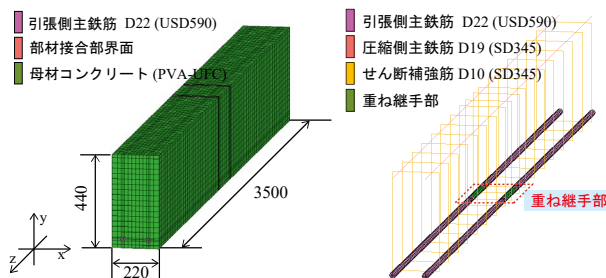


図-3 解析モデル

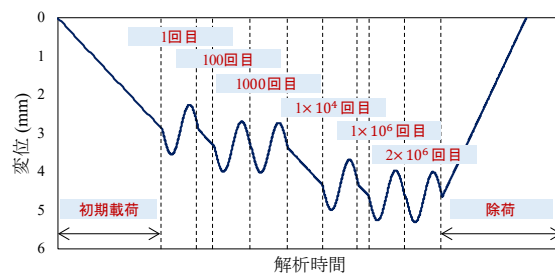


図-4 強制変位条件

3.2. 解析結果

図-5 に、本解析で得られた荷重-変位関係を示す。実験では接合部を有する case-2 供試体は、荷重が約 200kN に達した時点で耐力を急激に失う現象が見られたが、本解析でその挙動を再現することができ、接合部の疲労損傷による耐荷性能の低下を解析的に予測できることが判った。

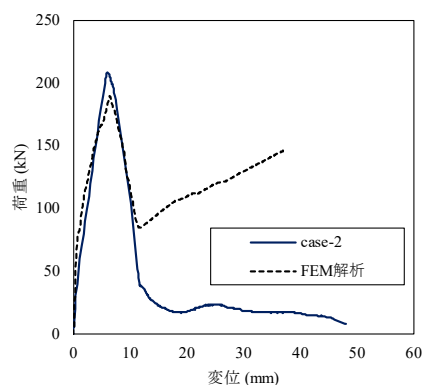


図-5 荷重-変位関係

4. まとめ

本研究では、PAV-UFC を用いた RC 梁の疲労試験を実施し、一体打ちの場合には、極めて高い疲労耐荷性と靱性を有することを確認した。さらに、本研究で提案する解析手法を用いて接合部を有する RC 梁の疲労損傷を簡易に再現できることを示した。今後、耐力低下を招かない接合形式の検討および異方性を考慮した損傷モデルによる破壊メカニズムの検討等を行う予定である。

参考文献

- 1) 野澤忠明, 濱口祥輝, 大石裕介, 松井繁之: 超高強度材料を用いた薄型 RC 床版の開発, 構造工学論文集, Vol.62A, pp.1214-1225, 2016 年 3 月
- 2) R. H. J. Peerlings, R. de Borst, W. A. M. Brekelmans and M. G. D. Geers: Gradient-enhanced damage modeling of concrete fracture, Mech. Cohes. -Frict. Mater., 3, pp.323-342, 1998.