軸方向鉄筋を有するDFRCCの曲げ性状に及ぼす繰返し載荷の影響に関する解析的検討

筑波大学　学生会員　○鬼塚　由佳
筑波大学　正会員　金久保利之

１．はじめに

高靭性繊維補強セメント複合材料（DFRCC）は，繊維がひび割れを架橋することで，ひび割れ発生後も引張応力を負担することが可能なセメント系材料である．曲げが作用する部材にDFRCCを適用した場合，DFRCCが引張応力を負担するため，普通コンクリートを用いた部材より鉄筋比を小さくすることが可能と考えられる．Ahmedらが行った低鉄筋はりの曲げ試験結果では，有筋試験体の最大荷重を無筋試験体のそれよりも大きくするには鉄筋比を0.13%より大きくする必要があると報告されている[1)]．一方，著者らが行った無筋DFRCCの繰返し載荷曲げ試験結果では，繰返し載荷による荷重の低下が顕著であり，加力履歴によっては最大荷重が単調載荷の場合の60～70%となることが確認された[2)]．本研究では，繰返し載荷の影響を考慮したDFRCCの応力－歪履歴モデルを用いて断面解析を行い，繰返し載荷が引張鉄筋比とモーメントの関係に与える影響を把握することを目的とする．

２．解析概要

解析対象を図1に示す．解析対象は通常の曲げ試験同様の幅100mm，高さ100mmの角柱試験体とし，変動因子は加力方向（単調載荷，繰返し載荷），鉄筋の有無，引張鉄筋量 a_t（5～80mm^2）および有効高さ d（90，85，80mm）とした．解析方法は平面保持の仮定に基づいたファイバーモデルによる繰返し載荷の断面解析とし，曲率を入力値として行った．繰返し載荷においては，曲率が0.3m^{-1}に至るまで，各サイクルピーク時の目標曲率を0.01m^{-1}ずつ漸増させることとした．

解析に用いたDFRCCの応力－歪履歴モデルの包絡線を図2に，DFRCCの特性値を表1に，履歴モデルの繰返し履歴例を図3に示す．履歴モデルの包絡線は，圧縮側を放物線モデル，引張側をトリリニアモデルとした．引張側特性値は予備的に行った単調載荷の断面解析によって，実験結果に対応するよう決定した．DFRCCは繰返し載荷によって荷重が低下し，スリップ型の履歴となる．この履歴モデルでは，圧縮応力と引張応力が繰返し作用した際に，引張側包絡線を低下させることで，繰返し載荷による影響を表現した．また，圧縮応力から引張応力に転じる場合に，非常に小さな勾配で歪が進行するすべり域（図3 O－F間）を設けることで，スリップ型の履歴を表現した．履歴モデルの詳細については，文献2)を参照されたい．また，鉄筋の応力－歪関係はバイリニアモデルとし，弾性係数は188GPa，降伏強度は382MPaとした．

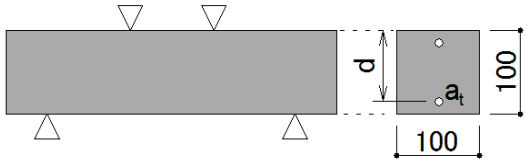

図１　解析対象

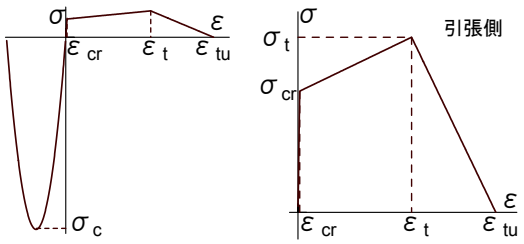

図２　DFRCC応力－歪履歴モデル（包絡線）

表１　DFRCCの特性値

圧縮側		引張側				
σ_c (MPa)	$_cE$ (GPa)	σ_{cr} (MPa)	ε_{cr} (%)	σ_t (MPa)	ε_t (%)	σ_{tu} (%)
38.2	14.7	3.78	0.02	5.24	1.35	2.35

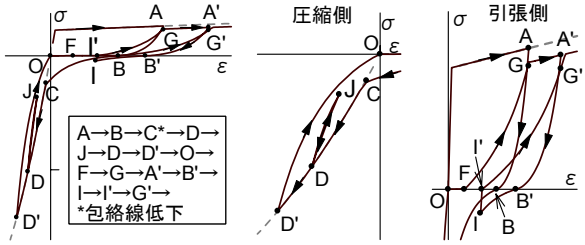

図３　DFRCC応力－歪履歴モデル（繰返し履歴例）

キーワード　DFRCC，繰返し，断面解析，引張鉄筋比，応力－歪履歴モデル
連絡先　〒305-8573　茨城県つくば市天王台1-1-1　筑波大学　ＴＥＬ　029-853-5462

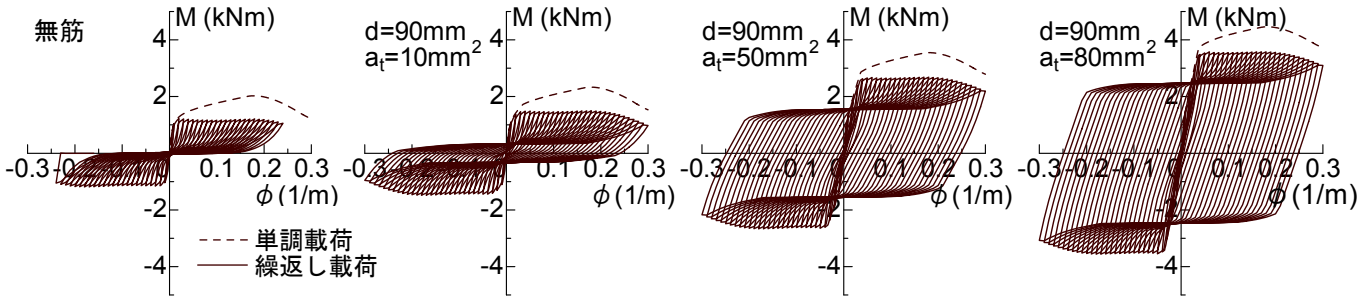

図４　断面解析結果（モーメント－曲率関係）

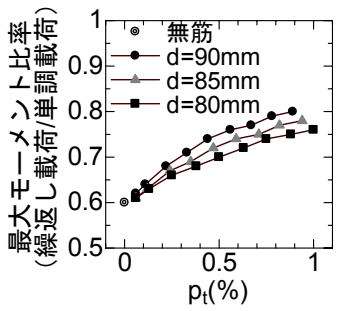

図５　最大モーメント比率

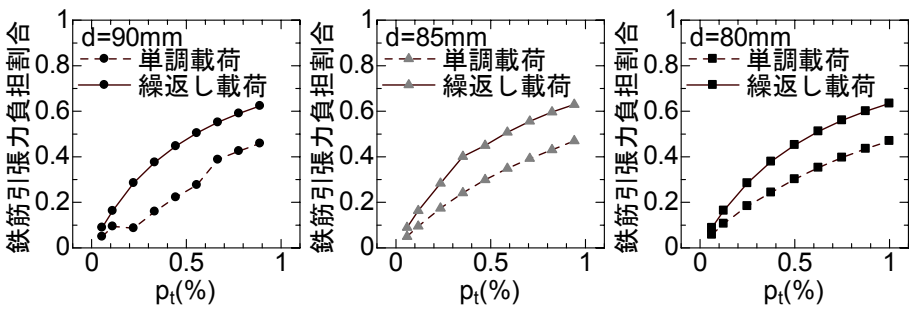

図６　鉄筋の引張力負担割合

３．解析結果

断面解析によって得られたモーメント－曲率関係を図 4 に，単調載荷に対する繰返し載荷の最大モーメント比率と引張鉄筋比 p_t の関係を図 5 に示す．無筋の繰返し載荷の解析では，断面引張側が応力を負担できない状態で解析を終了した．引張鉄筋量に依らず，繰返し載荷による最大モーメントの低下が見られる．p_t が大きいほど低下の度合いは小さくなり，p_t=1%程度で，繰返し載荷の最大モーメントは単調載荷の 75～80%程度である．有効高さの違いによっても差異がある．同一の p_t で比較すると，有効高さが大きいほど低下の度合いは小さい．これらより繰返し載荷の影響は有筋の場合においても考慮すべきであり，最大モーメントの低下は引張鉄筋量および有効高さに依存しているものと考えられる．

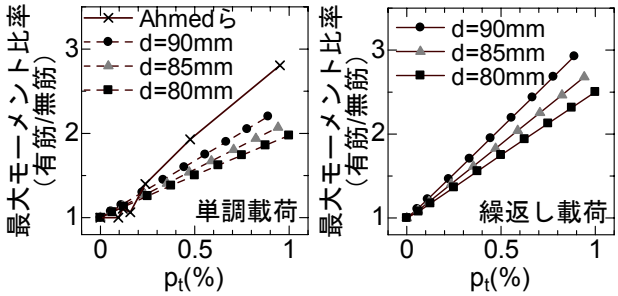

図７　鉄筋の有無による最大モーメントの比較

鉄筋の引張力負担割合と p_t の関係を図 6 に示す．鉄筋の引張力負担割合は，引張鉄筋の引張力を断面内に生じている総引張力で除した値である．同一の p_t においても単調載荷に比べて繰返し載荷の鉄筋負担割合が大きくなっている．無筋に対する有筋の最大モーメントの比率と p_t の関係を図 7 に示す．図 7 には，文献 1)で報告されている実験結果も合わせて示した. 繰返し載荷では, 相対的に鉄筋の負担割合が大きくなることで, 有筋の最大モーメント比率が無筋の場合よりも大きくなっていると考えられる．

４．まとめ

繰返し載荷の影響を考慮した DFRCC の応力－歪履歴モデルを用い，断面解析を行ったところ，有筋の場合においても繰返し載荷による荷重の低下が見られ, 最大モーメントは引張鉄筋量および有効高さに依存することがわかった．また繰返し載荷においては，鉄筋の引張力負担割合が単調載荷と比較して大きくなり，無筋の最大モーメントに対する有筋の最大モーメントの比率が大きくなる．

参考文献

1)Ahmed Kamal，国枝稔，上田尚史，中村光 : 高靭性セメント複合材料を用いた低鉄筋はりの曲げ破壊性状，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.1，pp.327～332，2007

2)鬼塚由佳，金久保利之：DFRCC の曲げ性能に及ぼす繰返し載荷の影響の評価，コンクリート工学年次論文集，Vol.31，2009