

4点曲げ載荷実験と逆解析による UHPFRC の引張特性の検討

Tensile characterization of UHPFRC by four-point flexural test and inverse analysis

北海道大学工学部環境社会工学科
北海道大学大学院工学研究院
北海道大学大学院工学研究院

○ 学生員 桑垣 潤也 (Junya KUWAGAKI)
正員 松本 高志 (Takashi MATSUMOTO)
正員 鄧 朋儒 (Pengru DENG)

1. はじめに

橋梁鋼床板は日常的に疲労荷重を受けており、延命化を目的として UHPFRC (超高性能繊維補強コンクリート) の床板補修への適用が考えられている。交通への影響を考慮すると補修された橋は短期間で再開放される必要があるため、養生期間による UHPFRC の発現強度についての把握が重要となる。特に、ひび割れは負曲げモーメント部の引張側で発生するため、引張特性の発現について理解する必要がある。

本研究では圧縮載荷実験と4点曲げ載荷実験を行い、その結果をもとに逆解析によって UHPFRC の引張特性 (ひび割れ発生強度、ひずみ硬化域での剛性) の同定を試みた。本研究では、養生7日目の供試体を用いた実験・解析を行った。

2. 実験と解析の概要

2.1 供試体

圧縮載荷実験では直径 50mm、高さ 100mm の円柱、4点曲げ載荷実験では長辺 400mm、短辺 100mm、厚さ 25mm の直方体の供試体である (図-1)。どちらの実験においても7日間養生されたものを3体ずつ用意した。表-1 に供試体名を示す。

2.2 圧縮載荷実験

載荷は変位制御で行い、載荷速度は 0.25N/mm²/sec とした。供試体側面に相対する2箇所にひずみゲージを貼り付けて、ひずみを計測した。載荷状況を図-1(a)に示す。

2.3 4点曲げ載荷実験

Suthiwarapirak による曲げ実験¹⁾および JCI 規準「繊維補強セメント複合材料の曲げモーメントー曲率曲線試験方法」²⁾を参考に行った。載荷装置にはオートグラフ (SHIMAZU AG-1250kN) を使い、支点間距離を 300mm、せん断スパンを 100mm とし、載荷速度 0.3mm/sec の変位制御で行った。支間中央の供試体下面にひずみゲージを貼り付けるとともにレーザー変位計の標点として、支間中央下面のひずみと変位を計測した。載荷状況を図-1(b)に示す。

2.4 逆解析

本研究では Baby らによる逆解析手法³⁾を用いた。図-2 に逆解析のフローチャートを示す。解析で用いる弾性域でのヤング率は圧縮載荷試験で求められるものを用いた。初めにひび割れ発生強度 f_{cr} とひ

ずみ硬化域の剛性 E_{hard} を仮定した (図中①)。次に、4点曲げ載荷実験の載荷条件における曲げモーメント分布図と、実験と仮定した数値より求めたモーメントー曲率曲線とから曲率分布図を導いた (図中②)。曲率を2回積分したものが変位であることから荷重ー変位曲線が求められる (図中③)。解析結果の荷重ー変位曲線が実験結果と一致するまで f_{cr} と E_{hard} の仮定値を修正して繰り返しを行った (図中④)。

3. 実験結果

3.1 圧縮載荷実験

圧縮載荷実験で得られた応力ーひずみ曲線を図-3 に示す。また各供試体における弾性域のヤング率を表-2 に示す。本実験で得られたヤング率の平均値は 31.1GPa となった。

表-1 供試体名

圧縮載荷実験	4点曲げ載荷実験
CD7-1	SD7-1
CD7-2	SD7-2
CD7-3	SD7-3

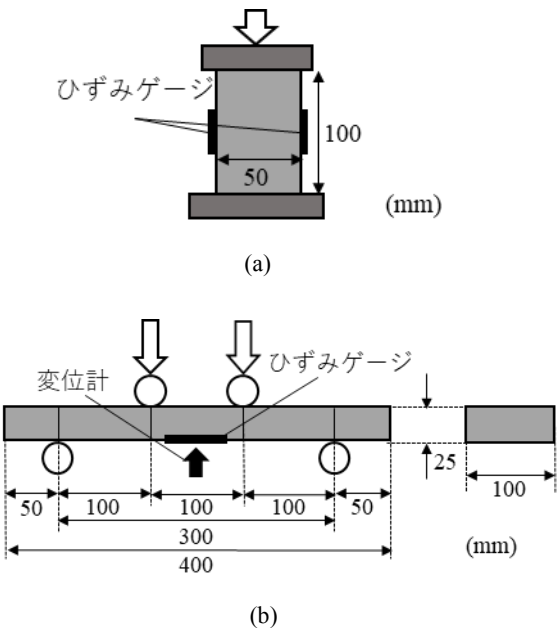


図-1 載荷状況 (a)圧縮載荷 (b)4点曲げ載荷

3.2 4点曲げ載荷実験

載荷後の各供試体のひび割れ状況を図-4に示す。SD7-3については載荷途中で純曲げ区間外でひび割れが発生したため以後の解析から除外した。実験から得られた荷重-変位曲線を図-5に示す。

4. 解析結果・結論

圧縮載荷実験と4点曲げ載荷実験の結果をもとに2章で述べた手法に従い逆解析を行った。弾性域でのヤング率を圧縮載荷実験から得られた平均値31.1GPaとし、ひび割れ発生強度 f_{cr} とひずみ硬化域での剛性 E_{hard} を仮定し、SD7-1とSD7-2の荷重-変位曲線それぞれに対して逆解析を行った。

図-5に実験結果とともに解析結果を示す。今回の解析は変位1.5mm程度までのひずみ硬化域序盤に対し行われた。また解析結果は弾性域において実験曲線とわずかな誤差があるが、これは解析において圧縮載荷実験によるヤング率を用いたためである。これらを考慮し逆解析を行い、得られた曲線が実験結果の曲線と一致する時の f_{cr} と E_{hard} の値を探した。SD7-1の実験結果に対する解析結果1は f_{cr} と E_{hard} それぞれ7.5N/mm²、0.9GPaとなり、SD7-2に対する解析結果2はそれぞれ8.5N/mm²、1GPaとなった。2つの解析結果を平均すると今回用いたUHPFRCの7日間特性は、 f_{cr} と E_{hard} それぞれ8N/mm²、0.95GPaとなった。

5. まとめ

本研究では、7日間養生されたUHPFRCの圧縮載荷実験と4点曲げ載荷実験を行い、実験結果をもとにした逆解析を実施した。ひずみ硬化域序盤までの引張特性として、ひび割れ発生強度は8N/mm²、ひずみ硬化域でのヤング率は0.95GPaを得た。今後は、養生28日の供試体についても同様の実験と解析を行い、養生7日と比較することで養生期間による引張特性への影響について検討する。

参考文献

- 1) Peerapong Suthiwarapirak: Fracture mechanics based fatigue life analysis of RC bridge slab repair by fiber cementitious materials, PhD Thesis, 東京大学, 2003.
- 2) 日本コンクリート工学会: JCI 規準 繊維補強セメント複合材料の曲げモーメント-曲率曲線試験方法、JCI-S-003-2007、2007.
- 3) Florent Baby et al.: UHPFRC tensile behavior characterization: inverse analysis of four-point bending test results, Materials and structures, Vol.46, pp.1337-1354, 2013.

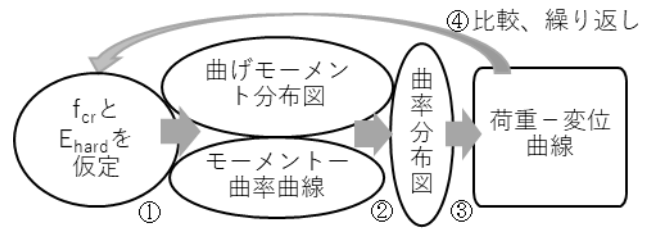


図-2 逆解析の流れ

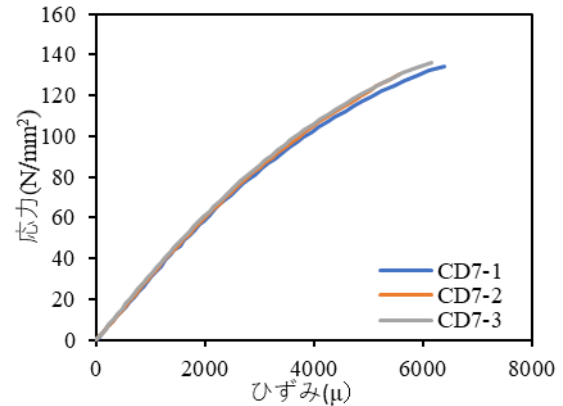


図-3 圧縮応力-ひずみ曲線

表-2 各供試体の弾性域におけるヤング率(GPa)

	CD7-1	CD7-2	CD7-3
ヤング率	30.9	30.8	31.6

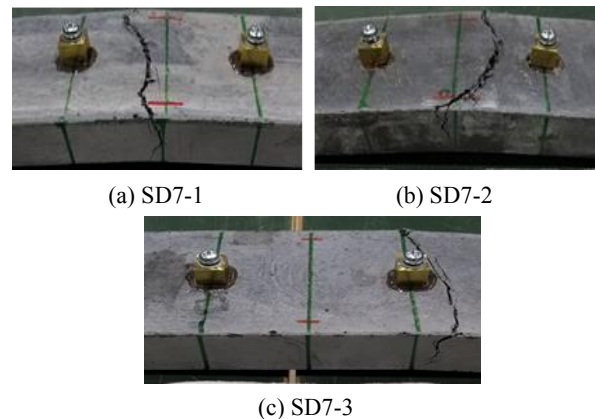


図-4 4点曲げ載荷供試体のひび割れ状況

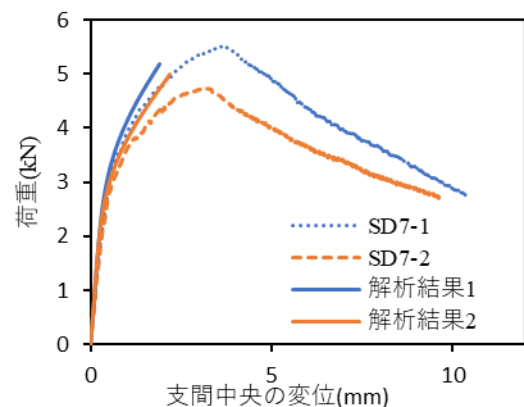


図-5 4点曲げ載荷実験と逆解析による荷重-変位曲線