

加熱冷却後の UFC と鋼桁の合成挙動に関する研究

大阪工業大学大学院 学生会員 ○足達頼人

阪神高速道路株式会社 非 会 員 小林周平 阪神高速道路株式会社 正 会 員 辻 悠弥

大阪工業大学 正 会 員 今川雄亮 大阪工業大学 正 会 員 大山 理

1. はじめに

近年、既設橋の床版取換えなどで超高強度繊維補強コンクリート(Ultra High Strength Fiber Reinforced Concrete, 以下、UFC と略記)を用いた床版が適用されている。UFC 床版と鋼桁の接合方法はプレキャスト PC 床版と同様に頭付きスタッドを介して行われる。ここで、合成桁橋が火災による熱影響を受けた際、コンクリートのひび割れや力学特性の低下などによりずれ定数やせん断耐力が低下する¹⁾と報告されている。このことは UFC 床版と鋼桁においても同様に発生すると考えられる。加えて、UFC は高温に曝された際にその表面が剥離・剥落する爆裂を伴うことが懸念されるため、この現象が助長されることが考えられる。そこで、本稿では、加熱冷却後の UFC 床版と鋼桁との合成挙動を把握することを目的として、UFC 床版と鋼桁を模擬した供試体を用いて加熱試験および静的押抜きせん断試験を実施した結果について報告する。

2. 加熱試験

(1) 加熱方法

表-1 に材料の力学特性値、図-1 および図-2 に供試体の概要を示す。供試体諸元は小嶋らにより実施された UFC 床版と鋼桁を模擬した常温の静的押抜きせん断試験²⁾を参考に決定し、3 体製作した。既往研究³⁾において Eurocode⁴⁾に規定されている外部火災曲線(以下、EX 曲線と略記)を用いて UFC 床版を下面から加熱した結果、加熱面に爆裂が発生している。このことから、本試験では爆裂や加熱温度による合成挙動の変化を確認するため、図-3 に示す 3 つの加熱温度-時間曲線を用いて、それぞれ 2 体ずつ 30 分間加熱した。ここで、各曲線および各供試体の名称を EX, 3/4EX, 1/2EX とし、同図には本加熱試験の炉内温度も併せて示す。

表-1 材料の力学特性値

間詰め部		UFC 部		スタッド	
圧縮強度 [N/mm ²]	弾性係数 [kN/mm ²]	圧縮強度 [N/mm ²]	弾性係数 [kN/mm ²]	降伏強度 [N/mm ²]	引張強度 [N/mm ²]
148	39.7	196	42.0	291	422

(2) 試験結果

3/4EX および 1/2EX は両者ともに加熱による爆裂の発生は確認されなかったが、3/4EX では、間詰め部と UFC の一部に加熱によって隙間が生じていた。一方、EX では加熱開始 12 分頃から継続的な爆裂音が鳴りはじめ、試験後には加熱面の剥離や UFC と間詰め部の隙間から自由水の出現が確認された。なお、剥離した UFC は鋼繊維によって落下が防止されることが確認された。

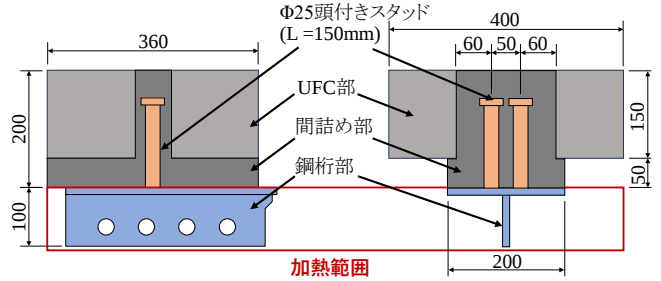


図-1 加熱時の供試体[mm]

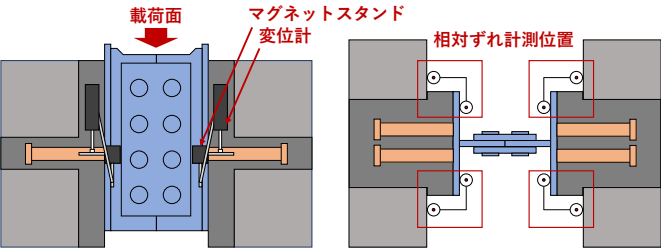


図-2 静的押抜きせん断試験時の供試体

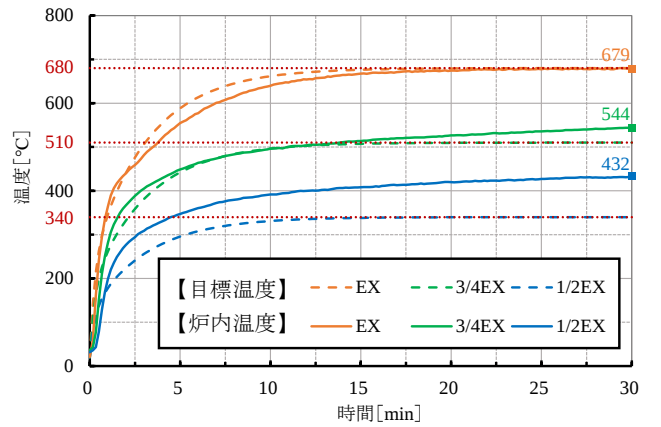


図-3 加熱温度-時間曲線と炉内温度

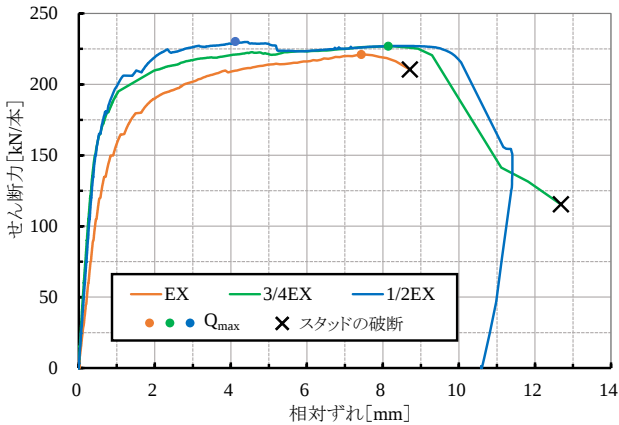


図-4 せん断力-相対ずれ関係

3. 静的押抜きせん断試験

(1) 試験概要

加熱後の供試体を1日自然冷却したのち、図-2に示すように2体の供試体をボルトにより接合し、日本鋼構造協会の試験方法⁵⁾に準拠した静的押抜きせん断試験を実施した。しかし、荷重方法は15kN/本、相対ずれが約2mmに達するまでは漸増繰返し荷重、それ以降は、終局に至るまでは単調荷重として実施した。なお、試験体の底面には不陸調整用のモルタルを敷設し、開き止めは設置しなかった。

相対ずれ量の計測は図-2に示すように、供試体の前後左右の4箇所計測し、左右それぞれで平均する。なお、試験終了時の相対ずれ量の大きい方の数値を用いてせん断力-相対ずれ関係を描き Q_{max} :最大せん断耐力、 δ_{max} : Q_{max} 時のずれ量を算出する。加えて、せん断力-相対ずれ関係における $Q_{max}/3$ 荷重点の初期割線剛性である K : ずれ定数は左右でそれぞれ算出し、その低い方の値を採用した。

(2) 試験結果

せん断力-相対ずれ関係を図-4、試験結果を表-2に示す。なお、参考として表-2には文献2)の結果も併せて示す。

3/4EX および 1/2EX はともに相対ずれ2mm以前の繰返し荷重中にはひび割れの発生などはなく、単調荷重に切り替えた後、相対ずれがおよそ4mmを超えたあたりから間詰め部にひび割れが発生した。EX では相対ずれが1mmを超えたあたりから、加熱による間詰め部のひび割れが延長していき破壊に至った。破壊モードは、EX と 3/4EX はスタッドの破断であり、1/2EX では間詰め部の割裂であった。写真-1にスタッドの破断(EX)と間詰め部の割裂状況(1/2EX)を示す。

最大せん断耐力は、すべての供試体でおよそ220kN/本と加熱温度による変化は見られず、常温の供試体と比較しても低下は確認されなかった。ずれ定数に関しては3/4EX、1/2EXは常温と比較して約0.7倍、EXは0.46倍となっており、

表-2 試験結果

	Q_{max} [kN/本]	δ_{max} [mm]	K [kN/(本・mm)]	常温に対する K の変化率	破壊モード※
EX	221.0	7.4	241.8	0.46	スタッド
3/4EX	226.9	8.1	380.0	0.72	スタッド
1/2EX	230.1	4.1	371.4	0.71	間詰め
常温 ²⁾	216.1	9.2	526.0	1.00	スタッド

※スタッド:スタッドの破断、間詰め:間詰め部の割裂

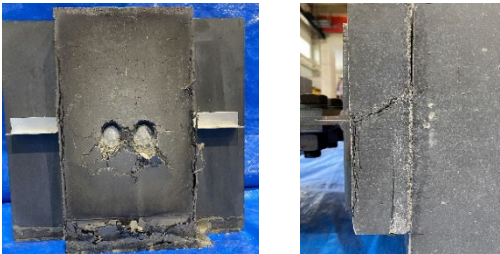


写真-1 左:スタッドの破断, 右:間詰め部の割裂

加熱により低下することが確認された。文献1)ではスタッド径やコンクリート強度などが異なる間詰め部を用いない供試体ではあるが、同様の加熱温度・時間で静的押抜きせん断試験が実施されている。その結果、最大せん断耐力は加熱温度による低下が見られないが、ずれ定数はEXで約0.5倍程度まで低下するなど、本試験と同様の結果を示していた。

4. まとめ

UFC床版と鋼桁の接合部を模擬した供試体を加熱し、静的押抜きせん断試験を実施した結果、加熱によって剥離が生じ、高温になるほどずれ定数が低下することが確認された。しかし、加熱による最大せん断耐力は低下しないことが確認された。

今後はより供試体数を増やした上、加熱によるひび割れと合成挙動の関係などを明らかにしていくことが必要である。

謝辞

本研究を遂行するに際し、鹿島建設株式会社より試験体の製作やご助言を頂きました。また、研究当時、大阪工業大学橋梁工学研究室に所属していた田邊陽氏、佐野圭亮氏に感謝の意を表します。

【参考文献】

1) 野上雄暉, 高橋佑介, 今川雄亮, 大山理: [CS6-22]加熱時間の違いによる自然冷却後の頭付きスタッドのずれ性状, 土木学会全国大会第77回年次学術講演会概要集, 2022.

2) 小嶋進太郎, 小坂崇, 長澤光弥, 一宮利通: 高強度繊維補強モルタルを間詰めとしたUFC床版と鋼桁の接合部に関する検討, プレストレストコンクリート工学会, 第28回シンポジウム論文集, 2019.11.

3) 村川友則, 高橋佑介, 大山理, 今川雄亮, 小坂崇, 河野晴彦, 松井章能, 濱崎浩太: [CS8-19]橋梁下での火災に対するワッフル型UFC床版の受熱温度評価, 土木学会第76回年次学術講演会概要集, 2021.

4) CEN: Eurocode 1-Actions on structures-Part 1-2: General actions-Actions on structures exposed to fire, prEN 1991-1-2, 2002.11.

5) 日本鋼構造協会: 頭付きスタッドの押抜き試験方法(案), JSSCテクニカルレポート, No35, pp.1-24, 1996.11.