超高強度繊維補強モルタルと CFRP 板を用いた無鉄筋コンクリート床版の静的載荷試験

秋田大学大学院　学生会員　○竹村　和晃
秋田大学　フェロー会員　川上　洵
オリエンタル白石株式会社　正会員　二井谷　教治

１．　はじめに

塩害による鉄筋コンクリート床版の鋼材の腐食による早期劣化対策として、鉄筋を用いないコンクリート床版の研究および実用化が行われている [1)]。しかし、実用化された無鉄筋コンクリート床版は供用荷重によって早期に床版下面橋軸方向にひび割れが発生し、また、ストラップ材である鋼板が腐食する問題があった。本研究ではひび割れの発生を抑制するため、床版下面に引張強度の大きい超高強度繊維補強モルタル(UHSFRM)を用い、ストラップ材に耐食性に優れる炭素繊維強化ポリマー板(CFRP 板)を使用した。そして、ひび割れ強度、終局強度およびストラップ材の構造特性について明らかにするため、UHSFRM と CFRP 板を使用した鉄筋を用いない実用床版幅の 4 分の 1 としたコンクリート床版を作製し、静的載荷試験を行った。

２．　実験概要

２．１　使用材料

（１）　超高強度繊維補強モルタル（UHSFRM）

UHSFRM の配合を**表－１**に示す。使用した繊維はビニロン繊維である。UHSFRM は脱型後 48 時間 80℃で蒸気養生を行った。材齢 28 日での UHSFRM の圧縮強度は 158.3 N/mm^2、弾性係数は 4.34×10^4 N/mm^2 である。

（２）　繊維補強コンクリート（FRC）

FRC の配合を**表－２**に示す。繊維はポリプロピレン繊維を使用した。FRC の圧縮強度は材齢 28 日で 52.9 N/mm^2 であり、弾性係数は 3.08×10^4 N/mm^2 である。

（３）　ステンレス鋼板

ステンレス鋼板は JIS 規格品である SUS 304 (オーステナイト系) を使用した。ステンレス鋼板の 0.2 %耐力は 329 N/mm^2 であり、引張強度は 627 N/mm^2 であった。また、弾性係数は 1.93×10^5 N/mm^2 である。

表－１　UHSFRM の配合

スランプフロー値 (mm)	W/P (%)	空気量 (%)	単位量(kg/m^3)			
			W	P	SP	ビニロン繊維
228	7.99	5.1	148	2231	30	39

表－２　FRC の配合

W/C (%)	単位量(kg/m^3)					
	W	C	S	G	減水剤	ポリプロピレン繊維
44	103	272	432	612	1.36	1.62

（４）　炭素繊維強化ポリマー板（CFRP 板）

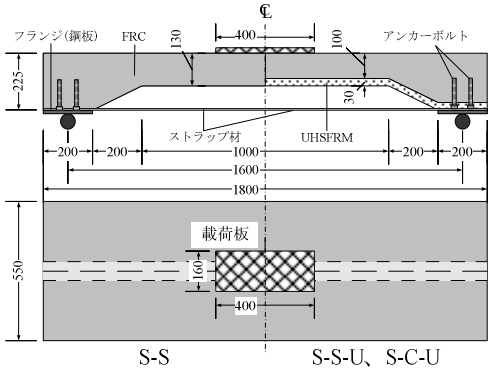
CFRP 板は炭素繊維の押し出し成形により製造されたもので炭素繊維が一方向のものを使用した。CFRP 板の引張強度は 1705 N/mm^2 であり、弾性係数は 4.67×10^5 N/mm^2 であった。また、最大引張ひずみは 3560×10^{-6} である。

２．２　実験供試体

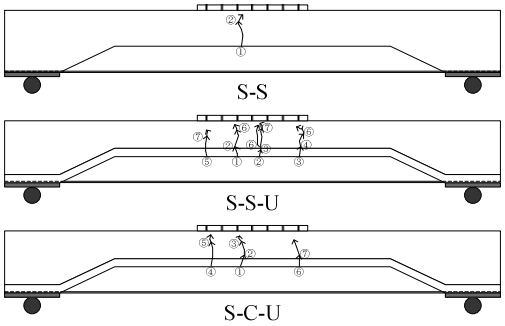
供試体一覧を**表－３**に、供試体寸法および荷重載荷位置を**図－１**に示す。UHSFRM を使用せず、ストラップ材にステンレス鋼板を用いた供試体を S-S とした。供試体の平面寸法は、550×1800 mm である。床版の断面高さは支間中央で 130 mm、支点で 225 mm である。ストラップ材であるステンレス鋼板の平面寸法は 75×1800 mm であり、部材厚さは 6 mm である。S-S-U および S-C-U は床版下面に厚さ 30 mm の UHSFRM を埋設型枠として使用し、FRC を UHSFRM に打継いでいる。また、S-C-U はストラップ材に CFRP 板を使用している。CFRP 板の平面寸法は 100×1800 mm であり、部材厚さは 4 mm である。載荷位置は床版中央であり、幅 160 mm、長さ 400 mm の車両荷重載荷を想定している。また、支持条件は全ての供試体において単純支持とした。

表－３　供試体一覧

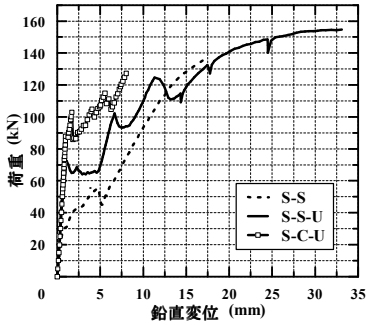
供試体名	ストラップ材	UHSFRMの使用
S-S	ステンレス鋼板	無
S-S-U	ステンレス鋼板	有
S-C-U	CFRP板	有



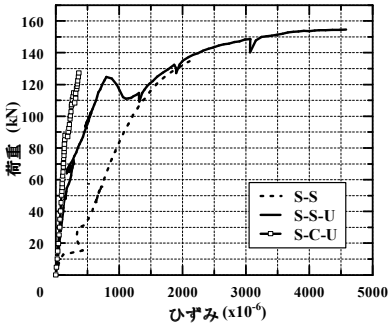
図－１　供試体寸法および荷重載荷位置



図－２　供試体側面に生じるひび割れ性状



図－３　荷重と鉛直変位の関係



図－４　荷重とひずみの関係

表－４　実験結果

供試体名	ひび割れ荷重 (kN)	最大荷重 (kN)	破壊モード
S-S	17.6	135.3	FRC上面中央部での圧縮破壊
S-S-U	47.5	154.7	FRC上面中央部での圧縮破壊
S-C-U	85.3	127.3	CFRP板とフランジの接合部からのCFRP板の引抜け

３．　実験結果および考察

３．１　ひび割れ荷重、最大荷重および破壊モード

実験結果を**表－４**に示す。S-S-U は UHSFRM を使用することでひび割れ発生が抑制され、S-S よりひび割れ荷重が大きくなったと考えられる。また、S-C-U はストラップ材に高強度、高弾性の CFRP 板を使用したため、さらにひび割れ荷重が増加したと考えられる。しかし、S-C-U の最大荷重は全ての供試体の中で最も小さい値を示す。これは、ストラップ材の違いにより、破壊モードが異なるからと考えられる。ストラップ材に CFRP 板を使用するとひび割れ荷重の増加が期待できるが、最大荷重は小さくなると考えられる。

３．２　供試体側面に生じるひび割れ性状

供試体側面に生じるひび割れを**図－２**に示す。また、**図－２**に示す数字はひび割れが発生した順番を表している。S-S の場合、最初に生じたひび割れが供試体側面の FRC 上縁付近まで急速に進展した。一方、S-S-U および S-C-U のひび割れは UHSFRM と FRC の境界面付近で進展が止まった。また、S-S-U および S-C-U は載荷点内に荷重の増加とともにひび割れが分散して発生した。床版下面に UHSFRM を使用することでひび割れの発生および進展が抑制され、さらにひび割れの分散効果があると考えられる。供試体側面に生じるひび割れ性状はストラップ材が異なってもほとんど変わらないと考えられる。

３．３　供試体の支間中央の鉛直変位

荷重と支間中央の鉛直変位の関係を**図－３**に示す。荷重が約 30 kN までは全ての供試体の鉛直変位が同じ増加傾向を示す。そして、荷重が約 30 kN に達すると、床版下面への UHSFRM の適用の有無で供試体の鉛直変位の増加量が異なる。床版下面に UHSFRM を使用するとひび割れ発生が抑制され、S-S-U および S-C-U の供試体の鉛直変位が小さくなると考えられる。荷重が約 70 kN に達すると、S-S-U および S-C-U の供試体の鉛直変位に差異が生じる。これは、S-C-U のストラップ材に高強度および高弾性の CFRP 板を使用しているからと考えられる。

３．４　ストラップ材に生じるひずみ

荷重とストラップ材に生じるひずみの関係を**図－４**に示す。ひび割れが分散する S-S-U および S-C-U はひび割れが発生してもひび割れが生じていない部分の UHSFRM が引張力に対し抵抗するため、ひび割れ発生後のストラップ材に生じるひずみが S-S より小さくなると考えられる。S-C-U の CFRP 板に生じるひずみは破壊に至るまで、ほぼ直線的に増加しており、塑性域を示すことなく脆性的に破壊した。これは、CFRP 板の最大引張ひずみが 3560×10^{-6} に対して、破壊に至るときの CFRP 板に生じるひずみのレベルが非常に小さいためと考えられる。ストラップ材に CFRP 板を用いるのは材料特性を十分に生かしきれないと考えられる。

４．　まとめ

１）床版下面に UHSFRM を使用するとひび割れの発生および進展が抑制され、さらにひび割れの分散効果があると考えられる。

２）ストラップ材に耐食性のある CFRP 板を用いるとひび割れ耐力が大幅に向上し、ストラップ材の腐食問題も解決されるので、ひび割れが発生しない弾性の範囲内であれば使用効果は大きいと考えられる。

５．　参考文献

１）Hassan, A., Kawakami, M.: Steel-free composite slabs made of reactive powder materials and fiber-reinforced concrete, ACI Structural Journal, Vol. 102, No.5, pp.709-718. (2005)