UHPFRC による上面増厚を適用した RC 床版における境界面の付着挙動に関する実験的研究

市民工学専攻　NING WEICHEN
指導教員　三木　朋広

１．研究背景と目的

日本では，供用開始から数十年が経過した道路橋が多く，交通荷重や老朽化により床版の損傷が深刻化している．従来の対策として SFRC を用いた上面増厚工法があるが，施工時の水分不足や清掃不良により，施工目地からの水侵入や SFRC 層の剥離が生じ，再劣化が問題となっている．近年，高強度・高靭性に加え，耐摩耗性，耐塩害性に優れ，薄層施工が可能な UHPFRC が注目されている[2)]．UHPFRC は SFRC と同等のせん断補強効果を持ち，界面剥離やひび割れ，漏水への耐性が高いことが確認されている[3)]．先行研究では，UHPFRC の有効性は示されているが，RC 層との界面挙動や異なる界面処理条件下での補強効果は未解明な点が多い．そこで本研究では，UHPFRC を用いた上面増厚工法における界面処理の影響を検討し，ずれ発生のタイミングおよび付着挙動への影響を明らかにすることを目的とする．

２．実験方法

本研究では，UHPFRC の界面状態が曲げ耐力および界面付着挙動に与える影響を評価するため，異なる界面状態を有する 2 種類の UHPFRC-RC 梁と，長さ 2500mm の UHPFRC-RC 梁 2 種類，計 4 種類の供試体を作製し，図 1 に示す 2000kN 油圧式万能試験機を用いて 2 点載荷試験を実施した．供試体の材料には NC および UHPFRC を用い，その配合を表 2 および表 3 に示す．また，UHPFRC―NC 界面の付着性能を調べるため，グルコン酸塩系処理剤を用いた目荒らし処理を施し，施工後 24 時間静置後，高圧洗浄およびウォータージェットにより粗骨材を露出させた．界面挙動の評価として，すべての供試体に埋め込みゲージを設置し，剥離の発生を測定するとともに，WU-20S-25 および WU-50S-25 にはずれセンサーを設置し，界面付着挙動の解析を行った．

表 1　各種供試体の仕様

供試体	長さ(mm)	幅(mm)	高さ(mm)	NC層厚さ(mm)	UHPFRC層厚さ(mm)	打継目処理
WU-20R-15	1500	400	200	180	20	遅延剤散布後洗い出し
WU-50R-15	1500	400	200	150	50	
WU-20S-25	2500	400	200	180	20	無し
WU-50S-25	2500	400	200	150	50	

表 2　各種供試体の仕様

Gmax mm	Air (%)	W/C (%)	単位量(kg/m³) W	C	S1	S2	G5-15	G10-20	G5-21	AE
20.0	4.2	67.0	165.0	246.0	360.0	905.0	8.6	1.2	235.5	0.5

表 3　UHPFRC の配合

Air (%)	W/C (%)	単位量(kg/m³) 水 W	ポルトランドセメント C	サケセムセメント B	サケセム用骨材 S	高性能減水剤 SP	消泡剤 DA	鋼繊維 SF
4.2	67.0	228	1287		905	B×3.50%	B×0.50%	3.0%vol.
			927	360		45.0	6.4	235.5

３．実験結果

図 2 は供試体 WU-20R-15, WU-50R-15 (R シリーズ) および WU-20S-15, WU-50S-15 (S シリーズ) の荷重―中央変位関係を示す．R シリーズは遅延剤を用いた界面処理を施し，S シリーズは未処理の供試体である．結果より，R シリーズは荷重―変位関係が滑らかで安定し，剥離や滑りによる荷重低下が抑制された．一方，S シリーズでは界面付着性能が低下し，荷重低下

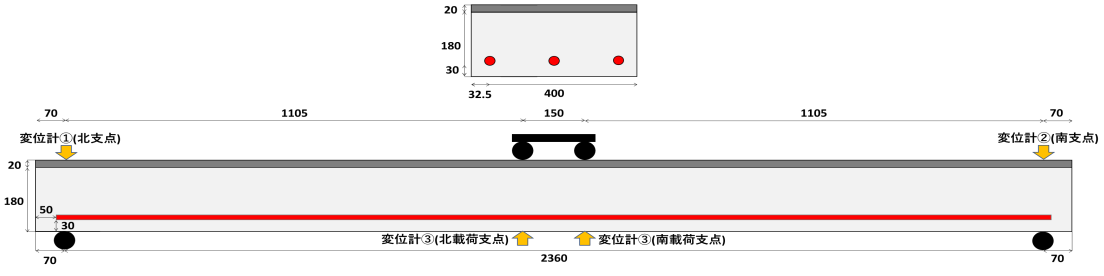

図 1　供試体概要図

キーワード　UHPFRC，上面増厚，界面付着，ずれセンサー

が顕著に発生した．また，WU シリーズは B シリーズより曲げ耐力が向上したが，剛性向上は限定的であった．これにより，遅延剤による界面処理が付着性能および耐荷性能の向上に寄与することが示された．

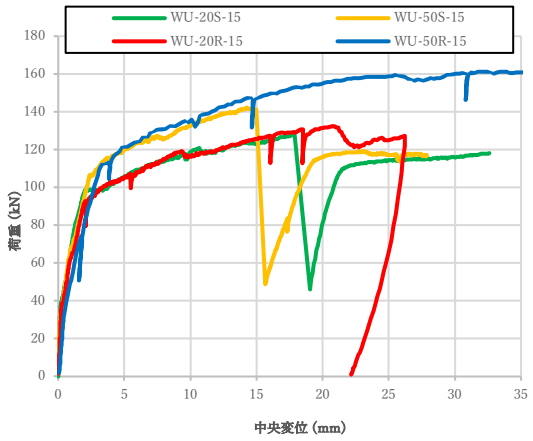

図 2　各供試体の荷重―変位関係

図 3 は供試体 WU-20S-25 および WU-50S-25 の荷重―中央変位関係を示し，WU-20S-25 は WU-50S-25 より最大荷重が約 10kN 高く，初期剛性も上回る結果となった．剥離およびずれの発生タイミングを比較すると，WU-50S-25 では，下層 NC 層の引張破壊時に剥離が生じ，南側は試験開始直後からずれが発生し，中央および北側では荷重約 15kN，中央変位 2mm 付近でずれが観測された．これにより，補修層が NC 層への拘束力を早期に喪失し，構造剛性の低下が顕著となった．また，荷重 28.52kN，中央変位 6.684mm および荷重 40.74kN，中央変位 6.684mm の時点で X・Z 方向の変位の増減傾向が変化したが，荷重や剛性の低下は確認されず，剥離やずれの影響は限定的と考えられる．一方，WU-20S-25 では，北側の 53Z で引張破壊前に剥離が確認されたものの，南側が圧縮力を受けたことで剥離やずれが抑制され，鉄筋降伏後の荷重約 41kN，中央変位 16mm 付近で剥離が発生した．また，50X では引張破壊直後，51X では荷重 26.38kN，中央変位 3.045mm でずれが観測された．結果より，WU-50S-25 では剥離とずれが早期に発生し構造剛性が低下したのに対し，WU-20S-25 は中央部および南側の付着性能が維持され，構造剛性および最大荷重が高くなったと推察される．

５．結論

本研究では，UHPFRC 層と RC 層の界面挙動および異なる界面処理条件下での補強効果を解明するため，UHPFRC-RC 梁の曲げ載荷試験を実施した．その結果，供試体の傾斜が局所的な応力分布に影響を与え，WU-20S-25 では北側に引張力，南側に圧縮力が集中する挙動が確認された．また，遅延剤を用いた界面処理を施した供試体は，未処理の供試体より耐荷性能が向上したが，曲げ剛性は低下した．一方，未処理の供試体では早期に界面剥離や滑りが生じ，耐荷性能が低下した．さらに，最大荷重後の荷重低下は界面付着性能に依存し，付着性能が低い場合は荷重低下が緩やかで耐荷性能が持続したが，剥離が進行すると急激に低下し，構造の安定性が損なわれた．また，局所的な剥離や滑りが顕著になると，UHPFRC 層が NC 層への拘束力を失い，剛性と耐荷性能の低下につながる可能性が示唆された．ただし，剥離やずれの影響は限定的で，荷重や剛性への影響は局所的と考えられる．

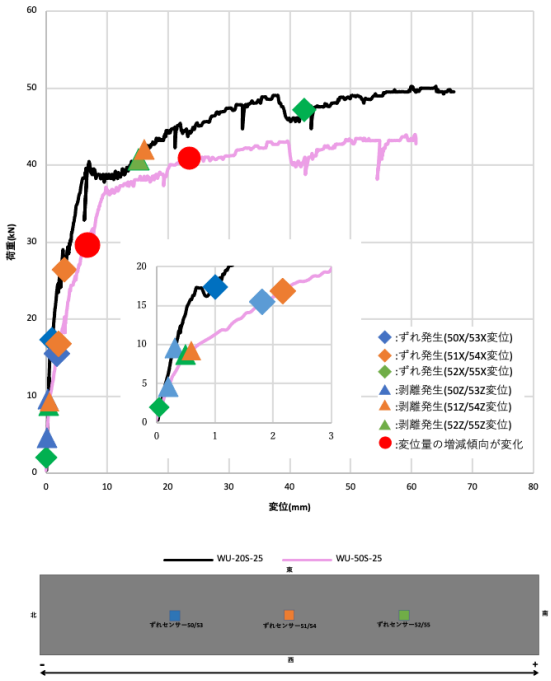

図 3　供試体 WU-20S-25 と WU-50S-25 の荷重―変位関係

参考文献

1)　渡辺有寿：超高性能繊維補強セメント系複合材料（UHPFRC）を用いた各補修，補強技術の最新動向，コンクリート工学 vol.59，No5，pp.446~451，2021.5.

2)　佐々木一成，山本尚平，熊﨑達郎，青木峻二，富井孝喜，大場誠道：スティフクリート®により上面増厚された床版の補強効果に関する実験的検討，大林組技術研究所報，No.87，2023.