

## 1. 研究背景と目的

コンクリート橋の老朽化進行に対応するため、効率的かつ合理的な補修・補強技術の確立が求められている。上部工の補修・補強工法の一つである上面増厚工法は、従来は鋼繊維補強コンクリート (SFRC) が用いられてきたが、界面剥離や再劣化、施工性に関する課題が指摘されている。これに対し、自己充填性に優れ、高い強度・靱性および耐久性を有する超高性能繊維補強コンクリート (UHPFRC) を用いた上面増厚工法が期待されている。一方で、UHPFRC を用いた上面増厚工法における既設コンクリートとの界面付着挙動や、部材挙動に及ぼす影響については、十分に明らかにされていない。本研究では、円柱供試体による界面付着に関する実験、および歩道橋から撤去したプレストレストコンクリート T 型断面桁 (PCT 桁) を対象として UHPFRC を用いた上面増厚工法を適用し、正曲げ・負曲げ載荷試験を実施することで UHPFRC を用いた上面増厚工法の補強効果を実験的に検討した。

## 2. 実験概要

### 2.1 円柱供試体実験

供試体は、普通コンクリート (NC) と UHPFRC からなり、界面を載荷軸に対して 30 度に設けた  $\Phi 100\text{mm}$  の円柱である。界面処理条件を変化させた上で、図 1 のように圧縮載荷による界面すべりせん断試験を行い、異なる界面状態を有する供試体の界面付着挙動を評価した。なお、供試体内部には界面の変位を把握するため、ホール素子を用いた非接触ずれセンサーを設置した。(図 2)



図 1 試験状況

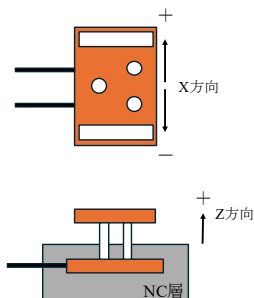


図 2 ずれセンサー概要

### 2.2 PCT 桁供試体実験

本実験では、供用から 62 年が経過した実橋 PCT 桁橋から切断した PCT 桁を用い、UHPFRC による上面増厚補強を施した供試体を作製した。本実験で用いた PCT 桁供試体の種類および UHPFRC の配合をそれぞれ表 1、表 2 に示す。増厚高さは 0 mm (未補強)、10 mm、20 mm とした。載荷試験は、正曲げ載荷試験 (P シリーズ) および負曲げ載荷試験 (N シリーズ) として 4 点曲げ載荷試験を行った。また、載荷中は  $\pi$  ゲージおよび 2 軸ゲージにより界面の開きおよびずれを計測した。なお、本研究で用いた供試体は、図 3 に示すように、実橋から撤去した PCT 桁 (全長 9000 mm、幅 1200 mm) を、全長方向に 3 分割、幅方向に 2 分割して計 6 体の供試体を作製した。PC 鋼材は本来両端の定着具により定着されるが、本実験では供試体作製のため途中で切断していることから、定着条件は十分とは言えず、載荷過程において PC 鋼材のすべりが生じ得る条件となっている。

表 1 PCT 桁供試体の種類

供試体	増厚高さ	載荷方向	繊維量
P-0	なし	正	1.0%
P-10	10mm	正	1.0%
P-20	20mm	正	1.0%
N-0	なし	負	3.0%
N-10	10mm	負	3.0%
N-20	20mm	負	3.0%

表 2 UHPFRC の配合

水 W	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				鋼繊維 SF	
	UHPFRC 用 結合材	サクセム用 骨材 S	高性能 減水剤 SP	消泡剤 DA		
195	1287	905	38.6	6.4	78.5(1.0%)	235.5(3.0%)

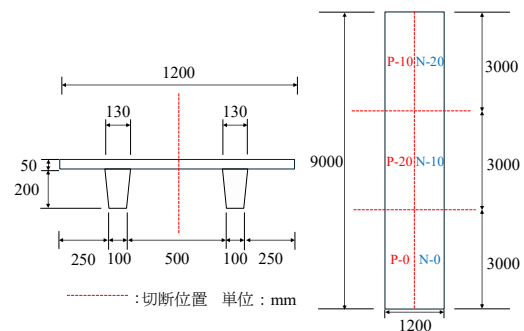
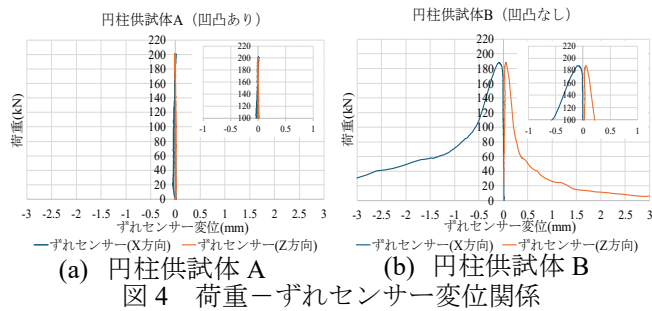


図 3 PCT 桁供試体概要 (左: 断面図 右: 平面図)

## 3. 実験結果

### 3.1 円柱供試体による界面付着挙動

円柱供試体を用いた界面付着試験の結果、図 4 に示すように、界面処理を施し、凹凸を有する円柱供試体 A では、界面処理を行っていない円柱供試体 B と比較して、荷重の増加に伴う界面すべりは認められず、最大荷重に達した後も界面破壊は生じなかった。このことから、円柱供試体 A における粗さとして平均粗さ  $Sa = 0.38\text{mm}$  レベル（マイクロスケープ計測）であれば、NC-UHPFRC 界面は終局状態に至るまで一体的に挙動し、十分な付着性能が確保されることが示された。



### 3.2 正曲げ載荷試験 (P シリーズ)

PCT 桁供試体を用いた正曲げ載荷試験の荷重—中央変位関係を図 5 に示す。供試体 P-10 では、未補強供試体 (P-0) と比較して変位の増大が抑制され、PC 鋼材の滑りが生じるまでの範囲において曲げ剛性の向上が確認された。ひび割れ発生荷重は 18.36 kN であり、未補強供試体の 16.44 kN に比べて増加したものの、その差は小さく、本実験条件ではひび割れ発生荷重の増加効果は限定的であったと考えられる。また、最大荷重については、中央変位 20 mm 付近で PC 鋼材のすべりによる荷重低下が生じたことにより、P-0 を下回る 34.11 kN にとどまった。次に供試体 P-20 は、図 3 に示すように、両端が切断面で定着具を有さない区間であるため、比較的早期から PC 鋼材のすべりが生じ、有効プレストレスが低下しやすい条件であった。その結果、初期剛性および最大荷重はいずれも未補強供試体を下回った。

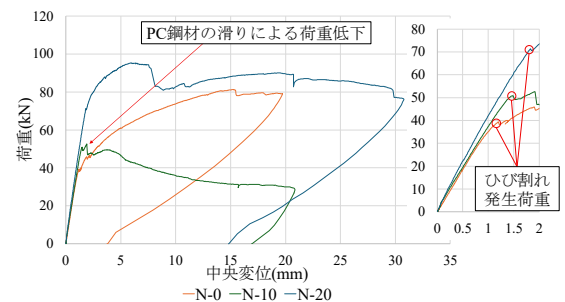
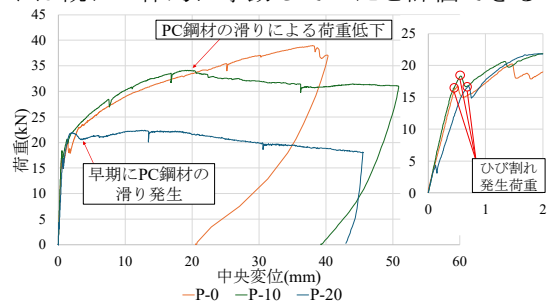
### 3.3 負曲げ載荷試験 (N シリーズ)

負曲げ載荷試験における荷重—変位関係を図 6 に示す。負曲げ載荷時には、UHPFRC 層が引張側として機能することで、未補強供試体と比較して、ひび割れ発生荷重および初期剛性が大きく向上した。特に、供試体 N-20 では、ひび割れ発生荷重は未補強供試体(N-0)の約 1.8 倍となり、最大荷重についても明確な増加が確認された。一方、供試体 N-10 では、P-20 と同様に両端が切断面のため、載荷の進行に伴い PC 鋼材のすべりが生じやすいため、ひび割れ発生荷重 (50.93 kN) 到達後まもな

く PC 鋼材のすべりが生じ、初期剛性の向上は認められたものの、最大荷重は P-0 を下回る結果となった。

### 3.4 界面挙動

本載荷試験中に一部供試体で界面の開きを確認されたが、これらは PC 鋼材の滑りなどによる荷重低下および大きな変形に伴って発生したものであり、界面の付着不足をきっかけに部材の抵抗が決まるシリーズはなかった。そのため、本研究で対象とした PCT 桁の界面粗さ条件（マイクロスケープ計測による平均粗さ  $Sa = 0.410 \sim 0.537\text{mm}$ ）においては、UHPFRC と既設コンクリートは概ね一体的に挙動していたと評価できる。



## 4. 結論

- 1) 本研究で対象とした界面粗さ条件においては、NC と UHPFRC の界面付着は良好であり、必要な付着性能が十分に確保されていたと評価できる。
- 2) PCT 桁供試体の正曲げ載荷試験では、UHPFRC 上面増厚により、PC 鋼材の滑りが生じるまでの範囲で曲げ剛性が向上したが、ひび割れ発生荷重の増加効果は限定的であった。
- 3) 負曲げ載荷時には UHPFRC 層が引張側として機能し、N-20 ではひび割れ発生荷重が約 1.8 倍に増加するなど、剛性および耐力向上の効果が確認された。

## 参考文献

- 1) 渡邊有寿：超高性能繊維補強セメント系複合材料 (UHPFRC)を用いた各種補修・補強技術の最新動向, コンクリート工学, Vol.59, No.5, pp.446-451, 2021.5.