

## 強度レベルの異なる超高強度ハイブリッド構造体の圧縮特性とその補強方法

岩手大学 正会員 博士(工学) ○小山田 哲也  
岩手大学 正会員 博士(工学) 羽原 俊祐  
鴻池組(株) 修士(工学) 坂本 龍

Abstract : The compression characteristic of the hybrid structure which has joint mortar between the precast members made with ultra high-strength concrete was investigated in this paper. The compressive strength of the hybrid structure did not reach the strength of mortar and concrete, respectively . A maximum horizontal deformation of the mortar is larger than that of the concrete. This cause was considered that the inserted mortar expanded and it was because base concrete with the small deformation amount is broken. As one method of restraining horizontal strain, the carbon fiber sheet was stuck on the inserted mortar. As a result, it was understood that the toughness of the inserted mortar was increased for sticking this sheet, and the compressive strength of hybrid structure increased, although horizontal strain cannot be suppressed.

Key words : Ultra high-strength concrete, Compression character, Horizontal strain , Carbon fiber sheet

### 1. はじめに

プレキャストコンクリートの施工法で一般の強度レベルのコンクリートとそれより低強度のモルタルを一体化させたハイブリッドコンクリート部材は、コンクリートの強度を下回ると報告されている<sup>1)</sup>。また、超高強度レベルの実験では $150\text{N/mm}^2$ のコンクリートと $100\text{N/mm}^2$ のモルタルを一体化させた場合、圧縮強度は $135\text{N/mm}^2$ となったと報告されており、これもコンクリートの圧縮強度に及ばないとの例も見られる<sup>2)</sup>。筆者らの研究<sup>3)</sup>によれば、同等レベルのコンクリートとモルタルを接合したハイブリッド構造体でも、単独の強度と比して圧縮強度の低下を確認した。この原因は、コンクリートとモルタルのポアソン比および膨張の限界量の違いにより、接合部のコンクリートに破壊が生ずることを明らかとした。さらにこの膨張を拘束することによりハイブリッド構造体の圧縮強度が単独の場合と同等以上になることも分かった。本研究では、これに引き続き、膨張の拘束方法による圧縮強度の改善効果を検討し、補強工法と組み合わせることにより、同工法の強度に対する懸念を払拭しようとした。

### 2. 実験概要

#### 2.1 ハイブリッド構造体の圧縮特性

調合および使用材料をそれぞれ表-1、表-2に示す。コンクリートとモルタルの圧縮強度は、いずれも標準供試体の強度で $150$ および $180\text{N/mm}^2$ とした。供試体はいずれも $100\times 200\text{mm}$ の円柱供試体とした。コンクリートは実験中に強度が変化しないことを考慮し<sup>4)</sup>、打設後2日間封緘養生したのち、 $90^\circ\text{C}$ の蒸気養生を18時間施して実験に供した。このようにして作製したコンクリートをコンクリートカッターで切断して目地の間隔を確保した。目地モルタルの厚さは $33\text{mm}$ とし、供試体の高さの中央位置とした。目地の厚さは実部材で想定される目地厚さである。高さ $200\text{mm}$ の供試体の場合、端面拘束の影響を受けることが想定され、その影響が及ばない範囲に目地モルタルおよびコンクリートとの境界を設定する意図もある。

ハイブリッド構造体の作製は、次のように行った。図-1のように切断したコンクリート供試体を鋳物製型枠に中央部を空間にした状態で戻し、モルタルを注入してハイブリッド構造体とした。型枠中央部には、図-2のようにあらかじめφ8mmの2つの穴を開けた。一つは注入口であり、もう一つは排気口である。この型枠を倒してこの穴を上向きにして水平を保持し、図-3のように片側の穴から注入器によってモルタルを流し込んだ。モルタルを打設してから圧縮試験までの材齢は28日とした。その間の養生は、20℃水中養生とした。それぞれの条件で供試体は3本ずつ試験に供し、ひずみなどの結果は3つのうち圧縮強度が2番目のものを採用した。

測定項目は圧縮強度および圧縮荷重載荷時のひずみである。圧縮強度試験は、JIS A 1108に準拠した。また、ひずみの測定は、ひずみゲージをシアノアクリレート系接着剤で貼付けして行った。ひずみゲージを貼付けた位置を図-4に示す。この中から本論文で採用したひずみの計測位置は、モルタルおよびコンクリート供試体のそれぞれの高さの中心位置およびモルタルとコンクリートの境界部分のコンクリートあるいはモルタル側の表面とした。ひずみゲージには箔ゲージを用い、その長さは60mmとした。

2.2 ハイブリッド構造体の補強効果

ハイブリッド構造体の圧縮強度の改善をはかるべく本研究で検討した補強方法は鋼板補強工法および連続繊維シート接着工法である。

鋼板は、厚さ1.5mmのものを外径100mmとなるように成形・溶接して使用した。この鋼板を端部に切欠きを設けた超高強度コンクリートで挟んで切欠き部分と前述の型枠の穴とが重なるように型枠に再設置してモルタルを流し込んだ。鋼板は高さ33mmである。供試体の状況を図-5に示す。ひずみゲージは、鋼板外側に接着した。

繊維シートの性質を表-3に示す。使用した連続炭素繊維シートは、これまでの研究<sup>3)</sup>の結果から圧縮強度の改善が見込まれる高強度タイプとし、詳細な検討をした。供試体の状況を図-6に示す。シートの貼付けは3層とし、エポキシ樹脂系接着剤で接着した。試験材齢はモルタル打設から28日後とした。

表-1 調合

種類	W/C (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				
		W	C	S	G	SP
コンクリート	13	155	1192	283	884	2.3
	18	155	969	495	844	17
モルタル	21	257	1223	850	—	15

表-2 使用材料

材料	種類	記号
水	上水道	W
セメント	シリカフェウム混合セメント(3.08g/cm <sup>3</sup> )	C
細骨材	コンクリート:硬質砂岩砕砂(2.62 g/cm <sup>3</sup> )	S
	モルタル:珪砂(2.60g/cm <sup>3</sup> )	
粗骨材	硬質砂岩砕砂(2.63g/cm <sup>3</sup> ,FM:6.89)	G
高性能減水剤	ポリカルボン酸エーテル系	SP



図-1 コンクリートの設置



図-2 モルタル注入前の状況



図-3 モルタル注入状況

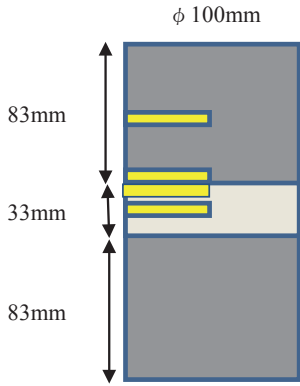


図-4 ひずみゲージ貼付け位置



図-5 鋼板補強供試体



図-6 連続繊維シート供試体

表-3 連続繊維シートの性能

項目	特性値
繊維目付(g/mm <sup>2</sup> )	300
引張強度(N/mm <sup>2</sup> )	3400
引張弾性率(N/mm <sup>2</sup> )	2.3×10 <sup>5</sup>
設計厚さ(mm)	0.167

いずれの補強の場合も、供試体へのひずみゲージの貼付けは、写真に示すとおり行ったが、この中から2.1に前述した無補強と同じ部分で考察した。ひずみゲージは円周方向に60mmのものを用いた。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 150 N/mm<sup>2</sup>のハイブリッド構造体の圧縮特性

##### (1) 圧縮特性

表-4にはそれぞれの強度レベルにおける単独供試体の圧縮強度を示している。強度レベルが150 N/mm<sup>2</sup>でモルタルとコンクリートの強度レベルが同等の場合、いずれの強度でもハイブリッド構造体の強度は単独の場合より圧縮強度の低下が見られる。図-7に150N/mm<sup>2</sup>コンクリート単独、モルタル単独の場合とハイブリッド構造体にした場合の横ひずみの実測値を示す。ハイブリッド構造体の各部分の横ひずみはハイブリッド構造体のモルタル単独あるいはコ

表-4 圧縮強度

項目	圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )	
	強度レベル 150	強度レベル 180
コンクリート	158	180
モルタル	158	178
ハイブリッド	142	160

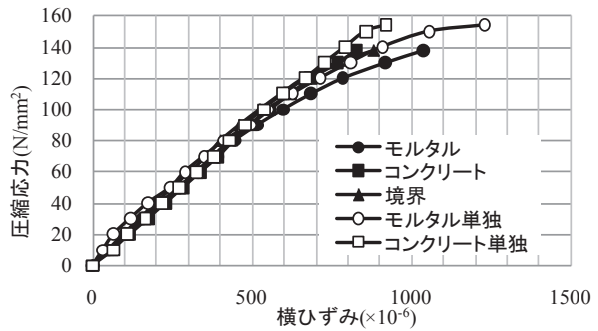


図-7 応力ひずみ曲線(無補強)

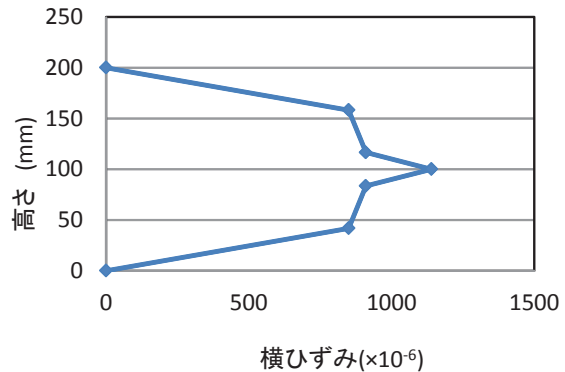


図-8 供試体の破壊時のひずみ

ンクリート単独の横ひずみに達しない。一方、境界部分のコンクリートのひずみは $900 \times 10^{-6}$ に迫り、コンクリート単独の破壊ひずみに達している。

図-7の圧縮強度測定の際の破壊時の横ひずみの測定結果を図-8に示す。高さ100mmはモルタルの中央、高さ117mmがコンクリート側の境界部、158mmがコンクリート部の中央である。強度が同等であってもモルタルのポアソン比がコンクリートより大きいため、境界部分でコンクリートの破壊時の横ひずみに匹敵する膨張が見られる。無補強のコンクリートではこのような現象は見られない。本研究では、この対策のため、モルタル部分の膨張の拘束効果を検討することとした。

(2) 目地モルタルの補強効果

$\phi 10 \times 20$ cm目地モルタル単独での横ひずみと応力関係を図-9に示す。ひずみゲージの貼付け位置は、図-7と同一である。供試体中央に向かって樽型に膨張し、最もひずみの大きい中央部で $1200 \times 10^{-6}$ のひずみを迎えたところで破壊が見られた。また供試体上部に貼り付けたゲージはほぼ弾性挙動を示す一方、供試体中央では $100 \text{ N/mm}^2$ から応力に対してひずみが大きく生ずる塑性挙動が見られる。一般に高強度材料ほど弾性的な破壊が見られるが、本研究で検討したモルタルでは、高強度領域でも塑性となる状況が確認できた。

このモルタル全体に連続炭素繊維シートを1枚および2枚重ねて貼付した場合の破壊時までの横ひずみと応力関係を図-10および図-11に示す。圧縮強度はいずれも $190 \text{ N/mm}^2$ となり、図-9に示すモルタル単独の供試体を上回る。横ひずみは測定高さに関わらず $150 \text{ N/mm}^2$ までほぼ同一の曲線を描き、その後全体的に塑性挙動が見られ、供試体中央部分でひずみが大きくなる傾向が観察された。連続炭素繊維シートの中でモルタルにはひび割れが発生し、貼付しない場合はひび割れが伝播して崩壊に至るが、膨張を拘束したことにより、破壊には至らずひび割れが継続的に発生したものと考えられる。鋼板については検討を行っておらず、今後更なる研究を行いたいと考えている。

(3) ハイブリッド構造体の補強効果

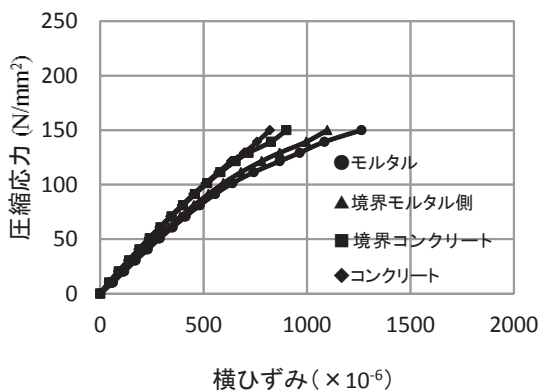


図-9 応力ひずみ曲線(モルタル補強無)

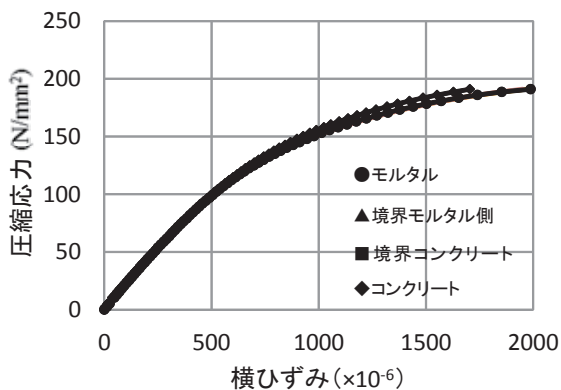


図-10 応力ひずみ曲線(ハイブリッド シート:1枚)

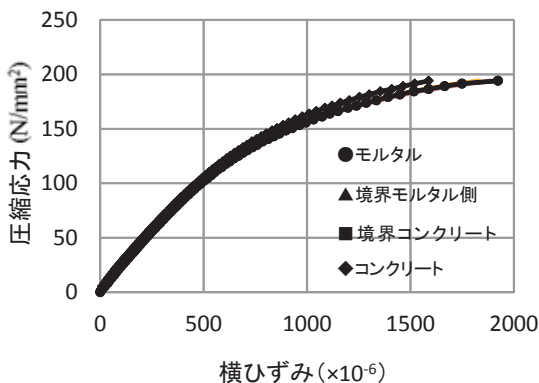


図-11 応力ひずみ曲線(ハイブリッド シート:2枚)

図-7のハイブリッド構造体に連続繊維シートを2枚重ねて貼付したハイブリッド構造体の応力ひずみ曲線を図-12に示す。無補強に比較して補強を施した場合には、コンクリート部分と境界部分の横ひずみが小さく抑えられる傾向にあり、これらは破壊までほぼ同一の挙動を示している。破壊時の横ひずみは $900 \times 10^{-6}$ 程度となり、補強を施していないコンクリート部分の膨張が大きくなり破壊に至ったものと考えられる。

鋼板補強したハイブリッド構造体の破壊時までの応力ひずみ曲線を図-13に示す。本実験で検討した鋼板補強の場合、圧縮強度はそれぞれの単独の強度と比べて低く、強度の改善効果は見られない。モルタル部分では、全体的にひずみが強く拘束されているが、応力が大きくなるに従いひずみの増加割合が大きくなる。境界面では、モルタル単独の場合より大きなひずみが生じている。これらのひずみから判断すると、鋼板の内部のモルタルには引張応力が作用し、目地モルタルが先行して破壊したものと考えられる。また図-10や図-11に見られるような塑性挙動は示さなかった。これはモルタル部が薄く、鋼板による横膨張の拘束を強く受けているためと考えられる。

3.2 180 N/mm<sup>2</sup>のハイブリッド構造体の圧縮特性

表-4には単独供試体の圧縮強度とハイブリッド構造体の圧縮強度も示している。180 N/mm<sup>2</sup>場合も150 N/mm<sup>2</sup>と同様にハイブリッド構造体では強度が低くなる傾向がある。

無補強のハイブリッド構造体の応力ひずみ曲線を図-14に示す。またコンクリートおよびモルタル単独の供試体の破壊時の横ひずみを表-5に示す。破壊時にはモルタル部と境界部で破壊の横ひずみに達している。強度が180N/mm<sup>2</sup>と高い場合にも横ひずみが限界に達し、破壊に至るということが分かった。

このハイブリッド構造体に連続繊維シートを施したハイブリッド構造体の破壊時までの応力ひずみ曲線を図-15に

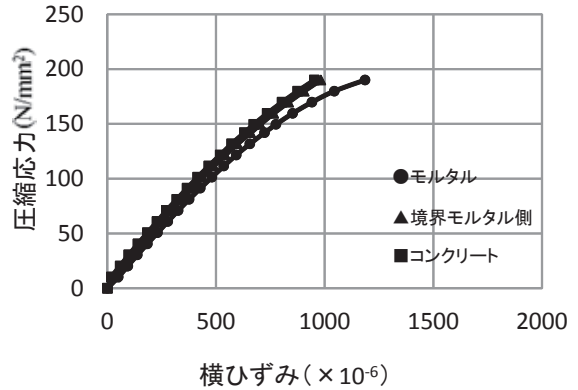


図-12 応力ひずみ曲線(ハイブリッド シート:2枚)

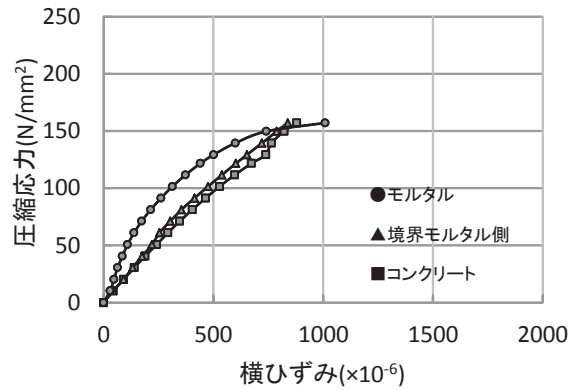


図-13 応力ひずみ曲線(ハイブリッド 鋼板補強)

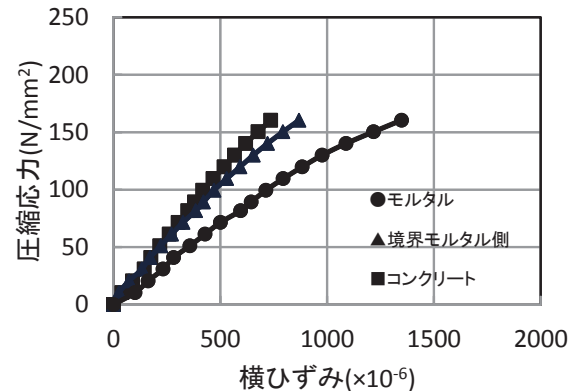


図-14 応力ひずみ曲線(ハイブリッド 無補強)

表-5 180N/mm<sup>2</sup>の供試体の破壊時のひずみ

	測定位置	破壊時の横ひずみ
単独供試体	コンクリート	$900 \times 10^{-6}$
	モルタル	$1350 \times 10^{-6}$

示す。連続繊維シートを施すことにより、圧縮強度はそれぞれの単独の圧縮強度を上回る。モルタル部の横ひずみはモルタルの破壊時のひずみを超えており、破壊時にはひずみが大きく発生しており、塑性の状態となる。またコンクリートのひずみも単独の場合の $900 \times 10^{-6}$ を上回っている。補強の効果によりひび割れの伝播が生じにくくなったため、破壊に至らなかったものと考えられる。

図-16に鋼板補強のハイブリッド構造体の応力ひずみ曲線を示す。いずれの部分でも横ひずみは拘束される傾向にあり、圧縮強度は無補強のハイブリッド構造体を超え、単独の場合に匹敵する強度となった。

#### 4. まとめ

本研究の結果を以下にまとめる。

- (1) 強度レベルが同等であるコンクリートとモルタルを接合した構造体の圧縮強度は、それぞれの単独の強度と比較して小さくなる。
- (2) この強度低下は、モルタルの変形がコンクリートより大きく、境界部分のコンクリートが引張応力を受けて、引張強度を超えることが原因であると考えられる。
- (3) 強度の改善は、モルタル部の変形を抑えることが重要であるが、強度およびその方法により補強が有効に作用する条件が存在する。

#### 参考文献

- 1) Siu C.Lee.etc. : Behavior of High-Strength Concrete Corner Columns Intersected by Weaker Slabs with Different Thicknesses, ACI Structural Journal/January-February, pp. 11-18, 2004
- 2) 是永健好ほか：目地モルタルの圧縮実験，日本建築学会大会学術講演梗概集，2005.9
- 3) 小山田哲也，羽原俊祐，坂本龍：目地接合部を有する超高強度コンクリート構造体の圧縮特性とその補強方法，第23回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集，pp. 313-318，2014
- 4) 石中正人，中山英明，鳴瀬浩康：シリカフェーム混合セメントにおける加熱養生時の強度発現性及び及ぼす最高温度の影響，コンクリート工学年次論文集，Vol. 30, No. 2, pp. 91-96, 2008

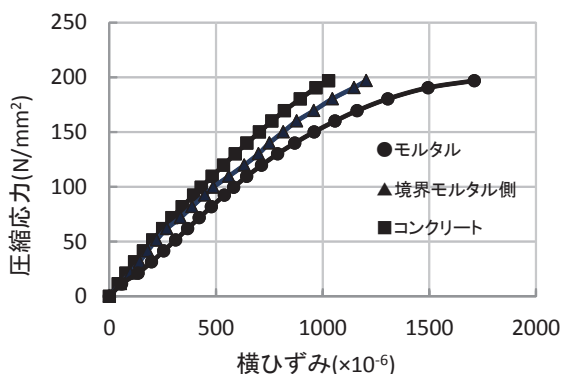


図-15 応力ひずみ曲線(ハイブリッド シート:2枚)

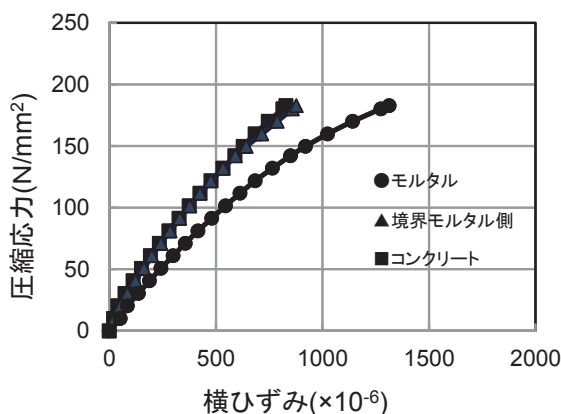


図-16 応力ひずみ曲線(ハイブリッド鋼板補強)