

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

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 character of the hybrid structure which compacts joint mortar between the precast members made with ultra high-strength concrete was investigated in this paper. In the case of only mortar and only concrete strength was made equivalent, the compressive strength of the hybrid structure did not reach those strengths. 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

超高強度コンクリートを施工する際には目地を設ける工法がある。既往の研究によれば、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¹⁾。また、ほかの文献では 150N/mm^2 のコンクリートと 100N/mm^2 のモルタルを一体化させた場合、圧縮強度は 135N/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²⁾。そもそも、超高強度コンクリートの圧縮挙動は破壊時までほぼ弾性的であることが知られているが、超高強度クラスのモルタルについての検討例はほとんどないのが現状である。施工方法や構造形式により、目地への応力伝達は同じ荷重下でも多様であるが、そもそも目地材に超高強度モルタルを用いた場合の圧縮挙動は未だ不明な点があり、確認が必要であると考え。そこで本研究では、超高強度コンクリートに目地モルタルを挟み込んだ構造体（以下、ハイブリッド構造体）の圧縮特性について基礎的な検討をすることとした。

2. 実験概要

2.1 ハイブリッド構造体の圧縮特性

使用材料および調合をそれぞれ表-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 150N/mm^2 とした。供試体はいずれも $\phi 100 \times 200\text{mm}$ 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³⁾、打設後2日間封緘養生したのち、 90°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 33mm 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 200mm 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圧縮強度の中央のものを採用した。

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にて貼付けして行った。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側の表面とした。本研究では圧縮軸直角方向への膨張（以下、横膨張）に着目し、ひずみの測定は円周方向とした。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、部材の靱性向上を目的として施工実績の多い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。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、高弾性および高強度タイプとして市販されているものである。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。

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、無補強と同一の部分とした。

表-1 調合

種類	W/C (%)	単位量(kg/mm ³)				
		W	C	S	G	SP
コンクリート	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	シリカフェーム混合セメント(3.08g/cm ³)	C
細骨材	コンクリート:硬質砂岩砕砂(2.62 g/cm ³)	S
	モルタル:珪砂(2.60g/cm ³)	
粗骨材	硬質砂岩砕砂(2.63g/cm ³ ,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

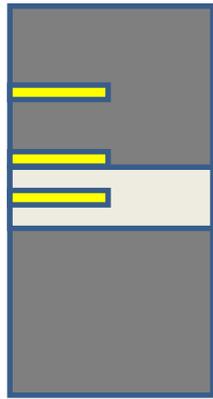


図-4 ひずみゲージ貼付け位置



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	高弾性	高強度
繊維目付(g/mm ²)	300	300
引張強度(N/mm ²)	3400	1900
引張弾性率(N/mm ²)	2.3×10 ⁵	6.4×10 ⁵
設計厚さ(mm)	0.167	0.143

表-4 圧縮強度

項目	圧縮強度
コンクリート(N/mm ²)	158
モルタル(N/mm ²)	158
ハイブリッド(N/mm ²)	142

また、ひずみゲージには長さ60mmのものを用いた。

3. 実験結果および考察

3.1 ハイブリッド構造体の圧縮特性

表-4に150N/mm²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圧縮強度の実測値を示す。それぞれの単独の場合と比較し、ハイブリッド構造体の圧縮強度は低くなった。

この圧縮強度測定の際の応力ひずみ関係を図-7に示す。コンクリート単独ではほぼ弾性状態が破壊時まで継続するのに対し、モルタル単独では破壊段階で横ひずみが大きくなるすなわち塑性性状が確認された。一方でハイブリッド構造体ではこれらの中間的なひずみが発生していることがわかる。

この図からそれぞれの破壊時の横ひずみを抽出したのが表-5である。ハイブリッド構造体のコンクリート部はコンクリート単独のひずみには達しない。一方で、境界部のコンクリートにはコンクリート単独の破壊ひずみに匹敵するひずみが確認された。ハイブリッド構造体のモルタル部は、モルタル単独の構造体が破壊に至るひずみには達しない。したがってこの結果より、ハイブリッド構造体では、

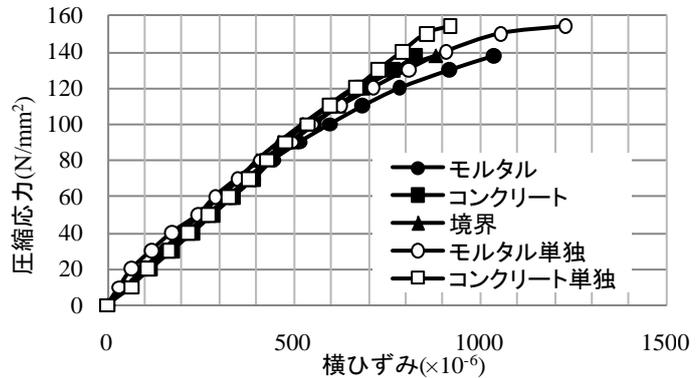


図-7 応力ひずみ曲線(無補強)

表-5 供試体の破壊時のひずみ

	測定位置	破壊時の横ひずみ
ハイブリッド構造体	コンクリート部	800×10 ⁻⁶
	モルタル部	1050×10 ⁻⁶
	境界部	900×10 ⁻⁶
単独供試体	コンクリート	900×10 ⁻⁶
	モルタル	1220×10 ⁻⁶

コンクリート部と比較してモルタル部の横ひずみが大きくなることで、境界部近傍のコンクリートの横ひずみが限界に達し、破壊に至る傾向が確認できた。

3.2 ハイブリッド構造体の補強効果

図-7のハイブリッド構造体に鋼板補強を施した供試体の応力ひずみ関係を図-8に示す。比較のため、コンクリート、モルタル単独の結果も図示した。

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。

高弾性タイプの連続繊維シート接着工法を施した供試体の結果を図-9に示す。この場合も、単独の供試体と比較して強度は低い。ひずみに着目すると、程度には違いがあるものの、モルタルのひずみが拘束され、境界面との差が大きくなるのは明らかであり、鋼板の場合と同様の過程で破壊が生じるものと考えられる。

高強度タイプの連続繊維シートを使用した場合の結果を図-10に示す。コンクリートおよびモルタル単独の強度に匹敵し、高強度タイプの連続繊維シートを張り付けた供試体は、圧縮強度の改善が見られた。

ひずみに着目すると、図-7で示した無補強のものと比較し、モルタル部および境界部ともに、载荷初期段階の横ひずみが抑えられている。また、破壊に近づくに従い、モルタル部と境界部では横ひずみが大きく生じる。破壊時のモルタル部および境界部の横ひずみは、 1400×10^{-6} を超え、モルタルおよびコンクリート単独と比較して大きくなる。連続繊維シートの接着では、载荷初期段階の変形をある程度拘束できる。

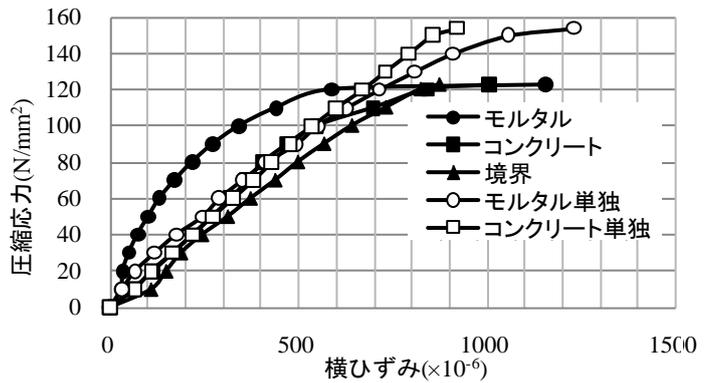


図-8 応力ひずみ曲線(鋼板補強)

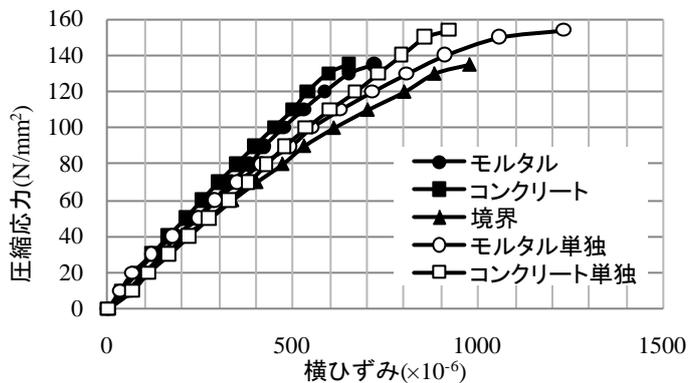


図-9 応力ひずみ曲線(連続繊維シート:高弾性)

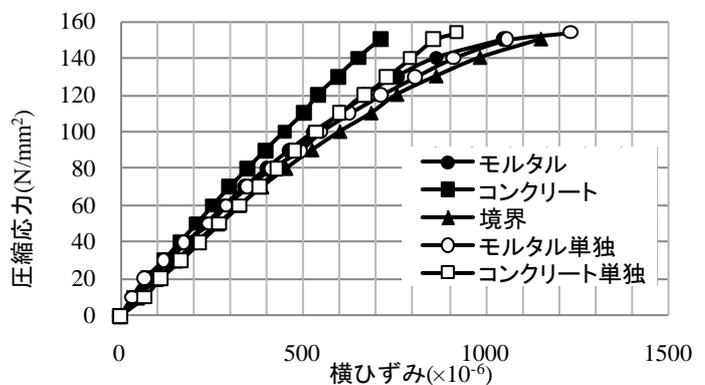


図-10 応力ひずみ曲線(連続繊維シート:高強度)

表-6 連続繊維シートの貼付け枚数を
変化させた供試体の圧縮強度

連続繊維シート 貼り付け枚数	圧縮強度 (N/mm ²)
0	140
1	180
2	190
3	151

さらに破壊に近づくときと靱性が増したことにより、モルタル部に微細ひび割れが生じて大きな変形を生じた場合にも、これに耐えることができ、結果として強度増進に繋がったものと考えられる。したがって、ハイブリッド構造体の目地モルタル部に高強度タイプの連続繊維シートを補強材として用いることにより、構造体の圧縮強度が増進することが明らかとなった。

これまでの実験では、連続繊維シートを3枚貼付けして実験を行った。連続繊維シートの効果はこの貼付け量に関わることが予想されたため、本研究では貼付け枚数を変更して、次の実験を行った。圧縮強度の試験結果を表-6に示す。単独の供試体の強度はコンクリートで152N/mm²、モルタルで148N/mm²である。新たな供試体を作製したため、基準となる無補強の供試体の圧縮強度は前述の結果とは多少異なっている。結果を見ると、連続繊維シート1枚および2枚の場合は極めて大きな値となり、中でも2枚の場合の効果が大きくなっている。このように連続繊維シートの貼付けには最適値があり、その場合に単独の強度よりも強度増進が見られる可能性があることが示唆された。

圧縮試験時の応力ひずみ関係を図-11に示す。各図はそれぞれシートの枚数が異なる場合である。丸印がコンクリート、三角印がモルタルであり、黒塗りがそれぞれの高さ方向の中央部の値、白塗りが境界部の測定結果である。シートがない場合は、前述のようにコンクリートとモルタルのひずみは大きく異なり、境界部のひずみはそれらの間に位置する。一方で、シート2枚の場合には、これらの値に差が生じていない。これが強度が最大となった原因であると考えられる。シート3枚の場合は、前述の結果とは異なり、コンクリートの中央部が最も大きなひずみとなった。中央部はシートにより強力に締め付けられていることが読み取れ、ひずみ差が生じている。

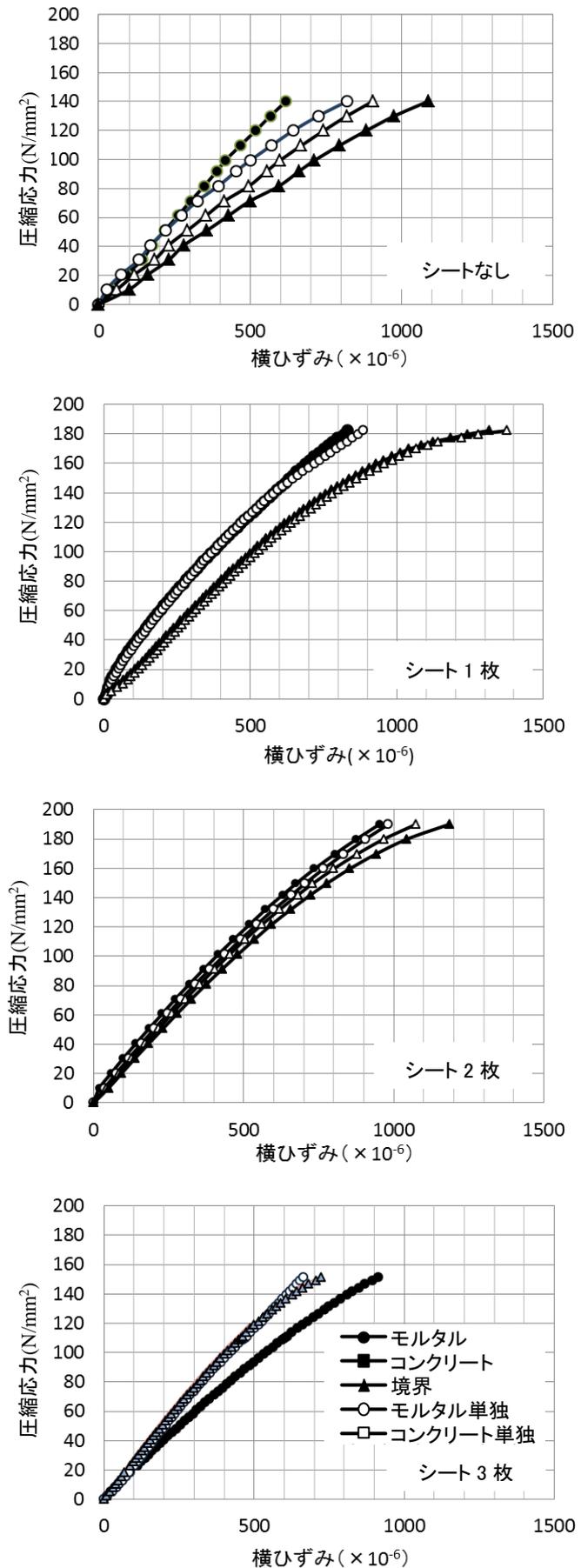


図-11 応力ひずみ曲線(連続繊維シート:高強度)

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) 強度低下は、連続繊維シート接着工法の採用により改善できる。
- (4) 強度の改善は、変形の拘束により、構造体中のひずみ差が小さくなったことによると考えられる。

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) 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に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