

論文

[2178] 鋼コンクリートサンドイッチ構造におけるシアコネクタ量と曲げ耐力との関係

原田直樹\*1・島 弘\*2

1. まえがき

鋼コンクリートサンドイッチ構造において、鋼とコンクリートが一体化して外力に抵抗するためには、シアコネクタ（ずれ止め）によって鋼板とコンクリート間でせん断伝達が行われる必要がある。シアコネクタについては、土木学会の「鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針(案)」[1]に配置方法が示されている。この指針(案)では曲げ耐力などの算定法が完全合成（平面保持）を仮定しているためなどによって、シアコネクタの配置方法は完全合成に近くなるようにするという考えに基づいており、安全側である。この設計法をさらに合理的なものとするためには、シアコネクタ量を少なくした時すなわち合成度を小さくした時の耐力などの部材特性を確認しておく必要がある。しかし、鋼コンクリートサンドイッチ構造における合成度と部材耐力との関係についての報告はみられない。そこで本研究は、シアコネクタ量を実験パラメータとして、鋼とコンクリートの合成度と曲げ耐力との関係を明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 対象部材および荷重方法

実際の構造物に作用する荷重は、集中荷重ではなく等分布荷重であることが多い。そこで、本研究では、図-1に示すように、鋼コンクリートサンドイッチ構造の連続はり部材が等分布荷重を受けることを想定し、実験ではその1/2スパンを実験対象区間とした。

供試体の概形および作用させる曲げモーメント、せん断力と荷重方法を図-2に示す。実験対象区間に正負の曲げモーメントを作用させるために一端張出しはりを用い、さらに曲げモーメントができるだけ2次曲線になるように4点に分布させた荷重を荷重した。

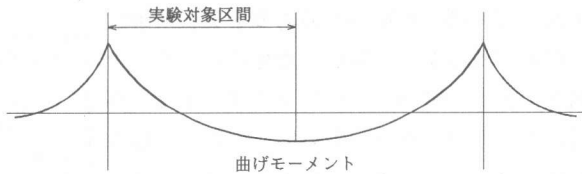
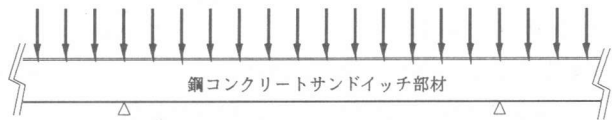


図-1 対象部材

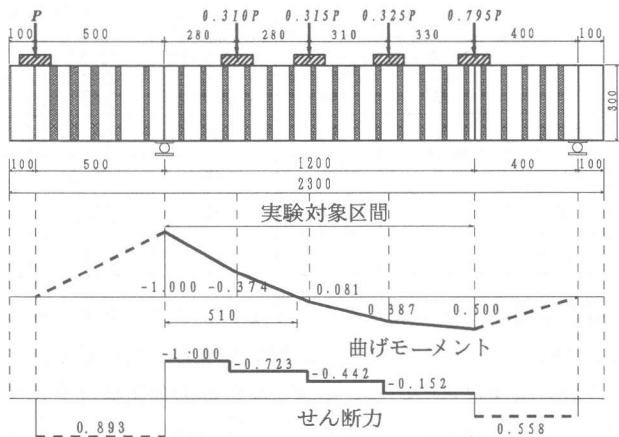


図-2 曲げモーメント、せん断力および荷重方法

\* 1 徳島大学大学院 工学研究科建設工学専攻（正会員）

\* 2 徳島大学助教授 工学部建設工学科，工博（正会員）

## 2.2 実験条件および供試体

シアコネクタ量を変えた4体の供試体を用いた。供試体の形状・寸法を図-3に示す。対象構造の部材高さとしパンの比が1/8となるように、高さを30cm、実験対象区間を120cmとした。供試体の全長は230cm、幅は15cmである。鋼材は、圧縮および引張側の軸方向鋼板ともに、SS400で板厚が5.5mmのものを使用した。使用鋼材の性質を表-1に示す。

軸方向鋼板の部材断面に対する面積比は圧縮、引張側それぞれ  $p = A_s / b \cdot h = 1.83\%$  であり、終局時の曲げ耐力は77.8kN・mである。

実験条件を表-2に示す。供試体は、シアコネクタ(図-3参照)としてSS400のL型の形鋼(75×50×4.2mm)のものを実験対象区間に配置する数を上下鋼板に対称に6, 4, 1, 0個と変化させている。シアコネクタ量は、終局時に鋼板とコンクリートの間に作用する最大せん断力(H)に対するシアコネクタによる

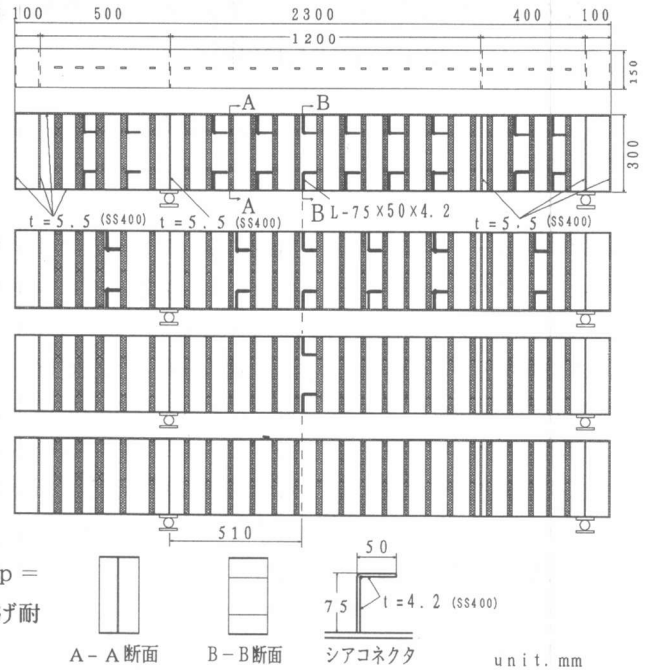


図-3 供試体の形状・寸法

表-1 使用鋼材の性質

鋼材の種類	材質	降伏強度 $f_y$ (MPa)	ヤング係数 $E_s$ (GPa)	引張強度 $f_u$ (MPa)
鋼材 $t=5.5$ mm	SS400	315	211	399
シアコネクタ 75×50×4.2mm	SS400	245	211	314

表-2 実験条件

供試体名	シアコネクタの数 $n_{sc}$ (個)	シアコネクタの間隔 $S_{sc}$ (mm)	コンクリート強度 $f'_c$ (MPa)	シアコネクタ1個の耐力 (kN)	せん断伝達耐力 $V_u = n_{sc} \times V_{sc}$ (kN)	最大作用せん断力 $H$ (kN)	$V_u / H$
SC-6	6	170	38	54.0	324	385	0.84
SC-4	4	255	38	66.1	264	385	0.69
SC-1	1	510	38	93.5	93.5	385	0.24
SC-0	0	-	38	0	0	385	0

ん断伝達耐力の比で表すこととする。シアコネクタ1個のせん断伝達耐力は、設計指針(案)によって計算した。シアコネクタの間隔が変わっているため、供試体間でシアコネクタ1個のせん断伝達耐力は異なっている。実験対象区間の作用最大せん断力(H)は、上側鋼板に生じ、 $H = A_s \cdot f_y - A_s \cdot \sigma_{smin}$ で計算できる。ここで、 $\sigma_{smin}$ は曲げモーメントが最大となる断面(実験対象区間の右端)における上側鋼板の応力である。

せん断補強については、終局時の最大作用せん断力に対するせん断耐力の比が1.19(せん断耐力203kN/作用せん断力170kN)となるように、実験対象区間には部材軸方向に幅2cmのせん断補強鋼板(タイプレート)を8.5cm間隔(せん断補強鋼材比  $p_w = 1.85\%$ )で配置した。せん断補強

鋼板に用いた鋼材は、軸方向鋼板と同じSS400で板厚が5.5mmのものであり、溶接により定着させた。せん断補強鋼板にフルウェブを用いずに幅の小さいタイプレートをを使用した理由は、ウェブ鋼板が軸方向鋼材間でせん断力を伝達する影響を小さくするためである。さらに、タイプレートとコンクリートがせん断を伝達する影響を小さくするために、タイプレートには軸方向前後面に5.5mm角の発砲スチロールを接着させた。

実験対象区間の両端と供試体端部に、部材軸直角面で軸方向鋼板を結合する供試体幅の鋼板（ダイヤフラム）を設けた。

コンクリートには、圧縮強度38MPa、粗骨材最大寸法10mm、スランプ25cmの不分離性高流動コンクリートを使用した。

### 2.3 測定項目

図-4に示すように、はりのたわみを5点、変位計によって測定した。軸方向鋼板である上側、下側鋼板の裏表に1軸ひずみゲージを、タイプレートは大きいせん断力が作用する中間支点近傍には1本ずつ1軸ひずみゲージを裏表、シアコネクタの変形を調べるために、せん断伝達力が大きい位置にあるシアコネクタだけに1軸ひずみゲージを裏表に貼った。コンクリート各部のひずみを調べるために、3軸ひずみゲージを表のみ貼り、大円は60mm、小円は20mmの3軸ひずみゲージを示している。これらの他に、ずれ変位を裏表で計16点を変位計で測定した。

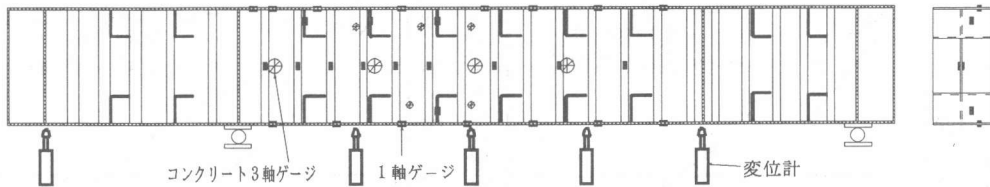


図-4 供試体SC-6の測定項目

## 3. 実験結果および考察

### 3.1 ひびわれ性状

各供試体のひびわれ状況を図-5に、実験対象区間内にひびわれSC-4が発生したときの中間支点位置の曲げモーメントを表-3に示す。

供試体SC-6およびSC-4は、まずSC-1曲げモーメントが負の最大の点（中間支点位置）においてダイヤSC-0フラムにそってひびわれが生じた。

以後、大きい曲げモーメントが作用している断面のシアコネクタから順にせん断ひびわれが発生した。

供試体SC-1は、下側鋼板に定着されたシアコネクタの先端からせん断ひびわれが発生し、上側鋼板にまで達した。シアコネクタが配置されていると、シアコネクタがひびわれを誘発し、ひびわれ発生荷重もシアコネクタが多いほど小さくなるという結果であった。

シアコネクタのない供試体SC-0においても、ひびわれ発生荷重は全供試体中で最も大きかったが、実験対象区間に一箇所ひびわれが発生した。このシアコネクタのない供試体のひびわれ発生

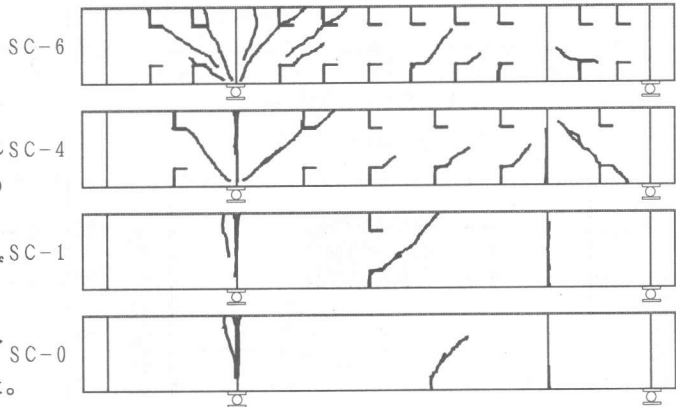


図-5 ひびわれ状況

表-3 ひびわれ発生モーメント

供試体名	SC-6	SC-4	SC-1	SC-0
ひびわれ発生モーメント(kN・m)	27.5	32.5	32.5	60.0

メカニズムについては今後検討していきたい。

### 3.2 シアコネクタ量と曲げ耐力との関係

#### (1) 実験結果

各供試体の合成度（シアコネクタ量）と部材耐力との関係を明らかにするために、図-6に、横軸にシアコネクタ量（表-2参照）を、縦軸に曲げ耐力の実験値を表したものを示す。実験結果は、シアコネクタ量にかかわらず、曲げ耐力は、降伏時、終局時とも変わらないという結果を示した。すなわち、合成度を小さくしても曲げ耐力は低下しないということである。これは、アンボンドPCでは曲げ耐力が付着のある場合より30%小さくなる[2]ということなどに対して興味深いものである。以下に、この理由について若干の考察を加える。

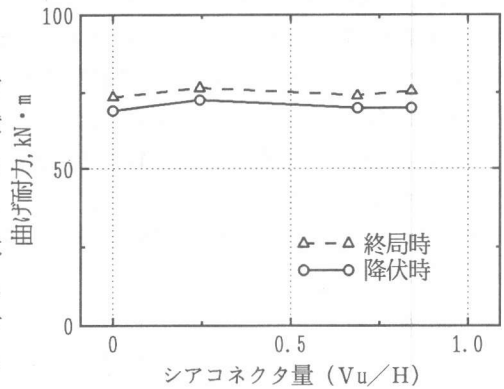
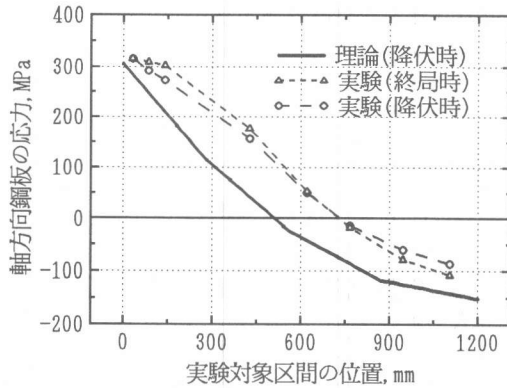
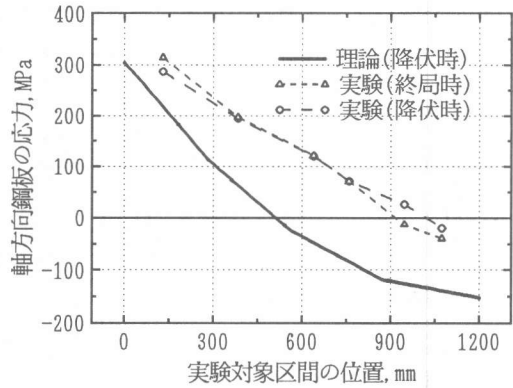


図-6 シアコネクタ量と曲げ耐力との関係

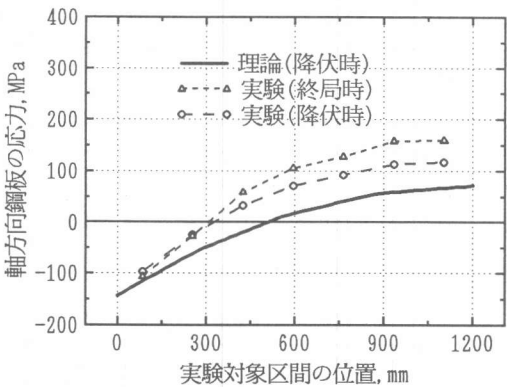
#### (2) 鋼材の応力分布



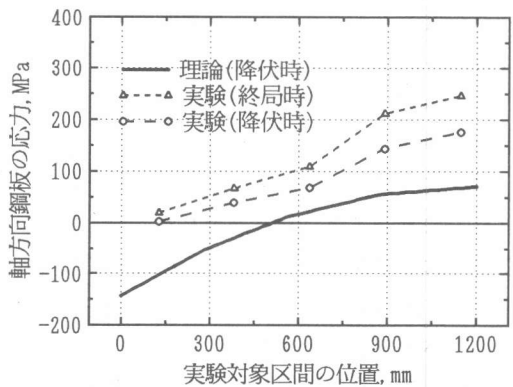
(a) 上側鋼板, SC-6



(b) 上側鋼板, SC-0



(c) 下側鋼板, SC-6



(d) 下側鋼板, SC-0

図-7 引張および圧縮側鋼板の応力分布

シアコネクタは鋼板とコンクリートの間で力の伝達を行うものであるから、シアコネクタの配置の効果は軸方向鋼板の応力分布に現れる。完全合成に近づけた供試体 SC-6と非合成の供試体

SC-0における引張および圧縮側鋼板の応力分布を図-7に示す。図中の実線は、完全合成（平面保持）を仮定した理論値（降伏荷重時）である。完全合成に近い供試体SC-6の軸方向鋼板の応力分布は、せん断ひびわれ発生によるモーメントシフトの影響と考えられる引張領域の増加はあるものの、理論曲線に近い。これは、シアコネクタが鋼板とコンクリート間でせん断力を伝達している証拠である。逆に、非合成の供試体SC-0では、応力分布の勾配が小さく、鋼板の応力は上下の鋼板ともに実験対象区間がほぼ全域にわたって引張となっている。上下の鋼板が全て引張となっているにもかかわらず曲げ耐力は低下しなかったということは、鋼コンクリートサンドイッチ構造では、平面保持が極端に成り立たない場合においても曲げ耐力は低下しないメカニズムがあると考えられる。

なお、シアコネクタがない供試体SC-0において、鋼板の応力分布の勾配が小さいといえどもあることは、シアコネクタ以外でせん断が伝達されているということである。この理由としては、鋼板とコンクリート間の摩擦力、タイプレートによる上下鋼板間のせん断伝達、さらに上側鋼板ではトナメント式載荷はりを用いたため載荷治具による拘束などの影響があるものと思われる。このことを定量的に考察してみる。まず、鋼板とコンクリート間の摩擦力については、部材にせん断力が作用することによってタイプレートには引張力が生じ、その反力としてコンクリートと軸方向鋼板間で圧縮力が働いて摩擦力が作用する。せん断伝達力は計算により、タイプレートに生じる力にコンクリートと鋼板の摩擦係数（ $\mu = 0.55$ ）を掛けると約90kNとなる。タイプレート自身による上下鋼板間のせん断伝達については、タイプレートを両端固定はりとして両端のせん断変形によってはりの付け根が全断面降伏すると仮定して1本約1.2kNの強度であり、実験対象区間では14本のタイプレートを配置しているため約20kNとなる。これらの和は約110kNとなり、下側軸方向鋼板においても実際にはそれ以上のせん断力が伝達されているので、これら以外の要因でせん断伝達が行われていることになり、これも今後の検討課題としたい。

### 3.3 シアコネクタ量と変形との関係

実験対象区間の降伏時におけるたわみ曲線を図-8に示す。シアコネクタ量が少なくなり合成度が低下するにしたがってたわみが大きくなっている。供試体SC-6とSC-0とを比較すると、シアコネクタがないSC-0のたわみは、SC-6のもの約1.7倍となっている。すなわち、鋼コンクリートサンドイッチ構造において、合成度を小さくしても曲げ耐力は低下しないが、変形はかなり大きくなるといえる。

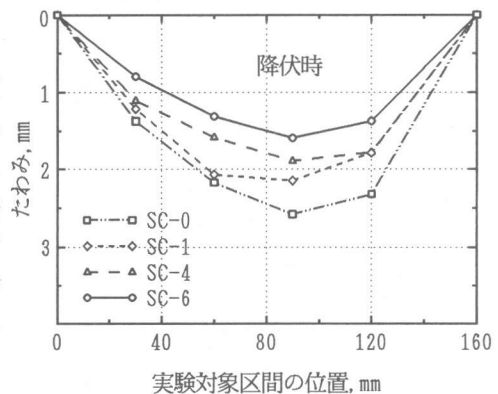


図-8 降伏時におけるたわみ曲線

## 4. まとめ

鋼コンクリートサンドイッチ構造の連続はり部材（部材高さとの比が1/8）に正負の曲げモーメントを作用させる曲げ耐力実験を行った試験結果から得られた結論は以下の通りである。

- (1) ひびわれ性状はシアコネクタ量に影響される。シアコネクタ量が多いほどひびわれ本数も多く、ひびわれ発生荷重も小さい。
- (2) 鋼コンクリートサンドイッチ構造では、シアコネクタがなく平面保持の仮定が成り立たずに、

上下の軸方向鋼板の両方に引張力が作用するように変形が進んだ場合でも曲げ耐力は低下しない結果となった。

(3) シアコネクタ以外でも軸方向鋼板とコンクリート間でせん断伝達が行われるという結果が得られた。この要因としては、鋼板とコンクリート間の摩擦力が最も大きいと思われる。

(4) シアコネクタがなく合成度が小さくても曲げ耐力は低下しないが、変形はかなり大きくなる。

【謝辞】本研究の実験準備の際には石丸啓輔技官（徳島大学工学部）に、また、載荷実験を續俊君（東亜建設工業）にご協力頂いたことに深く感謝の意を表します。

#### 【参考文献】

[1] 土木学会：鋼コンクリートサンドイッチ構造設計指針（案），コンクリート・ライブラリー第73号，1992年7月

[2] 土木学会：プレストレストコンクリート標準示方書解説資料，コンクリート・ライブラリー第44号，1979年7月

[3] Chuah, C. H., 島 弘, Rungrojsaratis, V. : Load-Displacement Relationship of Plate Shear Connector in Steel-Concrete Composite Structures, 土木学会論文集, No.433/V-15, 1991年8月, pp. 223-229.

[4] 上田多門, 塩屋俊幸：〔解説〕鋼・コンクリート系サンドイッチ構造，コンクリート工学，1992年5月，Vol. 30, No. 5, pp. 5-20.