

論文 波形鋼板ウェブを有する PC 構造の複合機構に関する研究

田島 潤*¹・山口隆裕*²・池田尚治*³

要旨：波形鋼板ウェブの上下端にずれ止めとして異形棒鋼を溶接しコンクリートフランジに直接埋め込む新しい複合形式の供試体を用いてせん断載荷実験を行った。ずれ止めとしての役割を果たす接合用異形棒鋼の付着強度、およびコンクリートに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め機能を実験的に検討し、本形式の複合機構を解明した。

キーワード：PC構造、波形鋼板ウェブ、複合形式、接合棒鋼、付着強度、貫通筋

1. はじめに

著者らは、波形鋼板ウェブを有するPC構造の複合形式に着目し、スタッドを用いた従来の接合方法に代わり、波形鋼板ウェブの下端にずれ止めとして異形棒鋼を溶接しコンクリートフランジに直接埋め込む新しい複合形式を提案し、梁の曲げ載荷試験によりその妥当性を確認した[1]。この複合形式を実構造物に反映させるためには、接合部における力の伝達機構をより明確にし、設計方法を確立してゆく必要がある。

本研究は、ずれ止めとしての役割を果たす接合用異形棒鋼（以下、接合棒鋼と呼ぶ）の付着強度に着目して、本形式の複合機構を実験的に検討するものである。

2. 実験概要

ずれ止めとしての役割を果たす接合棒鋼の付着強度、およびコンクリートに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め機能を検討することを目的として、波形鋼板ウェブを有する複合PC桁のせん断載荷実験を行った。実験に用いた供試体7体の形状を図-1に、その諸元を表-1にそれぞれ示す。6体については、上フランジを鋼フランジ、下フランジをコンクリート構造とし、引張部での複合挙動の検討を行った。また、圧縮部の複合挙動についても検討するため、1体は上下フランジともコンクリート構造とした。

供試体のパラメータには、接合棒鋼の径およびコンクリートフランジに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め機能の有無を選んだ。接合棒鋼の径は、D10、D13、D19の3種類とした。波形鋼板のずれ止め機能を除く方法として、まず波形鋼板の埋め込み部分の両面にガムテープを貼り、さらに斜め方向パネル部分には厚さ3mm程度のスポンジテープを貼付して、埋め込まれた波形鋼板のコンクリートとの付着およびその機械的抵抗を除去した。以下、コンクリートフランジに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め機能があるものをSタイプ、ないものをSUタイプと呼ぶ。

接合棒鋼は曲げ補強鋼材としての役割も果たすため、主鉄筋量を調節することで、各供試体の曲げ補強鋼材量を等しくした。各供試体のプレストレス導入量は196kN(20tf)とし、断面下縁の応力度で4.5MPa程度とした。曲げ区間および支点外区間の接合棒鋼にはビニールテープを巻き、

*1 横浜国立大学大学院 計画建設学専攻 (正会員)

*2 横浜国立大学助手 工学部建設学科 (正会員)

*3 横浜国立大学教授 工学部建設学科 工博 (正会員)

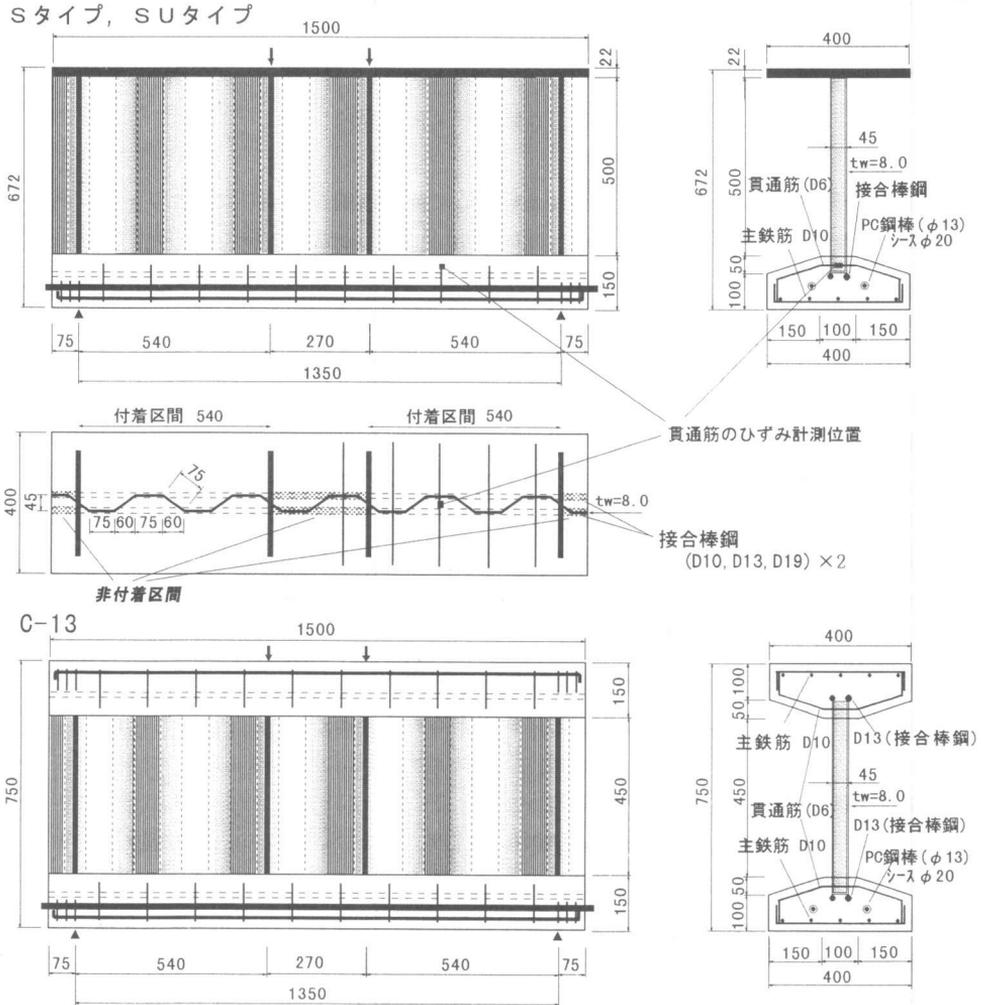


図-1 供試体の形状

表-1 供試体の諸元

タイプ	供試体名	接合棒鋼径	波形鋼板の ずれ止め機能	複合形式 の適用	曲げ補強鋼材量		
					主鉄筋	接合用	PC鋼棒
S	S-10	D10	有	下フランジ [*] (上フランジ [*] は 鋼フランジ [*])	7-D10	2-D10	2-φ13
	S-13	D13			5-D10	2-D13	2-φ13
	S-19	D19			2-D6	2-D19	2-φ13
SU	S-10-U	D10	無		7-D10	2-D10	2-φ13
	S-13-U	D13			5-D10	2-D13	2-φ13
	S-19-U	D19			2-D6	2-D19	2-φ13
	C-13	D13	有	上下フランジ [*]	5-D10	2-D13	2-φ13

供試体名の記号

S:鋼上フランジ、C:コンクリート上フランジ、

10:接合棒鋼 D10、13:接合棒鋼 D13、19:接合棒鋼 D19

U:コンクリートに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め機能がないこと

接合棒鋼の付着区間がせん断区間のみとなるようにした。コンクリートフランジには、ウェブ貫通横鉄筋(以下、貫通筋と呼ぶ)として D 6 を用いて 135mm 間隔で配置し、波形鋼板の上下端から 25mm の位置に φ 15 の孔をあけて貫通させた[2]。

実験は、桁の支持条件を単純支持とした静的2点载荷により行い、各荷重段階で桁中央部の変位および各ひずみの計測を行った。使用した鋼材の材料特性を表-2に、コンクリートの材料特性を表-3にそれぞれ示す。コンクリートの圧縮強度は、70MPaであった。

表-2 鋼材の材料特性

種類		降伏強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
SD295A	D6	270	530	190
	D10	360	550	190
	D13	350	490	190
	D19	380	540	190
SS400	8.0mm	300	430	210
	22.0mm	280	430	210
SBPR1080/1230 φ 13		1250	1290	190

3. 実験結果と考察

3.1 接合棒鋼の付着強度の検討

本複合形式のずれ止め機能は、接合棒鋼の付着強度とコンクリートに埋め込まれた波形鋼板の機械的抵抗により成り立っていると考えられる。

表-3 コンクリートの材料特性

圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	弾性係数 (GPa)
70	4.5	38

図-2に、Sタイプ供試体とSUタイプ供試体の荷重-変位関係の比較を示す。Sタイプと比較して、SUタイプは、早期に剛性が低下し始めることがわかる。コンクリートに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め機能がないため、Sタイプより低い荷重段階でコンクリートと接合棒鋼の付着が劣化し始めたと考えられる。

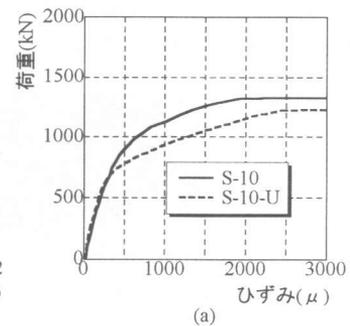
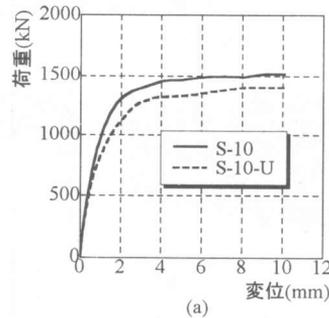


図-3に、せん断区間の貫通筋の荷重-ひずみ関係の比較を示す。図-2に示す荷重-変位関係において剛性が低下し始めた荷重時において、S、SUタイプのひずみ計測値に差が生じ始め、貫通筋のひずみが増大してゆくのわかる。

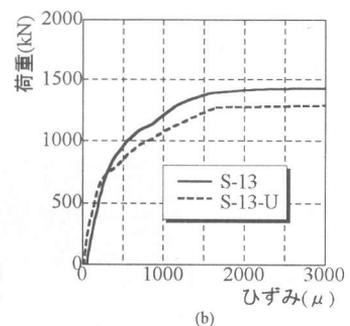
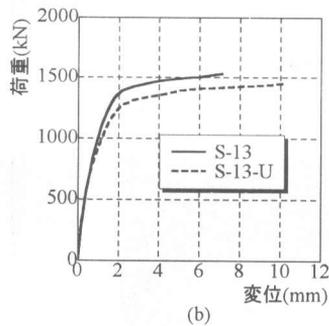


表-4に、貫通筋のひずみが増大し始める荷重、目視でコンクリートフランジとウェブの水平ずれが確認された荷重、さらに、フランジ上面のウェブとコンク

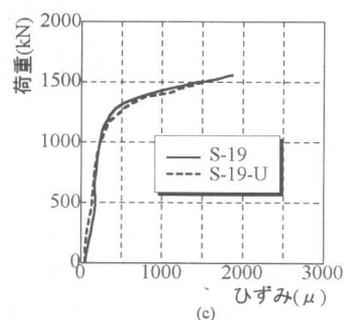
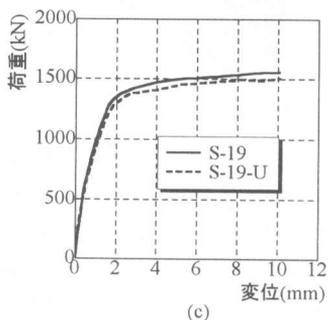


図-2 荷重-変位関係

図-3 貫通筋のひずみ

リートフランジの界面からひび割れが発生した荷重を示す。接合棒鋼の付着面積が異なるため、付着力に大きな違いがあると考えられるが、目視でずれを確認できた荷重にそれほど差はみられなかった。

表-4 各荷重の比較

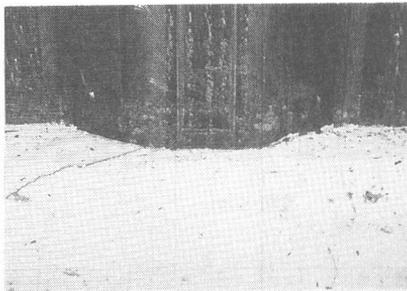
供試体	貫通筋のひずみが増大し始める荷重(kN)	目視で水平ずれを確認した荷重(kN)	ウェブとフランジの界面からひび割れが発生した荷重(kN)
S-10-U	600	1000	1000
S-13-U	750	1100	1400
S-19-U	1200	1200	1300

以上の結果から、貫通筋のひずみが増大し始めた荷重において、コンクリートと接合棒鋼の付着が劣化し始めたと仮定し、この荷重時における接合棒鋼の平均付着応力度（作用せん断力/せん断区間における接合棒鋼の付着面積）を計算すると、S-10-Uで9.3MPa、S-13-Uで8.7MPa、S-19-Uで9.3MPaとなり、9.0MPa程度となった。コンクリート標準示方書（設計編）の付着強度の特性値を求める式により、コンクリートと接合棒鋼の付着強度を計算すると4.7MPaとなり、約2倍の実験結果が得られたことになる[3]。

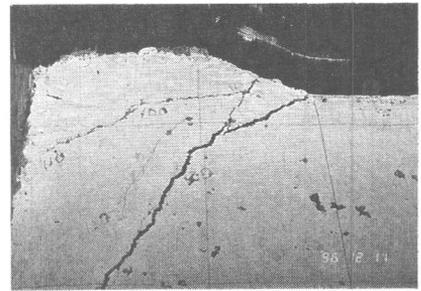
3.2 コンクリートに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め機能

SUタイプ供試体と較べて、Sタイプ供試体は、コンクリートに埋め込まれた波形鋼板の機械的抵抗による

ずれ止め機能を期待できる。図-2に示すように、曲げ耐力の計算値が同じであるにもかかわらず、S-10とS-10-U、S-13とS-13-Uでは、それぞれ大きな耐力差を生じた。SタイプとSUタイプの耐力差は、S-10で130kN、

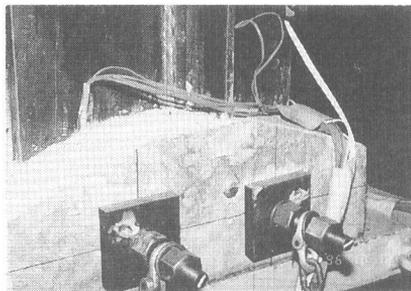


(a) S-10 (ひび割れ幅1.5mm)

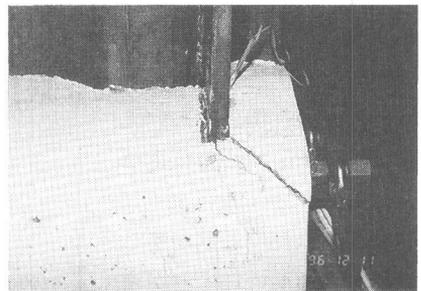


(b) S-10-U (ひび割れ幅4.0mm)

写真-1 ひび割れ状況



(a) S-10 (健全)



(b) S-10-U (大きなひび割れ)

写真-2 桁端部の状況

S-13で110kN、S-19で60kNであった。図-3に示すように、S-10、S-10-U、S-13-Uの3体は、実験において主鉄筋が降伏した荷重1400kNに達する以前に貫通筋が降伏し、早期にずれが発生したため、断面の持つ終局曲げ耐力に達することができなかったと考えられる。

以上の結果から、波形鋼板のずれ止め機能による耐力上昇をコンクリートに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め耐力と考えると、ともに早期にずれが発生し終局曲げ耐力に達しなかったS-10と

S-10-Uの耐力差130kNとなる。ここで、コンクリートに埋め込まれた波形鋼板のずれ止め耐力を文献[1]の式により計算すると150kNとなり、実験結果を評価することができる。

終局状態におけるせん断区間での最大水平ずれ量（コンクリートフランジに対する波形鋼板ウェブの相対ずれ）は、S-10-Uが8.0mmに達したのに対し、S-10では2.7mmに留まった。コンクリートに埋め込まれた波形鋼板がずれ抵抗に大きく寄与した結果と考えられる。また、S-19とS-19-Uの最大水平ずれ量は、それぞれわずかに0.85mmと1.0mmであり、接合棒鋼の付着力だけで、終局状態まである程度桁としての一体性を保つことができたと考えられる。

写真-1に、ウェブとコンクリートフランジの界面から発生した、フランジ上面におけるひび割れの終局状態を示す。S-10ではひび割れ幅が最大で1.5mmであったのに対し、S-10-Uでは最大で4.0mmに達した。写真-2に、終局状態における桁端部の状況を示す。S-10-UとS-13-Uでは、大きなずれを生じたためP C鋼棒定着部と補剛材の間のコンクリートに大きなひび割れを生じたが、他の供試体では健全を保った。

3.3 上フランジの複合挙動

上フランジもコンクリート構造とした供試体C-13の載荷実験より得られた荷重-変位関係を図-4に示す。Sタイプと比較して上フランジの剛性が大きいため、桁の耐力が向上した。荷重が1400kNに達すると、上下フランジともにウェブとの界面からひび割れが発生し、荷重1600kN時に、上下フランジ同時にウェブとの水平ずれを確認した。また、上フランジの水平ずれは、下フランジの水平ずれと同程度の大きさで逆方向に生じることが示された。写真-3に、終局状態における上下フランジとウェブとの界面のひび割れ状況を示す。終局状態における最大水平ずれ量は圧縮側で1.9mm、引張側で2.0mmであった。

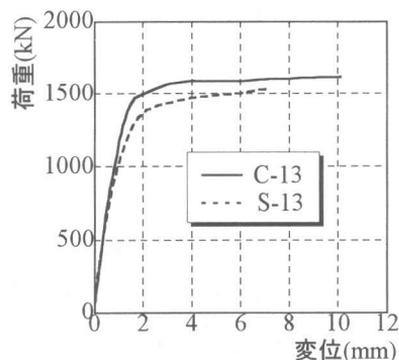
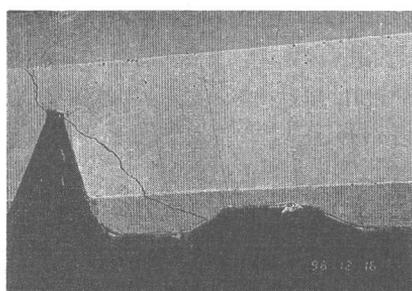
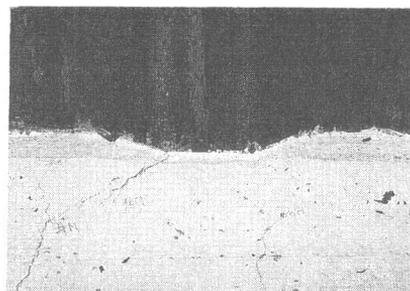


図-4 C-13 荷重-変位関係



(a) 上フランジ



(b) 下フランジ

写真-3 ひび割れ状況

3.4 せん断区間の接合棒鋼のひずみについて

図-5に示す位置に貼付した接合棒鋼の荷重-ひずみ関係を図-6に示す。図-5の(A)の位置に貼付したゲージには引張応力が生じるのに対し、(B)の位置に貼付したゲージには圧縮応力が生じる注目すべき挙動がみられた。波形鋼板ウェブの斜め方向パネルによる支圧が(B)の位置に生じ、局部的に圧縮応力を生じるからだと考えられる。これに対して(A)の部分には剥離を生

じるため、接合棒鋼に引張応力が付加されるのである。

5. まとめ

以上の研究結果をまとめると次のようになる。

- 1)せん断区間の貫通筋のひずみが増大し始める荷重において、コンクリートと接合棒鋼の付着が劣化し始めたと仮定し、この荷重時の接合棒鋼の平均付着応力度を計算すると9.0MPa程度となり、コンクリート標準示方書(設計編)に示される付着強度の約2倍となった。
- 2)コンクリートに埋め込まれた波形鋼板がある程度のずれ抵抗を有することを実験的に確認することができた。また、この場合、貫通筋の寄与がきわめて大きいことが明らかになった。
- 3)上フランジにも本複合形式を適用した複合PC桁は、終局状態まで桁としての一体性を十分に確保し得ることが明らかとなり、上フランジにもこの複合方法を用いることができることが確認された。
- 4)本複合形式における接合棒鋼は、下フランジでは引張側であるにもかかわらず、局部的に圧縮応力を生じる注目すべき挙動が見出された。

謝辞

供試体の製作において、(株)ピー・エスの佐藤幸一氏、鈴木宣政氏、(株)日本鋼管ライトスチールの岡本康男氏、および関係各位に協力を得た。また、実験を行うにあたり、森下豊技官(横浜国立大学)および佐藤史章君(横浜国立大学学生)に多大の協力を得た。ここに深く感謝します。なお、本研究は文部省科学研究費・基盤研究(A)(研究代表者、池田尚治)No.07555141の一環として行ったものである。

参考文献

- [1]山口恒太・山口隆裕・池田尚治：波形鋼板をウェブに用いた複合プレストレスコンクリート桁の力学的挙動に関する研究、コンクリート工学論文集、Vol.8、No.1、1997
- [2]依田照彦・多田維弘・中島陽・大内一男：波形鋼板ウェブを持つ合成桁の力学的挙動に関する実験研究、鋼構造論文集、第1巻、第2号、pp.57-66、1994.6
- [3]コンクリート標準示方書(設計編)[平成8年制定]、土木学会、PP19-22

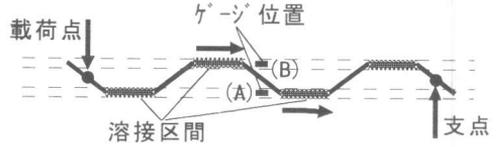
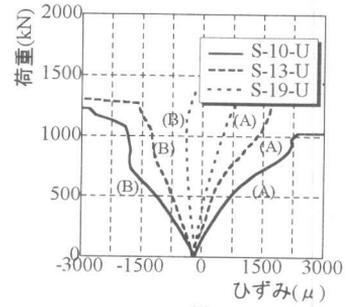
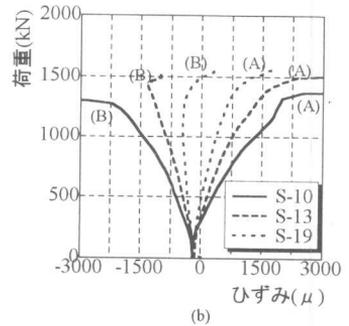


図-5 接合棒鋼のひずみゲージ位置



(a)



(b)

図-6 接合棒鋼のひずみ