

PC-S 構造に張弦梁構造を併せた複合構造における構造性能に関する実験的研究

黒沢建設(株) 正会員 ○ 百武 茂
 明治大学 高木 仁之
 明治大学 戸塚 紘輝
 日本工業大学 白石 一郎

Abstract : Recent years have seen the development and practical implementation of the composite-beam structure (PC+S structure), in which the central part of a beam is composed of steel (S-structure) and the ends are composed of precast-prestressed concrete (PC-structure). The PC+S structure enables longer beam spans while simultaneously increasing the horizontal stiffness of buildings. Our objective is the development of a hybrid-beam structure that will further expand the range of applications for this construction method through the addition of “outcables” to the PC+S structure in a beam string configuration that enables further span lengthening. Here, we describe the effects of outcables placed outside the PC+S structure beams during an experimental investigation of the strength, deformation, and destruction characteristics of the configuration, with the outcable tensioning force used as the variable. The results verify the superiority of the hybrid beam.

Key words : Hybrid beam, Precast-prestressed concrete, PC+S structure, Outcable

1. はじめに

近年、建物の水平剛性を高めつつ長スパン化を目的とした梁中央部を鉄骨造 (S 造)、梁端部をプレキャストプレストレストコンクリート造 (PC 造) とした PC-S 構造が開発され、実用化に至っている^{1),2)}。本研究では、この構法の実用範囲拡大を図り、更なる長スパン化を狙った PC-S 構造にアウトケーブルを配置することによって、張弦梁構造を併せた複合構造梁を構築することを目的とする。

本報では、PC-S 構造梁の外側に配置したアウトケーブルの効果を見るために、アウトケーブルの緊張力の大きさを変数とした実験の結果を報告する。

2. 実験概要

2. 1 試験体

試験体概要を、図-1 および表-1 に示す。試験体は全長 4000mm で、梁両端部 1000mm は PC 部材、中央部 1960mm は S 部材、接合部目地モルタルを両端各 20mm とし、下部にアウトケーブルを配置する。PC 部材と S 部材との緊結は S 端部のエンドプレートと PC 部材との間に目地モルタルを打設した後、PC 鋼棒 (PC 部 PC 鋼棒 4-23φ, 150kN/本) を用いて接合した。使用鋼材は、S 部に H-300×150×6.5×9

表-1 試験体概要

試験体		No.1	No.2	No.3
アウトケーブル	緊張力P0	0kN	75kN	150kN
	使用鋼材	1C-15.2φSCストランド		
S部材	使用鋼材	H-300×150×6.5×9(SS400)		
PC部材	鋼棒	PC鋼棒23φ(P0=150kN/本)		
	主筋	4-D19(SD345)		
	スターラップ	13-□-D10(SD345)@65		
	コンクリート・モルタル強度	Fc=50N/mm ²		

(SS400) , S 端部にフランジ厚と同じ厚さ 9mm のエンドプレート (SS400) , PC 部に PC 鋼棒 23φ, ケーブル部分にアンボンド PC 鋼材:1C-15.2φSC ストランド (全素線塗装型 PC 鋼より線) を用い、また、使用コンクリート、モルタル強度は Fc=50N/mm² とした。アウトケーブルは、材端部でジャッキによって緊張し、プレストレスを施した。なお、アウトケーブルの緊張力はロードセルによって測定、管理し、一定に保持することによ

って、各断面の応力度は、フルプレストレスト状態にあり、加力による二次的な緊張力は加わらないとしている。試験体総数は3体とし、アウトケーブルの緊張力P0を変動因子としてNo.1試験体で0kN, No.2試験体で75kN, No.3試験体で150kNの3段階で検討した。全ての試験体で、中央上端の圧縮破壊を想定している。

2.2 加力・測定方法

加力方法は長期荷重を想定し、図-1に示した部材中央の上部に、鉛直方向への一方向繰り返し载荷をする。なお、繰り返し点は中央部の変位角で行い、各ステップを P1 : 1/400, P2 : 1/200, P3 : 1/100, P4 : 1/50, P5 : 1/25 とした。変形角の原点は、ケーブル緊張による応力を内部応力と考え、外力 P に対する変形角とするために、ケーブル緊張後を原点とした。

測定項目は、図-2に示すように鉛直方向荷重载荷時における PC 部材, S 部材の鉛直変位 (δ1~5), S 部材と PC 部材間の接合部変形角 (δ6~9), H 型鋼 (H1~H8), エンドプレート (E1~E4), PC 鋼棒 (PC1-1~8-2) の歪みとし、また、目視により試験体の破壊の進行状況について観察した。

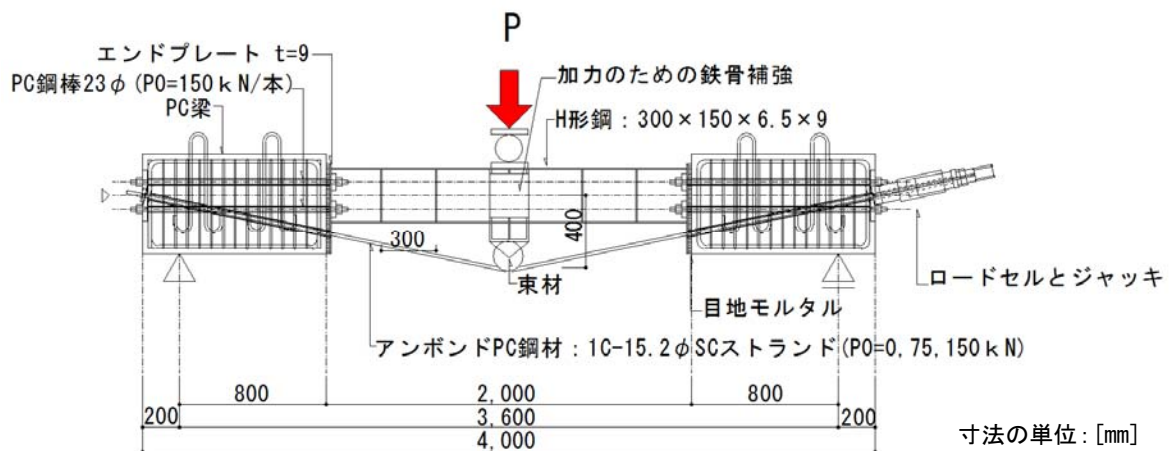


図-1 試験体性状と加力方法

2.3 試験体設計値

本実験ではアウトケーブルを配さないNo.1試験体に対し、アウトケーブルを用いるNo.2, No.3試験体の最大耐力をそれぞれ2割~4割上昇させることを目標とし、緊張力を決定した。なお、アウトケーブルの緊張によって偏心軸力が加わったS梁の終局曲げモーメント算出は下式で推定する。

$$Mu = \sigma_{cmax} \cdot Z_p + N \cdot e = (N/A + s \sigma_u) \cdot Z_p + N \cdot e \quad (1)$$

使用鉄骨: H-300×150×6.5×9(SS400)

Mu : 中央部上端が最大圧縮応力度に達した時の終局曲げモーメント

sσu : 鋼材の終局応力度 300[N/mm²]

(規格降伏点 235[N/mm²]に対し、実強度 300[N/mm²]とした。)

Zp : 鋼材の塑性断面係数 542[cm³]

σcmax : 軸力負荷時圧縮縁応力度(=N/A+sσu)

N : ケーブル緊張により部材に加わる軸力(=0.2P0)

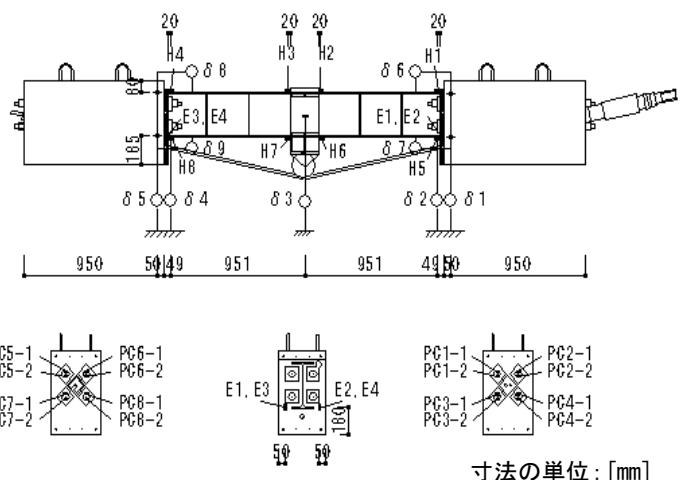


図-2 測定位置図

寸法の単位: [mm]

上式を用い、試験体3体の終局曲げモーメントを算出すると以下のようになった。

$$Mu(\text{No. 1: } P_0=0\text{kN})=163[\text{kN}\cdot\text{m}], Mu(\text{No. 2: } P_0=75\text{kN})=201[\text{kN}\cdot\text{m}], Mu(\text{No. 3: } P_0=150\text{kN})=240[\text{kN}\cdot\text{m}]$$

3. 実験結果

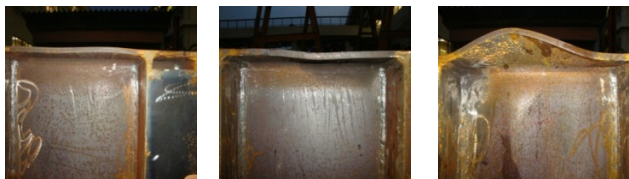
3. 1 破壊性状

表-2に実験結果一覧および写真-1に実験終了後試験体全景を示す。鉛直荷重載荷前にアウトケーブルに緊張力を導入した No.2 および No.3 試験体では、加力方向と反対向きの逆反り曲げによる負変形が No.2 で 1.8mm(1/1100) , No.3 で 4.5mm(1/440)を生じた。各試験体とも変形角 1/400[No.2 は 1/630, No.3 は 1/4400] (以後, [] 内はケーブル緊張前を原点とした変形角を示す。)では全く損傷は無く弾性挙動を示した。No.1, No.2 試験体は変形角 1/200[No.2 は 1/240, No.3 は 1/370]で, No.3 試験体は 1/100[No.2 は 1/110, No.3 は 1/130]でそれぞれ S 部材引張側中央部フランジが降伏歪みに達し, 荷重-変形曲線に微妙な剛性低下が認められた。その後, 1/50[No.2 は 1/52, No.3 は 1/56]で鉄骨部中央がほぼ全塑性モーメントに達したと見られ, 荷重-変形曲線は横ばい状態となった。No.1, No.2 試験体は変形角 1/25[No.2 は 1/26]で, No.3 試験体は変形角 1/50[No.3 は 1/56]で鉄骨部中央に局部座屈(写真-2)が発生した。この局部座屈に対して No.1, No.2 試験体では耐力低下しないが, No.3 試験体は徐々に耐力低下した。変形角 1/25 においても PC 部材コンクリート表面にはひび割れなどの損傷が見られず, PC 鋼棒の歪みは降伏歪みの半分程度であったため, PC 部材は無損傷と考えられる。また, PC 部と S 部の接合部のフランジ位置におけるエンドプレート表面歪みが 500 μ 以下と充分弾性範囲であること, PC 部と S 部との接合部の回転角においても除荷後の残留が小さいことから, PC-S 接合部においても, 接合部間の目開きやすべり等の破壊は起こっていないことが観察された。なお, 載荷初期時より引張縁の接合部エンドプレート-目地モルタル間に開き(写真-3)が発生したが, 終局時においても S 部フランジ引張部までは達せず, 除荷後もその開きが元に戻っているため損傷は無いと判断される。また, アウトケーブルの緊張力の増大に伴い, 最大耐力時での PC-S 接合部の PC 鋼棒歪みは, No.1 試験体の 900 μ から No.3 試験体の 300 μ まで減少しており, アウトケーブルが PC-S 部材の緊結に有効に働いていることがわかる。

以上より, 破壊性状は S 部材中央部の曲げ降伏後の圧縮フランジ部の局部座屈により決定したといえる。



写真-1 実験終了後試験体全景 No.3 試験体



No.1 試験体 No.2 試験体 No.3 試験体

写真-2 圧縮フランジ局部座屈

表-2 実験結果一覧

試験体名	降伏荷重 【kN】	降伏時変形角 【rad】	最大荷重 【kN】	破壊時変形角 【rad】	S部材中央部引張側最大歪 【 μ 】	エンドプレート最大引張歪 【 μ 】	PC 鋼棒最大歪 【 μ 】
No.1	105	1/200	208	1/25	25833	531	900
No.2	138	1/200	242	1/25	21273	424	657
No.3	229	1/100	267	1/50	12567	209	290



写真-3 PC-S 部材接合部 (No.2 試験体)

3. 2 荷重-変位関係

図-3に荷重-試験体中央鉛直変位(δ)の関係を示す。大局的に見ると各試験体とも降伏後, 靱性のある挙動を示している。また, アウトケーブルの緊張力増加に伴って, 荷重に対するたわみ量の低下, 耐力の上昇, 残留変位の低下などが見られる。

3. 3 最大耐力

各試験体の最大耐力(実験値、及び曲げ終局計算値)を表-3に示す。アウトケーブルを配さない No.1 試験体に対し, No.2 試験体で 16.35%, No.3 試験体で 29.37%の耐力上昇が見られる。目標設計値である 2~3 割

の上昇を満たしたと言える。また、実験値/計算値の値が 1.00~1.15 となっており、概ね近い値を示すが、アウトケーブルの緊張力増加に伴い、若干比率が減少傾向にある。

3. 4 残留変位

図-4に各変位ステップの除荷後の残留変位を示す。アウトケーブルの緊張力増加に伴い、P1~P4において除荷後の残留変位が小さくなり、P4(1/50)時においても No.1 試験体に対し、No.2 試験体で 16%、No.3 試験体で 33%低下している。

3. 5 PC-S 接合部回転角

PC-S 部材接合部における荷重-回転角関係を図-5に示す。アウトケーブルによって部材に加わる圧縮軸力、及び負曲げモーメントの効果により、荷重に対する接合部回転角量の低下が確認でき、接合部の回転剛性が上昇したと推察される。ここでいう回転角は、 $\delta 8$ と $\delta 9$ の差をフランジ間 (300mm) で除した値をいう。

3. 6 エンドプレート歪み

No.1~No.3 試験体の S 部材エンドプレート引張側フランジ位置表面に貼付した歪みゲージ E1~E4 の平均値による荷重-歪み関係を図-6に示す。No.1 試験体においてはエンドプレートに対して $-150\mu \sim 500\mu$ の歪みを受けているのに対し、ケーブル緊張力を付加した場合、No.2 試験体では $-200\mu \sim 400\mu$ 、さらに No.3 試験体では $-200\mu \sim 220\mu$ と徐々に小さくなり、エンドプレートにかかる歪みが低下していることがわかる。このことから、アウトケーブルの緊張力がエンドプレート厚みをより薄く設計できる可能性があることがわかる。

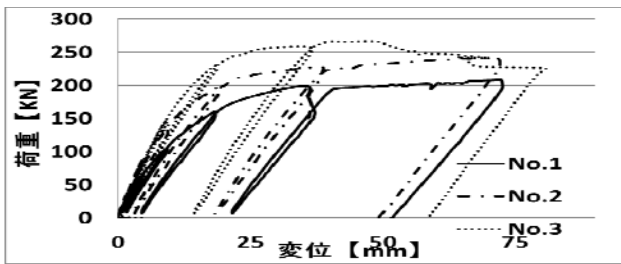


図-3 荷重 - 変位関係 ($\delta 3$)

表-3 最大耐力

	最大耐力[kN]		実験値/ 計算値	No.1に対す る上昇率[%]
	実験値	計算値		
No.1	208	181	1.15	100
No.2	242	223	1.09	116
No.3	267	267	1.00	128

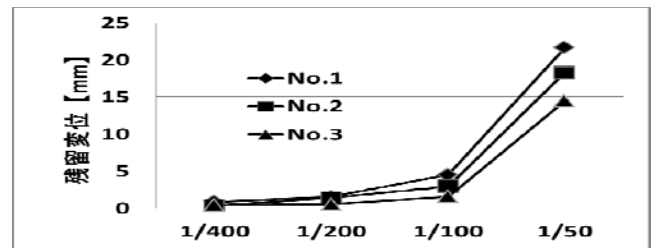


図-4 残留変位

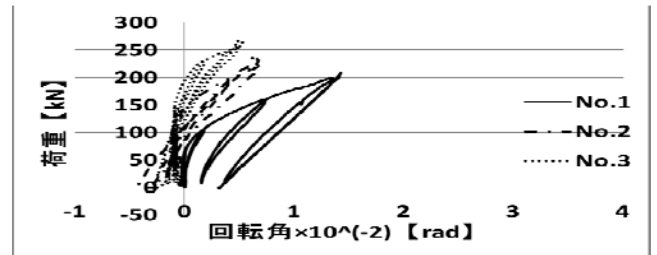


図-5 荷重-回転角関係

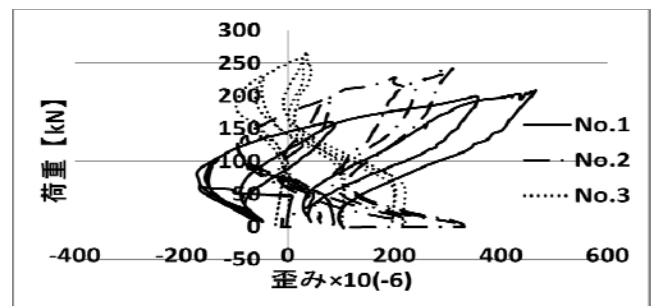


図-6 エンドプレート歪み

4. まとめ

本構法では、アウトケーブルを配することにより、剛性、降伏強度、最大耐力、残留変位、PC-S 接合部の回転剛性、エンドプレート厚の減厚などの優位性を確認した。なお、アウトケーブルの緊張力は部材に圧縮応力の増大を招くが、中央上端には通常スラブが存在するので、本実験結果よりもフランジの圧縮応力は小さくなると考えられ、曲げ耐力の上昇が期待できるものである。

【参考文献】

- 1) 森, 百武, 上原, 高木; 中央部 S 造、材端部 PC 造とする複合構造梁の実験的研究, 第 19 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.381-384, 2010.10
- 2) 齋藤ほか; 大和ハウス工業(株)建築事業部の物流施設—新たな構法への試み—, 建築技術No.734~736, 2011.3~5