

論文 アンボンド PC 有孔梁の耐震性状に関する研究

丸田 誠*1・高津比呂人*2・Trinh Van Hoa*3

要旨: アンボンド PC が 2007 年の建築基準法・告示の改正により使用できるようになったが実験データの不足もあり実用化には至っていない。設備用の貫通孔が梁には必要となるが、アンボンド PC 梁の実験は無かったため、今回実験を行った。実験因子としては主に開孔補強方法とした 9 体の実験を行った。開孔補強法としては開孔上下を弦材として左右を束材として縦横筋で補強する方法と RC で行われている斜め筋を用いた方法の 2 種類とした。実験結果から、斜め筋は有効に作用することが分かった。有孔梁のせん断強度は、浜原式や RC で用いられている修正広沢式にプレストレスの効果を加算した評価法でほぼ良好に評価できた。

キーワード: アンボンド, プレストレストコンクリート, 有孔梁, 開孔補強筋, せん断強度

1. はじめに

アンボンドプレレストレストコンクリート（以下 UBPC）構造は、地震時の高復元性や損傷の端部目地部への集中など特徴的な構造である。また、グラウトの必要がなく通常のボンドタイプのプレレストレストコンクリート（以下 BPC）より施工が簡易となる。2007 年に建築基準法・告示が変更となり、主要構造部材へのアンボンド PC 鋼材の利用が可能となった¹⁾。しかし、その実験データや強度評価法が確立されていないこともあり、実用化には至っていない。設備用の貫通孔が多量の建築物の梁には必要となる。BPC 有孔梁について PC 規準²⁾では、せん断強度を圧縮弦材と引張弦材のせん断破壊耐力の和として評価している。また浜原³⁾が近年積極的に研究を行っており、円形開孔も含めて開孔周辺を弦材と束材に分けたフィーレンディールとして弦材・束材それぞれトラス・アーチ機構からせん断強度を算定している。UBPC 有孔梁についての実験は、既往の研究には無いため補強方法を変化させた開孔梁の曲げせん断実験を行った。

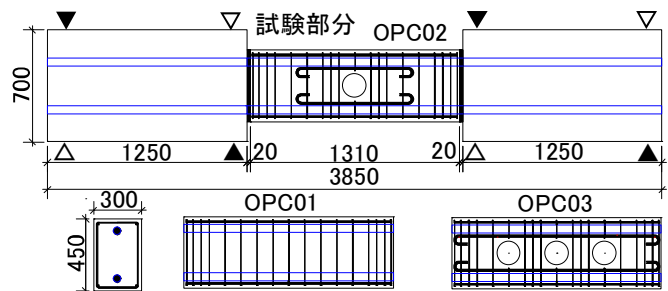


図-1 試験体概要（シリーズ1）

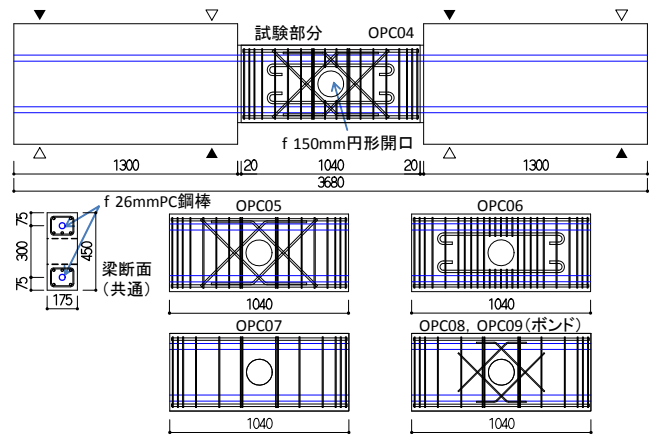


図-2 試験体概要（シリーズ2）

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体は、図-1、図-2 に示す試験体 OPC01～OPC08 の UBPC 梁部材 8 体と BPC 梁部材 OPC09, 1 体の合計 9 体である。表-1 に示す試験体諸元の通り、コンクリートの設計基準強度 F_c は共通で $30[N/mm^2]$ とした。開孔径は $150mm \phi : 1/3D$ (D : はりせい) とし、各試験体で共通とした。

表-1 試験体一覧

試験体名	断面 (mm)	コンクリート強度 (N/mm^2)	せん断スパン比	PC鋼棒鋼種、径	せん断補強筋	軸方向筋	斜め補強筋	開孔数
OPC01	300	30 (スタブは 60)	1.5	C種 2- $\phi 40$	2- D6@100 (SD295)	4-D10 (SD295)	-	なし
OPC02	x							1
OPC03	450							3
OPC04	175 x 450	30 (スタブは 60)	1.2	C種 2- $\phi 26$	2- D6@100 (SD295)	4-D13 (SD295)	D10(SD295) 2セット	1
OPC05								-
OPC06								
OPC07								
OPC08								
OPC09	2セット							

開孔径はすべて $150 \phi mm (1/3D D: はりせい)$

*1 島根大学大学院 総合理工学研究科建築・生産設計工学領域教授 博（工）（正会員）

*2 榊竹中工務店 技術研究所主任研究員 工修（正会員）

*3 島根大学大学院 総合理工学研究科建築・生産設計工学領域（学生会員）

OPC01は無開孔, OPC02は中央部に1つの開孔, OPC03は3つの開孔を有する試験体とし, シリーズ1とし開孔数を因子とした。このシリーズ1の開孔補強は弦材, 束材の縦横筋による補強とした。OPC04~OPC09をシリーズ2とした。シリーズ2では主に斜め筋を有した梁のせん断性状を検討する。

シリーズ1とシリーズ2では試験体のせん断スパン比や幅が異なるが, せん断性状を確認するためせん断破壊先行型として全試験体の設計を行った。

試験体は予め梁部分をプレキャスト部材とし作成し, 両側のスタブと20mm, Fc60程度の目地モルタルで接着した後, PC鋼材をPC規準に則り緊張して一体化させた。シリーズ1試験体はPC鋼棒による緊張力を大きくし, せん断破壊先行とするためφ40mmの上下2本の鋼棒を用いた。OPC01(中実断面)でも0.45Fc程度の断面応力となる。一方, 横補強筋量Pwは0.21%と少なくした。シリーズ2のOPC04~OPC09は中央部に1つの開孔を有する試験体とし, φ26のPC鋼棒を上下に配置し, 0.3Fc以下の断面応力(一般部)とした。シリーズ1より梁幅, せん断スパン比を小さくすることでせん断破壊先行とした。OPC04は開孔周囲に斜め筋と縦横筋で, OPC05, OPC08, OPC09(BPC試験体)は斜め筋のみで, OPC06は縦

横配筋のみ, OPC07は斜め筋なしの孔際補強筋のみでそれぞれ補強した。なお, OPC09はOPC08と同じ配筋でボンドタイプ(BPC)とした。

鋼材およびコンクリートと目地モルタルの材料試験結果を表-2に示す。なお, OPC09のボンド用グラウト(セメントミルク)の強度は29.4N/mm²であった。

2.2 加力方法

口型の反力フレームの中に試験体を設置し, 載荷は, 逆対称曲げモーメントを与え, 正負交番繰り返して行った。制御は変形制御とし, 部材角R=1.25,2.5,5.0,7.5,10, 15,20,30,40×10⁻³[rad.]を各2回繰り返す計画とした。変形の測定は, 部材角測定のため両側スタブの相対変形, 曲げ変形分離のための上下8区間毎の相対変形, 開孔部はX形に変位計を設置しせん断変形角の測定を行った。ひずみの測定は, 梁のPC鋼棒, 軸方向筋及び横補強筋について行った。ひび割れ幅についてもクラックスケールにより各サイクルの載荷ピーク時と除荷時について計測した。

3. 実験結果

3.1 破壊性状およびせん断力-部材角関係

図-3に全試験体のせん断力-部材角関係と最終破壊状況を合わせて示す。OPC01は, R=1.25×10⁻³[rad.]のサイクルで, 曲げひび割れが端部目地モルタルと梁もしくは加力スタブ間に発生後, この1本のひび割れが開くだけであった。その後R=2.5×10⁻³[rad.]で, 梁端部のコンクリートの圧壊が目立ち始め, 曲げ圧壊の様相を呈したが, それまではS字形のループを描いた。その後のサイクルで端部圧壊が顕著になり, 圧縮端近傍で圧壊による水平ひび割れが生じた。変形が進みR=-15×10⁻³[rad.]サイクルで水平方向にひび割れが入ると同時に横補強筋が降伏し, 強度低下が顕著になりその後のR=20×10⁻³[rad.]で試験体の損傷が大きくなったため載荷を終了した。

OPC02はR=1.25×10⁻³[rad.]で梁中央開孔両脇に水平方向にひび割れが入った。初期PC鋼棒緊張時に入ったひび割れが進展・拡大していったと思われる。加力サイクルの増加とともに, そのひび割れが斜めとなり進展していった。OPC01とは異なり, 端部コンクリートの圧壊は顕著とならなかった。中央開孔上下の斜め水平ひび割れが生じたが, これは図-1に示す弦材を作る, 開孔部水平補強筋(5-D13)に沿った形で生じた。最終的にはR=+7.5×10⁻³[rad.]に到達した瞬間, 変形が伸び開孔部がせん断破壊した。破壊モードとしては曲げ圧壊とせん断破壊が混在した破壊形式となった。

表-2 材料試験結果一覧

(鋼材)							
鋼材	使用部材	使用部位	降伏強度 N/mm ²	引張強度 N/mm ²	ヤング係数 × 10 ⁵ N/mm ²	伸び(%)	試験体
D6	295A	横補強筋	360	478	1.94	-	OPC01 ~ OPC03
D10	295A	軸方向筋	385	533	1.82	-	
D13	295A	開孔部補強	377	539	1.75	18.5	
φ40	C種	PC鋼材	1166	1299	2.11	14.6	OPC04 ~ OPC06
D6	295A	横補強筋	375	512	1.75	17.9	
D10	295A	斜め筋	366	502	1.77	19.0	
D13	295A	軸方向筋	364	516	1.90	20.2	
φ26	C種	PC鋼材	1204	1309	1.89	10.7	
D6	295A	横補強筋 斜め筋	362	514	1.74	21.4	
D13	295A	軸方向筋	360	521	1.79	21.5	OPC09
φ26	C種	PC鋼材	1201	1293	1.97	10.3	

(コンクリート)					
試験体	種類	圧縮強度 N/mm ²	弾性係数 KN/mm ²	引張強度 N/mm ²	シリーズ
OPC01	Fc30	32.4	28.8	2.32	1
	目地モルタル	62.6	-	-	
OPC02	Fc30	33.1	29.1	2.37	
	目地モルタル	64.7	36.1	-	
OPC03	Fc30	33.7	29.1	2.33	
	目地モルタル	65.6	36.7	-	
OPC04	Fc30	34.8	28.9	2.74	
	目地モルタル	74.0	-	-	
OPC05	Fc30	34.1	28	2.7	
	目地モルタル	69.8	-	-	
OPC06	Fc30	32.4	27.2	2.71	
	目地モルタル	69.1	-	-	
OPC07	Fc30	29.2	28	2.28	2
	目地モルタル	69.1	-	-	
OPC08	Fc30	29.3	27.7	2.28	
	目地モルタル	69.9	-	-	
OPC09	Fc30	29.7	27.7	2.33	
	目地モルタル	68.4	-	-	

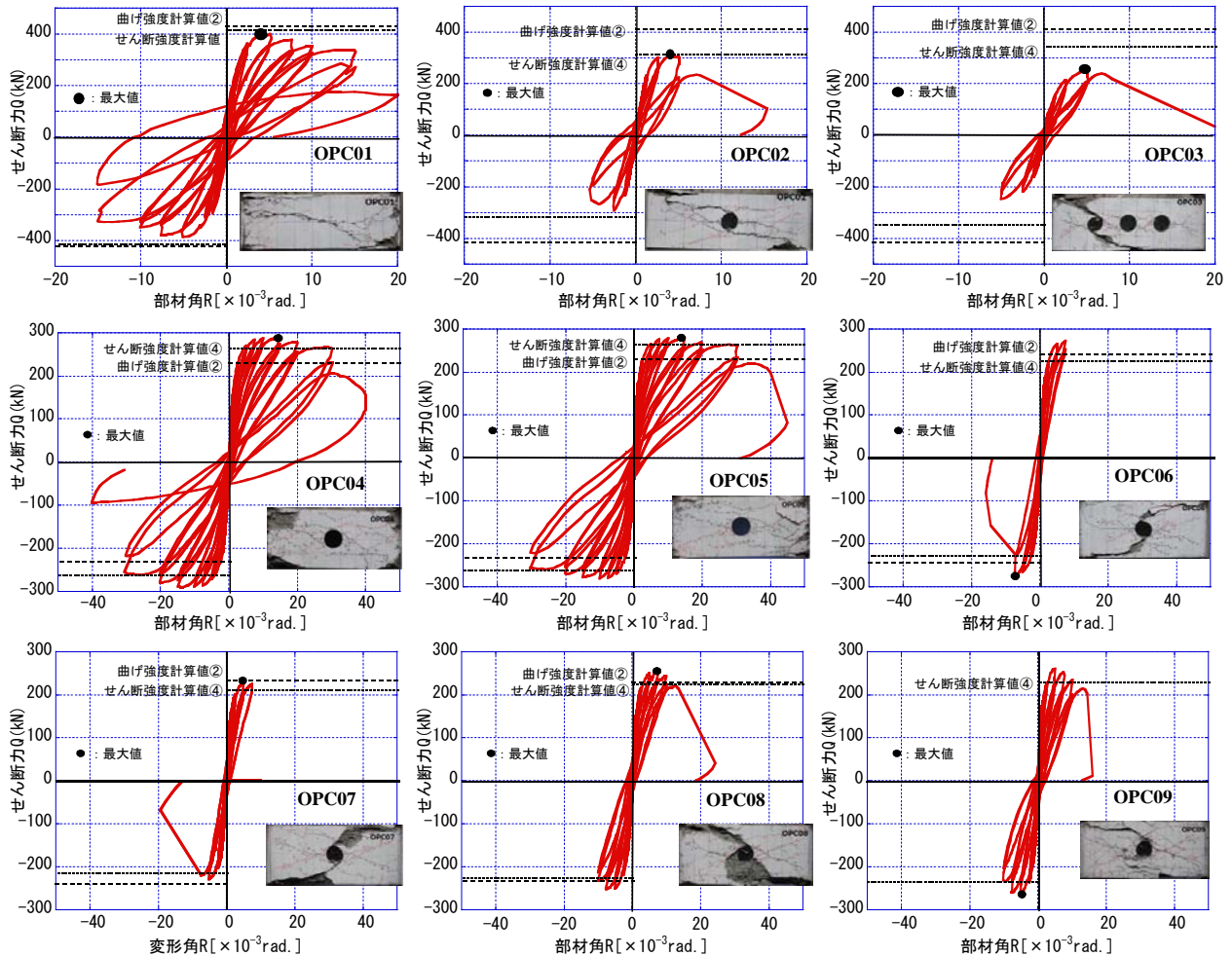


図-3 せん断力-変形角関係

OPC03 も OPC02 と同様に初期のプレストレス導入時に生じたと思われるひび割れが $R=1.25 \times 10^{-3}$ [rad.] のサイクルで顕著に観察された。その後 3 つの孔の周辺に、斜め水平方向のひび割れが多数生じていった。OPC02 と同様に上下の弦材を形成する軸方向筋と開孔間でひび割れが発生・進展していった。 $R=5 \times 10^{-3}$ [rad.] 時に最大強度に達するが、その後の強度低下は、OPC02 ほど顕著ではなかった。OPC02 と同様に、 $R=+7.5 \times 10^{-3}$ [rad.] に向かう途中で端部の 1 つの開孔部で、大きな音とともに急激なせん断破壊が生じ終局に至った。

OPC04~09 の各試験体とも最初の $R=1.25 \times 10^{-3}$ [rad.] のサイクルで開孔周辺に水平に近いひび割れが生じた。

OPC04 は、 $R=2.5 \times 10^{-3}$ [rad.] のサイクルで、曲げひび割れが端部目地モルタルと梁もしくは加力スタブ間に発生後、この 1 本のひび割れがその後の載荷とともに開いていった。その後 $R=5 \times 10^{-3}$ [rad.] で、梁端部のコンクリートの圧壊が目立ち始め、曲げ圧壊の様相を呈した。その後のサイクルで端部圧壊が顕著になった。開孔部周辺の水平せん断ひび割れ数は $R=2.5 \times 10^{-3}$ [rad.] 時に増加したが、その後ひび割れ数は増加せず、サイクルが増すごとにひび割れ幅が若干増大した程度であった。加力サイク

ルが増加する毎に端部の圧壊は顕著になっていった。 $R=40 \times 10^{-3}$ [rad.] の正側加力時に端部の急激な曲げ圧壊で強度低下が生じた。その後、負側のサイクルも載荷をした後終了した。中央開孔上下の斜め水平ひび割れが生じたが、これは OPC02 と同様に図-2 に示す弦材を作る開孔部水平補強筋(5-D13)に沿った形で生じた。せん断力-変形角関係からも S 形で典型的な PC 構造のループを描くが $R=10 \times 10^{-3}$ [rad.] サイクル以降は若干の残留変形も残る曲げ型のループとなった。ただし、PC 鋼材の降伏は最後までみられず、端部のコンクリートの圧壊により変形が残留したと思われる。

OPC05 の破壊経過は OPC04 と殆ど同じとなった。せん断力-変形角関係も大きな違いはみられなかった。最大強度は OPC04 に比べ 4% 程度低かったが、コンクリート強度 (表-2) の影響も若干あると考えられる。

OPC06 も破壊前まで OPC04, OPC05 と同様な挙動をした。開孔周辺のひび割れ状態 (数, 幅, 長さ) も OPC04, OPC05 と同等であったが、 $R=7.5 \times 10^{-3}$ [rad.] サイクル時に負側で開孔周りのせん断ひび割れが開き強度低下が大きくなった。その $R=7.5 \times 10^{-3}$ [rad.] の繰り返し時に急激に開孔周辺でせん断破壊が生じた。せん断力-変形角関係

からもそのことがうかがえる。

OPC07 は試験体の上側に主筋に沿った若干の初期ひび割れが入っており、 $R=1.25 \times 10^{-3}$ [rad.]のサイクルで開孔周辺に水平に近いひび割れが生じた。 $R=2.5 \times 10^{-3}$ [rad.]のサイクルで開孔部左右の比較的水平的なひび割れが大きく伸び、PC 鋼棒に沿ったひび割れも発生した。孔際補強筋しかないためと考えられる。 $R=+5.0 \times 10^{-3}$ [rad.]で最大耐力に達し、開孔部のひび割れ幅も大きく広がり、 $R=+7.5 \times 10^{-3}$ [rad.]にて開孔部左右の横補強筋が降伏し $R=-7.5 \times 10^{-3}$ [rad.]のピークを迎えると同時に開孔せん断破壊に至った。

OPC08 は $R=2.5 \times 10^{-3}$ [rad.]サイクルでPC 鋼棒に沿った水平的なひび割れが発生し、 $R=-5.0 \times 10^{-3}$ [rad.]サイクルで引張側端部にて水平方向にひび割れが生じた。開孔補強筋である斜め筋が $R=+7.5 \times 10^{-3}$ [rad.]サイクルで降伏し始め、 $R=-7.5 \times 10^{-3}$ [rad.]で最大耐力となったがその後も、安定した履歴性状を示し、 $R=+15 \times 10^{-3}$ [rad.]に向かう途中で開孔部せん断破壊に至った。OPC08 は斜め補強筋のない OPC07 に比べ、せん断強度が 10% 上がり、靱性能の変形性能では 32% 向上したことが分かった。端部圧壊は OPC05 ほど生じていない。

OPC09 は BPC であるが、破壊性状やせん断力-変形各関係は OPC08 と類似した。 $R=-5 \times 10^{-3}$ [rad.]で最大耐力に達し、OPC08 より比較的大きなループを描いているのが分かる。OPC09 は PC08 よりせん断強度が 3% 高く、強度上昇が確認できた。しかし、一般的に BCP 部材は UBPC 部材に対して、2 割程度曲げ強度が高いと言われているが、本実験では、変形が進んでも OPC08 に比べ曲げ強度の上昇があまり見られなかった。PC 鋼棒を用いているのと、ひずみゲージのリード線がグラウトとの付着を劣化させていることも考えられる。ただし OPC07、08 に比べ、ひび割れも試験体の全体的に広がり、細かいひび割れが多く発生した。また OPC09 のせん断力-変形角関係は OPC08 に比べ若干ではあるが膨らみを有した結果となった。最終的には $R=+15 \times 10^{-3}$ [rad.]のピークを迎えると同時に開孔部せん断破壊に至った。

4. 考察

紙面の都合上、シリーズ 2 における開孔補強方法と構造性能に注視し検討する。OPC09 の BPC 梁もここでは省く。

4.1 開孔周辺の斜めひび割れ幅の推移

OPC05~OPC08 について開孔部周辺の斜めひび割れ幅の正負両側の最大値の推移を載荷ピーク時と除荷時について図-4 に示す。

OPC05 では、変形が進むと伴に載荷ピーク時のひび割れ幅が大きくなるが、除荷時は閉じる。大変形となって

も除荷時ひび割れ幅は 0.2mm 程度に留まり、開孔部せん断破壊せず曲げ破壊に至ったと考えられる。斜め開孔補強筋がない OPC06 は $R=7.5 \times 10^{-3}$ [rad.]負側で急激に開孔部せん断破壊を生じたため、正側では大きなひび割れ幅となっていない。OPC07 は孔際のみ補強であり、斜め

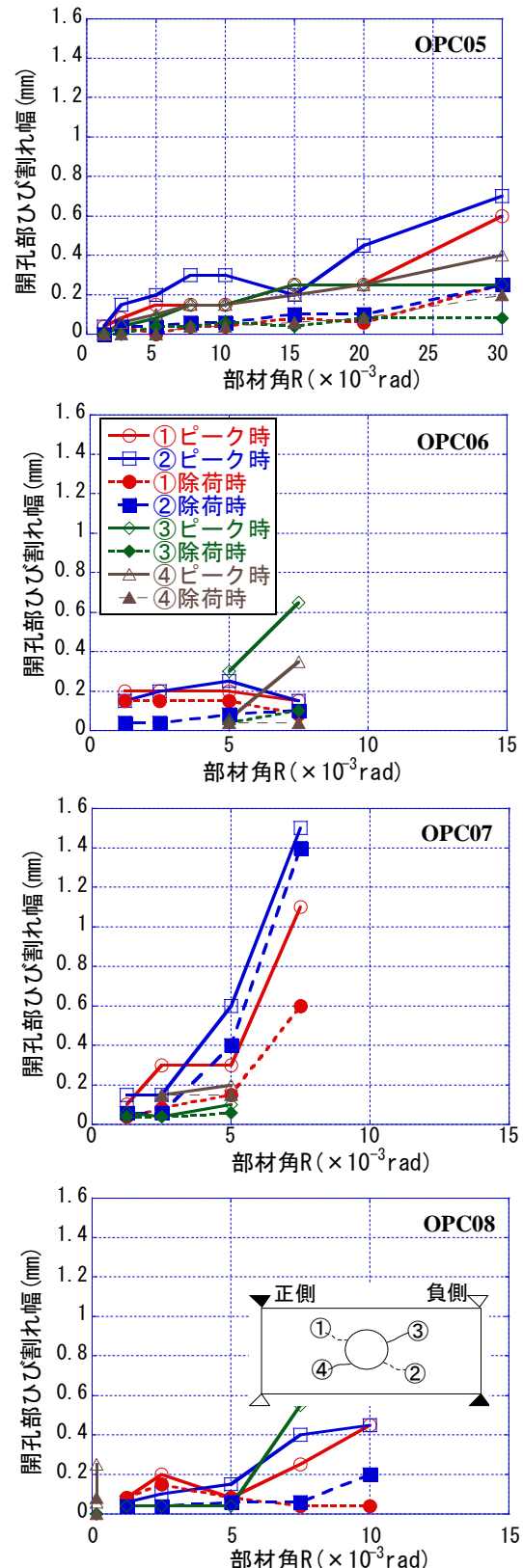


図-4 斜め開孔ひび割れ幅の推移

ひび割れを抑制できないことが分かる。ひび割れが 0.6 mm 以上開いた場合には除荷後もひび割れは大きく閉じない。斜め補強筋がある試験体では、ひび割れ幅を制御できている。OPC05 と OPC08 では斜め補強筋の径が D10 → D6 となっているが、若干の補強量アップでひび割れを大変形まで制御でき、せん断破壊→曲げ破壊に変化させたことが分かる。

4.2 開孔周囲部補強筋のひずみ性状

開孔補強筋のひずみ性状を検討する。ここで開孔補強筋とは、斜め補強筋と孔際補強筋とする。斜め補強筋は、その量の異なる OPC05 と OPC08 についてせん断カーブひずみ関係を図-5 に示し、孔際補強筋のひずみは OPC05 ~ OPC08 についてせん断カーブひずみ関係を図-6 に示し比較する。

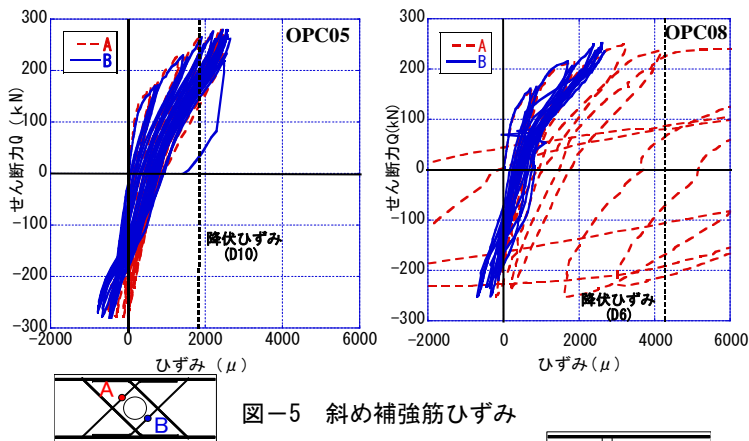


図-5 斜め補強筋ひずみ

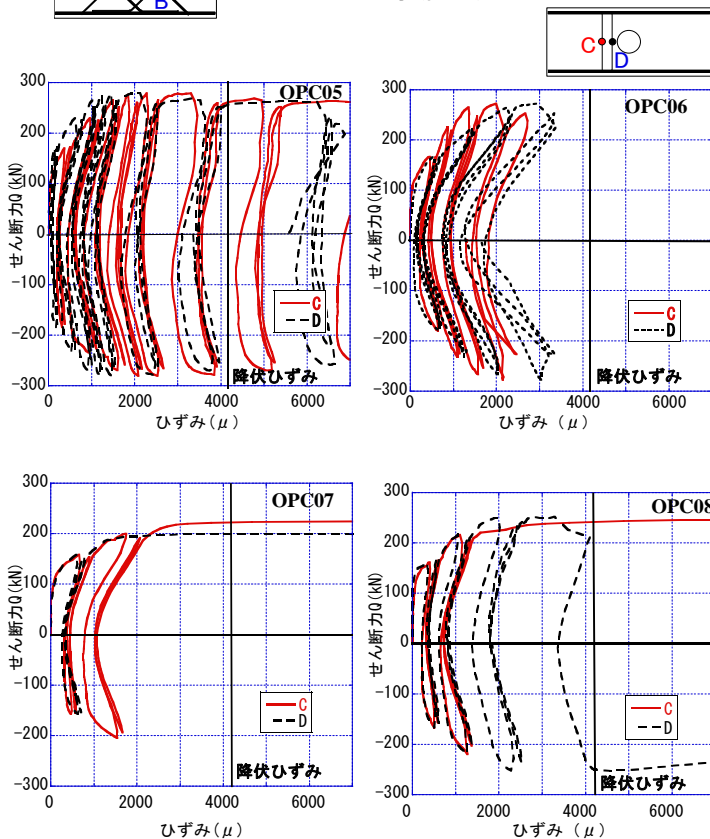


図-6 孔際補強筋ひずみ

OPC05 では、斜め補強筋(D10)が有効に作用しており $R=2 \times 10^{-3}$ [rad.]時にすでに降伏ひずみに達している。その後も急激にひずみが伸びるようなことは無かった。OPC08 では $R=5 \times 10^{-3}$ [rad.]で降伏ひずみに達し急激に伸びていることが分かる。B 点でもひずみ値は $R=5 \times 10^{-3}$ [rad.]以降安定していない。

OPC05 の孔際補強筋は、孔際に近い位置 D で $R=13.3 \times 10^{-3}$ [rad.]時のサイクルで大きくひずみが伸びて降伏に至っていることが分かる。また開孔際より外側の横補強筋 C のひずみが大きいことが分かる。これは孔際にはダブルで束ねた横補強筋を用いているためである。その後も急激にひずみが伸びるようなことは無く、図-5 も鑑みると OPC05 は斜め補強筋との相乗効果でせん断ひび割れを抑制していたことがうかがえる。斜め筋のない

OPC07 の孔際補強筋は早期 $R=2.5 \times 10^{-3}$ [rad.]過ぎに降伏した。OPC06 は破壊まで降伏ひずみに達しなかった。OPC08 では、孔際補強筋が斜め補強筋より先に降伏している。

4.3 最大強度

最大強度の実験値と計算値を一覧にして表-3 に示す。

計算強度のうち、曲げ強度は PC 規準²⁾の曲げ終局強度式を用いた。ただし、緊張材の応力は竹本式⁴⁾による。

(無開孔)せん断強度は、PC 規準式の PC 規準の軸方向筋の付着がアーチを基本とした (71.2) 式とした。開孔部せん断補強式は、浜原式³⁾ (OPC03 は束材破壊で決まるため注釈に値を記載), と修正広沢式⁵⁾, AIJ 靱性保証型設計指針⁶⁾, 修正広沢式に軸力分を付加した (1) 式 Q_{su} で評価を行う。

$$Q_{su} = \{0.092k_k k_p (Fc + 18) / (M / (Qd) + 0.12) \cdot (1 - 1.61H/D) + 0.85 \sqrt{P_{ss} \sigma_s}\} b j + \alpha \cdot 0.1 \sigma'_g b j \quad (1)$$

(記号は、文献 5), 7) を参照)

靱性指針式⁶⁾では、開孔両脇と上下の補強筋を評価に加えた。

OPC1 では、曲げ圧壊し最大強度に達したのにもかかわらず、計算曲げ強度に到達していない。曲げ強度は PC 鋼棒のひずみの緊張時からの変化量を計測した値をもとに算定した。アンボンドでは、その鋼材の緊張力に曲げ強度が大きく依存するため、その精度向上は今後の課題である。

表-3 最大強度一覧

試験体名	①最大耐力	②曲げ強度	せん断強度*1	③浜原式*2 弦材	修正広沢式	靱性指針式*3	④プレ ストレス考 慮	①/②	①/③	①/④
	Qmax (kN)	Qmu (kN)	Qsu (kN)	Qou1 (kN)	Qou2 (kN)	Qou3(kN)	Qou2+軸力			
OPC01	401	423	414	-	-	-	-	0.95	-	-
OPC02	305	408	422	412	108	151	314	0.75	0.74	0.97
OPC03	251	408	428	419	133	170	338	0.62	0.60	0.74
OPC04	290	237	283	262	160	175	265	1.22	1.11	1.09
OPC05	279	236	280	241	159	174	264	1.18	1.16	1.06
OPC06	273	243	273	256	124	97	233	1.12	1.07	1.17
OPC07	229	235	224	206	106	82	212	0.98	1.11	1.08
OPC08	253	235	227	210	126	115	232	1.07	1.21	1.09
OPC09	262	369	224	207	125	115	230	0.71	1.27	1.14

注) *1:PC規準(71.2)式 j0:上下組立鉄筋間の距離, $w\sigma_y < 295\text{N/mm}^2$

*2:OPC03の⑤束材の浜原式計算値は60.5kN ①/⑤=4.15

*3:靱性指針式は、開孔両脇の補強筋と斜め筋補強の効果を考慮

シリーズ1-OPC02,OPC03の結果より、弦材、束材のBPCの開孔せん断強度評価式である浜原式で、今回の実験を評価できなかった。修正広沢式、靱性指針式でもシリーズ1-OPC02,OPC03実験結果を過小評価した。

OPC04, OPC05では、曲げ圧壊し最大強度に達したが、実験値は計算曲げ強度より18, 22%それぞれ高い結果となった。せん断強度は、軸方向筋の付着が無い試験体では評価が難しいが、浜原式、修正広沢式、靱性指針式、軸力付加修正広沢式の値を実験値は上回った。

OPC06, OPC07は開孔部せん断破壊したが、浜原式、軸力付加修正広沢式で良好に評価できた。ただし、浜原式の値は弦材のみのせん断強度の値であり、実験での破壊性状、弦材部分の鉄筋ひずみ性状(最大617 μ)を鑑みると一致しているとは言い難い。OPC04, OPC05, OPC08, OPC09のひずみ性状も含めた結果より、斜め筋が開孔補強に有効であることは明確になった。せん断破壊をしたOPC08, OPC09では、軸力付加修正広沢式で良好に評価できた。OPC04, OPC05ではせん断破壊せず曲げ破壊となったが、計算値では破壊形式を想定できていない。曲げもせん断も更に精度の良いUBPC部材の評価法が今後必要となる。

5.まとめ

本実験を通して下記結論を得た。

- 1) シリーズ1のプレストレスにより軸力が高く弦材+束材で補強した有孔梁の場合、PC規準+竹本式の曲げ強度計算値より、曲げ破壊試験体でも実験結果は低い値を示し、またせん断強度もBPC部材の評価法で評価できず、課題として残った。
- 2) 開孔部に設置した斜め筋は開孔周辺の斜めひび割れの抑制、せん断破壊防止に有効に寄与した。孔際補強筋との相乗効果によりひずみが分散された。

- 3) 開孔部せん断破壊を生じた試験体のせん断強度は、浜原式と軸力付加修正広沢式(1)により概ね良好に評価できた。ただし、式の想定破壊メカニズムと実験の破壊モードが違う点には注意が必要となる。
- 4) 現行のUBPC部材の曲げ、有孔梁せん断強度式は試験体の破壊モードを精度よく想定できず、更なる検討が必要となる。

参考文献

- 1) 国土交通省国土技術政策総合研究所、建築研究所企画：2009年版プレストレストコンクリート造技術基準解説及び設計・計算例、平成21年9月
- 2) 日本建築学会：プレストレストコンクリート設計施工基準・同解説、日本建築学会、1989
- 3) 浜原ほか：プレストレストコンクリート有孔梁の終局強度設計法の提案、プレストレストコンクリート、Vol.54 No.5, PP44-50,2012.9-10
- 4) 竹本靖：アンボンドPRC部材の曲げ終局時テンション応力について、大林組技術研究所報、No.28, Feb., 1984
- 5) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説、2010
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の靱性保証型耐震設計指針・同解説 1999
- 7) 高津ほか：有開口梁の開口部せん断耐力に関する研究、プレストレストコンクリート、Vol.52 No.4, PP78-86, 2010.7-8

謝辞

本研究は、一般社団法人長寿命建築システム普及推進協議会による長寿命建築システム普及推進事業の一環として行われたもので、国土交通省の平成24-26年度住宅市場整備推進等事業費補助金を受け実施しました。本研究の推進に際し、一般社団法人長寿命建築システム普及推進協議会及び一般社団法人新都市ハウジング協会長寿命建築システム普及推進委員会の皆様に多大の協力を頂きました。感謝いたします。