

報告

[2018] U字型プレキャスト部材内で主筋を重ね継手した RC 梁の
曲げせん断性状に関する実験研究

正会員 松崎育弘 (東京理科大学建築学科)
正会員 中野克彦 (東京理科大学建築学科)
正会員○渡辺正人 (東京理科大学大学院)
今津賀昭 (大木建設建築本部)

1. はじめに

せん断補強筋を埋め込んだU字型プレキャスト (以下UPCaと記す) 梁部材を型枠及び構造体として用い、中空部に後打ちコンクリートを打設することにより一体化させる工法において、柱・梁接合部内の主筋の交差に対応すると部材端部に上下重ね継手を設けることが想定される。この場合、互いに直行する梁では重ね方法が上下逆になる。それにより、梁主筋がせん断補強筋から離れることになるが、これが構造性能へ及ぼす影響が明確ではない。本研究は、重ね長さ・定着方法 (フックの有無、重ねにあたっての主筋の上下を含む) を主変動要因としたUPCa梁部材の曲げ・せん断実験を行い、一体打ち部材の実験結果との比較をまとめたものである。

2. 実験概要

2.1 試験体

図1に《曲げ実験》の試験体概要を示す。試験体断面は、図2に示すように、 $b \times D = 20 \times 35$ (cm) (UPCa部分: シェル厚28.5mm、シェル丈225mm; 内面に円錐台型シアコッター有り) とした。ここで、定着部分において、スタブを貫通して梁内にある鉄筋を『継手筋』、梁内のみにある鉄筋を『梁下端主筋』と称して区別する。《曲げ実験》では、共通要因として、せん断スパン $a = 87.5$ cm ($a/D = 2.5$)、せん断補強筋比 $p_w = 0.64$ (%) とした。変動要因は、断面形状を2水準 (一体打ち、UPCa)、定着長さを3水準 (40d、35d、30d)、フックの有無 (フックを有するものについては定着長さを40d、35d相当として、重ね長さをそれぞれ28d、23dとした)、重ね方法として2水準 (梁下端主筋に対して継手筋の位置が上または下) を設けた。そして、これらを、ATYPE (継手筋上・フック無し: N01~4)、F TYPE (継手筋上・フック有り: N05~6)、B TYPE (継手筋下・フック無し: N07~8) と分類した。

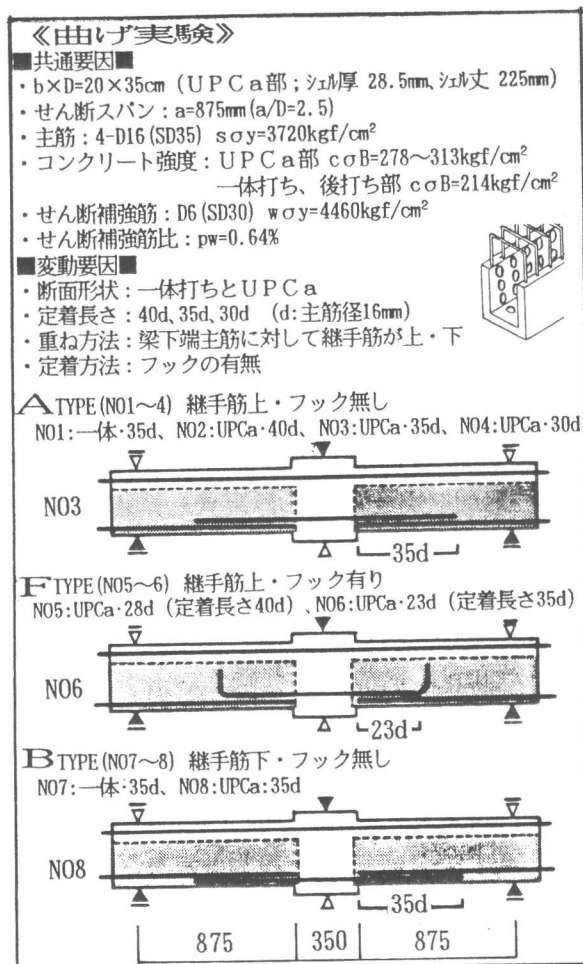


図1 試験体概要図《曲げ実験》

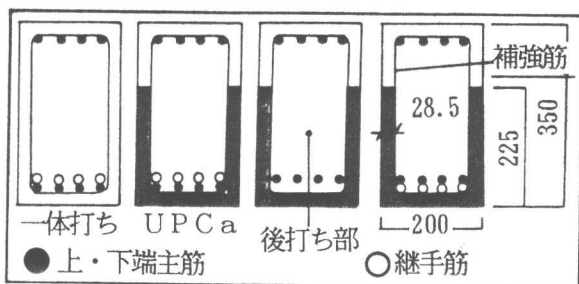


図2 断面形状図

図3に《せん断実験》の試験体概要を示す。共通要因として、せん断スパン $a=70.0$ cm ($a/D=2.0$)とした。変動要因については、断面形状を2水準（一体打ち、UPCa）、継手の有無（BTYPE [継手有り：重ね長さ $35d$]、CTYPE [継手無し：補強筋から離れた通し配筋]）、せん断補強筋比 $p_w=0.32$ 、 0.64 (%)とした。両実験とも、主筋にはD16 (SD35)（せん断実験ではせん断破壊を先行させるために焼き入れ加工を施したものを使用）、せん断補強筋にはD6 (SD30)（フラッシュハット溶接加工）を用いた。フックの折り曲げ部分については、折曲げ内法直径を $4d$ 、余長を $8d$ とした。図4に、定着部分の詳細を示す。本研究で、『重ね長さ』とは、継手筋と梁主筋の重なっている長さを示し、『定着長さ』については、直線重ね継手では重ね長さに等しく、フックを有するものについてはフック先端までの長さとする。また実験時のコンクリート強度 ($c\sigma_B$) は、《曲げ実験》UPCa部は $c\sigma_B=278\sim 313$ kgf/cm²、後打ち部は $c\sigma_B=214$ kgf/cm²、《せん断実験》UPCa部は $c\sigma_B=230\sim 301$ kgf/cm²、後打ち部は $c\sigma_B=273$ kgf/cm²であった。表1に鉄筋の材料試験結果を示す

2. 2 加力・測定

加力は、《曲げ実験》では単純梁形式正負交番繰返載荷とし、定着部分が引張応力状態になる方向を正載荷とした。また、載荷履歴については、 $0.8cQ_y$ (cQ_y : 曲げ耐力計算値)、部材角 $R=1/100, 1/50, 1/25$ (rad) で繰り返した。《せん断実験》では逆対称モーメント形式一方向載荷とした。そして、両実験とも加力点位置から取り出した治具により電気式変位計を用いて支点間相対変位を、鉄筋に貼付した歪ゲージにより各点の歪度をそれぞれ測定した。

《せん断実験》

- 共通要因
 - ・ $b \times D=20 \times 35$ cm (UPCa部; シェル厚28.5mm, シェル丈225mm)
 - ・せん断スパン: $a=700$ mm ($a/D=2.0$)
 - ・主筋: 4-D16 (SD35) $s\sigma_y=9490$ kgf/cm² (焼き入れ加工)
 - ・コンクリート強度: UPCa部 $c\sigma_B=230\sim 301$ kgf/cm²
一体打ち、後打ち部 $c\sigma_B=273$ kgf/cm²
 - ・せん断補強筋: D6 (SD30) $w\sigma_y=3890$ kgf/cm²
- 変動要因
 - ・断面形状: 一体打ちとUPCa
 - ・継手の有無 (継手筋下・フック無し、通し配筋)
※通し配筋については補強筋から離れている
 - ・せん断補強筋比: $p_w=0.32, 0.64$ %

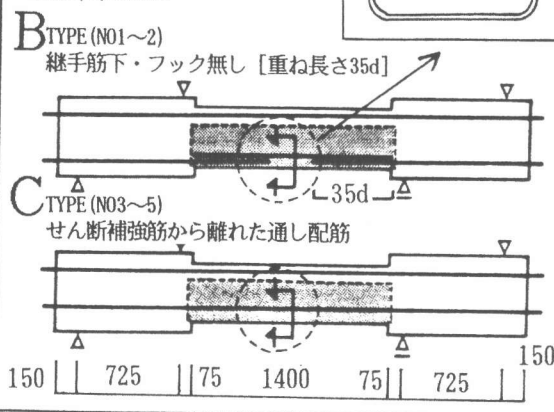


図3 試験体概要図《せん断実験》

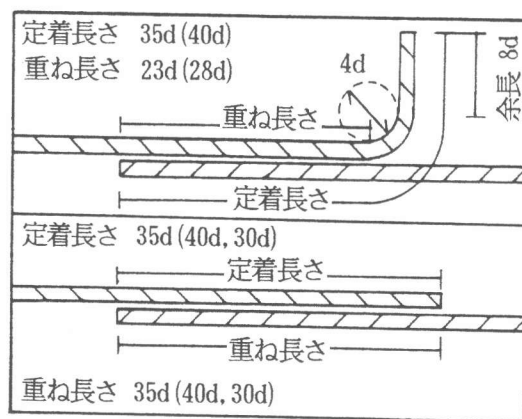


図4 定着部分詳細図

表1 鉄筋材料試験結果表

	鉄筋	降伏強度 (kgf/cm ²)	引張強度 (kgf/cm ²)	ヤング係数 ($\times 10^6$ kgf/cm ²)
M	D16	3720	5610	1.79
	D6	4460	5730	1.99
S	D16	9490	11300	2.01
	D6	3890	5430	1.82

M: 曲げ実験 S: せん断実験

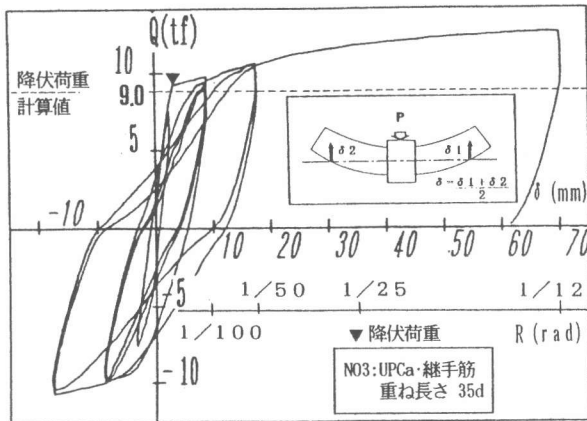


図6 荷重(P)-変形(δ)曲線 (N03)

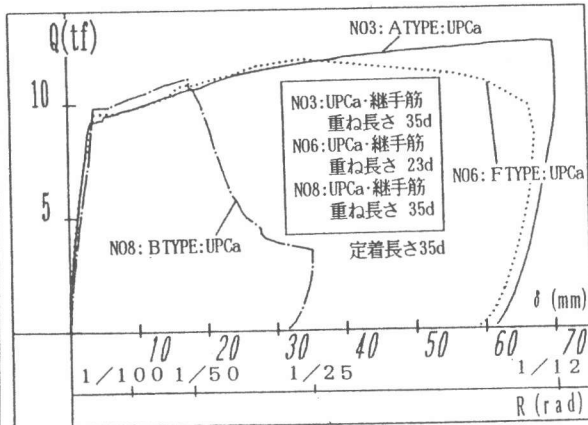


図7 荷重(P)-変形(δ)包絡線

3. 曲げ実験結果

3-1. 定着部分の鉄筋応力度分布

図5に降伏時の鉄筋応力度分布を示す。ここでは、定着長さ35dを共通要因として比較する。(a) ATYPEの一体打ち(N01)とUPCa部材(N03)の比較では、継手筋は同様な応力度分布を示し、重ね部分全域にわたって直線的な勾配となり、UPCaの影響はみられなかった。(b) 定着方法の比較では、FTYPE(N06)がATYPE(N03)に比べて重ね部分で多少低い応力度分布を示したが、顕著な差はみられなかった。(c) BTYPEの一体打ち(N07)とUPCa部材(N08)の比較では、UPCa部材は一体打ち部材に比べやや低い応力度分布を示したもののUPCaによる影響は顕著でない。また、梁下端主筋については、全試験体とも要因によらず同様な傾向を示した。

3-2. 変形性状

図6に標準試験体としたN03 (UPCa)の荷重(Q)-変形(δ)曲線、図7にATYPE(N03)、FTYPE(N06)、BTYPE(N08)の荷重(Q)-変形(δ)包絡線の比較を示す。全試験体について、初期剛性及び降伏時剛性に顕著な差はみられず、R=1/50(rad)までは安定した履歴性状を示した。それ以降の加力において、荷重が上昇し続けた試験体(N03)、R=1/25(rad)以降に緩やかな耐力低下を示した試験体(N06)、最終履歴のR=1/50(rad)で急激な耐力低下を示した試験体(N08)の3タイプによる変形性状を示した。BTYPEでは、一体打ちもUPCaも同様な性状を示した。本実験は、せん断余裕度(曲げ耐力に対するせん断耐力[大野荒川mean式]の比)が1.4程度の実験であった。

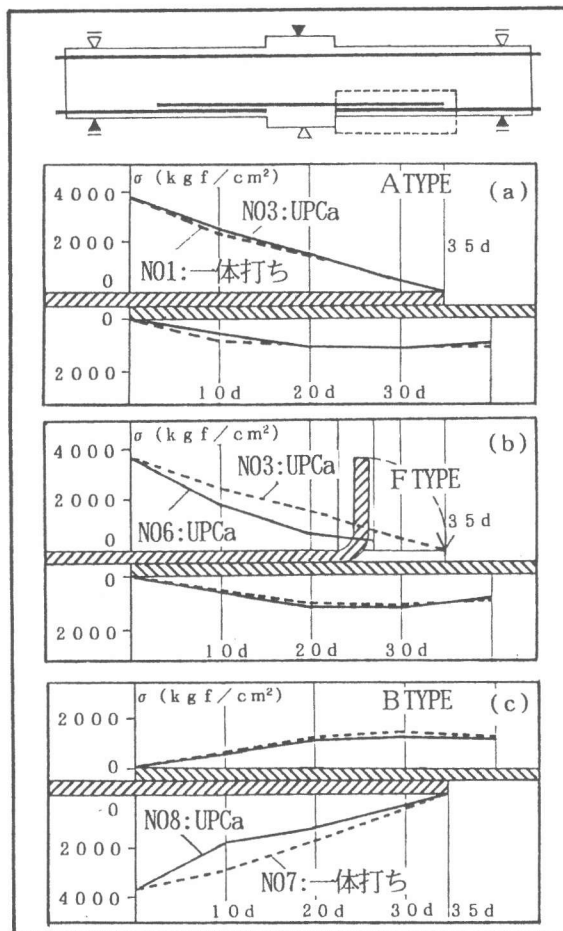


図5 定着部応力度分布図

3-3. 破壊性状

図8に最終破壊状況例を示す。破壊状況についても、変形状における3タイプにより差異が見られた。NO3 (ATYPE) のように正負載荷時とも曲げひび割れやせん断ひび割れ発生後にひび割れが比較的分散して発生し、端部の口開きが大きいにもかかわらず継手筋の引き抜けが生じ無いもの、NO6 (FTYPE) のようにひび割れが比較的分散し発生するが正載荷時において継手筋のフック内側コンクリートの支圧破壊により面外方向に膨張しその部分の破壊が顕著なもの(図中①参照)、NO8 (BTYPE) のようにひび割れは分散して発生するが定着部分の破壊が著しく、コンクリートの剥落が起こり継手筋の引き抜けが生じたもの(図中②参照)というような性状の差異がみられた。また、実験後にNO6, NO8の継手筋の引き抜けを確認した結果、継手筋末端部分でそれぞれ10、13(mm)程度の引き抜け量が認められた。[1]

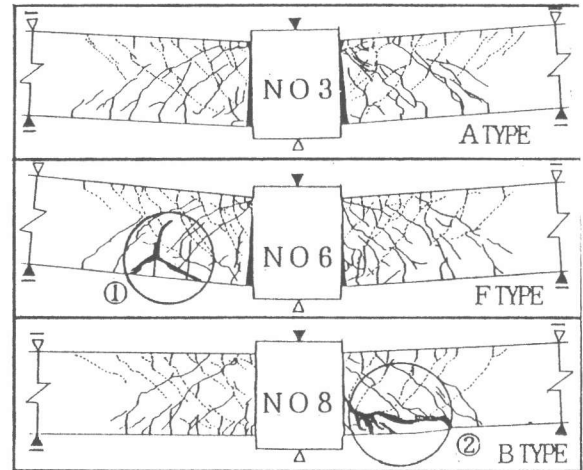


図8 最終破壊状況例《曲げ実験》

4. せん断実験結果

4-1. 破壊状況

図9に最終破壊状況を示す。継手を有するBTYPE (NQ1, 2) では、定着部分の破壊(図中③参照)が著しいものの、一体打ちもUPCa部材もせん断補強筋の降伏を伴うせん断引張破壊により最大耐力に至った。しかし、曲げ実験と同様にBTYPEについては、一体打ちもUPCa部材も、定着部分の破壊がかなり進むことが認められた。また、せん断補強筋から離れた通し配筋のCTYPE (NQ3~5) では、せん断補強筋比がNQ3, 4のように $pw=0.32$ (%)の場合は、主筋に沿った付着ひび割れが生じるが、せん断補強筋が降伏に至りせん断引張破壊し、一体打ちとUPCa部材に顕著な違いはみられなかった。NQ5のように $pw=0.64$ (%)の場合には、せん断補強筋は降伏に至らずに付着割裂破壊であった。つまり、せん断補強筋比の増加によって破壊モードに差異が生じた。

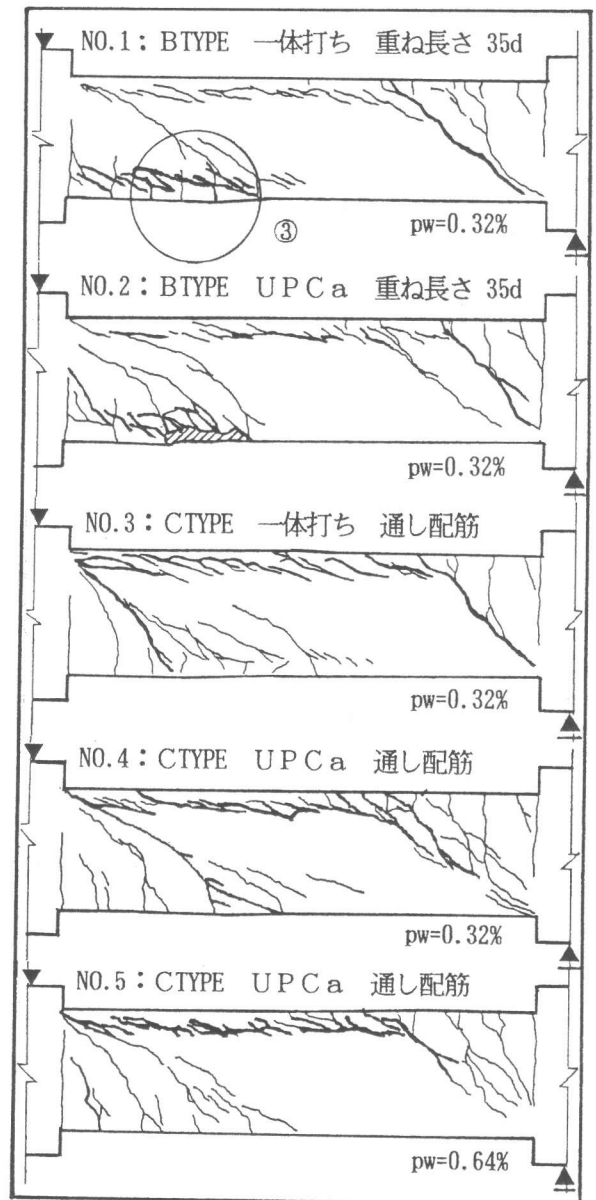


図9 最終破壊状況図《せん断実験》

4-2. 変形性状

図10にせん断力(Q)-変形(δ)曲線を示す。初期剛性については、要因による差はみられなかった。継手を有するBTYPEでは、UPCa部材の方が大きなループ性状を示した。しかし、最大耐力またその時の変形については顕著な差はみられなかった。通し配筋のCTYPEでもUPCa部材の方がより大きなループ性状を示したが、破壊モードの違いによって異なる変形性状を示した。また、主筋がせん断補強筋から離れていることによる影響は顕著ではなかった。

4-3. せん断耐力

表2に実験値と諸耐力式との比較を示す。大野・荒川mean式との比較では、全試験体において実験値は計算値を上回っており、比較値(実験値/計算値)は1.07~1.26の範囲であり、大野・荒川min式との比較でも、全試験体とも計算値を上回っており、その範囲は1.29~1.55であった。また、終局強度型耐震設計指針A法式(非じん性)との比較では、実験値は計算

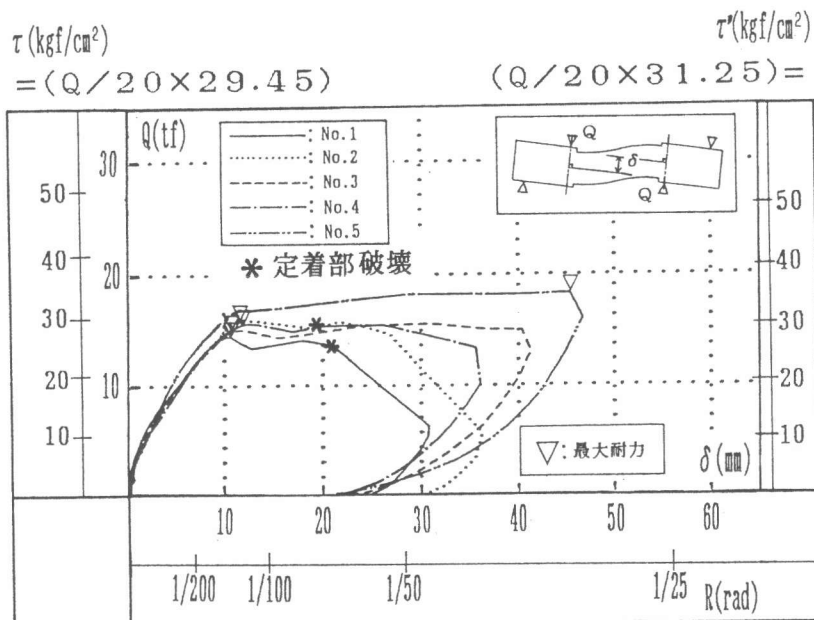


図10 せん断力(Q)-変形(δ)曲線

表2 せん断耐力比較表

NO.	試験体概要 (断面形状) (継手有無) (補強筋比)	せん断終局耐力						
		eQsu (tf)	cQsu① (tf)	eQsu cQsu①	cQsu② (tf)	eQsu cQsu②	cQsu③ (tf)	eQsu cQsu③
1	一体、継手、0.32	14.3	13.4	1.07	11.1	1.29	17.6	0.81
2	UPCa、継手、0.32	16.0	13.4	1.19	11.1	1.44	17.6	0.91
3	一体、通し、0.32	15.2	12.6	1.21	10.2	1.49	16.7	0.91
4	UPCa、通し、0.32	15.8	12.6	1.25	10.2	1.55	16.7	0.95
5	UPCa、通し、0.64	18.4	14.6	1.26	12.2	1.51	26.8	0.69

大野・荒川mean式 $cQsu① = \{0.12ku \cdot kp(180 + \sigma B) / (M/Qd + 0.12) + 2.7\sqrt{pw \cdot w \sigma y}\} b_j$
 大野・荒川min式 $cQsu② = \{0.053pt^{0.23}(180 + \sigma B) / (M/Qd + 0.12) + 2.7\sqrt{pw \cdot w \sigma y}\} b_j$
 終局強度型耐震設計指針A法式(非じん性) $cQsu③ = b \cdot jt \cdot pw \cdot \sigma wy \cdot \cot \phi + \tan \theta (1 - \beta) bD \nu \sigma B / 2$
 ただし、 $\tan \theta = \sqrt{(L/D)^2 - 1} - L/D$ $\sigma wy \leq 25 \sigma B$ $pw \cdot \sigma wy \leq \nu \sigma B / 2$
 $\beta = (1 + \cot^2 \phi) pw \cdot \sigma wy / \nu \sigma B$ $\nu = 0.7 - \sigma B / 2000$
 $\cot \phi = \min(2.0, jt / D \tan \theta, \sqrt{[\nu \sigma B / pw \cdot \sigma wy - 1.0]})$

値を下回り、その範囲は0.69~0.95であった。
大野・荒川式による耐力評価では、B TYPE（継手を有する試験体）もC TYPE（補強筋から主筋が離れている試験体）もUPC a部材は一体打ち部材に比較して同等以上の耐力を示した。

4-4. 定着部分の鉄筋応力度分布

図11にBTYPE試験体の最大耐力時（実応力度 $\sigma_s=4500\sim 5000\text{kgf/cm}^2$ 程度）の定着部鉄筋応力度分布（焼き入れ加工によって高強度化）を示す。UPC a部材よりも一体打ち部材の方が梁端部付近において大きな値を示した。また、C TYPE (NO.3~5)の比較では、UPC a部材がより大きな応力度勾配を示し、せん断補強筋比の増加によっても大きな応力度分布を示した。

4-5. せん断補強筋の挙動

図12に最大耐力時のせん断補強筋の応力度分布を示す。 $p_w=0.32(\%)$ の場合、補強筋は降伏応力度に達しており、補強の効果が見られた。しかし、 $p_w=0.64(\%)$ の場合では、せん断補強筋は降伏応力度に達せずに最大耐力に至っている。

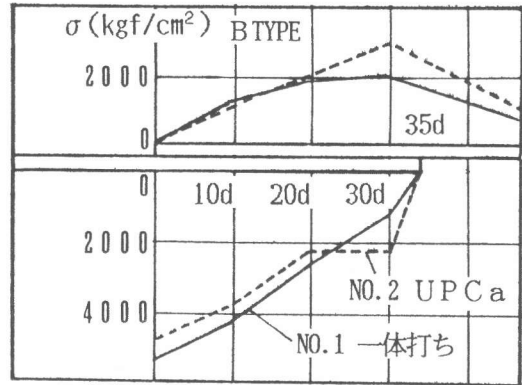


図11 鉄筋応力度分布図 [最大耐力時]

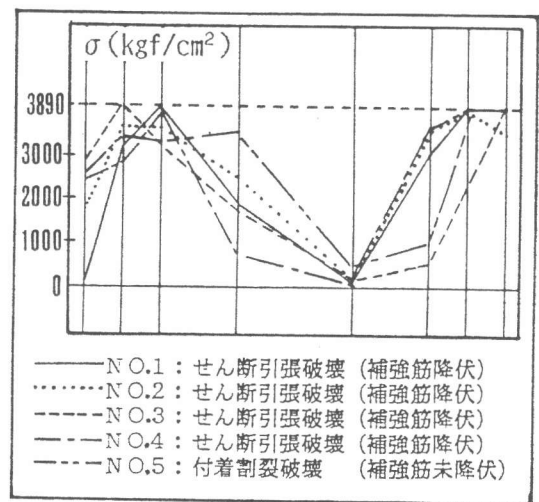


図12 せん断補強筋応力度分布図

5. まとめ

- 1) 本研究のUPC a部材はせん断耐力及び変形状態において、継手を有する場合 [B TYPE] や主筋がせん断補強筋から離れている場合 [C TYPE] についても一体打ちと同等以上の評価ができた。
- 2) 曲げ実験において、部材角 $R=1/50$ (rad) までの構造性能は、重ね長さ (30d, 35d, 40d)、定着方法 (継手筋上フック無し [A TYPE]、継手筋上フック付き [F TYPE]、継手筋下フック無し [B TYPE]) による差はほとんどみられない。それ以降で、F TYPEの重ね長さ23d、B TYPEにおいて応力伝達性能が劣化することが明らかとなった。

[謝辞] 本研究をまとめるにあたり、東京理科大学松崎研究室卒研究生 浅野卓郎、左治木計彦 両君、大木建設(株)建築本部 中根博氏、並びに、実験にあたり鉄建建設(株) 市川昌和、平山明 両氏に御指導・御協力頂き深く感謝致します。

[参考文献]

- 1) 塚越英夫、芳村学ほか：梁端部におけるフック付き重ね継手の効果、コンクリート工学年次論文報告集 (1990年)