

論文

[2108] 水平打ち継ぎを有する RC 梁部材の曲げせん断性状に関する実験研究

中野克彦\*1・松崎育弘\*2・井手文雄\*3

1. はじめに

断面内に水平打ち継ぎを有する RC 造合成部材（ハーフ P C a 部材）では、その打ち継ぎ部が部材性状に及ぼす影響を把握することが重要である。

本研究は、水平打ち継ぎ（滑り面）を有する RC 梁部材の曲げせん断実験を行い、水平打ち継ぎ部およびせん断補強筋が梁部材の曲げ降伏耐力、変形性状に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした。

表-1 試験体要因一覧

NO	名称	断面形状	せん断補強筋	備考
1	RN-32	一体打ち	pw=0.32% @100mm	[コンクリート]
2	RN-64		pw=0.64% @50mm	Fc=360kg/cm <sup>2</sup>
3	RH-32	打ち継ぎ有り	pw=0.32% @100mm	[上端主筋]
4	RH-43		pw=0.43% @75mm	4-D16 (pt=1.76%)
5	RH-64		pw=0.64% @50mm	[下端主筋]
6	RH-80		pw=0.80% @40mm	6-D13 (pt=1.69%)

2. 実験概要

2.1 試験体

試験体要因一覧を表-1に、試験体形状および配筋図の一例を図-1に示す。

試験体形状は、梁幅 b=20 (cm)、梁せい D=27 (cm)、せん断スパン比 a/D=2.0 とし、主筋形式は下端 6-D13、上端 4-D16 とした。試験体に与えた変動要因は、せん断補強筋比 pw=0.32, 0.43, 0.64, 0.80% の4水準とした。水平打ち継ぎ面の表面仕上げは、金ゴテ仕上げとし、グリース塗布により、コンクリート間の付着の影響をなくした。

本実験で使用した鉄筋の材料試験結果を表-2に、コンクリートの材料試験結果を表-3に示す。

表-2 鉄筋材料試験結果

種類	降伏点 (kgf/cm <sup>2</sup> )	引張強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	降伏歪 (×10 <sup>-6</sup> )	ヤング係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )
D16	3870	5610	1780	2.18×10 <sup>6</sup>
D13	3770	5600	1950	1.93×10 <sup>6</sup>
D6	4690	6020	2200	2.13×10 <sup>6</sup>

表-3 コンクリート材料試験結果

使用部分	圧縮強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	割裂強度 (kgf/cm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kgf/cm <sup>2</sup> )
一体打ち梁 (RNtype)	394	29.8	3.01×10 <sup>5</sup>
水平打ち継ぎ梁 先打ち (RHtype)	394	29.8	3.01×10 <sup>5</sup>
後打ち	413	30.6	3.38×10 <sup>5</sup>

2.2 加力・測定方法

加力・測定模式図を図-2に示す。

加力方法は、試験体の左右端をピンローラー支持した状態で、上下の油圧ジャッキを個々に制御することにより、

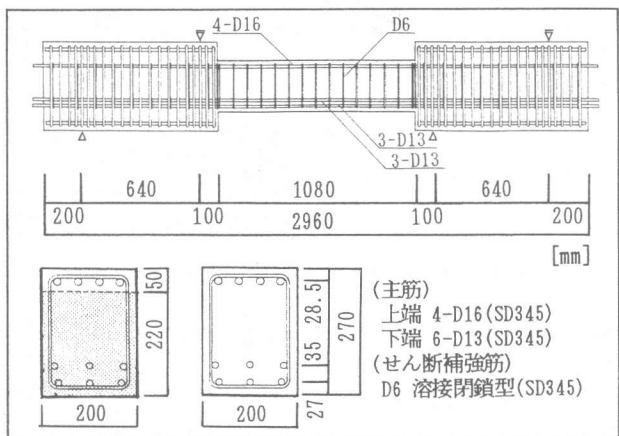


図-1 試験体形状

\*1 東京理科大学助手 工学部第1部建築学科 (正会員)

\*2 東京理科大学教授 工学部第1部建築学科、工博 (正会員)

\*3 東京理科大学大学院 工学研究科建築学専攻

梁両端の相対変位( $\delta 1, \delta 2$ )が等しくなるように載荷した。載荷履歴は、支点間相対変形角( $R$ )  
 $1/200\text{rad}$ で1回、 $1/100, 1/67, 1/50\text{rad}$ で各3回、 $1/33\text{rad}$ で1回変形制御で正負繰り返し、 $1/25$   
 $\text{rad}$ の正載荷で実験を終了した。

測定は、荷重( $P1, P2$ )をロードセルで、支点間相対変位( $\delta 1, \delta 2$ )および打ち継ぎ面位置の水平ずれ量( $\delta h$ )を電気式変位計で、主筋およびせん断補強筋のひずみ度をひずみゲージでそれぞれ測定した。

### 3. 実験結果および検討

#### 3.1 実験経過と破壊・変形状

実験結果一覧を表-4に、せん断力( $Q$ )－支点間相対変位( $\delta$ )関係例を図-3に、 $Q-\delta$ 包絡線の比較を図-4に、 $R=1/100\text{rad}$ 時および最終破壊時のひび割れ状況例を図-5に、等価粘生減衰数( $he$ )の推移を図-6に示す。

曲げひび割れは、各試験体とも $R=1/1000\text{rad}$ 時までに発生したが、打ち継ぎを有する試験体では遅れて発生する傾向がみられた。せん断ひび割れは、一体打ち試験体が $R=1/500\sim 1/300\text{rad}$ 時に発生したのに対して、打ち継ぎを有する試験体では $R=1/150\sim 1/100\text{rad}$ 時に発生した。

一体打ち試験体の変形状は、RN-32、RN-64ともに $R=1/100\text{rad}$ 付近までに梁端部の主筋が

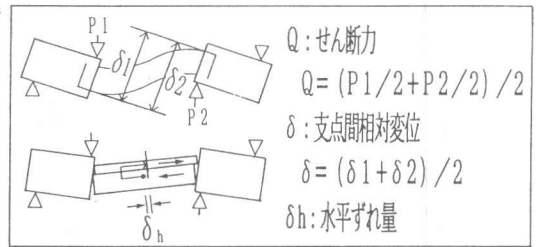


図-2 加力・測定模式図

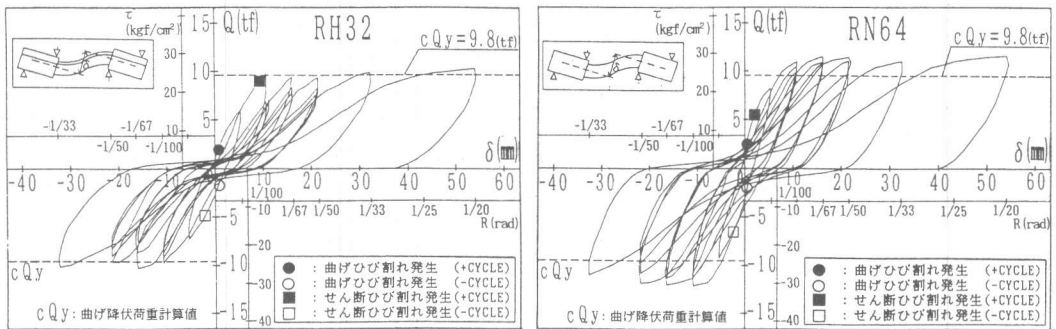


図-3 せん断力( $Q$ )－支点間相対変位( $\delta$ )関係

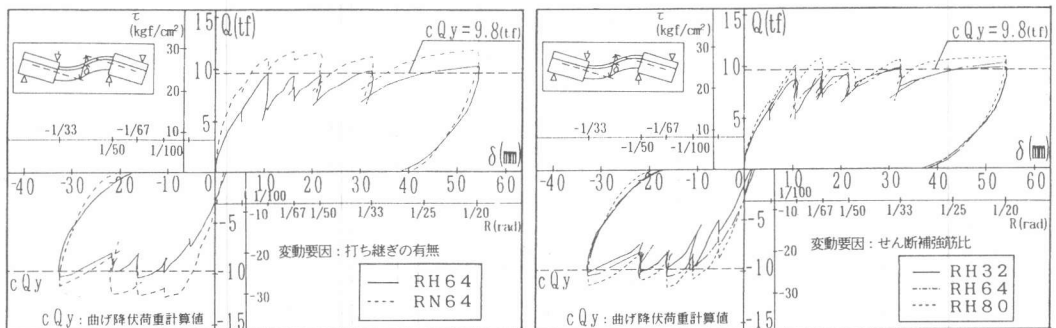


図-4  $Q-\delta$ 包絡線の比較

表-4 実験結果一覧

試験体		Q <sub>mc</sub>	Q <sub>sc</sub>	降伏荷重		最大荷重		1/200rad		1/100rad		1/50rad	
				正	負	正	負	正	負	正	負	正	負
RN-32	Q (tf)	1.5	6.5	9.8	9.9	10.7	12.0	7.6	10.2	10.4	12.0	9.5	10.2
	δ (mm)	0.29	3.82	8.3	5.4	16.2	10.9	5.43	21.6	10.8	10.9	21.6	21.6
RN-64	Q (tf)	3.0	5.5	8.5	10.5	11.8	12.2	8.3	9.4	11.1	12.2	11.6	12.0
	δ (mm)	0.63	2.13	6.04	6.14	54.1	10.8	5.41	5.41	10.9	10.8	21.6	21.7
RH-32	Q (tf)	2.5	7.5	8.5	9.5	9.9	10.0	6.0	6.1	8.8	9.8	9.1	10.0
	δ (mm)	1.03	7.99	9.71	10.1	54.0	21.6	5.43	5.46	10.9	11.4	21.6	21.6
RH-43	Q (tf)	2.0	8.0	8.5	8.7	10.6	10.4	6.2	6.5	9.1	9.7	10.4	21.7
	δ (mm)	0.48	8.35	9.15	10.8	54.1	16.2	5.43	5.41	10.8	10.8	10.3	21.7
RH-64	Q (tf)	2.0	9.2	9.2	9.1	10.3	10.4	6.0	7.4	9.8	9.9	9.4	9.7
	δ (mm)	0.79	10.9	10.9	9.54	54.0	16.2	5.42	5.43	10.9	10.8	21.6	21.7
RH-80	Q (tf)	2.0	8.0	9.5	11.4	10.9	11.4	6.8	8.6	10.1	10.6	10.4	10.7
	δ (mm)	0.53	7.48	12.8	16.2	54.0	16.2	5.43	5.4	10.8	10.8	21.5	21.6

[備考] 1) Q<sub>mc</sub>: 曲げひび割れ発生荷重 (実験値), Q<sub>sc</sub>: せん断ひび割れ発生荷重 (実験値)  
 2) cQ<sub>y</sub>: 全断面有効として e 関数を用いた断面解析による計算値 (9.78tf)  
 3) RH-64, RH-80 の主筋降伏は 1/50rad の繰り返し時に生じた。

降伏し、部材としての明確な降伏現象がみられた。部材降伏後の変形性状は、RN-32では R=1/67rad付近まで耐力上昇がみられたが、R=1/100rad付近で発生した上端主筋に沿う付着ひび割れの進展により耐力低下を起し、RN-64では最終段階(R=1/20rad)まで耐力上昇がみられた。部材降伏時の曲げ降伏耐力は、e 関数を用いた断面解析により求めた曲げ降伏耐力 (cQ<sub>y</sub>=9.8tf) とほぼ一致し、最大耐力は降伏時耐力の1.1倍程度の上昇がみられた。

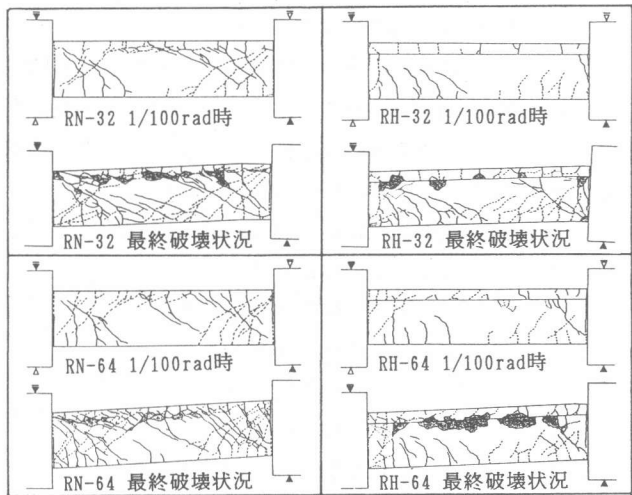


図-5 ひび割れ状況図

打ち継ぎを有する試験体の変形性状は、初期剛性は一体打ち試験体と同様であり、曲げひび割れ発生後の剛性は、ひび割れ発生直後からずれを生じることにより剛性低下を示し、同一せん断補強筋比の一体打ち試験体に比べて約60%程度であった。p w の大きい試験体ほど曲げひび割れ発生後の剛性が高くなる傾向がみられた。部材としての降伏現象は、RH-32, RH-43において R=1/100rad付近で確認され、cQ<sub>y</sub>の約0.8倍と低い値を示した。他の試験体は、明確な降伏現象がみられず、各部材角における耐力は、R=1/100rad以降においてほとんど上昇がみられなかった。RH-64、RH-80 の R=1/100rad時の耐力は、cQ<sub>y</sub>とほぼ一致していた。

一体打ち試験体のひび割れ発生状況およびせん断補強筋の挙動は、梁両端の1D(D:梁せい)区間内に発生したひび割れが分散しながら伸展し、部材角が増加するに伴いせん断補強筋のひずみが増加し、最終サイクル時には降伏レベルまで達していた。また、RN-32では R=1/100rad時から発生した付着割裂ひび割れが繰り返し载荷により顕著になり、付着割裂破壊を示した。

打ち継ぎを有する試験体のひび割れ発生状況およびせん断補強筋の挙動は、左右の先打ち部上部引張域に発生した曲げひび割れが大きく口開き、繰り返し载荷に伴う水平ずれが増長すること

により、先打ち部上部圧縮域の圧壊および打ち継ぎ面のせん断補強筋位置に剝離が生じた。せん断補強筋の挙動は、RH-32、RH-43では $R=1/100$ rad時までに発生したひび割れが進展することにより、先打ち部内のせん断補強筋のひずみも増加したが、RH-64、RH-80ではひび割れの進展はほとんどみられず、先打ち部内のせん断補強筋のひずみの増加もみられなかった。

図-6より、打ち継ぎを有する梁の $R=1/50$ rad時までの各部材角の初期サイクル時のエネルギー吸収能力は、一体打ち試験体に比べて小さくなっており、 $p_w$ の増加により大きくなり、一体打ち試験体の性状に類似する傾向がみられた。

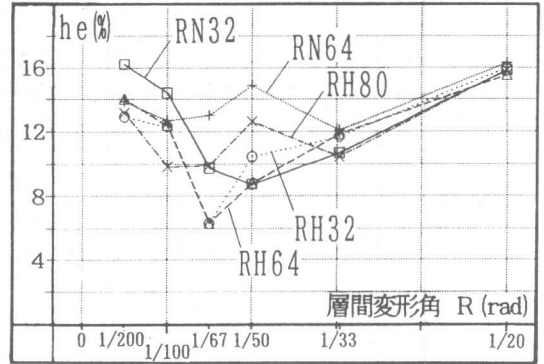


図-6 等価粘性減衰定数の推移

### 3.2 打ち継ぎ面におけるずれ性状

打ち継ぎを有する試験体の打ち継ぎ面におけるせん断力(Q)-水平ずれ量( $\delta h$ )関係例を図-7に、 $Q-\delta h$ 包絡線の比較を図-8に、水平ずれ量( $\delta h$ )-支点間相対変位( $\delta$ )関係を図-9に示す。

各試験体の $Q-\delta h$ 曲線の履歴性状は、 $Q-\delta$ 曲線と同様な逆S字型のループ形状を示した。

水平ずれ量は、 $R=1/100$ rad付近まではせん断力の増加に伴い増加し、 $R=1/100$ rad以降は部材角の増加に伴い増加し、全体としては部材角の増加にともない、比例的に増加する傾向がみられた。同一部材角時における水平ずれ量は、 $p_w$ の増加にともない、減少する傾向がみられたが、最も大きい $p_w=0.8\%$ のRH-80においても水平ずれを抑えるまでにはいたらなかった。同一部材角時における繰り返しが、水平ずれの挙動に影響を与えており、繰り返しによりせん断力が低下しているにもかかわらず、水平ずれ量は、増長した。

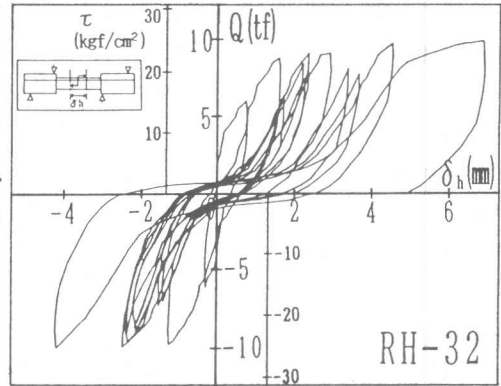


図-7 せん断力(Q)-水平ずれ量( $\delta h$ )関係

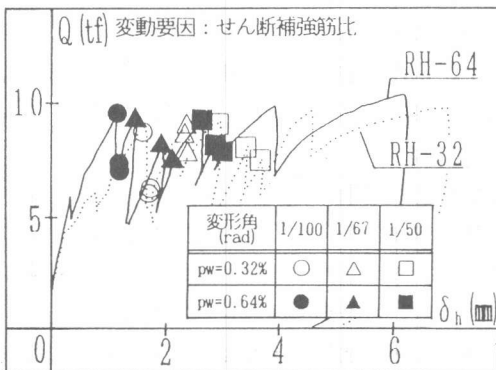


図-8  $Q-\delta h$ 包絡線の比較

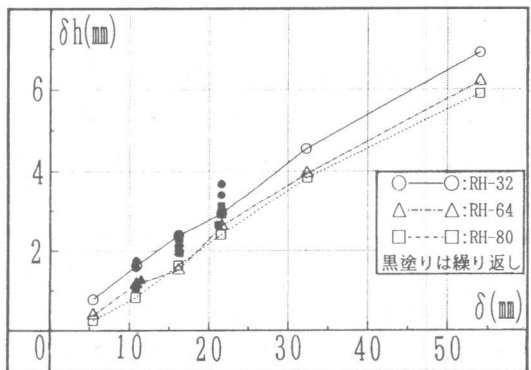


図-9 水平ずれ量( $\delta h$ )-支点間相対変位( $\delta$ )関係

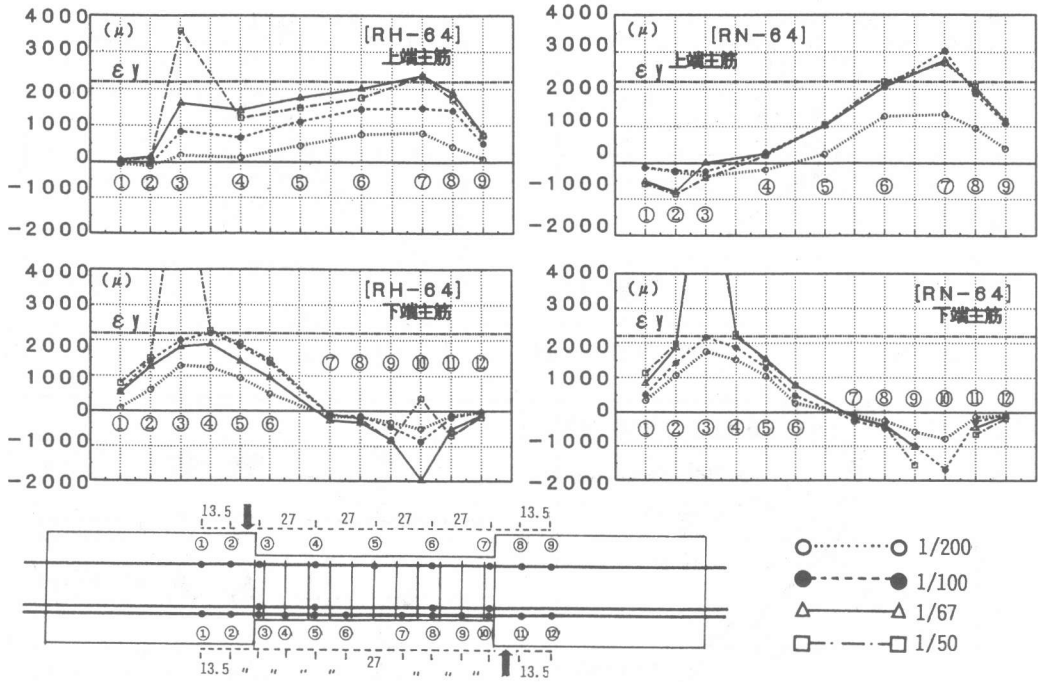


図-10 主筋のひずみ度分布

### 3.3 主筋のひずみ状況

図-10にRH-64、RN-64試験体における主筋のひずみ度分布（正加力、各部材角における初期サイクル時）を示す。下端主筋のひずみ度分布は、打ち継ぎ面による影響がみられず、ほぼ同様な性状を示しており、引張域で降伏していることがわかる。

上端主筋のひずみ度分布は、RN-64の圧縮域のひずみが部材角の増加に伴い増加しているのに対し、RH-64の圧縮域のひずみは加力初期から引張ひずみとなっており、打ち継ぎ面による影響がみられる。ひずみ度分布の各点のひずみは、圧縮域から引張域にかけて増加しているが、部材角の増加に伴い圧縮域と引張域の差が小さくなっていることがわかる。pwの増加に伴い、圧縮域と引張域の差が大きくなり、一体打ち試験体の性状に類似する傾向がみられた。このひずみ度分布の特徴は、負加力の場合においても同様であり、また、 $R=1/67$ rad以降に上端主筋の付着割裂破壊を起こしたRN-32においても、 $R=1/67$ rad以降で同様なひずみ性状を示した。以上のことから、打ち継ぎを有する試験体では、pwが小さいほどせん断補強筋による先打ち部と後打ち部の一体性がなくなり、圧縮域のコンクリートおよび鉄筋が、圧縮力に対して全断面有効に働かないことを示唆している。

図-11に、 $R=1/100$ rad時までのRH-32、RH-64、RN-64試験体の梁端におけるモーメント(M)-主筋ひずみ度( $\epsilon$ )関係を示す。図中にe関数を用いた断面解析によるM- $\phi$ 関係から求めたM- $\epsilon$ 関係を示す。下端主筋の解析値は、全断面有効とした場合(CASE1)と打ち継ぎ面より上端部分を除いた断面を有効とした場合(CASE2)について求めた。図-11では、後打ちコンクリート部分が圧縮域になる場合を正モーメント(Q1加力)とした。

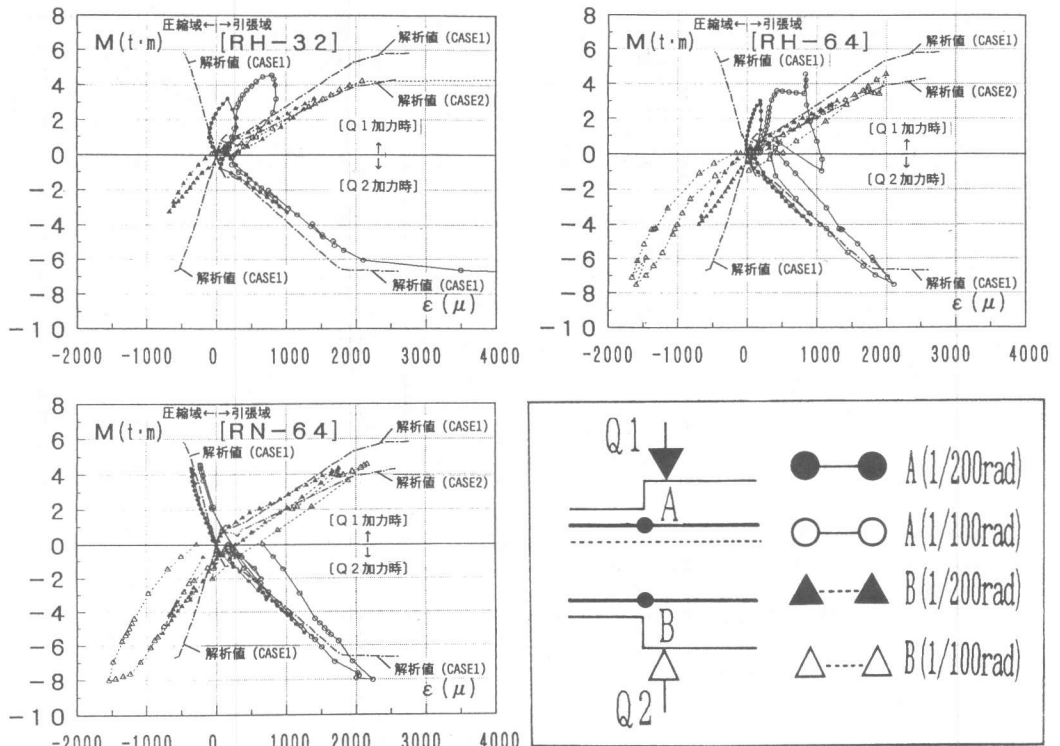


図-1 1 モーメント(M)－主筋ひずみ度(ε)関係

上端圧縮域のひずみは、一体打ち試験体が解析値(CASE1)とほぼ一致しているのに対し、打ち継ぎを有する試験体では、初期段階では、解析値(CASE1)と一致しているが、徐々に引張ひずみが増加していき、圧縮力を負担していないことがわかる。下端引張域のひずみは、一体打ち試験体がCASE1の解析値とほぼ一致しているのに対し、RH-32ではCASE2の解析値とほぼ一致している。pwが大きくなるに従い、CASE1の解析値に近づく傾向がみられた。

#### 4. まとめ

本実験で得られた結果を以下に示す。

- 1) 水平打ち継ぎを有する梁の曲げせん断性状は、打ち継ぎ面においてずれを生じることにより、一体打ち試験体とは明らかに異なった性状を示す。
- 2)  $pw=0.32\sim0.80$ の範囲でじん性実験を行ったが、最も大きい $pw=0.80$ の試験体においても水平ずれは生じた。水平ずれは曲げひび割れ直後の早い段階から生じ、ずれが生じることにより、ひび割れ発生後の剛性が低下し、繰り返しにより水平ずれ量が増長した。
- 3) 打ち継ぎ面上部の圧縮域鉄筋が引張に働いていることにより、全断面有効に働かず、曲げ降伏耐力及び最大耐力は一体打ち試験体に比較して減少したが、せん断補強筋の打ち継ぎ面におけるダボ効果により、pwが大きくなる程耐力は増加した。

[謝辞]本研究を行うにあたり、実験を担当した東京理科大学卒業生の三田卓君、門田哲也君に深く感謝いたします。