

# 論文 梁端部におけるループ状鉄筋の重ね継手の性能

塚越 英夫\*1・池谷 純一\*2・刑部 章\*3・徳田 浩\*4

**要旨：**梁端部において上下主筋を繋いでU字形とした梁主筋と、同じくU字形とした中央側の主筋を嵌め合わせる、ループ状鉄筋の重ね継手の実用化のための確認実験を行った。試験体は偏平梁のMシリーズを6体、引張鉄筋が二段配筋のHシリーズを4体とし、主たるパラメータは重ね継手長さとしたが、破壊性状は曲げ降伏後の付着破壊または側方割裂破壊となった。この結果、付着に対する検討のほかに、RC規準(案)<sup>1)</sup>に示されている必要定着長さが確保できれば、ループ状鉄筋の重ね継手が梁端部に使えることが確認できた。

**キーワード：**RC造梁, 梁端部の重ね継手, 主筋定着, ループ状鉄筋, 構造実験

## 1. はじめに

日本建築学会のRC規準<sup>2)</sup>の16条では「鉄筋継手は部材応力の小さい個所に設けることを原則とする。また、同一断面で全引張鉄筋の継手を行わないことを原則とする。」とあり、梁端部における梁主筋の重ね継手は、原則として行えない。一方、重ね継手の全数継手設計指針(案)<sup>3)</sup>では応力の大きい個所での全数重ね継手は許されるが、継手長さが大きくなり、現実的ではない。しかし、国土交通省告示<sup>4)</sup>「平19国交告第594号第4第三号」では「その他特別な調査又は研究の結果に基づき適切であることが確かめられた方法によるもの」については保有耐力計算時において安全が確かめられればよいとしている。梁端部で合理的な重ね継手が行えれば、施工や工業化生産等において様々なメリットが考えられる。本報は梁の危険断面における重ね継手の実用化のための開発を目的として行った実験の結果について述べるものである。

## 2. 実験概要

試験体はスタブ(大きめの柱梁接合部)を挟んで両側に配置した。梁主筋はスタブを貫通させ、重ね継手部において上端筋と下端筋を継ぎ目のないループ形状とした。梁中央部の主筋(以降、補助主筋と称す)も重ね継手部において上端筋と下端筋を継ぎ目のないループ形状とした。双方のループ部分を嵌め合わせ、梁端部で重ね継手とした。折り曲げ部の内法直径は $4d_b$ ( $d_b$ は主筋の呼び名)とした。梁試験体は2シリーズあり、幅がせいより大きい偏平断面のMシリーズと引張鉄筋が二段配筋のHシリーズとした。試験体は実建物をプロトタイプとして、約54%のスケールモデルとした。これらの試験体の配筋状況を図-1に示す。各シリーズ試験体のパラメータは重ね継手長さ、柱梁接合部端の主筋の付着除

去の有無、梁中央部側の補助主筋の太さとした。Mシリーズ試験体については分割あばら筋も加えた。なお、梁主筋と補助主筋は同一の断面位置に配置した。また、付着除去区間を設けたのは平石らの提案<sup>5)</sup>による梁端部のコンクリートのひび割れ低減を目的とした。

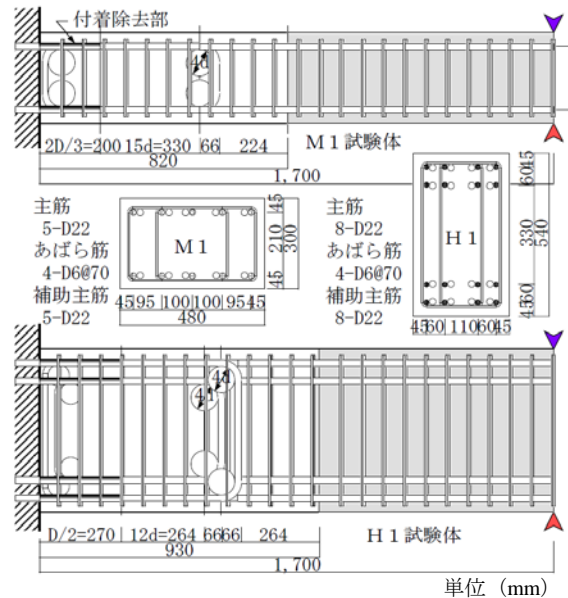


図-1 試験体配筋図

試験体の一覧を表-1に示すが、梁主筋の有効定着長は付着除去区間終了部(付着除去区間がない場合はスタブ端部)から主筋の折り曲げ中心までとした。Hシリーズは引張鉄筋が二段配筋であるが、二段目の定着長さは一段目よりも $3d_b$ 短くした。

試験体の施工手順はスタブと梁中央部のコンクリートを先行して打設した。その10日後にU字形鉄筋を嵌め合わせている部分に後打ちコンクリートを打設した。このときに、先行して打設したコンクリートの後打ち部との小口面にはコッターを設けてせん断伝達が行える

\*1 清水建設(株) 技術研究所 上席研究員 工博(正会員)

\*2 清水建設(株) 技術研究所 研究員(正会員)

\*3 清水建設(株) 設計本部 副部長

\*4 清水建設(株) 生産技術本部 副部長

表－1 試験体一覧

試験体名	b × D	主筋	補助主筋	スターラップ pw (%)	梁主筋の有効定着長	梁端部の長さ(mm)				備考	
						全長	付着除去部	投影定着長さ	スターラップ納め代		
M1	480 × 300	5-D22 SD490	5-D22 SD490	4-D6 @70 USD785 0.381%	15db	820	200	396	224	標準試験体	
M2					18db	905	200	462	243	有効定着18db	
M3					10db	670	200	286	184	有効定着10db	
M4					19db	670	0	486	184	アンボンド無	
M5					5-D19	15db	820	200	396	224	細径補助主筋
M6					5-D22	15db	700	200	396	104	割りあばら筋*1
H1	320 × 540	8-D22 SD490	8-D22	4-D6 @70 USD785 0.571%	12db	930	270	396	264	標準試験体	
H2			8-D19		12db	930	270	396	264	細径補助主筋	
H3			8-D22 SD490		9.5db	835	270	341	224	有効定着9.5db	
H4			21.7db		835	0	611	224	アンボンド無		

\*1; 外周のみ割りあばら筋、重ね長さ65db、折り曲げ余長は無し

Hシリーズ有効定着長は二段目の値。投影定着長さはMシリーズ有効定着長+3db、Hシリーズ有効定着長+6db

ようにした。

用いた材料の試験結果を表－2、表－3に示す。加力装置は図－2に示す片持ち梁形式であり、スタブに6メガニュートン (MN) アムスラーを用いて、0.1bDFc相当の荷重 (Mシリーズで 2.4MN、Hシリーズで 2.88MN) を一定軸力として加えた。試験体にはアムスラーの加力ヘッドに取り付けた反力フレームから 1MN の串形ジャッキをそれぞれぶら下げ、ジャッキヘッドの中心がスタブ端部より 1.7m の位置となるようにセットし、正負交番の漸増载荷を行った。

表－2 コンクリートの材料試験結果

	圧縮強度 (N/mm <sup>2</sup> )	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )	割裂強度 (N/mm <sup>2</sup> )
梁中央部	61.4	34.0	3.91
梁端部一般	63.9	35.5	4.06
梁端部H 3	56.3	31.7	3.86

表－3 鉄筋の材料試験結果

	降伏強度 (N/mm <sup>2</sup> )	引張強度 (N/mm <sup>2</sup> )	降伏歪み (μ)	破断伸び (%)	ヤング係数 (kN/mm <sup>2</sup> )
D22 (SD490)	513	689	2667	19.5 (14.8)	191
D19 (SD490)	532	710	2843	17.2 (13.0)	186
D6 (USD785)	1024*	1181	5593	10.5 (6.7)	183

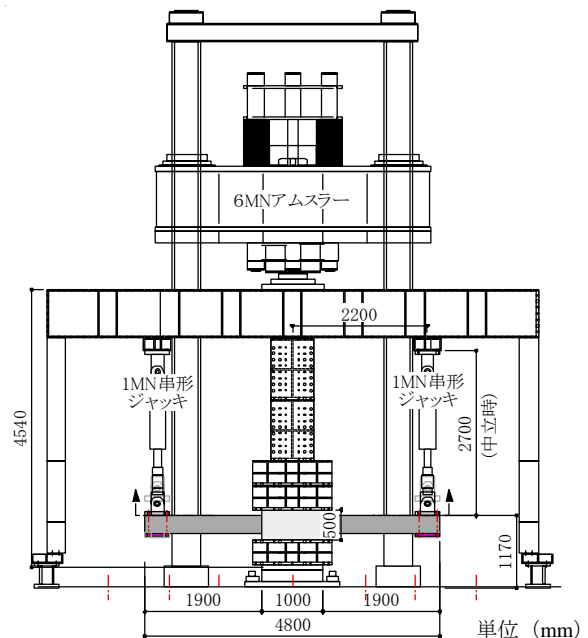
\* : 0.2% オフセット値

( ) 内はひずみゲージを貼り付けた場合の値

### 3. 実験結果

#### 3.1 破壊状況

得られたせん断力と部材角関係を図－3に、部材角4%時の最終破壊状況を写真－1に示す。Mシリーズの6試験体の初ひび割れは第1サイクルの+1/400までに入っ



図－2 加力装置

たが、スタブとの打ち継ぎ面であったため、判定が微妙であった。しかし、荷重的には20kN程度であり、ほぼ計算値に合致していた。梁主筋の初降伏はM3試験体を除き、部材角1.2%前後であり、実際の材料強度を用いた曲げ降伏値と文献2)に示す弾性剛性低下率 $\alpha_y$ を用いた部材角の計算値の1.21%とほぼ同じ値となっていた。M3試験体の初降伏は部材角1.7%であり、剛性の第2勾配が他の試験体に比べて若干低くなっていた。このことは、梁主筋の定着長さが短いために生じたものと考えられる。しかし、最大耐力については他の試験体と差異はなかった。M4試験体は付着除去区間をなくして、スタブ端部から折り曲げフックの中心までの距離を19dbとして、標準試験体M1よりも4db長くしたが、履歴性

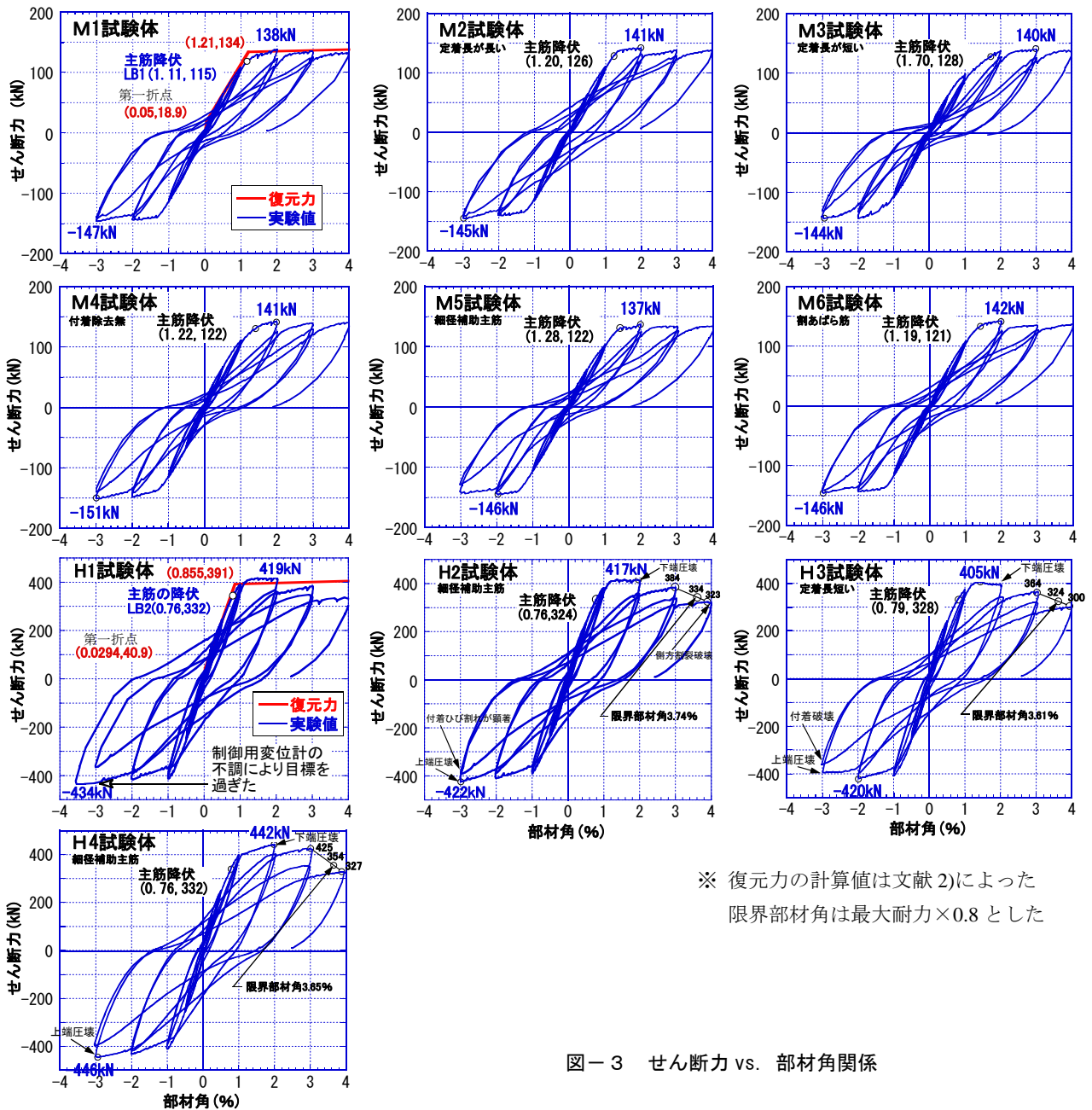


図-3 せん断力 vs. 部材角関係

状に差異はなかった。ただし、付着除去区間を設けた試験体に比べて、梁端部でのひび割れは多く発生していた。M2, M5, M6 試験体の復元力特性やひび割れなどの構造性能はM1 試験体とほとんど同じであった。

Hシリーズもコンクリートの打ち継ぎ目地があるため、初ひび割れの判定が難しかったが、初ひび割れは部材角+1/400 までに入った。梁主筋の降伏は部材角約0.76%で記録し、その時のせん断力は330kN 前後であった。最大耐力はH3 試験体を除き、部材角2%近傍で記録した。部材角2%の各試験体の破壊状況は、柱梁接合部端部のコンクリートの口開きが顕著になったが梁の損傷については幅の広いひび割れではなく、優れた構造性能を示していた。しかし、部材角2%の繰り返し加力時には、軽微なコンクリートの圧縮破壊が観察され始

めていた。部材角3%になると、はっきりとした付着系のひび割れが入り始め、この影響で耐力低下が始まった。部材角4%では被りコンクリートの剥落や端部コンクリートの圧縮破壊も起こり始め、顕著な耐力低下につながった。

両シリーズの試験体ともに、梁主筋の折り曲げ部のコンクリートのひび割れが顕著であった。このため、写真-2に示すように梁端部のコンクリートを材軸方向に切断して内部を確認したところ、コア部分にはほとんどひび割れはなく、被り部分のみの破壊であった。このため、梁主筋の折り曲げ部の破壊形状はRC 靱性指針<sup>6)</sup>の定着強度に示す「側方割裂破壊」の様相となっていた。

### 3.2 最大耐力

Hシリーズの付着破壊については、梁のヒンジ領域に

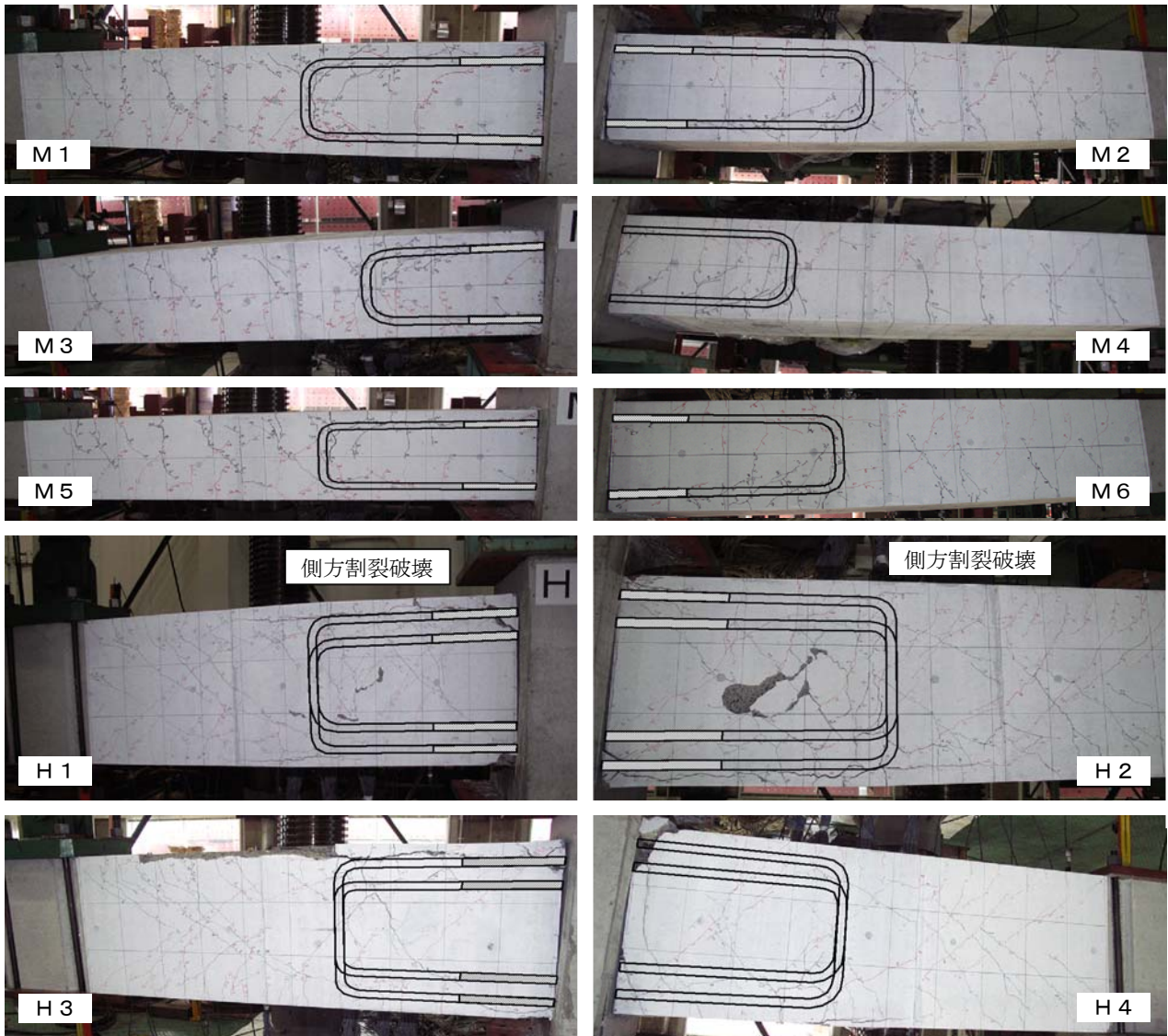


写真-1 最終破壊状況



写真-2 コア部分の破壊状況 (H1)

16本の引張鉄筋が存在していることに起因していると考えられる。このため引張鉄筋の本数を考慮できるRC靱性指針に示された式(1)により付着強度を算定した。この式は付着破壊の影響を考慮したせん断信頼強度 $V_{bu}$ で

あり、この結果を梁の曲げ降伏時のせん断力 $Q_{mu}$ 、RC靱性指針によるせん断終局強度 $Q_{sum0}$ 、実験値と併せて表-4に示す(式に用いた記号の説明は最後に示す)。このときに $V_{bu}$ における主筋の本数は梁主筋に補助主筋を加えた数とした。また、付着破壊の影響を考慮したせん断信頼強度 $V_{bu}$ と実験値との関係を曲げ降伏時のせん断力で基準化して図-4に示す。この図には梁端部でループ状の重ね継手を行った文献5)と90度フックの重ね継手を行った文献7)のデータも併せて示す。付着強度 $V_{bu}$ は曲げ降伏時のせん断力 $Q_{mu}$ より大きく、曲げ破壊先行であるが、Hシリーズでは圧縮縁のコンクリートの破壊を契機として付着破壊が進展していったものと考えられる。

$$V_{bu} = \min(V_{bu1}, V_{bu2}) \quad (\text{kN}) \quad (1)$$

$$V_{bu1} = T_x \cdot j_e + \left\{ v \cdot F_c - \frac{2.5 \cdot T_x}{\lambda \cdot b_e} \right\} \cdot \frac{b \cdot D}{2} \cdot \tan \theta$$

表-4 最大耐力

試験体名	実験値(kN)			計算値 (kN)		
	正加力	負加力 (絶対値)	平均値	曲げ降伏強度 $Q_{mu}$	せん断終局強度 $Q_{su0}$	付着信頼強度 $V_{bu}$
M1	138	147	143	134 (上限強度=147)	516	主筋本数 (10本時) 210
M2	141	145	143			
M3	140	144	142			
M4	141	151	146			
M5	137	146	142			
M6	142	146	144			
H1	419	434	427	391 (上限強度=429)	1018	491
H2	417	422	420			452
H3	405	420	413			491
H4	442	446	444			

上限強度  $\sigma_u$  は信頼強度  $\sigma_y \times 1.15$  とした

$$V_{bu2} = \frac{\lambda \cdot v \cdot F_c \cdot b_e \cdot j_e}{2}$$

$$Q_{mu} = M_u / \ell = 0.9 \cdot a_t \cdot \sigma_y \cdot d / \ell \quad (\text{kN}) \quad (2)$$

$$Q_{su0} = \min(Q_{su01}, Q_{su02}, Q_{su03}) \quad (\text{kN}) \quad (3)$$

### 3.3 定着長さ

梁端部における重ね継手は梁主筋が降伏し、ヒンジが形成されるため、梁主筋の定着強度が充分にあることが必要となる。ここでは、RC 規準 (案) の 17 条に示された式(4)によって、定着性能の検討を行う。なお、式(4)は柱梁接合部での主筋の定着についての規準である。本工法の場合は梁端部で梁主筋、補助主筋の上下主筋がそれぞれU字形につながっており、さらにあばら筋でコアコンクリートが拘束されている。このため、直線的な重ね継手とは異なり、コアコンクリートからの応力伝達がスムーズに行われるとして式(4)を用いた。この計算結果と実験値について、コンクリート強度をパラメータとしてプロットしたものを図-5に示す。これによると、M3試験体、H3試験体は定着長さが確保されていないことになる。H1、H2試験体は実験時のコンクリート強度でプロットしているが、コンクリートの設計基準強度は  $48\text{N/mm}^2$  であるため、設計時に既に定着不足となる。また、文献5)のデータは梁主筋にSD390のD19を用いているが、この試験体も定着長さが確保されていない。一方、文献7)のデータは梁主筋にSD345のD19を用いているため、定着長さが確保されている。図-5に示したHシリーズ以外のデータはいずれも曲げ破壊先行型であり、部材角4%でも耐力低下がほとんどない構造性能を示していたものである。

RC 規準 (案) による式(4)は RC 靱性指針に示された式(5)を略算化したものであるが、式(4)は必要定着長さについてまとめたものであり、式(5)は定着強度についてまとめたものである。また、式(5)の適応性については十分に検討されている。両式の必要定着長さについて算定し

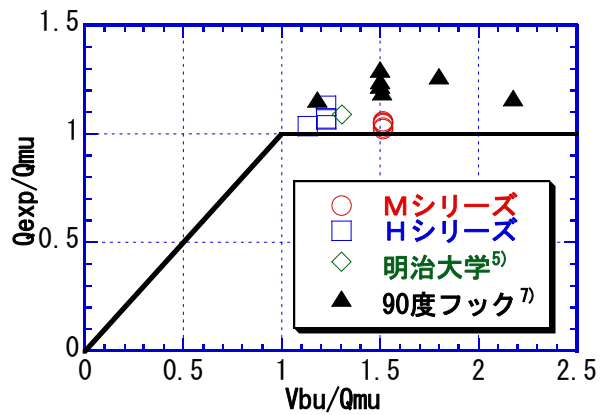


図-4 付着信頼強度の計算値と実験値の比較

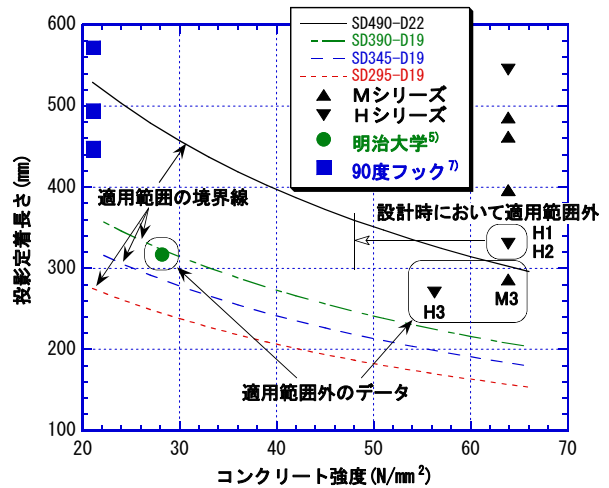


図-5 コンクリート強度と定着長さの関係

た結果を表-5に示す。この表より、Hシリーズでは式(4)の方が式(5)より必要定着長さを大きく算定し、若干安全側の評価となっており、略算値としては妥当であるといえる。一方、Mシリーズでは式(4)は式(5)に比べて24%~35%大きく評価しており、偏平梁については安全すぎる評価となっている。

$$\ell_{ab} = \alpha \cdot \frac{S \cdot \sigma_t \cdot d_b}{10 \cdot f_b} \quad (\text{mm}) \quad (4)$$

$$f_u = 210 \cdot k_c \cdot k_j \cdot k_d \cdot k_s \cdot F_c^{0.4} \geq \sigma_t \quad (\text{N/mm}^2) \quad (5)$$

表-5 必要定着長さ比較：単位(mm)

	F <sub>c</sub> =48N/mm <sup>2</sup> 設計基準強度		σ <sub>B</sub> =63.9 (56.3) N/mm <sup>2</sup> 実強度	
	RC 規準	RC 靱性	RC 規準	RC 靱性
Mシリーズ <sup>*</sup>	359	289	302	223
H3以外	359	343	302	292
H3			327	311

### 3.4 主筋のひずみ分布

図-6に実験から得られた主筋のひずみ分布を示す。M1試験体では梁主筋が部材角1/100から1/50の間に降伏したが、この部分は付着除去区間からスタブ側に入った端部(LD1)であった。付着除去区間の梁中央側の端部(LD2)でも同程度のひずみとなっており、付着除去区間が一気に降伏していた。U字形に折り曲げた部分(LD5)については、梁中央部側の梁主筋では、変形の増大に伴ってひずみ値も大きくなったが、スタブ際の補助主筋(LC5)ではひずみは大きくないことが確認できた。なお、本来は梁主筋と補助主筋は梁せい方向に対して同じ位置に配置しているが、図を見やすくするために、ずらして表現した。また、LC2、LD5、LD6も同じ位置にあるが、ずらして表現した。

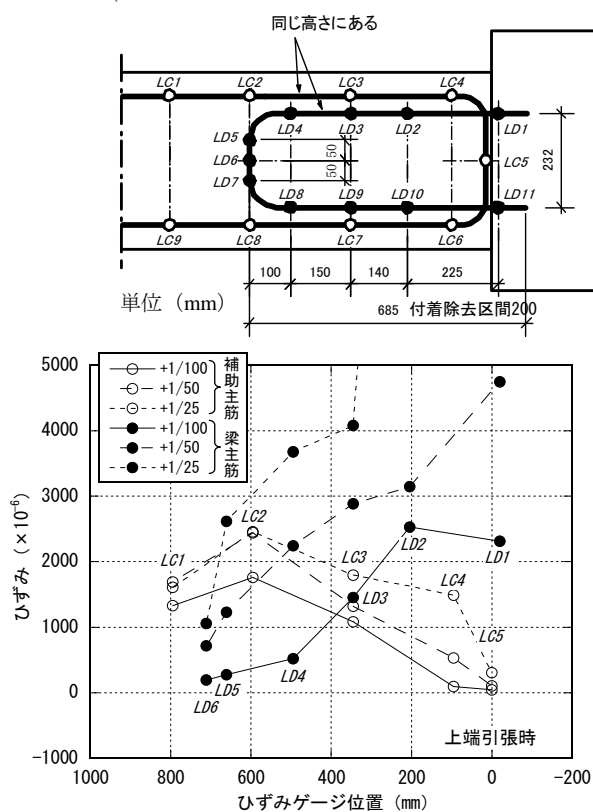


図-6 引張鉄筋のひずみ分布 (M1)

### 4. まとめ

梁端部にループ状の重ね継手を持つ10体の試験体について静加力実験を行った結果、以下の知見を得た。

- 1) 接合部から突出したU字形の梁主筋近傍の破壊性状は、付着割裂破壊や側方割裂破壊となり、コア部のコンクリートの破壊はほとんど観察されなかった。
- 2) 偏平梁のMシリーズは若干スリップ性状がみられたものの、コンクリートの破壊や耐力低下の少ない優れた構造性能を示した。
- 3) 二段配筋のHシリーズは、部材角2%までは優れた構造性能を示したが、3%以降に付着破壊が進展して、耐力低下が顕著になった。
- 4) RC規準(案)に示された必要定着長の式は、一般の梁の場合にはほぼ妥当であるが、偏平断面の梁については式(5)に比べ24%~35%大きく評価されている。

式の記号の説明

- T<sub>x</sub>: 降伏ヒンジを計画する部材単位長さあたりに負担できる付着力
- j<sub>e</sub>: 梁せい方向のあばら筋芯々間距離
- v: コンクリート圧縮強度の有効係数
- F<sub>c</sub>: コンクリートの圧縮強度
- λ: トラス機構の有効係数
- b<sub>e</sub>: トラス機構に関与する断面の有効幅
- b: 梁幅
- D: 梁せい
- tan θ: アーチ機構の圧縮束の角度
- α: 1.0
- S: 必要定着長さの修正係数(=0.7)
- σ<sub>t</sub>: 鉄筋の短期許容応力度
- d<sub>b</sub>: 梁主筋の呼び名に用いた数値
- f<sub>b</sub>: 付着割裂の基準となる強度
- k<sub>c</sub>: 側面被り厚さの評価係数
- k<sub>j</sub>: 折り曲げ位置の評価係数
- k<sub>d</sub>: 投影定着長さの評価係数
- k<sub>s</sub>: 横補強筋の効果の評価係数

### 参考文献

- 1) 鉄筋コンクリート構造計算規準の改定について、2008年度日本建築学会大会PD資料、2008.9
- 2) 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説1999、日本建築学会
- 3) 重ね継手の全数継手設計指針(案)・同解説、日本建築学会、1996.2
- 4) 2007年版 建築物の構造関係技術基準解説書、全国官報販売協同組合
- 5) 平石久廣、山田宗徳、斉藤亮平：重ね継ぎ手方式による降伏機構分離型鉄筋コンクリート造の開発、日本建築学会構造系論文集、第592号、pp.159-165、2005.6
- 6) 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、日本建築学会、1999年版
- 7) 塚越英夫、諸井陽児、斉藤豊、芳村学：はり端部におけるフック付重ね継手の効果、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.12, No.2, 1990.6