論文　RC 部材と S 部材で構成される継手部の応力伝達機構に及ぼすせん断補強筋の効果

川越 忠司[*1]・馬場 望[*2]・西村 泰志[*3]

要旨：本研究は，鉄骨部材と鉄筋コンクリート部材が直線的に結合される継手部の応力伝達機構を実験的および理論的に明らかにしようとしたものである。なお，本研究では，継手部が曲げせん断を受ける状態を想定している。継手部に配置されるせん断補強筋のディテールを変数とした4体の実験を行った結果，継手部中央および継手部中央から下端部にかけてせん断補強筋を集中的に配筋させることによって，継手部の耐力を増大させることが可能であること，また，仮定した応力伝達機構に基づいて提案された継手部の終局耐力評価式の妥当性が示された。

キーワード：RC－S 継手部，せん断補強筋，応力伝達機構，トラス機構

1．序

近年，鉄骨（以下 S という）構造，鉄筋コンクリート（以下 RC という）構造，鉄骨鉄筋コンクリート（以下 SRC という）構造等を組み合わせで構成される種々の合成構造が建設されている。これらの合成構造の成否は，異種構造との接合部の性能に左右される。これらの接合部の問題は基本的には，S 部材と RC 部材の接合部に分類できる。しかしながら，S 部材から RC 部材への応力伝達機構は明らかにされていない。

このような観点から，既往の研究[1)]では，S 部材と RC 部材が直列的に結合される継手部に純曲げモーメントが作用する場合に着目して，S 部材から RC 部材への応力伝達機構を明らかにし，その応力伝達機構に基づく耐力評価法を提案した。本研究は 引き続き，継手部が曲げせん断を受ける場合[2)]に着目し その応力伝達機構を実験的および理論的に明らかにするものである。

なお，このような継手部の問題は，部材端部を SRC部材，中央部を S 部材とする合成梁や S 造の根巻き柱脚等の問題に幅広く応用することができる。

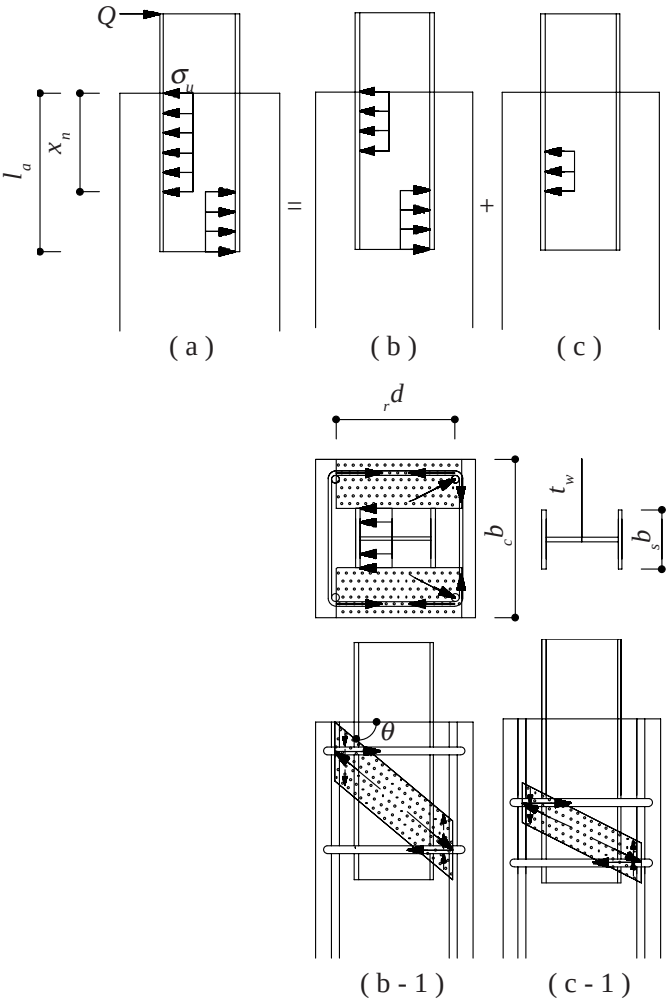


図 1　応力伝達機構

*1　大阪工業大学大学院博士前期課程　（正会員）
*2　大阪工業大学 工学部建築学科講師　工博 (正会員)
*3　大阪工業大学 工学部建築学科教授　工博 (正会員)

2．応力伝達機構と耐力評価法

2．1　応力伝達機構

図１に仮定された応力伝達機構を示す。ここでは，継手部が曲げせん断を受ける状態を想定している。(a) は，鉄骨に作用する外力と鉄骨フランジ内面に作用する支圧力が釣合系を構成することを示している。(b) , (c) は，鉄骨に作用する支圧力を，一対の偶力と残りの圧縮力に分解している。前者は，曲げモーメント，後者はせん断力に抵抗する働きを表している。(b - 1) は，フランジ内面に作用する支圧力が反作用として，RC の隅角部に向かう力となり，せん断補強筋に引張力が生じ，それに伴って，コンクリートに斜め圧縮束が形成され，トラス機構によって，外力に抵抗することを意味している。一方，(c - 1) は，フランジ内面中央に作用する圧縮力は，継手部中央に配置されたせん断補強筋に伝達され，継手部にトラス機構を形成して抵抗することを意味している。したがって，継手部中央にせん断補強筋を多く配筋すること，継手部下端にせん断補強筋を多く配置することによって，S 部材から RC 部材への応力伝達の効果を向上させることができると考えられる。なお，トラス機構を形成する幅は (b -1) に示すように，S 材フランジより外側の部分である。なお，応力伝達機構に関して，ここでは コンクリートと鉄骨間に作用する摩擦力の影響は考慮していない。

2．2　耐力評価法

図 1 (a) で示す力の釣合系に基づいて，RC 部材に埋め込まれたS部材の継手部の耐力 Q_u は，

$$Q_u = \sigma_u \cdot (2x_n - l_a) \cdot ({}_s b - t_w) \qquad (1)$$

となる。ここに，

$$x_n = -l + \sqrt{l^2 + l_a l + \frac{l_a^2}{2}} \qquad (2)$$

$$\sigma_u = \min(\sigma_{u1}, \sigma_{u2}, \sigma_{u3}) \qquad (3)$$

$$\sigma_{u1} = \frac{\sigma_y \cdot p_w \cdot {}_c b}{{}_s b - t_w} \qquad (4)$$

$$\sigma_{u2} = \frac{{}_c\sigma_B \cdot \cos\theta \cdot A_c}{(l_a - x_n) \cdot ({}_s b - t_w)} \qquad (5)$$

$$\sigma_{u3} = \frac{{}_r\sigma_y \cdot a_t}{(l_a - x_n) \cdot ({}_s b - t_w) \cdot \tan\theta} \qquad (6)$$

σ_y ：せん断補強筋の降伏応力度

p_w ：せん断補強筋比

${}_c\sigma_B$ ：コンクリートの圧縮強度

${}_r\sigma_y$ ：主筋の降伏応力度

a_t ：引張主筋の断面積

$$\cos\theta = \frac{{}_r d}{\sqrt{{}_r d^2 + x_n^2}}$$

$$A_c = (l_a - x_n) \cdot \cos\theta \cdot ({}_c b - {}_s b)$$

$$\tan\theta = \frac{x_n}{{}_r d}$$

ただし，σ_{u1} はせん断補強筋の強さによって決まる応力度，σ_{u2} はコンクリートの圧縮強度によって決まる応力度，σ_{u3} は主筋の強さによって決まる応力度である。

なお，ここでは (c - 1) の機構に対する影響は考慮していない。

3．実験計画

上式の応力伝達機構および耐力評価式の妥当性を検証する為に，図 2 に示すように，継手部のせん断補強筋のディテールを実験変数とする 4 体の試験体が計画された。NO 試験体は，基本となる試験体であり，継手部にせん断補強筋が均等に配筋されている。MF 試験体は，せん断力の伝達を減少させる目的で，継手部中央のせん断補強筋

表 1　使用材料の力学特性

		降伏応力度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)
鉄骨	フランジ　PL8	278	395	2.00×10^5
	ウェブ　PL5.5	299	416	2.02×10^5
鉄筋	主筋　D16	421	564	1.75×10^5
	せん断補強筋 D6	403	515	1.79×10^5
コンクリート		圧縮強度 (MPa)	割裂強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)
		25.1	2.55	2.25×10^4

をなくしている。MM 試験体は，継手部中央のせん断補強筋を増大させた試験体であり，MU 試験体は，継手部中央から下端部のせん断補強筋を増大させた試験体である。

図 2 は，計画された試験体の形状寸法，断面および配筋詳細を示す。RC 断面は 200 × 300 mm，主筋は圧縮および引張側に D16 が 4 本配筋されている。せん断補強筋は，基本的には，D6 が 50 mm 間隔で配筋されている。その時のせん断補強筋比は，0.64 % である。S 部材は公称寸法が H − 200 × 100 × 5.5 × 8 (SS400) である。なお，S 部材は各試験体とも，RC 部材に 300 mm 埋め込まれている。

表 1 に使用された材料の力学特性を示す。なお，コンクリートは縦打ちとした。

図 3 は，実験装置を示す。実験は，試験体の下端部を固定し，鉄骨上端部に漸増繰り返し水平力を加えた。

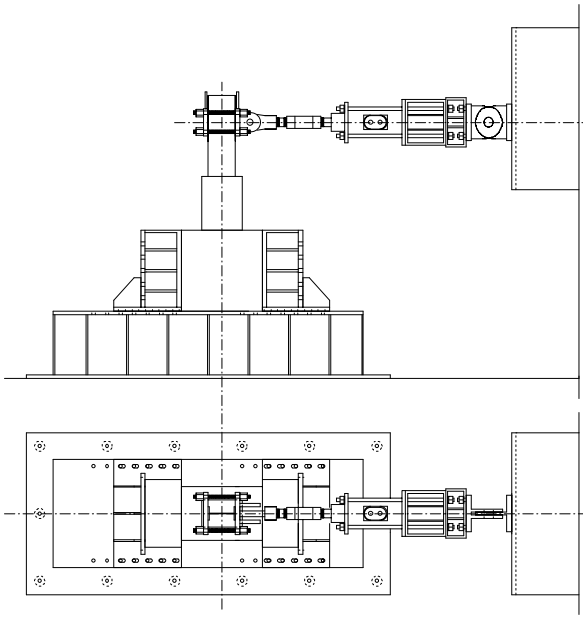


図 3　実験装置

表 2　ひび割れ発生荷重および最大荷重

試験体名	曲げひび割れ Q_{fl} (kN)	せん断ひび割れ Q_{fs} (kN)	最大荷重 Q_{max} (kN)
NO	26.8	30.0	42.5
	-15.0	-15.0	-40.9
MF	27.4	29.4	38.5
	-17.9	-27.1	-36.6
MM	28.7	30.9	47.5
	-23.7	-34.6	-45.3
MU	23.5	30.4	48.7
	-16.2	-30.2	-46.2

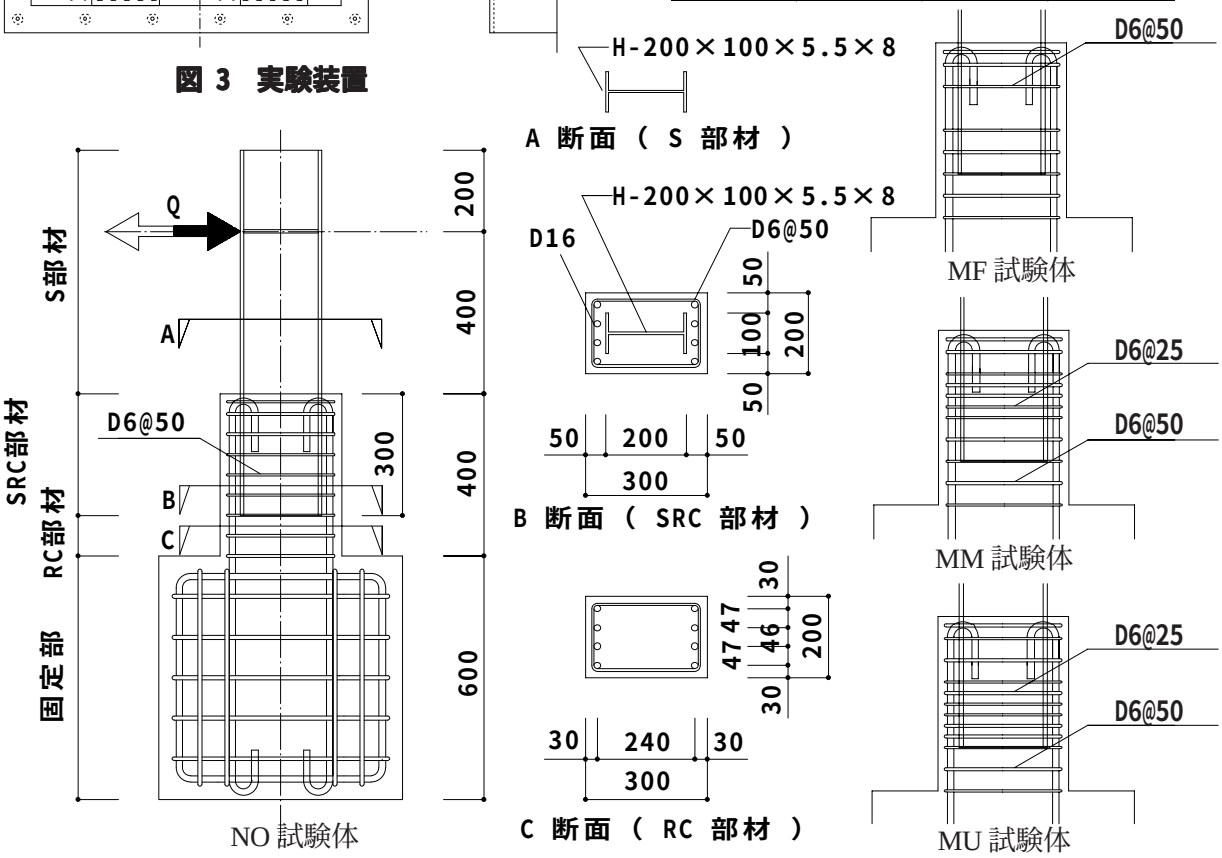


図 2　試験体の形状寸法，断面および配筋詳細

４．実験結果と考察

４．１ 破壊性状

図 4 に試験体の最終破壊状況を示す。表 2 にひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。各試験体とも鉄骨埋め込み始点から鉄骨埋め込み終点を結ぶように斜張力ひび割れが生じている。NO 試験体に比べ MF 試験体は , 継手部中央で斜張力ひび割れは少ない。MM 試験体は , せん断補強筋を増やした部分で斜張力ひび割れが多くなり , ひび割れの角度が緩やかになっている。MU 試験体も MM 試験体と同様のことが言える。

４．２　履歴曲線

図 5 は , 各試験体の履歴曲線を示す。縦軸は荷重 Q , 横軸は部材角 R を示す。図中の点線は , 前述の評価式 (1) によって求められた値 Q_u である。なお , Q_u はせん断補強筋の強さによって決定されている。柱脚部の RC 部材の終局曲げ耐力から求められる荷重は 102 kN であり , かつ , 前述の破壊状況から , 荷重は継手部の耐力によって決定されたものと考えられる。各試験体とも , 最大耐力発揮後 , 急激に耐力は低下し , 逆 S 字の履歴曲線を示している。各試験体とも部材角 1 % で最大耐力を発揮し , 部材角 4 % から 5 % にかけて耐力はほぼ一定となっており , Q_u にほぼ等しい。これより , 耐力が 部材角4 % から 5 % にかけてほぼ一定の値を示しているのは , せん断補強筋による影響と考えられる。図 6 に各試験体の履歴曲線の正荷重時における包絡線を示す。縦軸は荷重 Q 横軸は部材角 R を示している。各試験体を比較すると , せん断補強筋量が増すと最大耐力は増大している。MU 試験体の最大耐力は大きいが部材角の増大に伴い最大耐力は MM 試験体とほぼ同じ耐力となる。また , NO 試験体と MF 試験体も上で述べた MU 試験体と MM 試験体の関係とほぼ同じである。

４．３　抜け出し量

図 7 に , 各試験体の RC 部材に対する S 部材の相対抜け出し量を示す。縦軸は荷重 Q , 横軸は抜け出し量 δ_V を示す。各試験体とも部材角 1 % までは , RC 部材と S 部材は , ほぼ一体となっているが , 部材角 2 %以降では各試験体とも抜け出し量が増大する。これは , 各試験体が最大耐力を発揮した後 , 抜け出し量が増加したことを意味している。図 5 の履歴曲線と比較すると , 抜け出し量が増大する部材角 2 % 以降で各試験体の耐力も低下していることから , RC 部材と S 部材との間に作用する摩擦力が低下し , それに伴い耐力が急

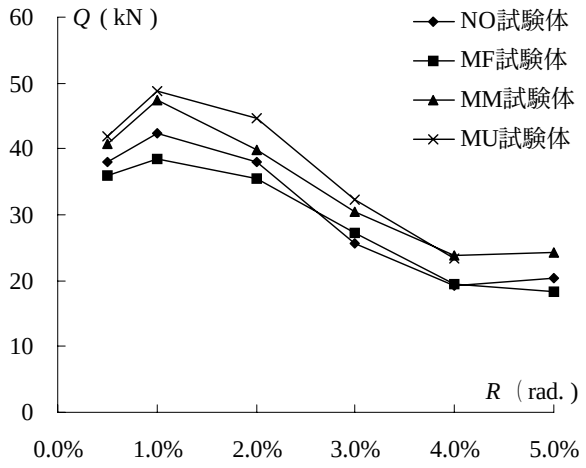
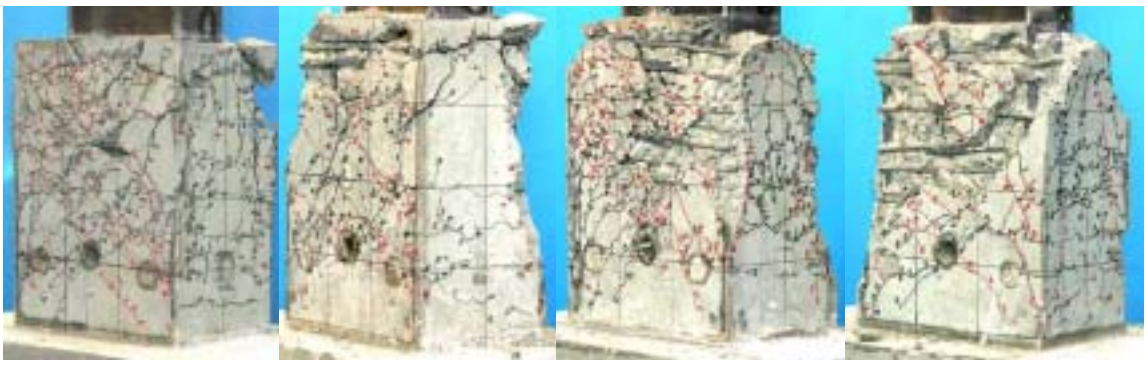


図6　履歴曲線の包絡線



NO 試験体　　MF 試験体　　MM 試験体　　MU 試験体

図 4　最終破壊状況

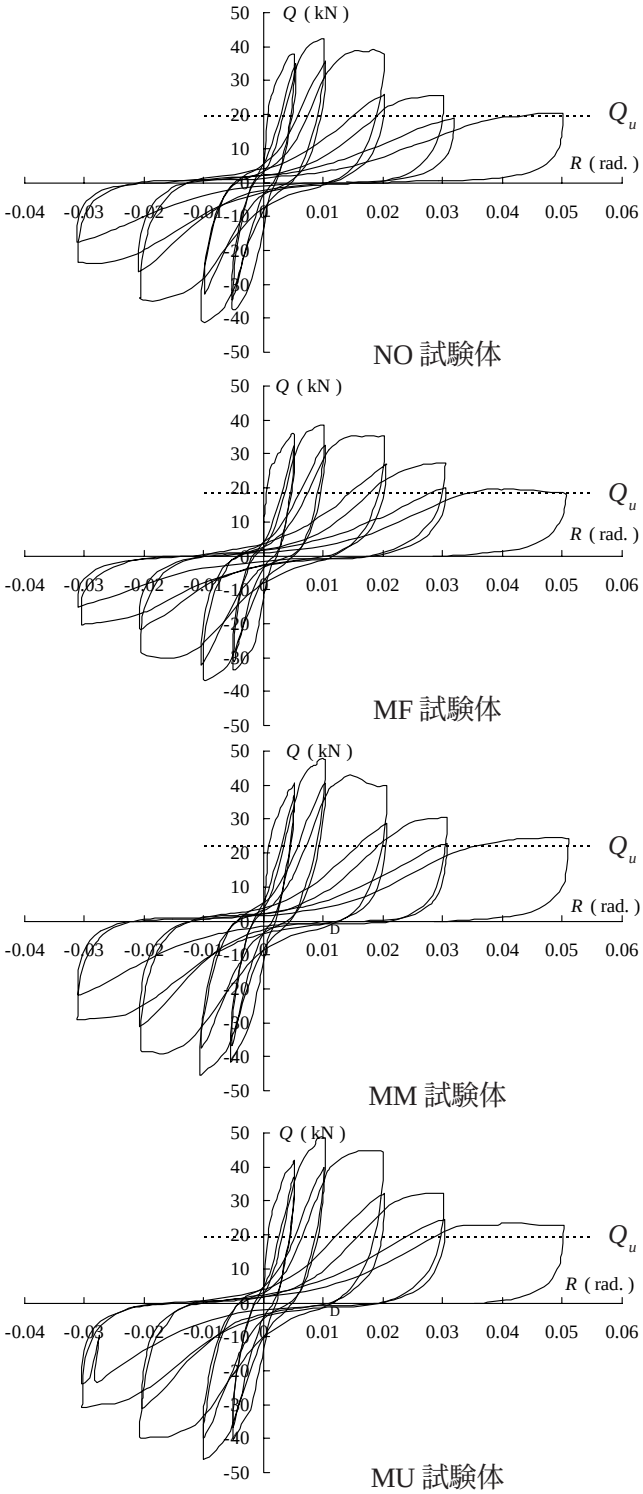


図 5　履歴曲線

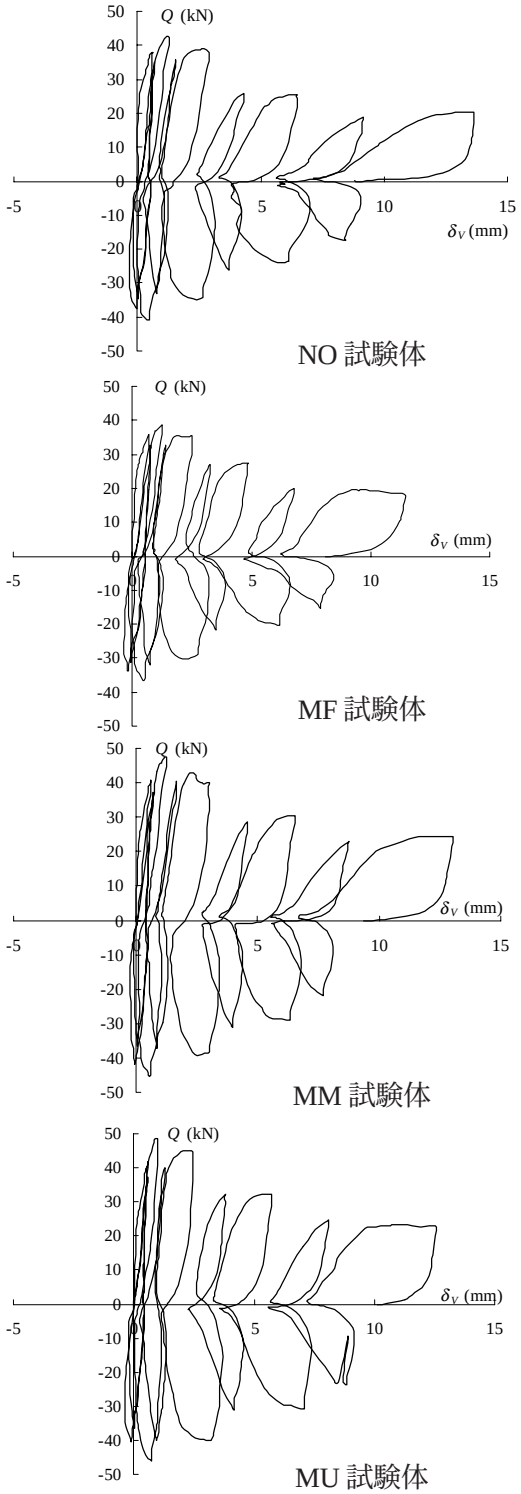


図 7　抜け出し量

激に低下したものと考えられる。

4．4　せん断補強筋のひずみ分布

図 8 は , せん断補強筋のひずみ状況を示す。縦軸はせん断補強筋①の軸ひずみ ε_R , 横軸はせん断補強筋②の軸ひずみ ε_M を示す。図中の一点破線および点線は , 鉄骨内面および外面に作用する支圧力が反作用として RC 部材の隅角部に配置されている主筋に向かう力となった時 , せん断補強筋①および②で発揮されると考えられる軸ひずみの関係を示したものである。なお , Ⅰ～Ⅴは継手部のせん断補強筋の位置を示している。せん断補強筋Ⅰは, 各試験体とも載荷直後 , 付図 (a) に示すように鉄骨フランジ外面に作用する支圧力の影響が大きいが , 変形の進展に伴い鉄

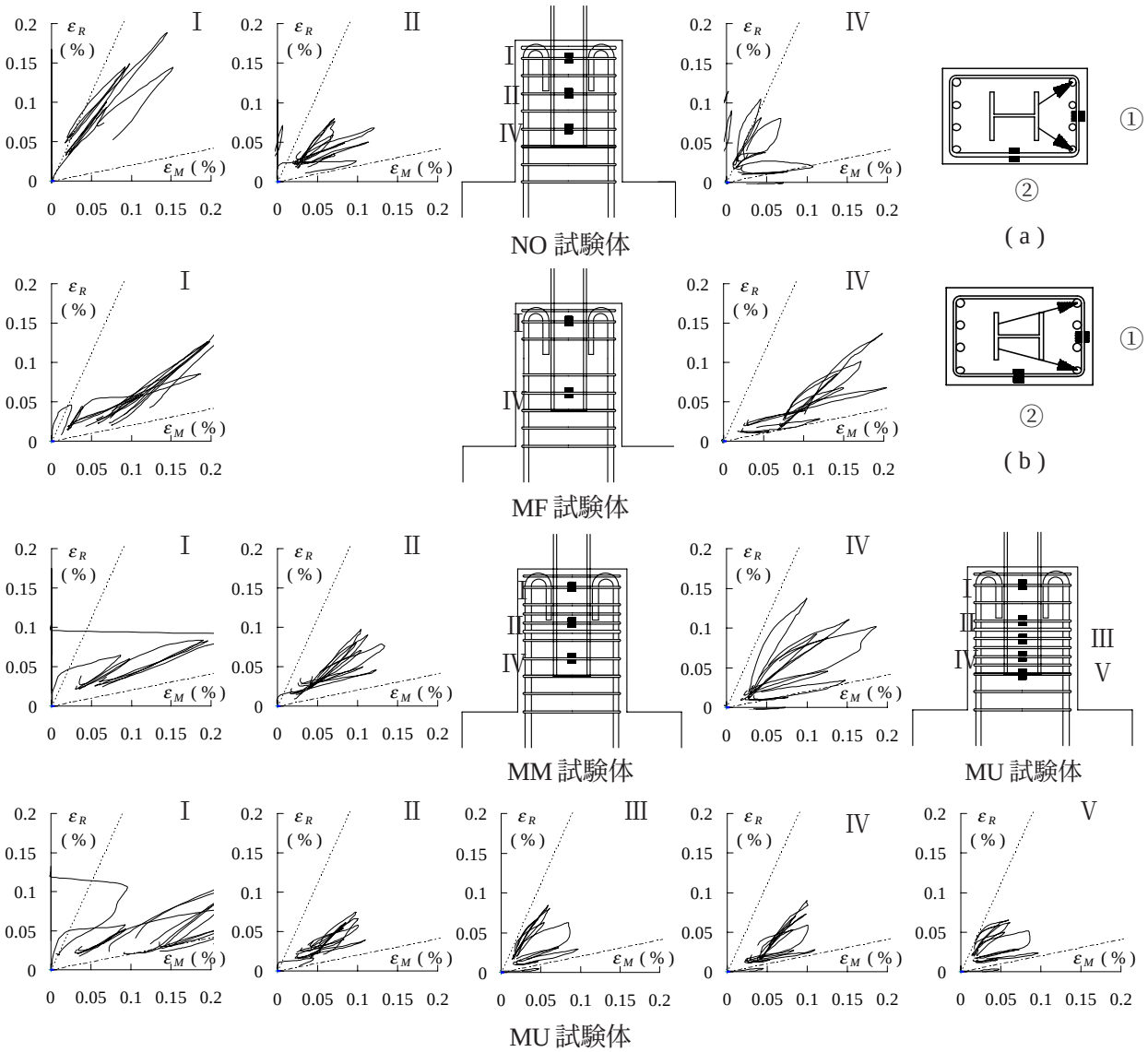


図 8　せん断補強筋の軸ひずみ分布

骨内面に作用する支圧力の影響が大きくなっている。しかし，せん断補強筋 II，III，IV は，せん断補強筋 I と異なり，載荷直後は鉄骨内面からの力の流れに大きな影響を受けるが，部材角 2％以降は鉄骨外面からの影響を受けるようになる。これは，鉄骨フランジに拘束されたコンクリートと鉄骨フランジ外側のコンクリートが分断されるためではないかと考えられる。なお，各試験体ともせん断補強筋 I は，降伏している。MU 試験体のひずみ度の大きさは，せん断補強筋 I 以外は，ほぼ 0.1％以下となっており，せん断補強筋の負担が，他の試験体と比較して軽減されていることがわかる。

5　結語

1)　S 部材から RC 部材への応力伝達機構が示され，その応力伝達機構に基づく耐力評価法が示された。

2)　提案された応力伝達機構の妥当性を明らかにするために，継手部のせん断補強筋のディテールを変数とした 4 体の実験を行い，その妥当性を破壊状況，RC 部材に対する S 部材の抜け出し量，ひずみ分布状況等から明らかにした。

参考文献

1）春風隆志，馬場望，西村泰志：S 部材と RC 部材が直列的　結合される継手接合部の応力伝達機構，日本建築学会近畿支部，研究報告書，構造系，第 42 号

2) 西村泰志，南宏一：S 部材と RC 部材で構成される継手部の応力伝達機構，構造工学論文集　Vol. 34B，pp.221-226，1988．3