

# 論文 鉄筋コンクリート部材から鉄骨鉄筋コンクリート部材への 応力伝達

岡本昌泰 \*\*・馬場 望 \*\*・西村泰志 \*\*\*

**要旨** : 本研究は, 部材内で SRC 構造から RC 構造へ構造種別が切り替えられる SRC-RC 柱に着目し, SRC 部材の内蔵鉄骨長さが部材の破壊性状におよぼす影響を検討するとともに, SRC 部材から RC 部材への応力伝達機構を実験的に検討した。その結果, 本実験の範囲では, SRC 部材の内蔵鉄骨長さの相違による最大耐力, エネルギー消費能力に大きな相違は認められないが, 埋め込み長さが部材長の 25% では部材の性能が若干劣ることが示された。また, 実験結果の知見に基づいて, SRC-RC 部材の継手接合部における応力伝達機構が提案された。

**キーワード** : SRC-RC 部材, 継手接合部, 変形状, 応力伝達機構

## 1. 序

近年, 構造物の大型化, 高層化に伴い, 地下部分を鉄筋コンクリート (以下, RC という) 造, 低層部分を鉄骨鉄筋コンクリート (以下, SRC という) 造, 中層あるいは上層部分を鉄骨 (以下, S という) 造または RC 造とした合成構造物が数多く建設されている。今後, ますますこのような構造形式の多様化が進むものと予測される。しかしながら, SRC 部材と RC 部材 (以下, SRC-RC 部材という) といった異種構造部材を接合することによって構成される継手接合部に関して, 合理的な設計法は確立されていない。これは, 異種構造部材間の応力伝達機構が明らかにされていないことあるいは実験資料が蓄積されていないこと等がその原因としてあげられる。

このような観点から, 本研究は, 部材内で SRC 構造から RC 構造へ構造種別が切り替えられる SRC-RC 柱に着目し, SRC 部材の内蔵鉄骨長さが部材全体の破壊性状におよぼす影響を明らかにするとともに SRC 部材から RC 部材への応力伝達機構を実験的に検討するものである。

## 2. 実験計画

- \* 大阪工業大学大学院博士前期課程 (正会員)
- \*\* 大阪工業大学大学院博士後期課程 工修 (正会員)
- \*\*\* 大阪工業大学教授 工学部建築学科 工博 (正会員)

図-1 に試験体の形状寸法, 配筋および断面詳細を示す。計画された各試験体はいずれも配筋および使用された鉄骨は同じである。実験変数は内蔵鉄骨長さ  $l$  である。内蔵鉄骨長さは, 300,

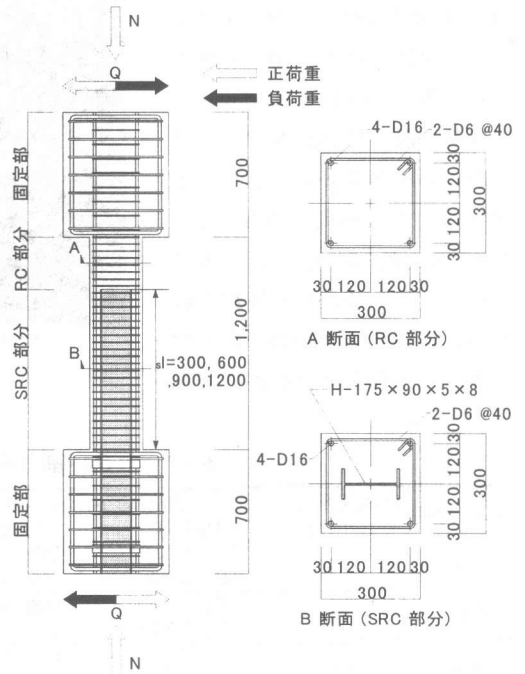


図-1 試験体の詳細 (単位: mm)

600, 900 および 1200 mm の 4 種類である。なお、比較のため RC および SRC の試験体も計画された。各試験体とも部材のせん断耐力が柱頭柱脚部の曲げ降伏により決定されるせん断力よりも大きくなるように設計された。なお、せん断補強筋比は 0.53% である。また、SRC 断面の全塑性モーメント  ${}_{SRC}M_p$  に対する内蔵鉄骨断面の全塑性モーメント  ${}_sM_p$  の比  ${}_sM_p/{}_{SRC}M_p$  は 0.4 である。表-1 に使用材料の力学的特性を示す。

実験は、各試験体とも所定の一定軸力 ( $N = 0.2 \cdot N_{rc}$ ,  $N_{rc}$ : RC 断面の中心圧縮強度) を負荷した後、正負 2 回の漸増繰返し水平力を負荷するものである。

### 3. 実験結果とその考察

#### 3.1 破壊性状

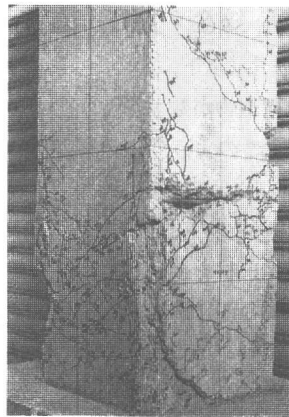
図-2 に S300 および S600 試験体の柱脚部の最終破壊状況を示す。各試験体とも部材角 0.0025 rad. まだに曲げひび割れが生じた。その後、S300 試験体を除く各試験体とも部材角 0.005 rad. で曲げせん断ひび割れが生じ、柱頭および柱脚部のコンクリートが圧壊し最大耐力を発揮した。なお、最大耐力時点では、主筋に沿った付着ひび割れも観察された。なお、S1200 試験体は他の試験体に比べ柱頭部の破壊領域が

小さくひび割れが集中している。S300 試験体では部材角 0.01 rad. の時、継手部周辺のコンクリートの破壊が顕著となり、部材角 0.05 rad. 時には内蔵鉄骨先端部のコンクリートの剥離が観察された。表-2 に代表的なひび割れ発生荷重および最大荷重を示す。

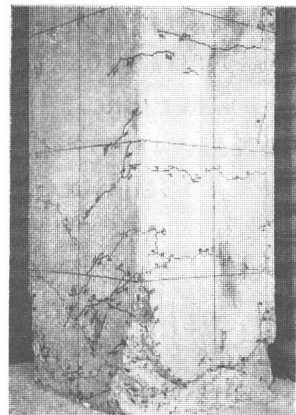
図-3 に各試験体の履歴曲線を示す。縦軸は転

表-1 使用材料の力学的特性

材料		降伏応力度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)
鉄骨フランジ	PL8	308	455	$2.03 \times 10^5$
	PL5	363	464	$1.94 \times 10^5$
主筋	D16	320	460	$1.98 \times 10^5$
	D6	340	516	$1.78 \times 10^5$
コンクリート		圧縮強度 (MPa)	引張強度 (MPa)	ヤング係数 (MPa)
		25.0	2.46	$2.51 \times 10^4$



S300 試験体



S600 試験体

図-2 最終破壊状況

表-2 ひび割れ発生荷重および最大荷重

試験体名	内蔵鉄骨長さ $s$ (mm)	曲げひび割れ $Q_n$ (kN)	曲げせん断ひび割れ $Q_b$ (kN)	付着ひび割れ $Q_c$ (kN)	コンクリートの圧壊 $Q_{cr}$ (kN)	最大荷重 $Q_{max}$ (kN)
RC	—	124( 0.22%)	158( 0.46%)	169( 1.77%)	176( 1.43%)	178( 1.13%)
		-112(-0.19%)	-150(-0.51%)	-161(-1.86%)	-161(-1.86%)	-162(-1.70%)
S300	300	127( 0.23%)	168( 0.51%)	195( 1.01%)	195( 0.82%)	208( 1.46%)
		-133(-0.23%)	-176(-0.51%)	-189(-0.72%)	-198(-1.84%)	-201(-1.70%)
S600	600	99( 0.13%)	154( 0.41%)	219( 2.01%)	226( 1.64%)	228( 5.00%)
		-115(-0.16%)	-139(-0.26%)	-204(-1.11%)	-216(-1.90%)	-216(-1.90%)
S900	900	127( 0.25%)	199( 0.90%)	213( 2.02%)	221( 2.00%)	225( 5.05%)
		-113(-0.21%)	-174(-0.47%)	-212(-2.00%)	-197(-0.71%)	-215(-1.75%)
S1200	1200	122( 0.24%)	163( 0.51%)	219( 2.38%)	136( 0.49%)	226( 5.01%)
		-103(-0.16%)	-129(-0.23%)	-210(-3.00%)	-221(-2.01%)	-221(-2.00%)
SRC	—	133( 0.19%)	208( 0.47%)	267( 2.37%)	276( 1.77%)	285( 5.02%)
		-119(-0.17%)	-168(-0.34%)	-228(-1.55%)	-261(-1.70%)	-265(-3.01%)

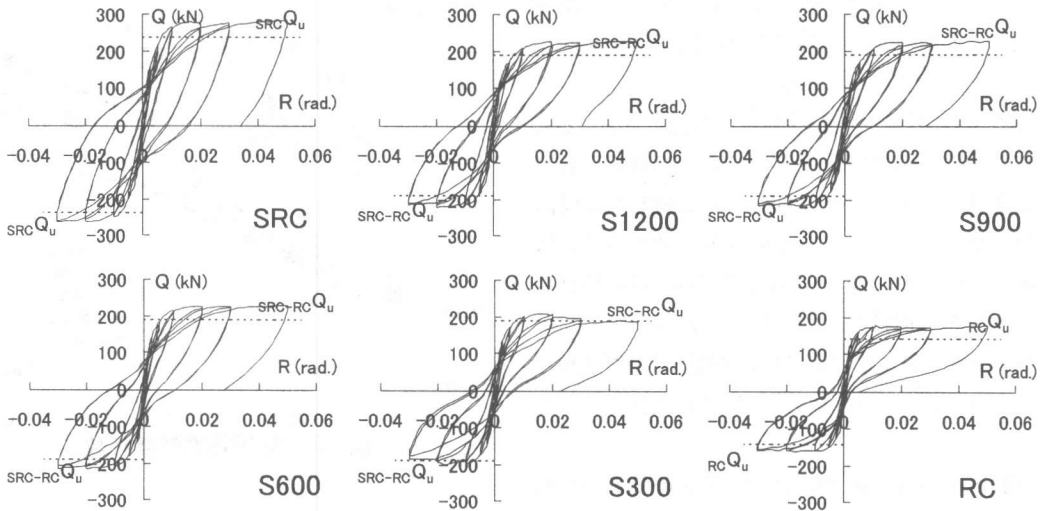


図-3 履歴曲線

倒モーメントを考慮した作用せん断力  $Q$ ，横軸は変位部材角  $R$  である。 $_{SRC}Q_u$ 、 $_{RC}Q_u$  は、それぞれ SRC および RC 柱の柱頭柱脚部の終局曲げ耐力によって決定されるせん断力、 $_{SRC-RC}Q_u$  は柱頭部は RC 断面、柱脚部は SRC 断面の終局曲げ耐力から決定されるせん断力である。RC、S300 試験体は除荷時の変形のもどりが大きい、他の試験体は、エネルギー吸収能力に優れたほぼ紡錘形の履歴曲線を示している。

図-4 に各試験体の履歴曲線の正載荷時における包絡線と柱材材軸方向の軸ひずみを示す。なお柱材材軸方向の軸ひずみ  $\epsilon_v$  は、上下の固定部間の鉛直変位  $\delta_v$  を部材長  $h$  で除した値である。S300、S600、S900 および S1200 試験体の最大耐力はほぼ同じである。S300 試験体を除く各試験体は、0.05 rad. で最大耐力を発揮しているが S300 試験体は 0.02 rad. 以降、若干耐力の低下が認められる。これは SRC 部材と RC 部材の切り替え部における局所的な破壊によるものと考えられる。なお、S600 試験体は S900、S1200 試験体よりも若干耐力が上昇している。これは S600 試験体のひび割れが他の試験体に比べ広範囲に分布していることから、それぞれの材端に生じる塑性ヒンジ間の距離が小さくなったためと推察される。各試験体の柱材材軸方向の軸ひ

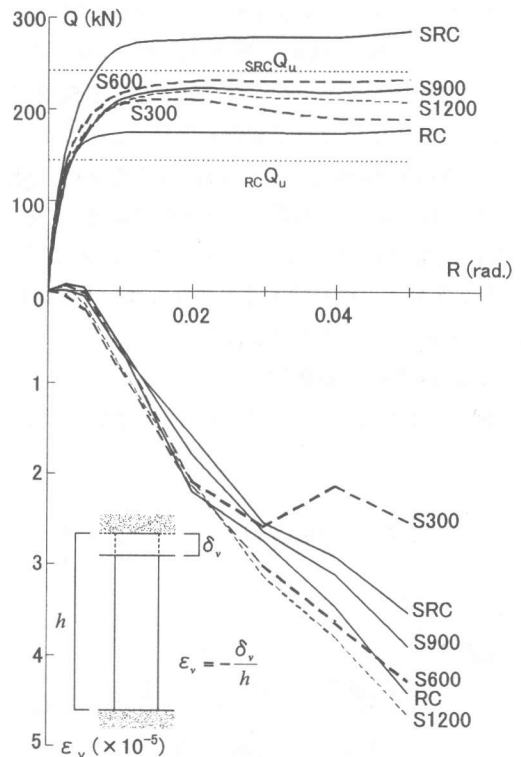


図-4 包絡線と材軸ひずみ

ずみは引張ひずみが生じ、変形の増大に伴って引張ひずみは大きくなっているが、S300 試験体では 0.03 rad. 以降のひずみの増分はなく、ほぼ一定の値を示している。これは、SRC 部材と RC

部材の切り替え部において、局所的な破壊が進行し、柱頭および柱脚部の塑性化が進展しなくなったためであると推察される。

図-5 に各試験体の等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  と変位部材角  $R$  の関係を示す。なお、等価粘性減衰定数は各サイクルの2回目の正載荷時の履歴面積に基づいて求めた。縦軸は等価粘性減衰定数  $h_{eq}$  である。部材角 0.01 rad. までは各試験体ともエネルギー消費量に違いは見られないが、部材角 0.01 rad. 以降においては、内蔵鉄骨の埋込長さが大きいほどエネルギー消費量も大きくなっている。

図-6 に SRC-RC 部材の RC 部分の変形から求められる部材角  $R_{RC}$  と SRC 部分の変形から求められる部材角  $R_{SRC}$  との関係を示す。縦軸は RC 部分の部材角  $R_{RC}$ 、横軸は SRC 部分の部材角  $R_{SRC}$  を示す。S600, S900 試験体は、 $R_{RC}$  の値に対して  $R_{SRC}$  の値が若干小さいが、RC 部分と SRC 部分はほぼ一体となって挙動している。しかしながら S300 試験体については、部材角 0.01 rad. 以降、 $R_{SRC}$  の値はほぼ一定であるのに対し、 $R_{RC}$  の値は急激に増大している。このことより、S300 試験体の切り替え部の位置では、不連続になっていることが推察される。

### 3.2 ひずみ推移状況

図-7 に S300 および S1200 試験体について、

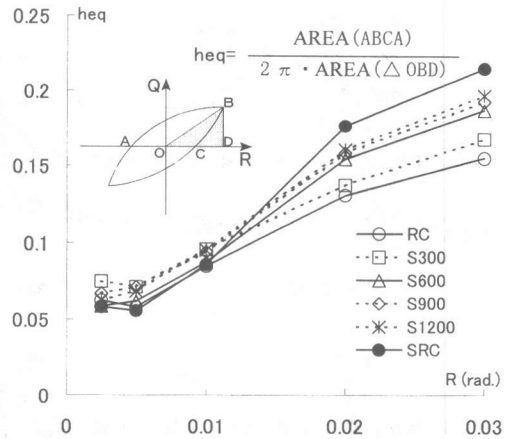


図-5 等価粘性減衰定数

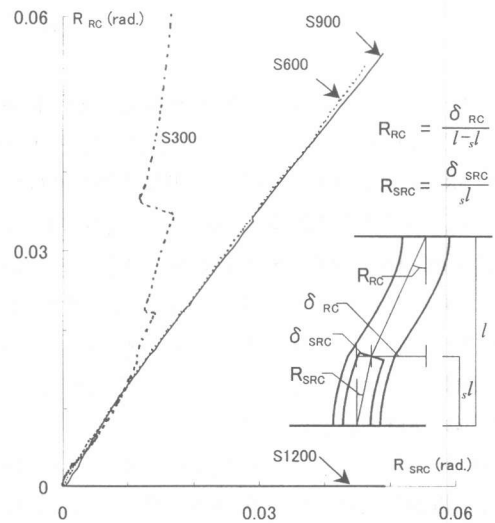


図-6  $R_{RC}$ - $R_{SRC}$  関係

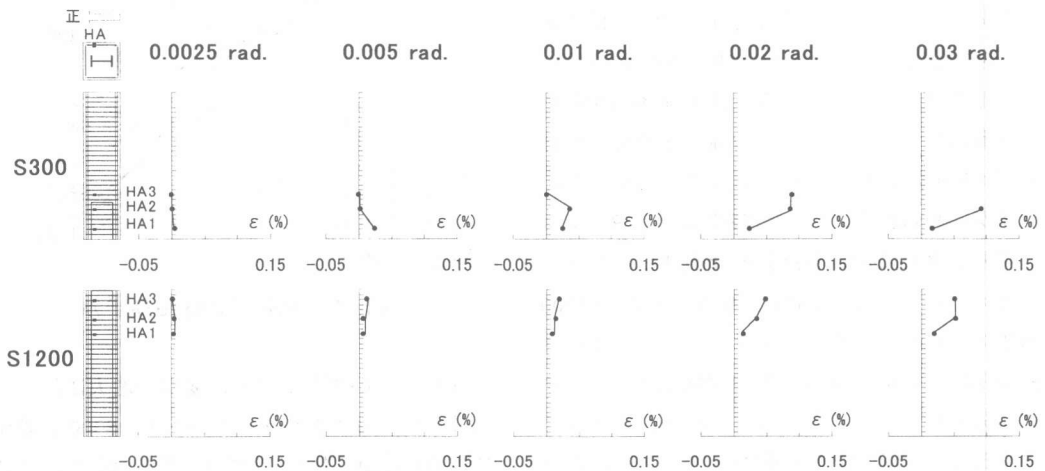


図-7 せん断補強筋の軸ひずみ分布

部材角が 0.0025, 0.005, 0.01, 0.02 および 0.03 rad. 時のせん断補強筋の軸ひずみの分布を示す。部材角が 0.0025 rad. 時は、材軸に沿ってほぼ一定のひずみ状態である。しかしながら、部材角が 0.005 および 0.01 rad. 以降になると HA2 および HA3 位置のひずみは降伏ひずみに達していないものの、他の位置のひずみに比べ、増大している。これは鉄骨フランジに作用する支圧力が反作用として、RC 部分を押し上げる力となり、この押し上げる力に対し、せん断補強筋に引張力が生じるためであると推察される。

図-8 に RC 試験体を除く各試験体について、変位部材角が 0.01 rad. 時の正載荷時における鉄骨フランジの軸ひずみ分布を示す。なお、ひずみゲージは試験区間中央部より両側に 300mm の間隔で、部材端部では 20mm 中央部よりの鉄骨フランジ外面に貼付されている。各試験体とも柱脚部の引張側ではほぼ降伏域に達しており、SRC 試験体を除く S300, S600, S900, S1200 試験体では、内蔵鉄骨の先端に近づくにつれひずみは減少している。

図-9(a) および (b) に RC 試験体を除く各試験体について、部材角が 0.0025, 0.005, 0.01 および 0.02 rad. 時の鉄骨フランジ面のひずみ測定値より求められた鉄骨の負担モーメントおよび軸力分布を示す。 $sM_p$  は S 部材の全塑性モーメントである。負担モーメントは SRC 試験体を除き各試験体とも、鉄骨先端がほぼ 0 で柱脚部で最

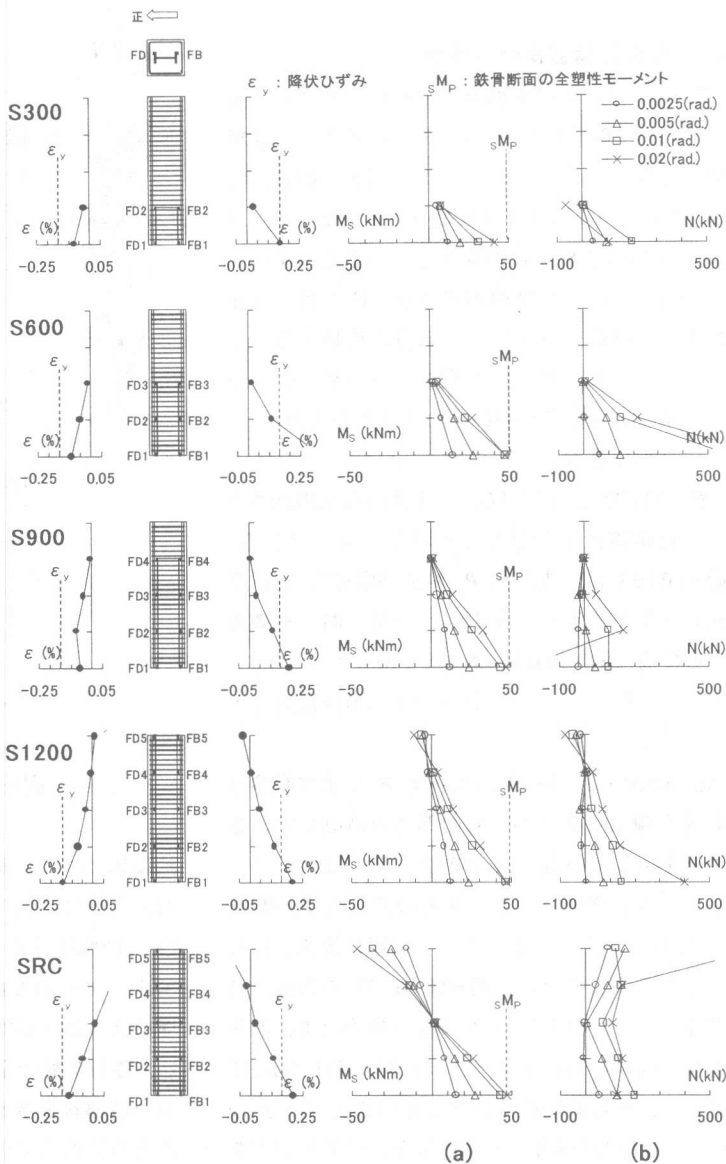


図-8 鉄骨フランジの軸ひずみ分布

図-9 鉄骨のモーメント・軸力分布

大となる分布状況を示している。S300 試験体を除く各試験体で柱脚部は S 部材の全塑性モーメント  $sM_p$  に達している。このことより S300 試験体では S 部材の性能が十分に発揮されていないことがわかる。また、鉄骨部分の負担する軸力分布をみると、各試験体とも引張力を受けており、変形の増大とともに引張軸力も増加している。

#### 4. 応力伝達機構の一考察

図-10 は前述の実験結果の知見に基づいて推察される SRC 部材から RC 部材への応力伝達機構を定性的に示したものである。図-10(A)は、RC 部材に埋め込まれた S 部材に、支圧力  $P_1, P_2$  および摩擦力  $S_1, S_2$  が作用していることを示している。これらの摩擦力および支圧力は、反作用として鉄筋コンクリート部分に作用する。なお、支圧力  $P_1, P_2$  は、鉄骨フランジ外面に作用する支圧応力度が一様に分布するものと仮定し、その合力で表現したものである。

図-10(B) および (C) は上述の抵抗機構を 2 つの抵抗機構に分離して表現したものである。図-10(B) は、支圧力  $P_1$  および摩擦力  $S_1$  が片側のフランジ面にも作用し、一对の偶力を構成する機構、図-10(C) は、残りの  $(P_2 - P_1), (S_2 - S_1)$  が片側のフランジ面に作用する抵抗機構を示している。

図-10(B-1), (B-2) は支圧力  $P_1$  および摩擦力  $S_1$  を分離し、各々が一对の偶力を構成していることを示している。図-10(B-1) の機構はコンクリートと鉄骨フランジ面との間に生ずる摩擦力  $S_1$  はコンクリートを介して主筋に伝達されることを意味している。図-10(B-2) の機構では鉄骨フランジの支圧力  $P_1$  による偶力は RC 部分を押し広げる力となり、この上下の支圧力  $P_1$  に対して、せん断補強筋に生じる引張力  $T$  が釣合い、この一对の引張力は RC 部分に斜め圧縮力を生じさせ、埋め込み区間に生ずるせん断力に対してトラス機構を構成して抵抗することを意味している。図-10(C-1) は、 $(P_2 - P_1)$  と  $(S_2 - S_1)$  が RC 部分に作用し、これらの力に対して、RC 部分はトラス機構を構成して抵抗することを示している。

#### 5. 結語

SRC-RC 柱の変形性状および SRC 部材から RC 部材への応力伝達に関して、内蔵鉄骨長さの影響を明らかにするために、繰返し载荷の 6 体の

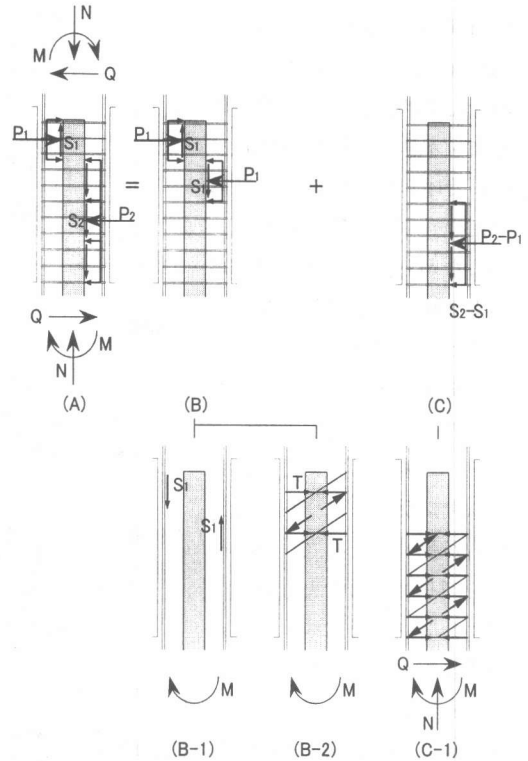


図-10 応力伝達機構

試験体について実験を行い、それらの結果の検討によって、以下のような結論が得られた。

- 1) 内蔵鉄骨長さの相違による最大耐力およびエネルギー消費能力の相違は僅かではあるが、埋め込み長さが部材長の 25% の S300 試験体では、鉄骨部材の全塑性モーメントが発揮されず、かつ破壊状況等から鉄骨断面の性能を発揮させるためには内蔵鉄骨長さが若干短いと考えられる。
- 2) 鉄骨部材のひずみ状況、モーメント分布およびせん断補強筋の軸ひずみ状況等から、支圧力および摩擦力に基づく応力伝達機構が提案された。

#### 参考文献

- 1) 日本建築学会：鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，1987 年
- 2) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説，1990 年
- 3) 若林 實，南 宏一，谷 資信，平野道勝：新建築学大系 42 合成構造の設計，彰国社，1982 年