

S/SRC構造の開発（第2報）

—柱降伏型構造の実験—

岡田 宏 竹本 靖
武田 寿一

Development of S/SRC Structure (Part 2) —Experiments on Column-Yielding Type—

Hiroshi Okada Yasushi Takemoto
Toshikazu Takeda

Abstract

This report describes the second series of experiments carried out on an S/SRC structure (steel-beam and composite steel-and-reinforced-concrete-column structure).

The first experiments were concerned with beam-collapsing specimens. Three additional specimens were built, which have the characteristic that columns collapse more quickly than beams yield. The states of cracking of concrete, ductile strengths and stress concentrations were observed. It was indicated that in order to use this type of structure for a high-rise frame system it is important to exercise care in details including beam-to-column connections.

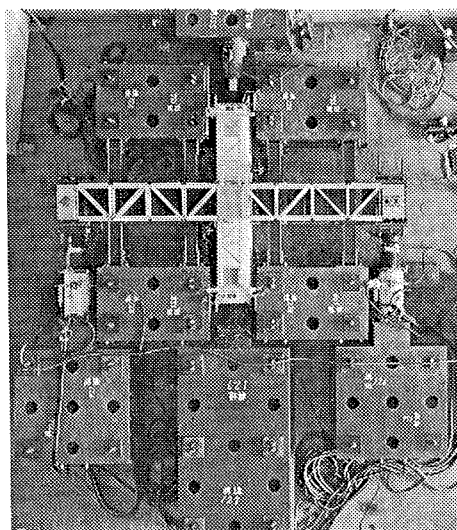
概要

はりが鉄骨（S）構造、柱が鉄骨鉄筋コンクリート（SRC）構造である、S/SRC 構造の、地震時の挙動について、前回のより降伏型供試体の実験に引続き、今回は柱の降伏および破壊が、はりの降伏に先行する、柱降伏型供試体の載荷実験を行なった。供試体の形状および、計測、検討内容は前回とほぼ同一であるが、今回はとくに柱断面の応力の流れに着目した。結果として、全体変形を中心とする挙動は、前回より幾分 RC 要素が強まるが、設計強度上は難点が見られず、じん性も十分である。ただし最終状態では、柱の局部破壊で決まるので、適当な補強法を勘案の上、高層フレームに用いるのが得策と思われる。

1. 序

前報告では、S/SRC 構造の、はり降伏型供試体の載荷実験で、S 造はりに塑性ヒンジが発生しても、SRC 柱は、崩壊せずにヒンジのホールドが可能であることを示した。今回の実験では、逆に SRC 柱が曲げ降伏後さらに曲げ終局耐力に達した状態にあっても、S 造はりが弾性挙動を示すような供試体を製作し、柱はり接合部（以下パネル部分と略称する）を含めた SRC 柱の曲げ挙動に着目することとした。中でも、柱はり接合部近傍での、はり柱相互の応力伝達の傾向は、そのまま S/SRC 構造の特色となるものと考えられるので、特に注意を払った。

供試体寸法、加力要領、測定内容など前回と若干の相違があるが、考え方は全く同一の基盤に立つ。



写真—1 実験の状況

2. 実験の概要

供試体は3. 体製作したが、図-1 a, b および表-1 に、概要および規模を示す。No. A と No. B は、柱はり断面とも同一であるが、パネル部分の形式が No. A は柱貫通型、No. B ははり貫通型である。これに対し No. C は柱断面の鉄筋比を上げて RC 要素を高くし、はりは柱の曲げ耐力の上昇に見合うサイズアップをしたものである。はりの材種は、曲げ降伏耐力を高めるため、SM50A を用いた。

表-2 には供試体構成素材の性能を示す。フープ筋

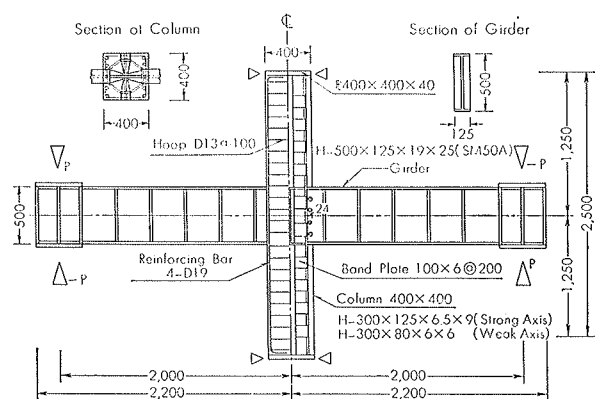


図-1 a 供試体 No. A

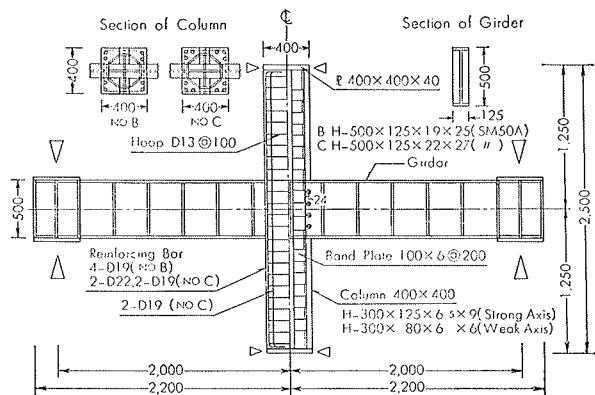


図-1 b 供試体 No. B, C

供試体	NO. A	NO. B	NO. C
柱はり接合部形式	柱貫通型	はり貫通型	はり貫通型
はり部材*	H-500×125×19×25	同左	H-500×125×22×27
柱部材	X	H-300×125×6.5×9	同左
	Y	H-300×80×6×6	同左
鉄筋	8-D19	同左	12-D19
パネル寸法	600×300	同左	同左
パネル部分	板厚	PL-6.5	PL-19*
	バンド	2-F.B 115×6	同左
柱設計耐力	rMs	10.2(tm)	同左
	rMc	10.8(tm)	同左
N/NY	0.2	同左	同左
備考	HOOP D-13 @ 100	同左	HOOP D-13 @ 100 パネル水平方向 PL-19*

* SM50A 使用

表-1 供試体主要データ

D-13は、柱のせん断降伏耐力を高める意図で、溶接組立てにより使用した。コンクリートは、早強ポルトランドセメント使用で、設計強度 210kg/cm² とし、粗骨材として粒径10mm以下の豆砂利を使用した。

供試体コンクリートの打設は、実状を想定して柱を垂直に立てた状態で行った。

図-2 および写真-1 に載荷要領を示す。柱軸力は 0.2Nr (N=85t) として手動式油圧ジャッキを、はり端加力用に50t サーボパルサを使用している。はりの面外変形を拘束するため、溝型鋼による治具を使用した。

全体変形、パネル部分変形の測定要領は前回と同一である。ひずみ測定にあたり、今回は、パネル部分周辺の柱断面ひずみ分布に着目した。

3. 実験結果

3.1. P-δ 関係

表-3 に各耐力に関する実験値および解析値を示す。図-3 には各供試体の P-δ 関係を示す。No. A は層高比で1/450~1/30まで合計8.5サイクルの載荷を行っている。No. B は最大耐力の近くまで、剛性低下が少

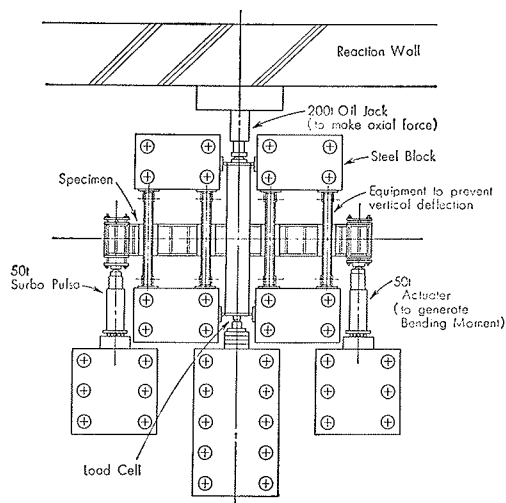


図-2 加力方法

1. 鉄骨素材 (SS41)					2. 鉄筋 (SD30)				
* SM50A									
板厚 (mm)	σ_y (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	E (×10 ³) (t/cm ²)	伸び (%)	径 (mm)	σ_y (t/cm ²)	σ_{max} (t/cm ²)	E (×10 ³) (t/cm ²)	伸び (%)
4.2	3.04	3.62	1.82	27.8	13	3.94	5.79	1.72	13.8
6.5	3.01	4.19	1.83	30.4	16	3.75	5.55	1.80	17.9
6.6	2.91	4.41	1.77	28.6	19	3.96	5.96	1.82	16.9
9.3	3.73	5.99	1.81	23.8					
8.6	2.56	4.38	1.81	29.6					
16.1	3.40	5.01	1.88	29.9					
19.1*	3.57	5.02	1.87	28.1					
22.9*	3.23	4.93	1.87	35.2					
26.1*	3.32	5.18	1.91	35.7					
28.3*	5.46	6.42	1.96	22.2					

3. コンクリート(早強セメント使用)			
σ_{max} (t/cm ²)	E (×10 ³) (t/cm ²)	スランプ (cm)	
265	1.56	20.5	

表-2 供試体構成素材の性能

	はり降伏 耐力(計) (t)	柱はり接合部 パネル耐力(計) (t)		柱 耐 力 (計)					実 験 結 果		
		*	**	(t) P design (tm) (M design)	(t) PY (t) (My)	(t) Pu (tm) (Mu)	曲げびびわれ Per (t) (Mcr) (tm)	せん断降伏 Ps (t) (Ms) (t)	PMax (t)	初きれつ発生 Per (t)	破 壊 事 由
NO. A	35.7	6.0	15.3	13.2 (21.0)	25.3 (40.4)	28.7 (45.7)	6.7 (10.7)	35.4 (57.5)	23.8	5.0	パネル部分 ウェブ、水平リブ 破断
NO. B	35.7	19.7	28.3	13.2 (21.0)	25.3 (40.4)	28.7 (45.7)	6.7 (10.7)	35.4 (57.5)	29.1	—	柱フランジ破断
NO. C	64.9	20.5	29.0	14.6 (23.2)	28.9 (46.0)	32.0 (51.0)	6.9 (11.0)	35.4 (57.5)	28.5	5.0	柱フランジ破断

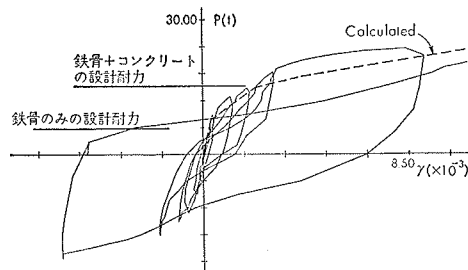
* 鋼構造計算規準解説による。 ** $\sigma_y/\sqrt{3} \cdot t_w + 0.3F_c B_e \geq (2M_{bu} - Q_c b_s) / j_b j_c$ による。

表—3 供試体の耐力

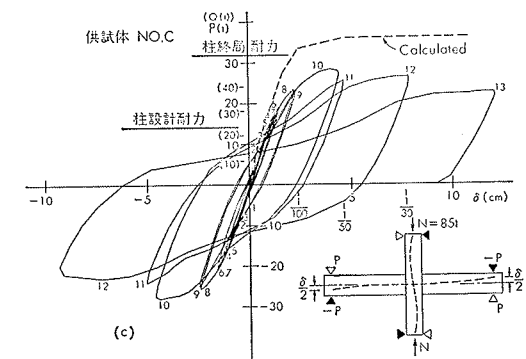
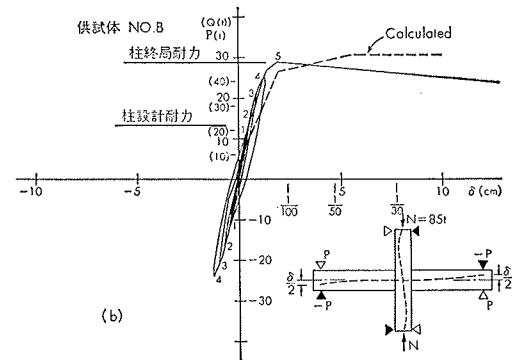
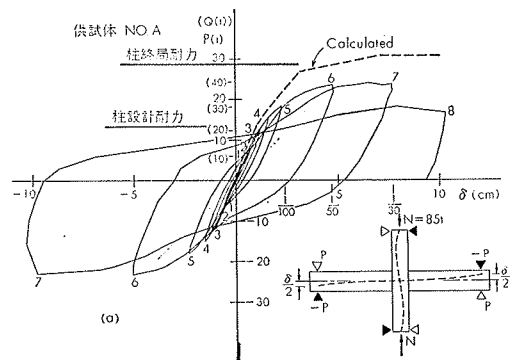
なく、荷重を上昇させたところ、+5サイクルのP=29.1tでパネル部分傍の柱フランジの破壊で変形が急増した。No. C は1/800~1/20まで合計13サイクル加力し、とくに1/200, 1/150, 1/100では2回宛加力した。No. A のループは、はり降伏型シリーズでみられたばうすい型ループに、幾分かの逆S型要素が加わったループが、弾塑性域でみられる。No. B のループは、最大耐力の寸前まで剛性低下の少ないループとなっている。No. C は、No. A よりさらに逆S要素の多いループであるが、塑性域での剛性低下が、No. A よりおそくなっている。図—3 (a)(b)(c)の中に破線で計算線を示すが、No. A, C は塑性域で計算値の方が高く、No. B は逆に終局耐力に近いところで計算値の方が低い。なお計算線は前報告で示した解析法によっている。最大耐力時の変形は No. A が6.6cmで層高比1/30, No. B が2.0cmで1/115, No. C が4.2cmで1/55であった。

3.2 P-γ 関係

図—4に No. A のP-γ 関係を示す。また図中に破線で計算線を示す。No. A は柱貫通型で、パネル部分は、柱H型鋼のウェブ (E-6.5) がそのまま貫通している為比較的軟かな挙動を示している。併記した耐力値の内、S+RC の耐力は、パネル挙動の弾塑性域にあり $\gamma=2 \times 10^{-3}$ の位置にあたっている。(B, Cは割愛)



図—4 供試体 No. A パネルのP-γ 関係



図—3 供試体の荷重—全体変形(P-δ)関係

3.3. P-ε 関係

図-5に各供試体の柱鉄骨フランジ(パネル部分より5cmで、位置は各図の右肩に略記)のP-ε関係を示す。図中に、ひずみが-2000μを越えたときの荷重を記す。表-3の耐力計算値の内、降伏耐力値と比較すると、フランジの降伏が著しく早いことが判る。表中の柱設計荷重(素材降伏応力度による降伏応力度設計荷重)がむしろフランジ降伏の目安といえよう。図-6には、パネル部分周辺の柱断面ひずみ分布を示す。Y-Y断面はパネル部分の断面、Z-Z断面は、図-4で示した位置を含む断面である(X-X断面は、柱軸力の影響のみなので割愛した)。Y-Y断面ではひずみ変化が比較的平面保持の傾向を示している。相対的にZ-Z断面では、鉄骨フランジのひずみの伸びが著しいのに反し、鉄筋のひずみが少なく、平面保持が完全

に崩れている。図-6では、実験値の終局耐力に近い荷重のときのひずみ分布を示したが、設計荷重あたりでも、鉄骨ひずみの伸び、鉄筋ひずみのおくれの傾向が示されており、鉄骨フランジへの応力集中が載荷頭初からの定性的な現象とみなされよう。柱の曲げ挙動での平面保持の不成立は、コンクリートのポンドを介した応力伝達の不足、換言すれば、コンクリートのポンドの不足であり、柱コンクリート面のきれつ増大によって本状態が進行し、はりからの応力の流れが柱鉄骨フランジに、より集中することになる。しかし、パネル部分からある程度遠ざかると、柱断面ひずみの平面保持が成り立つ状態に入ることが、きれつ状況によって推定される。なお最終的にはZ-Z断面のひずみ値から鉄骨が完全弾塑性状態に、鉄筋がほぼ降伏状態に入っていた。

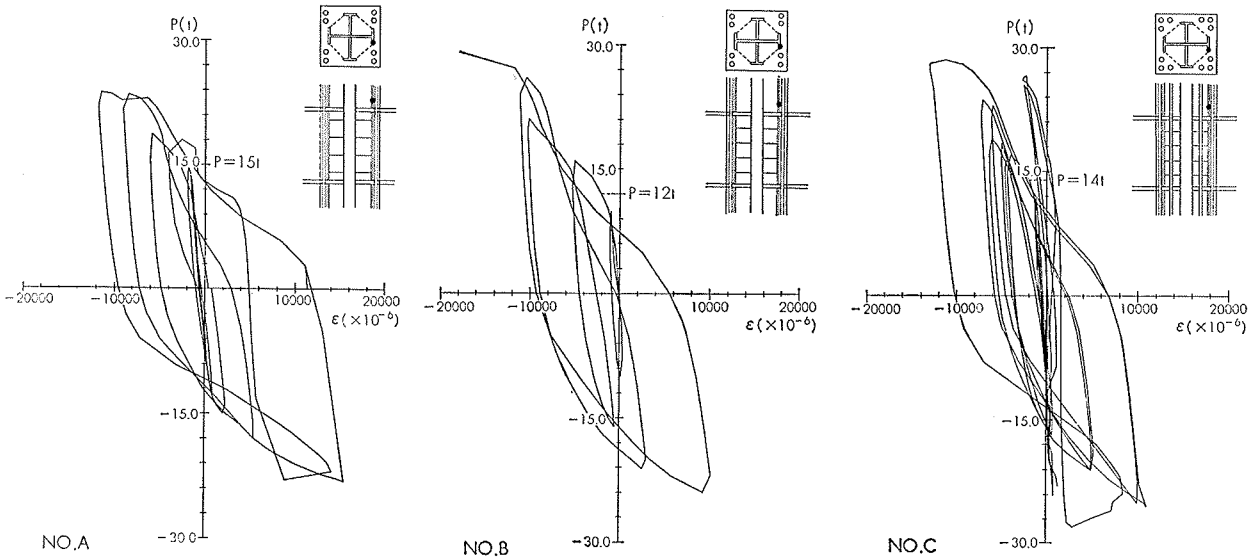


図-5 柱鉄骨フランジのP-ε 関係

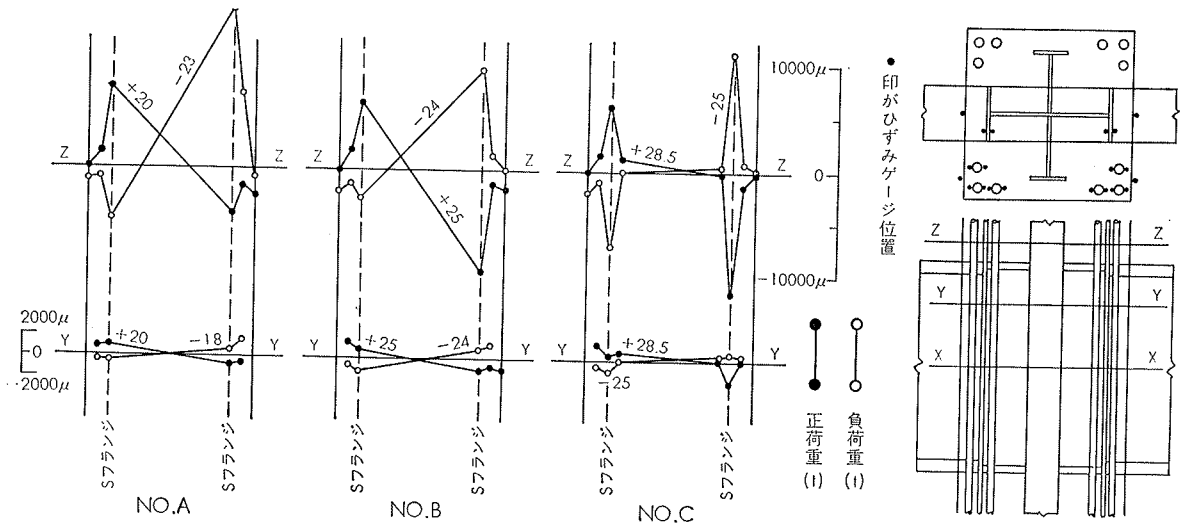


図-6 柱断面のひずみ分布

3.4. きれつの発生および最終状況

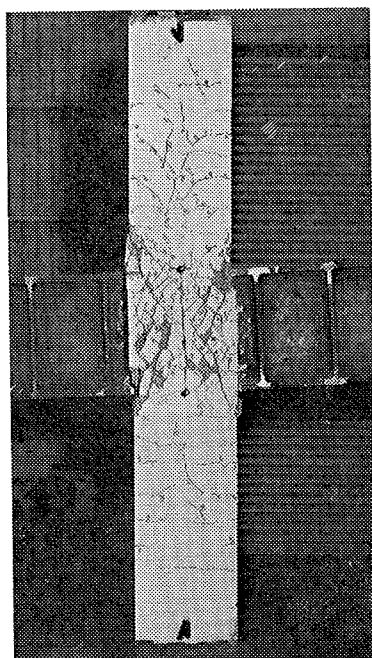
表一三に曲げひび割れ発生荷重と実験における初きれつ発生荷重を記す。パネル部分のせん断きれつの発生は、局部的なものを除くと、設計荷重あたりであった。設計荷重時点では、このほか曲げきれつの多少の拡がりが見られたが、No. B には殆んどみられなかった。このことは No. B の P-ε 関係からも推察される。

写真一二に供試体の最終状況、写真一三に供試体鉄骨の破壊状況を示す。写真一二から、はり鉄骨仕口部分まわりのコンクリートのはく落および柱主筋、フープ筋の露出が判る。パネル部分のせん断きれつは著しいが、No. A はパネル自体の残留変形も認められる。

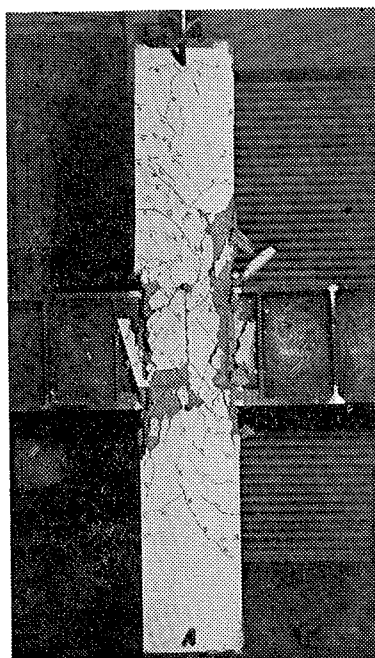
写真一三から No. A の鉄骨のパネル水平リブ部分の破壊 No. B, C の柱鉄骨フランジの破断およびスカラップまわりの柱鉄骨ウェブの破壊が認められる。なお鉄筋に関しては No. B の主筋の一部に座屈が認められた。

4. むすび

S/SRC 構造柱降伏型供試体の載荷実験により、全体的な荷重変形挙動、応力の流れおよび集中、きれつの発生と破壊等について、はり降伏型との相違を念頭に置いて検討を行い、S/SRC 構造開発の一資料とした。



(a) 供試体 No. A

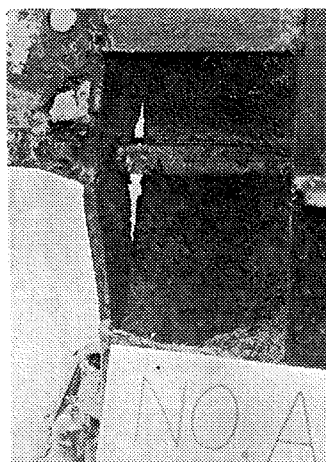


(b) 供試体 No. B



(c) 供試体 No. C

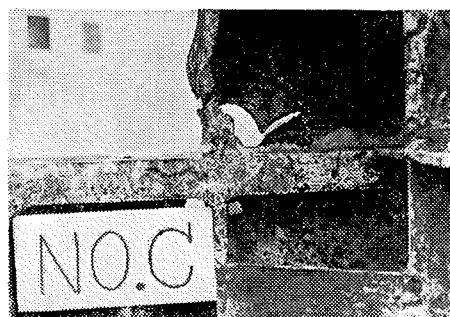
写真一二 供試体の最終状況



(a) 供試体 No. A



(b) 供試体 No. B



(c) 供試体 No. C

写真一三 供試体鉄骨の破壊状況