

7. 「柱 RC 梁 S ハイブリッド構法」の開発および適用事例

Development and Application of a S-beam to RC-column Hybrid-structure

波田雅也* 竹内健一** 海野敦成***

－概要－

商業施設や物流施設などの建物は、階高が高く大スパン架構を要求されるため、鉄骨造(以下、S 造)の採用が多い。しかし、S 造では溶接、耐火被覆、柱脚処理などの施工がコストアップの要因となるため、近年、施工性・経済性に優れた混合構法が着目されている。そこで筆者らは、剛性が高い鉄筋コンクリート造(以下、RC 造)の柱と、大スパン架構に対応できる S 造の梁を合理的に組み合わせた「柱 RC 梁 S ハイブリッド構法」(以下、RCS 構法)を開発し、指定性能評価機関の性能証明を取得した。本報では、RCS 構法の概要ならびに柱梁接合部性能確認実験の概要について述べるとともに、RCS 構法の適用事例について述べる。

－技術的な特長－

RCS 構法は、柱を剛性の高い RC 柱、梁を大スパン架構に対応できる S 造とした架構である。柱梁接合部は、XY 両方向の S 梁が貫通する“梁貫通形式”であり、せん断補強筋形式とふさぎ板形式の 2 形式がある(図 1)。本論で述べる柱梁接合部性能確認実験の結果を基に、保証すべき構造性能を満足する RCS 構法の設計指針を制定した。また、柱に小断面の鉄骨を内蔵した鉄骨鉄筋コンクリート造(以下、SRC 造)とすることで、鉄骨建方を先行して工期短縮を図ることが可能な「柱 SRC 梁 S ハイブリッド構法」(以下、SRCS 構法)も開発した(図 2)。本報では、4 階建て、延床約 3,300m²の物流倉庫の新築工事に RCS 構法と SRCS 構法を併用した事例について述べる(写真 1)。RCS(SRCS)構法を採用することで、RC(SRC)造の柱によって経済的に建物剛性を高め、S 造の梁によって軽量で長スパンの大空間を実現した。

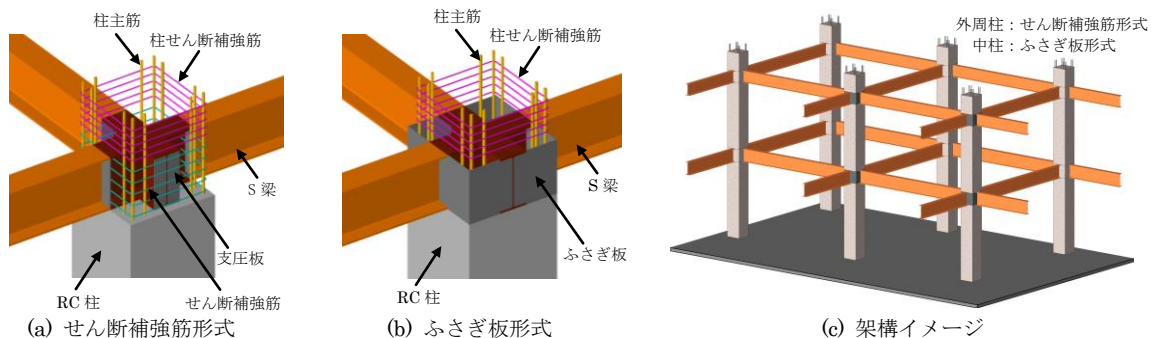
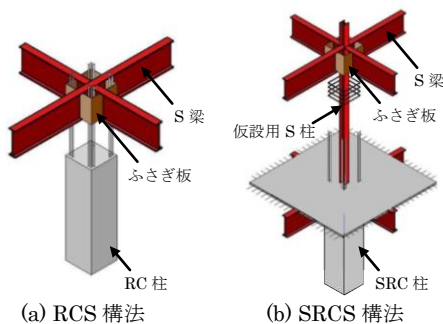
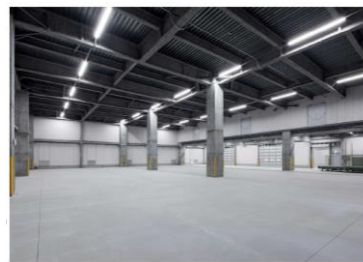


図 1 柱 RC 梁 S ハイブリッド構法(RCS 構法)の概要



(a) RCS 構法 (b) SRCS 構法

図 2 RCS 構法と SRCS 構法の比較



(a) 倉庫内部全景



(b) 建物外観全景

写真 1 物流倉庫の新築工事への適用事例

※本報の一部は、青木あすなろ建設(株)、(株)浅沼組、(株)奥村組、西武建設(株)、大末建設(株)、東亜建設工業(株)、西松建設(株)、(株)安藤・間、(株)長谷工コーポレーションの 9 社による共同研究の成果を纏めたものである。

*技術研究所耐震リニューアル研究室 **東京建築本店設計部 ***大阪建築本店工事部

「柱 RC 梁 S ハイブリッド構法」の開発および適用事例

Development and Application of a S-beam to RC-column Hybrid-structure

○波田 雅也*

竹内 健一**

海野 敦成***

Masaya HADA

Kenichi TAKEUCHI

Atsunari UNNO

ABSTRACT Steel-framed structures are frequently adopted for commercial and physical distribution facilities because they are high-storied and require a large-span frame. In steel-framed structures, however, welding, fireproof coating and column base finishing increase the cost. Hybrid structures have recently been gathering attention because of their ease of construction and cost performance. The authors have developed a reinforced concrete column-steel beam hybrid method (RCS method) that combines highly rigid reinforced concrete columns and steel beams that can constitute a large-span frame, and have acquired performance certification from a designated performance evaluation organization. This paper outlines the RCS method, and describes structural tests concerning the beam-column joint and a case of application of the method to the building of a new distribution warehouse.

Keywords 柱 RC 梁 S, 混合構造, 柱梁接合部, せん断補強筋形式, ふさぎ板形式, 構造実験, 適用事例
Reinforced Concrete Column and Steel Beam, Hybrid Structure, Beam-column Joint, Shear Reinforcement Type, Closing Plate Type, Structural Tests, Case Studies

1. はじめに

商業施設や物流施設などは、階高が高く大スパン架構を要求されるため、鉄骨造(以下、S 造)の採用が多い。しかし、S 造では溶接、耐火被覆、柱脚処理などの施工がコストアップの要因となるため、施工性・経済性に優れた混合構造が着目されている¹⁾。そこで筆者らは、剛性が高い鉄筋コンクリート造(以下、RC 造)の柱と、大スパン架構に対応できる S 造の梁を合理的に組み合わせた「柱 RC 梁 S ハイブリッド構法」(以下、RCS 構法)を開発²⁻⁴⁾し、指定性能評価機関の性能証明を取得した⁵⁾。本報では、RCS 構法の概要ならびに柱梁接合部の性能確認実験について述べるとともに、RCS 構法の適用事例について述べる。

2. RCS 構法の概要

RCS 構法は、柱を剛性の高い RC 柱、梁を大スパン架構に対応できる S 造とした架構である。構造部材である柱・梁を単体で見れば、RC 造・S 造と変わらないが、柱梁接合部に特徴がある。柱梁接合部の形式を図 1 に示す。柱梁接合部は、鉄骨梁が接合部内を貫通した形式であり、接合部周囲を鋼板で覆い補強する形式(以下、「ふさぎ板形式」)と接合部にせん断補強筋を配置して補強する形式(以下、「せん断補強筋形式」)の 2 形式としている。RCS 構法の架構イメー

ジを図 2 に示す。図 2 の例では、施工性に優れた「ふさぎ板形式」を中柱、施工性は劣るものの建物外側に鋼材を露出させない「せん断補強筋形式」を外周柱と

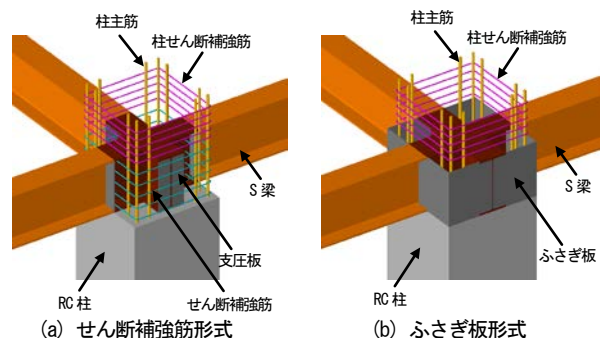


図 1 柱梁接合部の形式

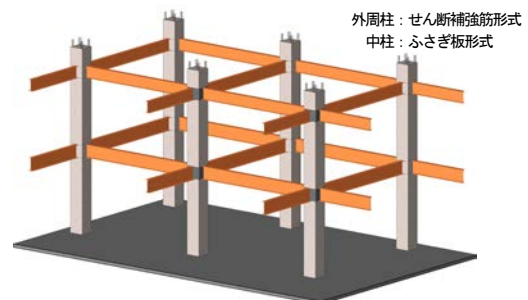


図 2 架構イメージ

*技術研究所 耐震リニューアル研究室

**東京建築本店 設計部

***大阪建築本店 工事部

3. 構造実験

本章では、RCS 構法で用いる柱梁接合の構造性能を確認するために行った構造実験について示す。

3.1 試験体

試験体の形状および寸法を図3に、試験体の諸元を表1に示す。試験体は、実建物の1/2.5程度の縮尺で設計された十字形、ト字形、T字形架構である。試験体数は、それぞれの架構形式について、柱梁接合部をせん断補強筋で補強し柱梁接合部の境界面に支圧板を設けた「せん断補強筋形式」、柱梁接合部を鋼板で覆う「ふさぎ板形式」の2体とし、合計6体とした。十字形およびト字形試験体は、高強度コンクリート $F_c=60\text{N/mm}^2$ 、柱主筋にSD490を用いた場合の構造性能の確認、T字形試験体は、最上階に機械式定着金物を採用した場合の影響、さらに、ふさぎ板形式については柱主筋にSD490を使用した際の定着性能の確認を実験目的とした。また、せん断補強筋形式のト字形試験体 No.5 については、鉄骨梁が建物外周部に突出しないディテールを想定し、梁鉄骨の柱梁接合部への埋め込み長さを柱せいおよび幅の90%(360mm)とした。試験体に使用した鉄筋、鋼板、コンクリートの材料試験結果をそれぞれ表1～表4に示す。

表1 試験体諸元

試験体	架構形状	Fc (N/mm ²)	柱		梁	接合部	想定破壊形式
			主筋	せん断補筋	断面寸法 (mm)	補強形式	
No.3	十字形	60 12-D19 (SD490) pg=2.15%	2-S6@60 (KSS785) pw=0.27%	BH-360×130×6×16	せん断補筋筋形式 2-D6 (SD390) × 6組 pw=0.32%	接合部せん断破壊	
No.4				BH-380×160×6×19	ふさぎ板形式 PL-3.2 (SS400) pw=1.60%*		
No.5	ト字形			BH-360×130×6×16	せん断補筋筋形式 2-D6 (SD390) × 7組 pw=0.40%	梁曲げ破壊	
No.6				BH-380×160×6×19	ふさぎ板形式 PL-3.2 (SS400) pw=1.60%*		
No.1	T字形	36 12-D19 (SD390) pg=2.15% 12-D19 (SD490) pg=2.15%		BH-270×110×6×16	せん断補筋筋形式 2-D6 (SD390) × 4組 pw=0.32%	柱曲げ破壊	
No.2					ふさぎ板形式 PL-3.2 (SS400) pw=1.60%*		

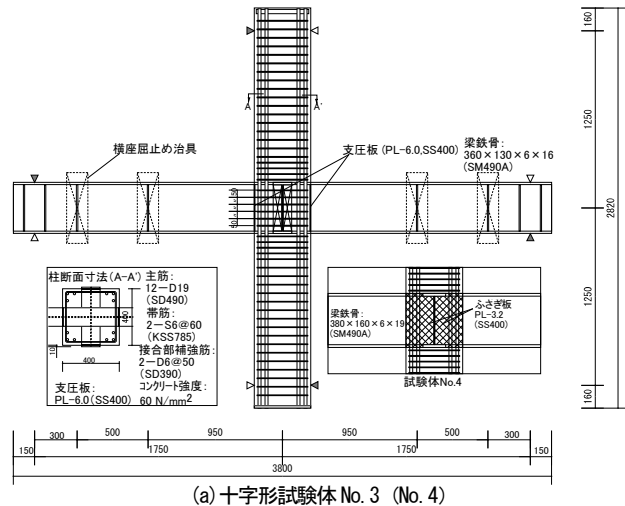
共通事項 階高:h=2500mm, スパン:L=3500mm, 柱断面: □-400×400mm
*: ふさぎ板を接合部せん断補強筋として換算した。

表2 鉄筋の材料試験結果

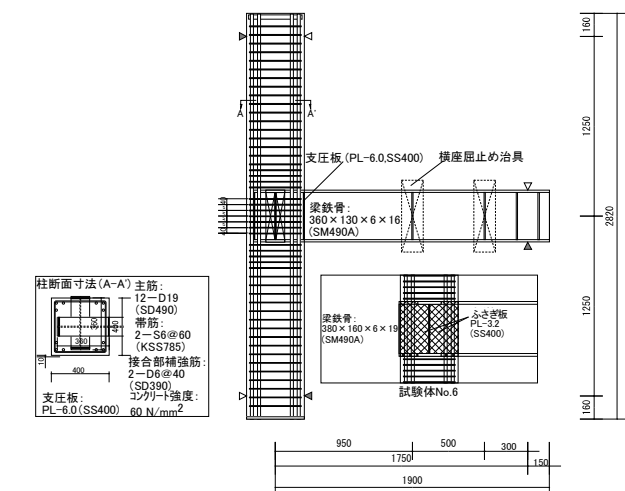
使用部位	使用試験体	呼び名	鋼種	降伏点 σ_y (N/mm^2)	引張強度 σ_u (N/mm^2)	伸び率 (%)
柱主筋	No.1	D19	SD390	429	606	21
	No.2, 3, 4, 5, 6	D19	SD490	531	715	19
柱せん断補強筋	全試験体	S6	KSS785	976	1196	12
接合部せん断補強筋	No.1, 3, 5	D6	SD390	353	571	27
定着部拘束筋	No.1, 2					
かんざし筋	No.1, 2	D10	SD295A	349	492	29

表3 コンクリートの材料試験結果

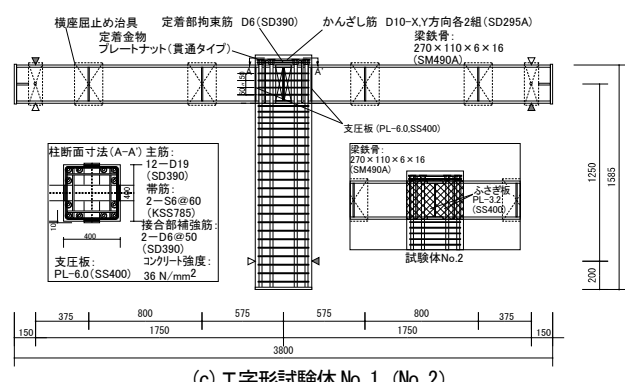
使用試験体	圧縮強度 σ_B (N/mm^2)	σ_B 時ひずみ ϵ_{co} ($\times 10^{-3}$)	ヤング係数 E_c (kN/mm^2)	割裂強度 σ_t (N/mm^2)	単位容積重量 ρ (kN/mm^3)
No.1, 2	47.9	2.16	34.2	3.63	23.1
No.3, 4, 5, 6	64.9	2.37	38.0	5.10	23.0



(a) 十字形試験体 No. 3 (No. 4)



(b) ト字形試験体 No. 5 (No. 6)



(c) T字形試験体 No. 1 (No. 2)

図3 試験体の形状および寸法

表4 鋼板の材料試験結果

使用箇所		使用試験体	公称厚さ	材質	降伏点 σ_y (N/mm ²)	引張強度 σ_u (N/mm ²)	伸び率 (%)	降伏ひずみ ϵ_y ($\times 10^{-3}$)
梁	ウェブ	No.1, 2, 3	PL-6.0	SM490A	410	554	24	2.00
		No.4, 5, 6			404	558	24	1.97
	フランジ	No.1, 2	PL-16	SM490A	351	524	28	1.71
		No.3, 5			No.4, 6	340	525	27
支圧板		No.1, 3, 5	PL-6.0	SS400	309	469	28	1.51
ふさぎ板		No.2, 4, 6	PL-3.2	SS400	354	453	36	1.73

3.2 実験方法

各架構形状における載荷装置を図4に示す。十字形およびT字形試験体は、柱に一定軸力を加えた状態で押し引き型油圧ジャッキを用いて両梁鉄骨先端の加力点の変位量を(十字形は逆対称に)制御して加力した。載荷軸力を N とした時の軸力比 η は、十字形試験体では $\eta = N / (F_c \times \text{柱断面積}) = 0.2$ 、T字形試験体では $\eta = 0.1$ とした。 F_c は、柱コンクリートの目標圧縮強度($=60\text{N/mm}^2$)の値を用いた。T字形試験体は、柱先端部の反曲点位置に押し引き型油圧ジャッキを用いて水平方向に加力した。また、滑車と錘を用いて、軸力は作用しないようにした。載荷スケジュールは、目標層間変形角 $R=5, 10, 20, 30, 40, 50 (\times 10^{-3})\text{rad}$ において2サイクルずつの正負交番繰り返し載荷を行った後、正加力方向へ $R=100 \times 10^{-3}\text{rad}$ まで単調載荷とした。なお、試験体 No.1(T字形、せん断補強筋形式)は、 $R=50 \times 10^{-3}\text{rad}$ の2サイクルを省略した。

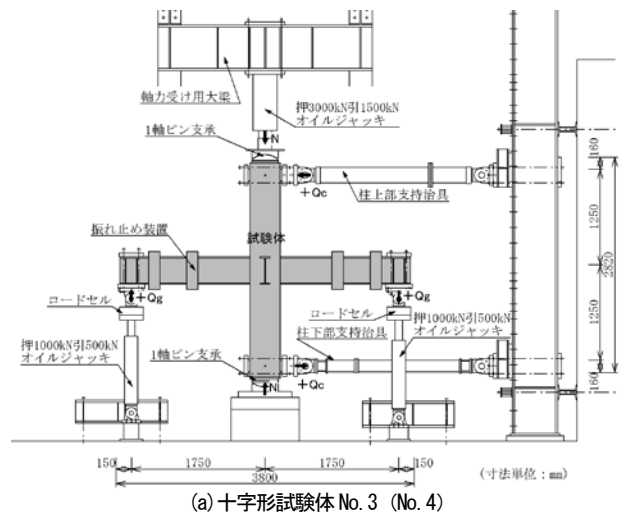
3.3 実験結果(破壊状況)

各試験体の実験終了後の最終破壊状況とふさぎ板を外した柱梁接合部の損傷状況を写真1に示す。

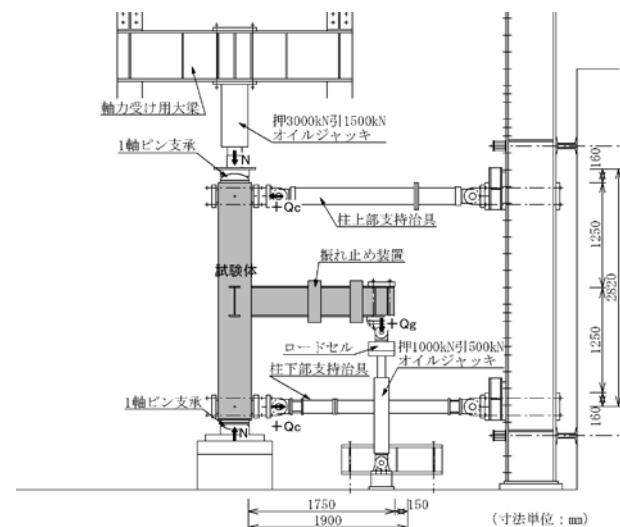
(a) 十字形試験体 (No. 3、No. 4) No.3 では柱曲げひび割れ発生後の $R=8.5 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に柱梁接合部に斜めひび割れが発生し、その後、柱材端部の柱主筋に沿って進展した。No.4 では柱材端部の曲げひび割れが多く生じたが、同ひび割れ幅は拡大せず、ふさぎ板に顕著な変形は見られなかった。実験後、ふさぎ板を外した接合部内部の損傷状況は、ひび割れ幅が 1mm を超えるような斜めひび割れも見られず、ふさぎ板の拘束効果により No.3 と比較して明らかに損傷が少ない状況であった。

(b) T字形試験体 (No. 5、No. 6) No.5 では柱曲げひび割れ発生前の $R=5.0 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に柱梁接合部に斜めひび割れが発生し、層間変形角が増大するとともに同ひび割れは進展した。梁鉄骨ウェブの局部座屈は、柱面から $1.0B_D$ (B_D : 梁鉄骨せい $=360\text{mm}$) 程度の範囲まで生じた。No.6 では柱材端部の曲げひび割れが多く生じたが、同ひび割れ幅は拡大しなかった。また、ふさぎ板の顕著な変形やふさぎ板内部の損傷も殆ど見られなかった。梁鉄骨ウェブの局部座屈は、柱面から $1.5B_D$ ($B_D=380\text{mm}$) 程度の範囲まで生じた。なお、No.5 において梁鉄骨の埋め込み長さによる影響は見られなかった。

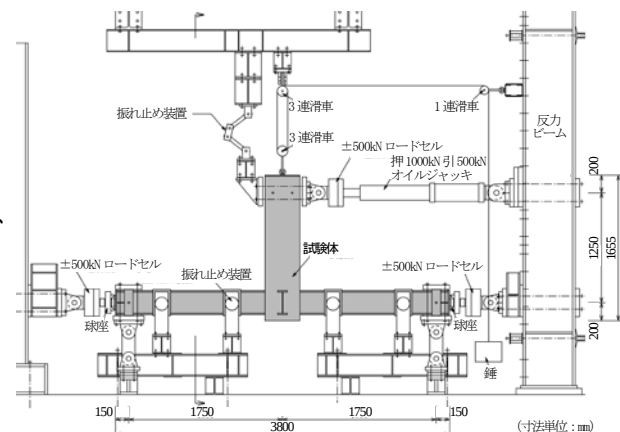
(c) T字形試験体 (No. 1、No. 2) No.1 では柱曲げひび割れ発生後の $R=6.9 \times 10^{-3}\text{rad}$ 時に柱梁接合部に斜めひび割れが発生し、その後、柱材端部の柱主筋に沿って進展した。No.2 ではふさぎ板の顕著な変形は



(a) 十字形試験体 No. 3 (No. 4)



(b) T字形試験体 No. 5 (No. 6)



(c) T字形試験体 No. 1 (No. 2)

図4 載荷装置

見られず、実験後、ふさぎ板を外した接合部内部の損傷状況は、柱主筋の抜け出しに伴い、接合部内コンクリートに扇状の膨らみが見られたが、斜めひび割れや柱材端部コンクリートの剥落について、接合部内部への進展は見られなかった。

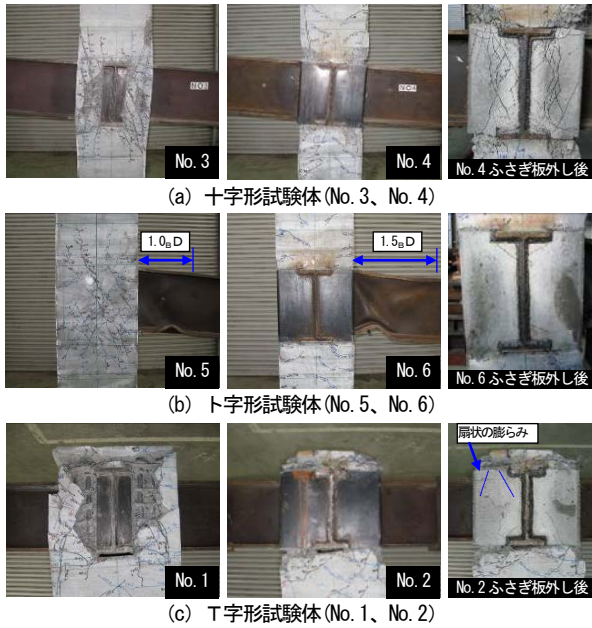


写真1 最終破壊状況

3.4 実験結果 (荷重－変形関係)

せん断力と層間変形角の関係を図5に示す。 Q_g は梁せん断力、 Q_c は柱せん断力、 R は層間変形角を示し、限界層間変形角 R_{80} は、耐力が最大耐力の80%に低下した時の層間変形角を示す。

(a) 十字形試験体 (No. 3, No. 4) 両試験体ともに、 $R=5.0 \sim 5.5 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に柱材端部に曲げひび割れが発生した。その後、接合部内ウェブのせん断降伏等を経て、せん断補強筋形式の No.3 は接合部のせん断補強筋の引張降伏が生じた後に最大耐力に達し、ふさがり板形式の No.4 はふさがり板のせん断降伏が生じた後に最大耐力に達した。最大耐力後は、No.3 では接合部斜めひび割れ、No.4 では柱材端部コンクリートの剥落が進行して徐々に耐力が低下した。 R_{80} は、No.3 で $100 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上、No.4 で $47.2 \times 10^{-3} \text{rad}$ であった。

(b) ト字形試験体 (No. 5, No. 6) 両試験体ともに、 $R=5.6 \sim 8.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に柱材端部に曲げひび割れが発生し、梁フランジの引張降伏などを経て、 $R=30 \sim 40 \times 10^{-3} \text{rad}$ において梁材端ウェブの局部座屈が生じた後に最大耐力に達した。最大耐力後は、両試験体ともに梁鉄骨ウェブの局部座屈が進展して徐々に耐力が低下したが、局部座屈が $1.5B_D$ 程度の範囲まで生じた試験体 No.6 の方が耐力低下が大きかった。せん断補強筋形式の No.5 では、梁フランジの引張降伏後、接合部内ウェブのせん断降伏と接合部せん断補強筋の引張降伏が発生したが、ふさがり板形式の No.6 では、接合部内ウェブのせん断降伏およびふさがり板のせん断降伏は発生しなかった。 R_{80} は、せん断補強筋形式の No.5 で $100 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上、ふさがり板形式の No.6

で $51.1 \times 10^{-3} \text{rad}$ であった。いずれも紡錘形の履歴性状を示した。

(c) T字形試験体 (No. 1, No. 2) 両試験体ともに、 $R=1.6 \sim 1.7 \times 10^{-3} \text{rad}$ 時に柱頭部に曲げひび割れが発生し、柱主筋の引張降伏などを経て、接合部内ウェブがせん断降伏して最大耐力に達した。最大耐力後は、せん断補強筋形式の No.1 では柱主筋の定着部破壊に伴って耐力が急激に低下し、ふさがり板形式の No.2 では柱端部におけるコンクリートのひび割れなどの進行に伴って徐々に耐力が低下した。柱主筋の定着部破壊については後で述べる。 R_{80} は、せん断補強筋形式の No.1 で $21.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 、ふさがり板形式の No.2 で $47.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ であった。以上より、試験体 No.1 を除いて各試験体の R_{80} は $47.0 \times 10^{-3} \text{rad}$ 以上となり、十分な変形性能を有していることがわかった。

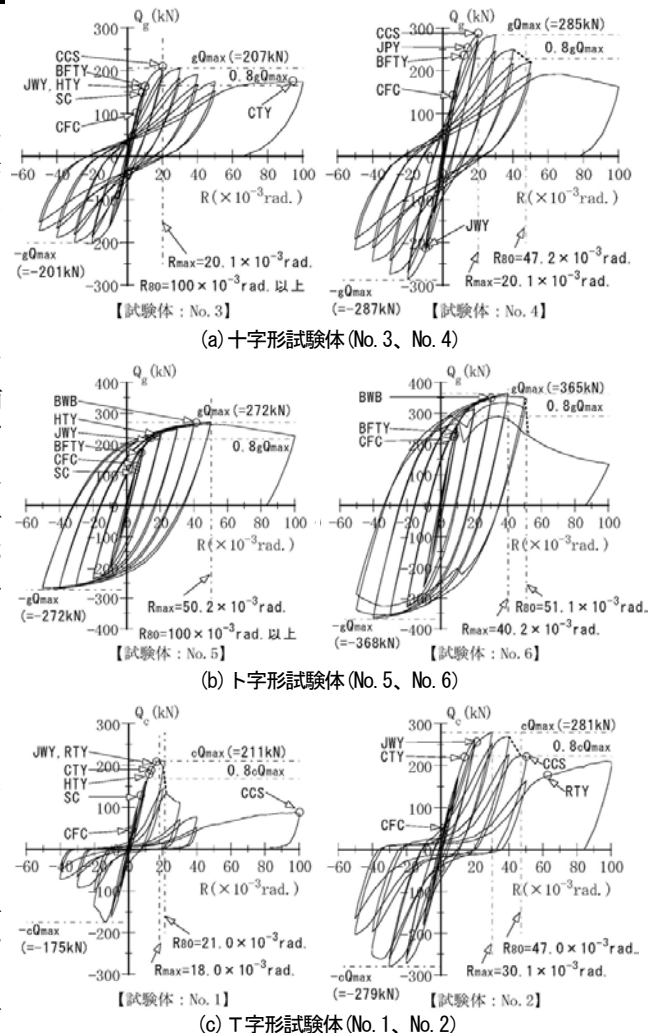


図5 荷重－変形関係

【注】
CFC: 曲げひび割れ
SC: 斜めひび割れ
CCS: 梁鉄骨ウェブ直下の材端部コンクリートの圧壊
CTY: 柱主筋の引張降伏
【図】
BFTY: フランジの引張降伏
BWB: ウェブの局部座屈
【注】
CFC: 曲げひび割れ
SC: 斜めひび割れ
CCS: 梁鉄骨ウェブ直下の材端部コンクリートの圧壊
CTY: 柱主筋の引張降伏
【図】
BFTY: フランジの引張降伏
BWB: ウェブの局部座屈
【注】
CFC: 曲げひび割れ
SC: 斜めひび割れ
CCS: 梁鉄骨ウェブ直下の材端部コンクリートの圧壊
CTY: 柱主筋の引張降伏
【図】
BFTY: フランジの引張降伏
BWB: ウェブの局部座屈

3.5 実験結果(変形成分比の推移および破壊形式)

梁、柱、柱梁接合部の各変形成分比の推移を図6に示す。 θ_{ga}/R 、 γ_{pa}/R 、 θ_{ca}/R は、梁の部材角、柱梁接合部のせん断変形角、柱の部材角をそれぞれ層間変形角 R で除した値である。ただし、T字形試験体の柱変形成分比は、柱主筋の抜け出しによる回転を除いた成分 θ_{coa}/R と、柱主筋の抜け出しによる回転成分 θ_{sa}/R に分けて示した。

(a) 十字形試験体 (No. 3, No. 4) 両試験体ともに、層間変形角の増大に伴い、梁の成分 θ_{ga}/R が減少し、最大耐力後は接合部の成分 γ_{pa}/R が卓越した。荷重-変形関係も併せて考慮すると、両試験体の破壊形式は、梁曲げ降伏後の接合部せん断破壊型と考えられる。

(b) ト字形試験体 (No. 5, No. 6) 両試験体ともに、梁の成分 θ_{ga}/R が大部分を占めており、0.7~0.9程度を保持して推移した。荷重-変形関係も併せて考慮すると、両試験体の破壊形式は、梁曲げ破壊型と考えられる。

(c) T字形試験体 (No. 1, No. 2) せん断補強筋形式のNo.1では、層間変形角の増大に伴い、柱自体の成分 θ_{coa}/R および梁の成分 θ_{ga}/R が減少し、最大耐力付近で柱主筋の抜け出しによる成分 θ_{sa}/R が急激に増大した。ふさぎ板形式のNo.2では、最大耐力時までは θ_{coa}/R が0.5程度と卓越したが、その後徐々に減少し、 $R=40\sim 50\times 10^{-3}\text{rad}$ 程度から θ_{sa}/R が急激に増大した。荷重-変形関係も併せて考慮すると、No.1の破

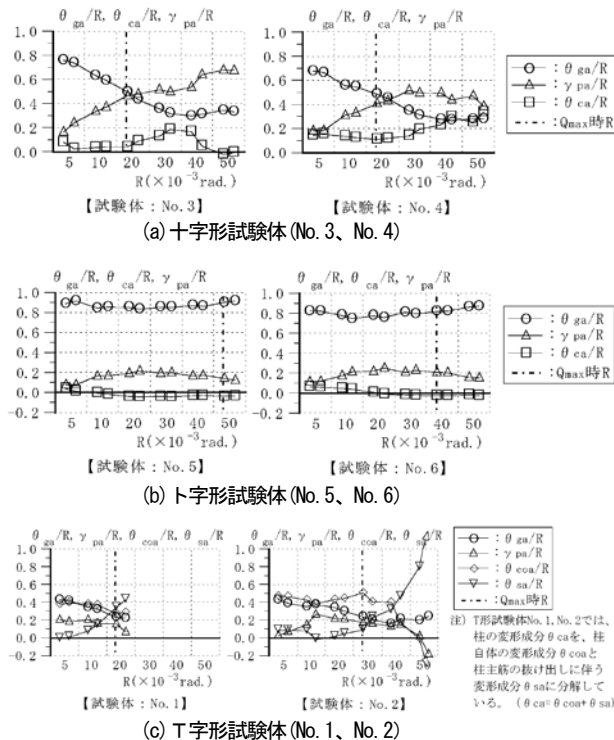


図6 変形成分比-層間変形角関係

壊形式は、柱曲げ降伏後の柱主筋定着破壊型、No.2は、柱主筋の抜け出しを伴う柱曲げ破壊型であったと考えられる。柱主筋にSD490を用いたNo.2の定着部破壊が抑制されているのは、既往の文献8)にもあるように、ふさぎ板の拘束効果によるものと考えられる。

3.6 実験最大耐力と計算値耐力の比較

最大耐力の実験値と計算値との比較を表5に示す。計算値は、柱(曲げ)、梁(曲げ)、柱梁接合部(せん断)の各終局耐力計算値の最小値(表中網掛けした数値)を用いた。なお、柱の曲げ終局耐力は「建築物の構造関係技術基準解説書」⁹⁾の略算式、梁の曲げ終局耐力は全塑性モーメント、柱梁接合部のせん断終局耐力は「鉄骨鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説」⁷⁾における柱梁接合部のせん断終局パネルモーメントに準拠した式(1)で算定した。

$$j_s M_U = c V_e \cdot \left(j F_s \cdot j \delta + w p \cdot w \sigma_y \right) + \frac{1.2 \cdot s V_s \sigma_y}{\sqrt{3}} \quad \dots (1)$$

$$j F_s = \min \left(0.12 \cdot F_c, 1.8 + \frac{3.6 \cdot F_c}{100} \right), \quad c V_e = \frac{c b}{2} s_b d_{mc} d, \quad s V_s = j t_w s_b d_{mc} d$$

F_c : コンクリートの実圧縮強度(N/mm^2), $j \delta$: 柱梁接合部の形状係数

$w p$: せん断補強筋比 (ふさぎ板形式: $2 f t_c b_f t$; ふさぎ板厚(mm))

$w \sigma_y$: 接合部せん断補強鋼材 (せん断補強筋、ふさぎ板) の実降伏強度(N/mm^2)

$s \sigma_y$: 接合部内ウェブの実降伏強度(N/mm^2)

それぞれの計算値は、実際の破壊形式と概ね一致し、実験値と良い対応を示した。接合部せん断破壊型の十字形試験体を比較すると、No.4(ふさぎ板形式)の方がNo.3(せん断補強筋形式)よりも計算値に対する余裕度が大きかった。ふさぎ板形式は、ふさぎ板による接合部内コンクリートの拘束効果でせん断耐力が増大するため、せん断補強筋形式よりも高い補強効果が得られたと考えられる(3.3項(破壊状況)参照)。

以上、構造実験の結果、本構法が強度・変形性能ともに優れた性能を有することがわかった。また、最大耐力の実験値と計算値が良い対応を示しており、この結果を基に保証すべき構造性能を満足するRCS構法の設計指針を制定し、(財)日本建築総合試験所の建築技術性能証明(GBRC 性能証明 第10-15)を取得した⁵⁾。

表5 最大耐力の実験値と計算値の比較

試験体	架橋形状	接合部補強形式	実験値		計算値*			$\exp Q_{max} / Q_{cal}$
			実験最大耐力 $\exp Q_{max}$	変形角 R	柱曲げ耐力時 $c Q_{ca}$ (kN)	梁曲げ耐力時 $j Q_{cb}$ (kN)	接合部せん断耐力時 $s Q_{cs}$ (kN)	
No.3	十字形	せん断補強筋形式	-	207	20.1	387	205	1.11
No.4	十字形	ふさぎ板形式	-	287	-20.1	391	286	1.22
No.5	ト字形	せん断補強筋形式	-	272	50.2	589	204	1.33
No.6	ト字形	ふさぎ板形式	-	368	-40.1	595	286	1.28
No.1	T字形	せん断補強筋形式	211	-	18.0	180	346	1.17
No.2	T字形	ふさぎ板形式	281	-	30.1	223	346	1.26

*計算値は、実験に合わせて、試験体No.3~No.6は梁せん断力、試験体No.1およびNo.2は柱せん断力に換算している。

4. 実建物への適用事例

本章では、当社における RCS 構法の設計施工第一号物件として、4 階建て、延床約 3,300m²の物流倉庫の新築工事に RCS 構法を適用した事例について示す。

4.1 建物概要

建物外観の全景を写真 2 に、倉庫内部の全景を写真 3 に示す。また、建物概要を表 6 に、一般階平面を図 7 に示す。本件では、12.5m のスパン・最大 8.4m の階高・積載荷重 1.5ton/m² の荷重条件など、RCS 構法が適する条件が重なったことから、RCS 構法の採用に至った。RCS 構法の採用により、柱を RC 造とし鋼材を減らしてコストダウンを図るとともに、梁を S 造とすることによって軽量で長スパンの大空間が実現した。



写真 2 建物外観全景



写真 3 倉庫内部全景

表 6 建物概要

用途	倉庫業を営む倉庫
所在地	大阪府堺市
構造種別	RCS造
階数	地上4階 地下0階
軒高	設計GL+16.05m (1階8.4m)
積載荷重	1.5ton/m ²
平面形状	38.62m×35.32m 3×3スパン (12.5m×11.4m)
建築面積	1,385m ²
延床面積	3,324m ²
基礎	杭基礎
屋根仕様	折版
床仕様	フラットデッキスラブ
外壁仕様	ALC版 (一部アスロック)

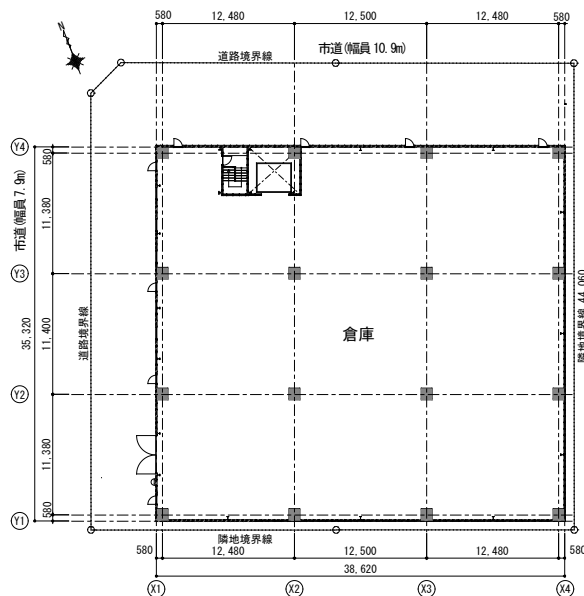


図 7 一般階平面

4.2 構造計画と施工計画

RCS 構法は、RC 柱と S 梁を単体でみれば構造的・施工的に特別なことは無いが、異種構造部材を組み合わせた混合構造であるため、柱梁接合部や施工手順に特殊性がある。施工手順は、柱梁接合部形式や敷地条件、揚重計画によって幾通りも考えられ、設計者・施工者が単独で計画できることでは無く、両者間で綿密な調整が必要である。以下では、RCS 構法を設計・施工するうえで特に配慮した点について述べる。

4.2.1 柱梁接合部形式と外壁の納まり

外周柱と外壁の納まりを図 8 に示す。本件では、2 章で示した接合部形式 2 つのうち、ふさぎ板形式を採用した。これは、せん断補強筋形式に比べて高い耐力が確保できること、また仕口に HOOP 筋が不要なうえ、ふさぎ板が仕口コンクリート打設時の型枠を兼ねており、工程面で有利なためである。一方、ふさぎ板方式は、ふさぎ板を隠すために外壁を RC 柱の外側に設ける必要がある。本件では、S 梁を偏心させて外壁になるべく近づけることで、外壁を受けるために S 梁に取付ける副部材の負担を軽減する計画とした。

4.2.2 施工(揚重・建方)計画と構造計画

ふさぎ板形式の RC 柱内部に仮設用鉄骨柱を設けた接合部詳細を図 9 に、建方方式のイメージを図 10 に示す。RCS 構法は、柱のコンクリートを打設するまで上階を支持できないことから、図 10(a)のようにフロア毎に積み上げていく「水平積み上げ方式」となり、柱梁架構を先行して施工できる鉄骨造よりも工期面で不利になる傾向がある。特に本件では、敷地内や前面道路に大型の揚重機を据えることが困難であること(図 7 を参照)、さらに中間階が 2 層あること(後述の図 11 を参照)などから、水平積み上げ方式では工期面が不利であった。そこで、図 9 のように RC 柱内に小断面の仮設用 S 柱を設け、上下層の S 梁の建方を同時に行う「建て逃げ方式」を採用することとした(図 10(b))。これにより、仮設用 S 柱分の鉄骨量の増加を補う以上の工期短縮を実現した。

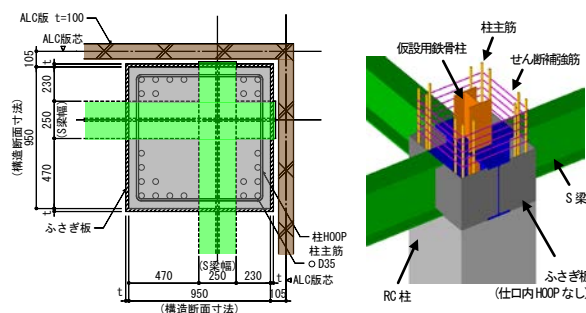


図 8 外周柱と外壁納まり

図 9 ふさぎ板形式+仮設用鉄骨柱の接合部詳細

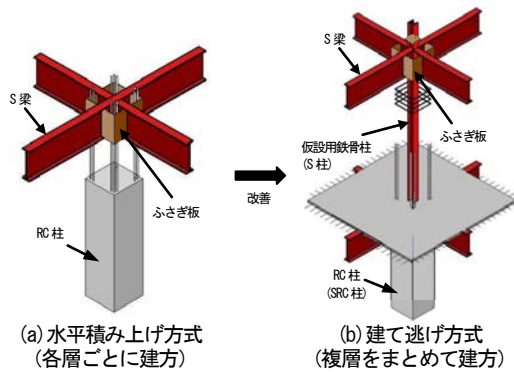


図10 建て方方式のイメージ

なお、RC柱に小断面のS柱を設けた「柱SRC梁S接合部」の構造実験を行った結果、S柱の存在に起因して柱主筋の定着部破壊が遅延するため、RCS接合部より優れた構造性能を示すことがわかっている⁵⁾。

架構断面を図10に示す。図10(a)中には、接合部形式と仮設用鉄骨柱配置を合わせて示している。図に示すように、中間階のS梁と仮設用S柱はピン接合とし、最上階においてはRC柱の上にS梁を載せるアンカー接合とした。これにより、RCS接合部を形成する箇所が4SLのみとなったことで工数が減り、さらに工期短縮につながった。

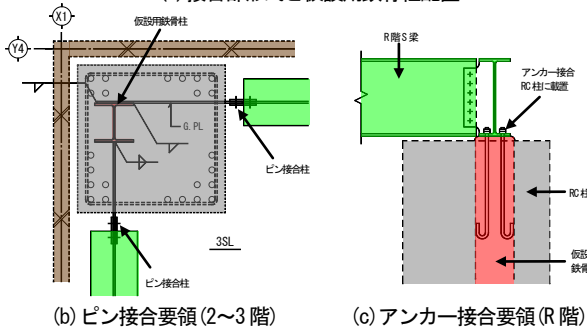
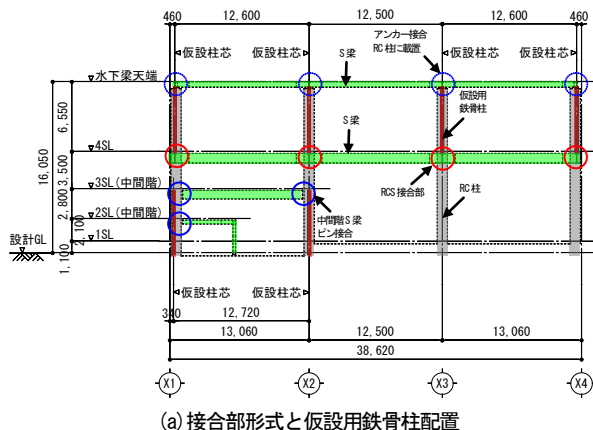


図10 架構断面

4.3 施工状況

鉄骨建方断面を図11に、施工状況を写真4に示す。前述したように、本件では、敷地条件や工期短縮の観

点から建て逃げ方式を採用し、4階躯体コンクリートの打設前に上層の鉄骨建方を完了させることで、その後の4階躯体工事から仕上げ工事へのスムーズな施工の流れを実現した。

以上のように、設計の初期段階から設計者と施工者が協働し、構造計画と施工計画を並行して進めたことで、施工性や工期に配慮したRCS造建物の設計を行うことができた。これは、ゼネコンによる設計施工がゆえに成し得たことである。

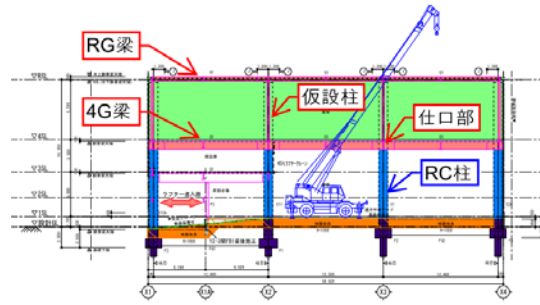


写真4 施工状況

5. まとめ

以上、本報では、「RCS 構法」の概要ならびに柱梁接合部の性能確認実験について述べるとともに、RCS 構法の適用事例について述べた。得られた知見を以下に示す。

(1) 構造実験の結果、RCS 構法が強度・変形性能ともに優れた性能を有することがわかった。また、最大耐力の実験値と計算値が良い対応を示しており、この結果を基に保証すべき構造性能を満足する RCS 構法の設計指針を制定し、(財)日本建築総合試験所の建築性能証明(GBRC 性能証明 第 10-15)を取得した。

(2) 4 階建て、延床約 3,300m²の物流倉庫の新築工事に RCS 構法を適用した事例では、設計の初期段階から設計者と施工者が共働して計画を進めたことで、施工性や工期に配慮した RCS 造建物が実現したことを示した。これは、ゼネコンによる設計施工がゆえに成し得たことである。

【謝辞】 本構法の開発は、RCS ハイブリッド構法研究会(青木あすなろ建設(株)、(株)浅沼組(代表会社)、(株)奥村組、西武建設(株)、大末建設(株)、東亜建設工業(株)、西松建設(株)、(株)安藤・間、(株)長谷工コーポレーションで構成)により行われました。開発に当たってご尽力頂きました各社委員の皆様へ深く感謝致します。また、本報の執筆に際して関係各位には懇切丁寧な指導して頂きました。ここに感謝の意を表します。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：鉄筋コンクリート柱・鉄骨梁混合構造の設計と施工，2001
- 2) 樋渡健，竹内健一，井上重信，小田初次，飯塚信一，中岡章郎，堂下航：高強度材料を用いた柱 RC 梁 S ハイブリッド構法に関する実験的研究(その 1)，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，pp.1301-1302，2010.9.
- 3) 山内豊英，細矢博，服部俊一，原博，薬研地彰，足立将人：高強度材料を用いた柱 RC 梁 S ハイブリッド構法に関する実験的研究(その 2)，日本建築学会大会学術講演梗概集，構造Ⅲ，pp.1303-1304，2010.9.
- 4) 山内豊英，井上重信，橋本拓：高強度材料を用いた柱 RC 梁 S ハイブリッド構法に関する実験的研究，浅沼組技術研究報告 No.22，pp.1-1～1-10，2010.
- 5) (財)日本建築総合試験所，建築技術性能証明 評価概要報告書，柱 RC 梁 S ハイブリッド構法 ー梁貫通型柱 RC(SRC)梁 S 接合部構法ー，GBRC 性能証明 第 10-05 号 改，2012.3
- 6) 国土交通省他：建築物の構造関係技術基準解説書，2007
- 7) 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，2001
- 8) 神野靖夫，富永博夫，村井義則，坂口昇，山野辺宏治，野崎次男：鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁で構成される架構(RCSS 構法)の耐力及び変形(その 14 柱主筋の引き抜き試験)，日本建築学会学術講演梗概集 構造Ⅱ，pp.1189-1190，1990