

(20) 非地震国を対象とした Semi-Rigid RCS構法の開発

石井 大吾¹・山野辺 宏治²

¹正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3丁目4番17号)
E-mail:daigo_ishii@shimz.co.jp

²正会員 清水建設株式会社 技術研究所 (〒135-8530 東京都江東区越中島3丁目4番17号)
E-mail:yamanobe@shimz.co.jp

本報では、海外の非地震国における中高層建物を対象として、施工合理化／省人化を実現するハイブリッド構法 (Semi-Rigid RCS構法) を提案する。提案構法の接合部は、PCaRC柱にS梁を埋込み、接合部内にコンクリートを打設して接合する。このような埋込み形式の接合部では、梁端部の固定度は完全剛とはならない。本構法では固定度の低下を積極的に評価することで、半剛接合として合理的な設計を試みる。

本構法の有効性を確認するため、想定建物をモデル化したFEM解析を実施し、本構法の接合部の基本的な力学性状について検討した。次に、FEM解析結果に基づき、本構法の接合部の固定度および耐力の評価方法を提案した。最後に、部分架構試験体を用いた構造実験を実施し、提案式の妥当性を確認した。

Key Words : RCS Hybrid Structure, Semi-Rigid Connection, FEM analysis, Loading Test of Beam-Column Subassembly

1. はじめに

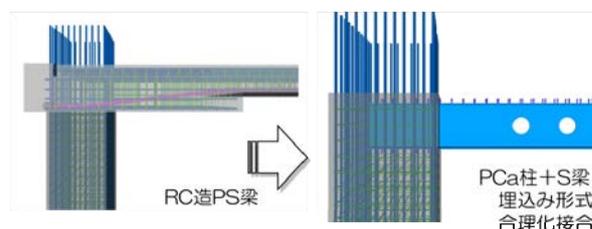
(1) 開発の目的

本開発では、海外、特にシンガポール等の非地震国における中高層建物を対象として、施工合理化／省人化を実現するハイブリッド構法としてSemi-Rigid RCS構法を提案する。

対象地域では、鉄骨造で構造設計されることが少ない。大スパンが要求される場合には、図-1(a)に示すようなPS-RC梁が採用されることが多いが、在来工法のため労務環境に左右され、工期遅延リスクが高い。そこで日本でのハイブリッド構法の技術を展開し、図-1(b)に示すようにPS-RC梁をS梁に置換することで大スパンに対応し、現場労務の削減を図る。

(2) Semi-Rigid RCS構法の概要

提案するSemi-Rigid RCS構法の柱梁接合部詳細を図-2に、建方手順を図-3に示す。下節PCaRC柱の凹形の切欠き部にS梁を埋込み、接合部内にコンクリートを打設して接合する。S梁の加工は孔開けと仮設材の溶接程度であり、工場での複雑な加工は不要である。また、接合部内のせん断補強筋はS梁を貫通させない。非地震国におけるせん断補強筋は主筋の座屈防止が主目的であり、



(a) RC柱-PS-RC梁 (b) Semi-Rigid RCS構法

図-1 ハイブリッド構法による施工合理化

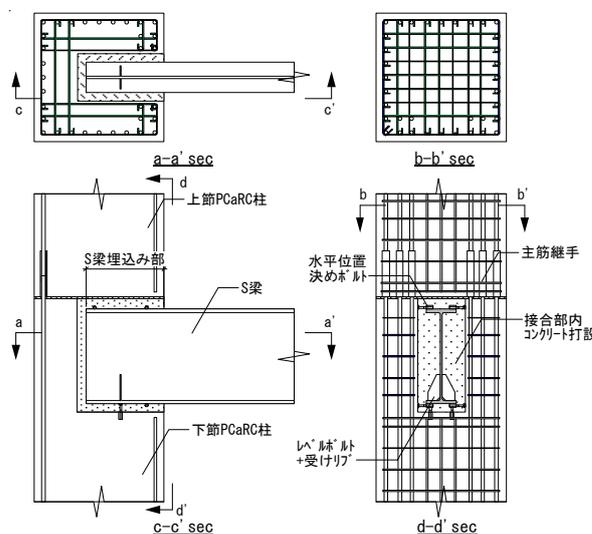


図-2 提案構法の柱梁接合部詳細

図-2に示すように切欠き部の凹形にせん断補強筋を閉鎖配置すれば、主筋の座屈は防止できる。

本構法のような埋込み形式の柱梁接合部では、梁端部の固定度は完全剛とはならない。本構法では固定度の低下を積極的に評価し、半剛接合として合理的な設計を行うことを特徴とする。

(3) 半剛接合による合理的設計法

等分布荷重を受ける梁の曲げモーメント分布と両端固定条件の対応を図-4に示す。図-4に示した通り、最大曲げモーメントは両端剛では梁端部に、両端ピンでは梁中央部に発生する。ここで端部の固定度を制御することができれば、梁端部と梁中央部のモーメントを釣り合わせることが可能となる。梁理論に基づけば、両端剛、両端ピンの場合と比較して最大曲げモーメントを0.69倍まで低減でき、S梁断面を合理化できる。

本報では、まず、想定建物をモデル化したFEM解析を実施し、本構法の接合部の基本的な力学性状について検討する。次に、FEM解析結果に基づき、本構法の接合部の固定度および耐力の評価式を提案する。最後に、部分架構試験体を用いた構造実験を実施し、提案式の妥当性を確認する。

2. FEM解析

(1) 解析概要

本構法の柱梁接合部におけるS梁の固定度を評価するために、2D解析と3D解析の2シリーズのFEM解析を実施した。それぞれの解析で想定した高層建物の概要を図-5に示す。想定した高層建物は、中央にRCコアウォールを有し、外周RC柱とのロングスパンをS梁で連結したハイブリッド構造である。解析モデルは、図-5のハッチ部に示した通り外周RC柱（階高4m）とロングスパンS梁（内法スパン17.8m、支配幅9m）の部分架構を取り出した。S梁端部は、片端（A端）を本構法によりRC柱に接合し、他端（B端）は、RCコアウォールに埋込みプレートとボルト接合することを想定してピン支持とした。

2D解析シリーズでは、S梁の埋込み長さ s とS梁成をパラメータとし、埋込み長さ比の及ぼす影響を検討した。3D解析シリーズでは、柱軸力およびS梁とコンクリート面の摩擦係数をパラメータとし、それぞれの影響を検討した。

(2) 2D解析

a) 解析条件

解析モデルを図-6に、解析ケース一覧を表-1に示す。

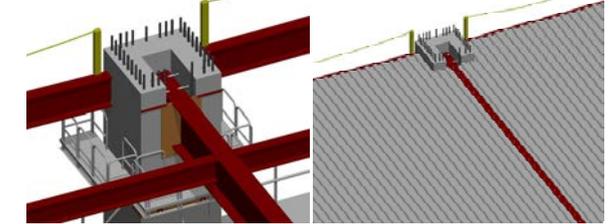
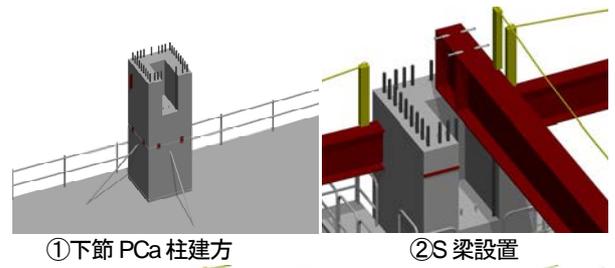


図-3 提案構法の建方手順

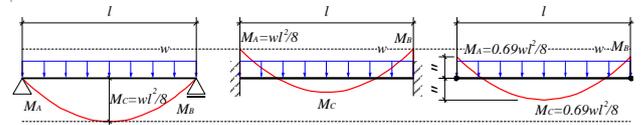


図-4 等分布荷重を受ける梁の曲げモーメント分布

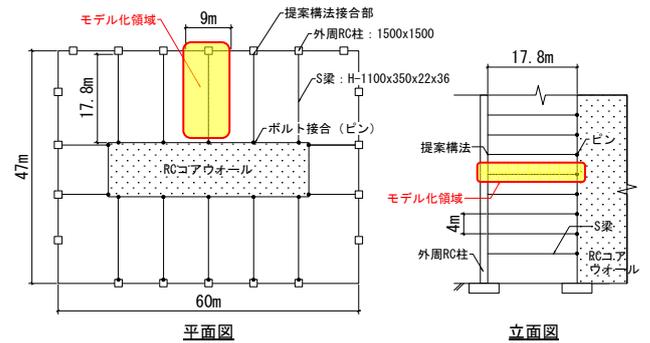


図-5 想定した高層建物概要

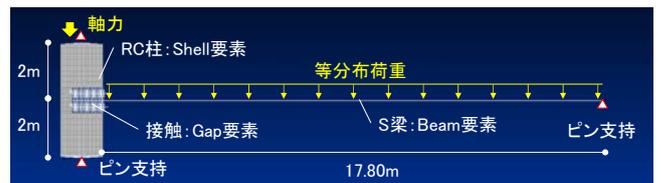


図-6 解析モデル：2D解析

表-1 解析ケース一覧：2D解析

No.	境界条件		軸力比 N/N ₀	梁成 b ₀ H [mm]	埋込み長さ		
	A端	B端			b ₀ d [mm]	b ₀ d ₀ /b ₀ H	
1	本構法 (埋込み)	ピン	0.2	1100	1400	1.27	
2					1200	1.09	
3					1100	1.00	
4					1000	0.91	
5					850	0.77	
6					1000	0.90	
7					900	1100	1.22
8						900	1.00
9						700	0.78

解析の共通条件を以下に示す。RC柱は1500x1500 (Fc60相当)の断面とし、Shell要素でモデル化した。S梁はH-1100~900x350x22x36の断面とし、Beam要素でモデル化した。S梁A端部は提案構法による埋込み形式の接合をモデル化し、RC柱とS梁をGap要素(圧縮力伝達、引張力非伝達)で接続した。S梁B端はピン支持とした。また、RC柱の上下端部は、階高中心位置をピンローラー支持とした。荷重条件は、S梁に表-2に示す長期設計荷重を等分布荷重で入力し、柱には軸力比(N/N_0 , $N_0=A \cdot F_c$) $\times 0.2$ の一定軸力を入力した。材料特性は線形とした。解析は静的解析であり、解析ソルバにはMD.Nastran2013, SOL106を使用した。

解析パラメータはS梁の埋込み長さ比(b_d/bH)であり、S梁成(bH)を1100mm, 1000mm, 900mmの3通りとして、埋込み長さ(b_d)を変化させることで、 b_d/bH を0.77~1.27に設定した。

※ N : 柱軸力, N_0 : 柱の軸耐力, A : 柱断面積, F_c : 柱の圧縮強度を表す。

表-2 S梁の長期設計荷重

考慮した重量		
デッキスラブ重量	w1	2.9 kN/m ²
OA/OP・天井重量	w2	1.7 kN/m ²
積載荷重	w3	5.0 kN/m ²
合計重量	Σw	9.6 kN/m ²
支配面積当たりの等分布荷重の算定		
スパン	L	17.8 m
支配幅	W	9.0 m
支配面積	A	160.2 m ²
等分布荷重	$w_a = \Sigma w/L$	86.2 kN/m

b) 解析結果

2D解析結果の一覧を表-3に、S梁のモーメント分布の一例(H-1100シリーズ)を図-7に示す。埋込み長さの増加に伴い、S梁の提案構法側(A端)の柱フェイス位置のモーメント M_A が増加し、梁スパン内での最大モーメント M_0 が減少する傾向が見られる。

ここで、埋込み形式接合部の固定度 α を(1)式で定義する。S梁のA端を完全剛と仮定して梁理論により計算した端部モーメントの計算値 ${}_{rig}M_A$ とし、各解析ケースで得られたA端柱フェイス位置のモーメント M_A を無次元化した。 $\alpha=1.0$ は完全剛、 $\alpha=0.0$ はピンを表す。算定結果を表-3に併せて示す。

$$\alpha = M_A / {}_{rig}M_A \quad (1)$$

固定度 α と埋込み長さ比の関係を図-8に示す。固定度 α は、S梁成の影響は少なく、埋込み長さ比の増加に伴い増加する傾向が見られた。

固定度 α とS梁スパン内での最大モーメント M_0 , A端せ

表-3 解析結果一覧: 2D 解析

No.	梁成 bH [mm]	埋込み長さ b_d [mm]	埋込み比 b_d/bH	解析結果					α $M_A/{}_{rig}M_A^{*1}$
				Q_A [kN]	Q_B [kN]	M_A [kNm]	M_0 [kNm]	δ_{max} [mm]	
1	1100	1400	1.27	905	627	2512	-2277	36.8	0.74
2		1200	1.09	899	632	2414	-2316	37.9	0.71
3		1100	1.00	896	636	2344	-2344	38.6	0.69
4		1000	0.91	890	642	2240	-2385	39.7	0.66
5		850	0.77	878	654	2023	-2473	41.9	0.59
6	1000	900	0.90	891	640	2269	-2369	48.5	0.66
7		1100	1.22	909	622	2592	-2230	62.7	0.76
8		900	1.00	899	632	2408	-2300	66.1	0.71
9	900	700	0.78	879	651	2073	-2432	72.3	0.61

*1: ${}_{rig}M_A=3415$ kNm, ${}_{rig}M_0=-1921$ kNm, ${}_{rig}Q_A=959$ kN, ${}_{rig}\delta_{max}=25.0$ mm($bH=1100$), 31.2mm($bH=1000$), 45.0mm($bH=900$)

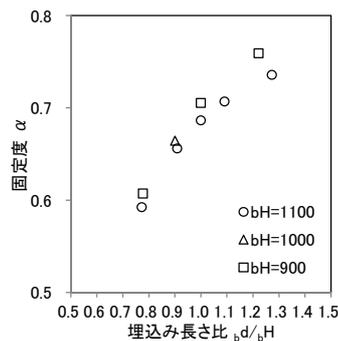
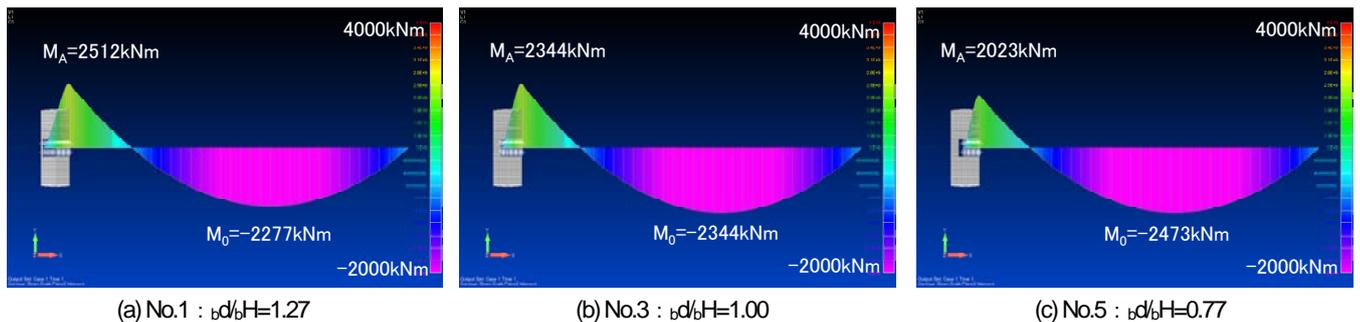


図-8 固定度と埋込み長さ比の対応

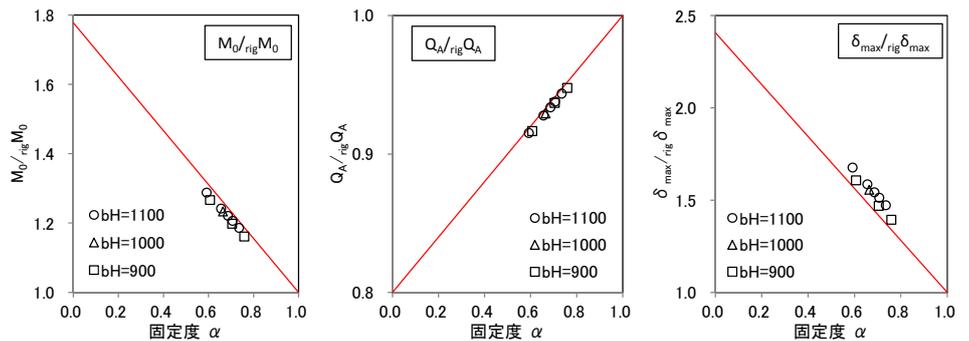


図-9 各解析結果と固定度の対応

ん断力 Q_A 、S梁の最大変形 δ_{max} の関係を図-9に示す。図中各縦軸は、両端剛-剛とした場合のA端位置での梁理論による計算値（表-3下段参照）で無次元化した。 M_0 、 Q_A 、 δ_{max} のいずれも固定度 α と線形関係を示している。両端剛-剛、剛-ピンの場合の梁理論による計算値を極値として、固定度 α から線形補間してモーメント、せん断力、変形の各値を算定できることが分かる。

2D解析モデルは、モデル化した接合要素（梁幅以外の部分のコンクリートの抵抗、摩擦の影響など）が少ないため、実際の接合部ディテールと比較して、同一埋込み長さに対して固定度が低くなると考えられる。また、軸力比の変化の影響は考慮されていない。これらについては、次節、「(3)3D解析」で検討する。

(3)3D解析

a) 解析条件

解析モデルを図-10に、解析ケース一覧を表-4に示す。想定建物および取り出した部分架構は、図-5と同一であるが、内法スパンは17.05mに変更した。

共通の解析条件を以下に示す。RC柱（1500x1500）およびS梁（H-1000x350x22x36）は、8節点SOLID要素でモデル化した。RC柱の鉄筋は、Bar要素でモデル化し、コンクリートおよび鉄筋同士が重なる箇所は節点共有で接続した。コンクリートとS梁の境界面は接触面として定義し、接触による摩擦抵抗を考慮した。

境界条件を以下に示す。1/2モデルとしてY軸対称と定義し、S梁右側端部（B端）をピン支持とした。柱上面は、ローラー支持、柱下面はピン支持とした。

荷重条件を以下に示す。表-2に示した長期設計荷重をS梁フランジ上面に一様圧力で入力した。軸力は柱上面に一様圧力で入力した。材料特性は線形とした。解析は静的解析であり、解析ソルバにはMD.Nastran2013, SOL600 (MARC) を使用した。

解析パラメータは、柱軸力比 (N/N_0) を0.0, 0.1, 0.2, 0.3の4通り、RC柱のコンクリートとS梁の摩擦係数 (μ) を0.3, 0.4, 0.6の3通りとした。また、2D解析結果との対応を検討するため、2D解析と同一の摩擦係数 ($\mu=0.4$)、軸力比 ($N/N_0=0.2$) とし、埋込み長さ比 (d/bH) を0.6, 0.9, 1.2とした解析ケースを実施した。

b) 解析結果

3D解析結果の一覧を表-5に示す。ここで、A端フェースモーメント M_A および梁スパン内での最大モーメント M_0 は、当該箇所の要素のフランジ材軸方向応力度（上

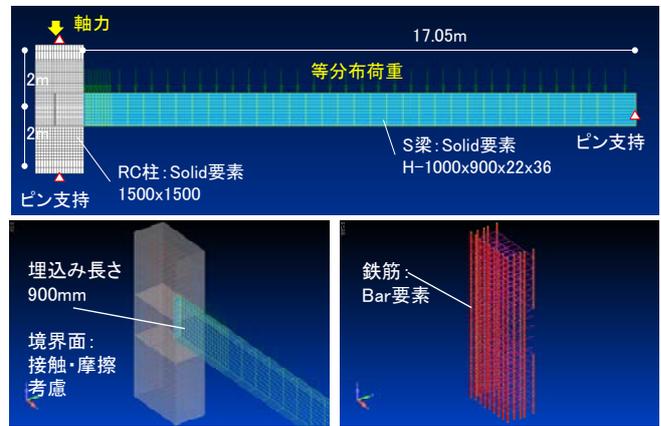


図-10 解析モデル：3D解析

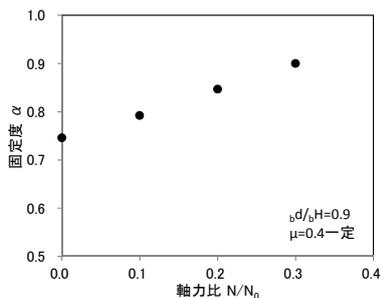
表-4 解析ケース一覧：3D解析

No.	梁成	埋込み長さ	埋込み比	軸力比	摩擦係数
	bH [mm]	b_d [mm]	b_d/bH	N/N_0	μ
11	1000	900	0.90	0.0	0.4
12				0.1	
13				0.2	
14				0.3	
15		0.0	0.3		
16		0.6	0.6		
17		600	0.60	0.2	0.4
18		1200	1.20		

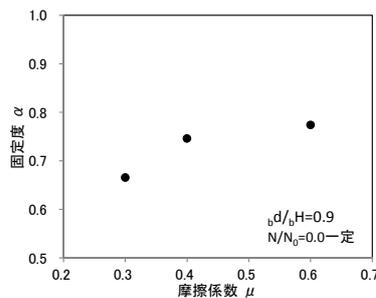
表-5 解析結果一覧：3D解析

No.	解析結果					α
	Q_A [kN]	Q_B [kN]	M_A [kNm]	M_0 [kNm]	δ_{max} [mm]	$M_A/rig/M_A^*$ 1
11	870	600	2337	-2067	37.9	0.75
12	879	591	2481	-2023	36.3	0.79
13	888	582	2653	-1958	34.5	0.85
14	898	572	2819	-1889	32.5	0.90
15	858	612	2085	-2161	40.5	0.67
16	876	594	2425	-2039	36.8	0.77
17	867	604	2331	-2118	39.1	0.74
18	892	578	2760	-1925	33.6	0.88

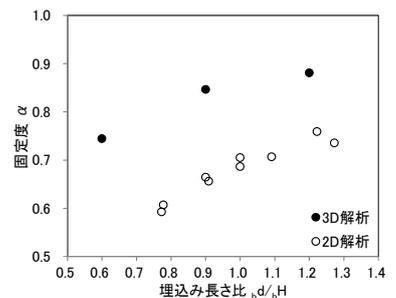
*1: $rigM_A=3133kNm$



(a) 柱軸力比



(b) 摩擦係数



(c) 埋込み長さ比

図-11 固定度と各解析パラメータの対応

下の絶対値の平均) にS梁断面係数を乗じて算定した。
また、固定度 α は、(1)式により算定した。

固定度 α と柱軸力比の対応を図-11(a)に、摩擦係数との対応を図-11(b)に、埋込み長さ比との対応を図-11(c)に示す。

図-11(a)に示した通り、固定度 α は、柱軸力比の増加に伴い線形的に増加する傾向が見られる。後述する本構法の接合部の固定度の評価において、パラメータとして考慮することとした。

また、図-11(b)に示した通り、摩擦係数の増加に伴い固定度が増加する傾向が見られ、 $\mu=0.3$ と $\mu=0.6$ で13%程度の差異が確認できた。実際の設計では、摩擦係数として一定値を採用することとなるが、この差異に対して設計上の安全率を考慮する必要がある。

図-11(c)に示した固定度 α と埋込み長さ比の対応には、図-8に示した2D解析の結果を併せて示す。3D解析においても、埋込み長さ比の増加に伴い固定度 α が増加する傾向が見られる。また、2D解析結果と比較して、埋込み長さ比の増加に伴う増加比率は同程度であるが、平均的に25%程度高い。これは、2D解析でモデル化していない摩擦係数の影響および梁幅以外の接合部のコンクリートの抵抗等によるものと考えられる。3D解析の方がより適切に実際の固定度 α を評価できていると考えられる。

3. 接合部の構造性能評価

(1) 接合部の固定度評価

2章に示したFEM解析結果に基づき、本構法の接合部の固定度 α を評価する。評価式を構築するに当たり、同一の解析条件の2D解析結果(No.6)と3D解析結果(No.13)の固定度 α が一致するように2D解析結果を一律に補正($\alpha+0.18$)した。その結果を図-12に示す。図中には、線形回帰式を併せて示す。

また、3D解析結果のうち、柱軸力比をパラメータとした解析ケースNo.11~14を、図-12に示した解析結果と同一の柱軸力比0.2である解析ケースNo.13の固定度($\alpha_{0.2}$)で無次元化し、線形回帰式を求めた。その結果を図-13に示す。

埋込み長さ比と柱軸力比のそれぞれが接合部の固定度への影響因子と考え、図-12および図-13に示した線形回帰式から接合部固定度の評価式を構築した。その結果を(2)式および(3)式に示す。ただし、評価式の適用範囲は本検討の範囲とする。解析結果の固定度 α と(2)式による固定度の計算値 α_{cal} の比 α_{cal}/α は、平均1.01、変動係数は0.03と良い精度で対応していることを確認できた。

$$\alpha = \left(0.30 \frac{b d}{b H} + 0.55 \right) \cdot \left(0.61 \frac{N}{N_0} + 0.88 \right) \quad (2)$$

$$N_0 = {}_c A \cdot F_c \quad (3)$$

$$\text{ただし、} 0.50 \leq \frac{b d}{b H} \leq 1.27, \quad 0.0 \leq \frac{N}{N_0} \leq 0.30$$

記号	α	: 接合部の固定度	
	$b d$: S梁の埋込み長さ	[mm]
	$b H$: S梁の成	[mm]
	N	: 柱軸力	[N]
	N_0	: 柱軸圧縮耐力	[N]
	A	: 柱の断面積	[mm ²]
	F_c	: 柱コンクリートの圧縮強度	[mm ²]

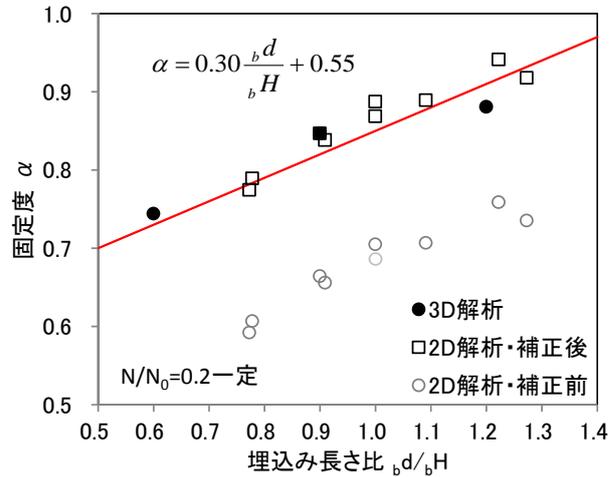


図-12 固定度と埋込み長さ比の対応
(2D解析結果補正後)

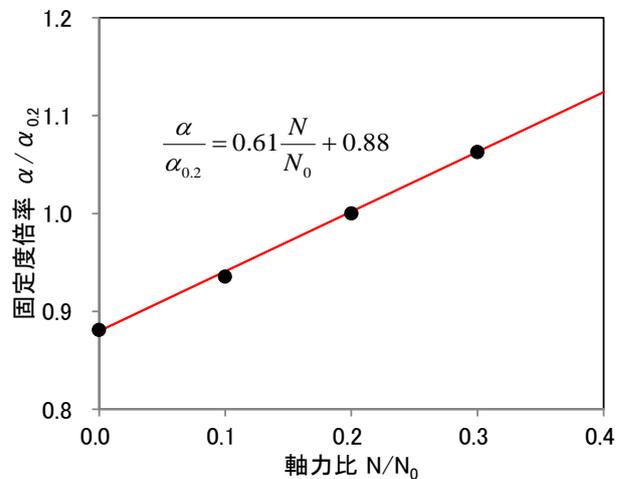


図-13 無次元化した固定度 $\alpha/\alpha_{0.2}$ と柱軸力比の対応

(2) 接合部の耐力評価

本構法の接合部の耐力評価には、S梁をSRC壁柱に埋込み接合した既往のハイブリッド構法^{1,2,3}の耐力評価式を準用する。接合部の耐力評価式を(4)式～(8)式および図-14に示す。

(4)式～(8)式は、鋼構造接合部設計指針⁴の埋込み柱脚の耐力評価式を応用したものであり、図-14に示した通り、接合部に入力されるモーメントとせん断力に対して、S梁とコンクリートの接触に伴う支圧力に抵抗するものとしてモデル化している。支圧力は三角形分布を仮定し、接合部内でS梁に作用する力に対して、図-14中、A点における釣合い式を構築して求めた耐力評価式である。

$${}_jM_a = \lambda \cdot f_c \cdot b \cdot d \cdot l \cdot \frac{2x-1}{2x} \quad (4)$$

$$\lambda = 3.25 - 3.75 \cdot \frac{b}{wD} \quad (5)$$

ただし、 $1.0 \leq \lambda \leq 2.0$

$${}_b l = \frac{{}_b M}{{}_b Q} \quad (6)$$

$$x = \frac{3{}_b l + 2{}_b d}{6{}_b l + 3{}_b d} + \frac{\mu \cdot {}_b H}{8{}_b l + 4{}_b d} \quad (7)$$

$$\mu = 0.4 \quad (8)$$

記号	${}_jM_a$: 接合部の許容モーメント [Nmm]
	λ	: コンクリートの支圧強度上昇率
	f_c	: コンクリートの許容圧縮応力 [N/mm ²]
	${}_b B$: S梁のフランジの幅 [mm]
	x	: 支圧力分布の反曲点長さを表わす係数
	wD	: 柱の幅 [mm]
	${}_b l$: S梁フェイス位置からモーメントの反曲点までの等価長さ [mm]
	${}_b M$: S梁フェイスモーメント [Nmm]
	${}_b Q$: S梁フェイスのせん断力 [N]
	μ	: S梁とコンクリートの摩擦係数

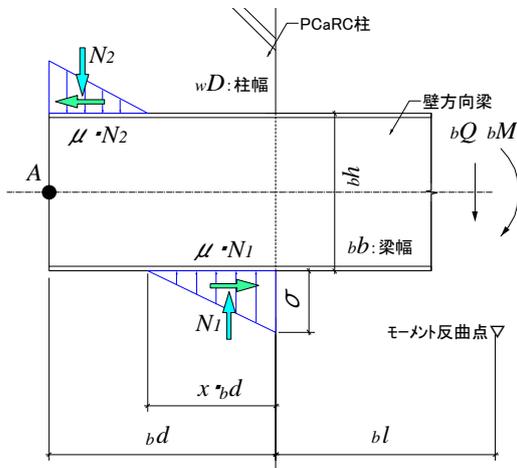


図-14 接合部の耐力評価式に用いる各記号の定義

4. 部分架構実験

(1) 実験計画

a) 試験体

3章に示した本構法の接合部の構造性能評価の妥当性を確認するため、部分架構試験体を用いた構造実験を実施した。試験体一覧を表-6に、試験体の形状・寸法を図-15に示す。試験体は1/2スケール試験体であり、全3体である。柱、梁断面は共通で、PCaRC柱は750x750 (Fc36)、S梁はH-550x175x12x29 (SS400) とした。使用材料の材料試験結果を表-7に示す。

実験パラメータはS梁の埋込み長さ比 (${}_b d/{}_b H$) と接合部内においてS梁ウェブを貫通するせん断補強筋 (S梁貫通筋) の有無である。試験体No.1は ${}_b d/{}_b H = 0.82$ 、試験体No.2は ${}_b d/{}_b H = 0.50$ とし、それぞれS梁貫通筋はなしとした。試験体No.3は ${}_b d/{}_b H = 0.82$ として、S梁貫通筋を配筋した。接合部の仕様規定としてS梁貫通筋が求められる場合を想定した試験体である。

b) 加力計画

加力は長期荷重を想定した一方向加力である。加力装置を図-16に示す。柱は下端固定として、串型ジャッキを用いて軸力を導入する。梁は全スパン分をモデル化しており、一端はPCaRC柱に埋込み固定し、他端はピン固定とする。実験では、等分布荷重を集中荷重に置き換えた。等分布荷重で最大モーメントが発生する位置を加力し、集中荷重の大きさは等分布荷重の場合にS梁フェイス位置のモーメントが一致するように設定した。

加力プログラムを図-16に併せて示す。加力プログラムは全3Stageを設定した。Stage1では柱軸力比 (N/N_0) を0.25, 0.2, 0.1, 0.0で変化させ、設計荷重 (表-2) まで集中荷重を加力した。Stage2では $N/N_0=0.0$ とし、設計荷重100%から50%へ変化させた集中荷重を、10回繰返し加力した。Stage3では $N/N_0=0.2$ とし、梁のたわみ角で1/240 (たわみ角制限値1/360の1.5倍) まで集中荷重を一方向加力した。

(2) 実験結果

a) 荷重変形関係および破壊性状

実験結果の荷重変形関係を図-17に示す。図中には、(2)式を用いて $N/N_0=0.0$ として計算した弾性剛性の計算値 K_{cal} と、梁の全塑性耐力 (${}_b P_p = Z_p \cdot \sigma_y$) および(4)式を用いて計算した接合部耐力 (${}_j P_a$: (4)式中、 f_c に σ_B を採用) の計算値を合せて示す。

Stage1, 2の加力においては、全試験体ともコンクリートに損傷は見られず、ほぼ弾性的な挙動を示した。本構法の接合部は長期荷重レベルの繰返し荷重に対して、顕

著な損傷は発生せず、剛性低下しないことを確認できた。

Stage3の加力においては、試験体No.1, No.3ではRC柱フェイス位置でS梁が降伏し、荷重変形関係にはS梁の全塑性耐力レベルに明瞭な降伏棚が現れた。加力終了後の試験体には、PCaRC柱のS梁の埋込み面にS梁の抜け出しに伴うパンチング破壊が観察され、特に埋込み長さの短い試験体No.2で顕著に観察された(写真-1参照)。試験体No.2の荷重変形関係には接合部耐力の計算値近傍から剛性低下が顕著に現れており、(4)式に示した接合部耐力の評価式の妥当性を確認できた。

b) 接合部の固定度

接合部の固定度 α (2)式と実験結果の対応を検討する。ここで実験結果の固定度 α は(1)式で算定し、S梁フェイ

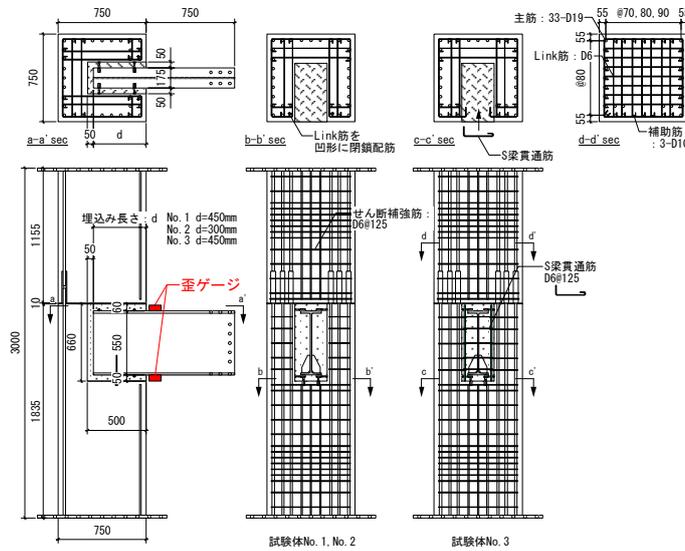


図-15 試験体の形状・寸法

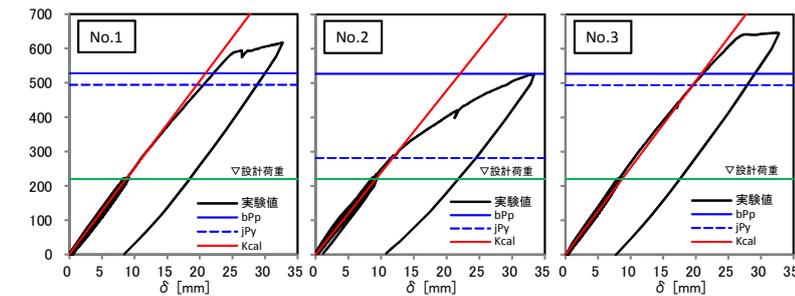


図-17 荷重変形関係

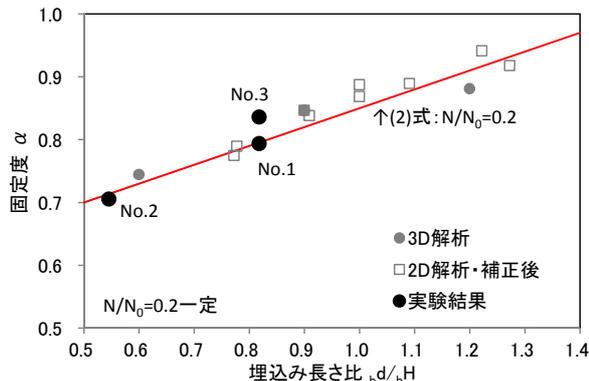


図-18 固定度と埋込み長さ比の対応

No.	パラメータ				
	PCaRC柱	S梁	埋込み長さ ${}_b d$ [mm]	${}_b d/{}_b H$ (H:梁成)	S梁 貫通筋
1	750x750 (Fc36) Pg=1.68%	H-550x175 x12x19 (SS400)	450	0.82	なし
2			300	0.55	
3			450	0.82	

表-7 使用材料の材料試験結果

部位	サイズ	鋼種	降伏強さ σ_y [N/mm ²]	引張強さ σ_u [N/mm ²]	伸び e [%]
梁フランジ	PL-19	SS400	294	418	33.2
梁ウェブ	PL-12	SS400	331	455	29.3
柱主筋	D19	SD345	377	567	23.4
柱Hoop	D6	SD295A	-	537	25.8

部位	呼び強度 Fc	材齢	圧縮強度 σ_B [N/mm ²]	割裂強度 σ_t [N/mm ²]	縦弾性係数 Ec [x10 ⁴ N/mm ²]
PCaRC柱	36	28	44.2	3.37	2.94
接合部CON		34	42.9	2.51	3.08

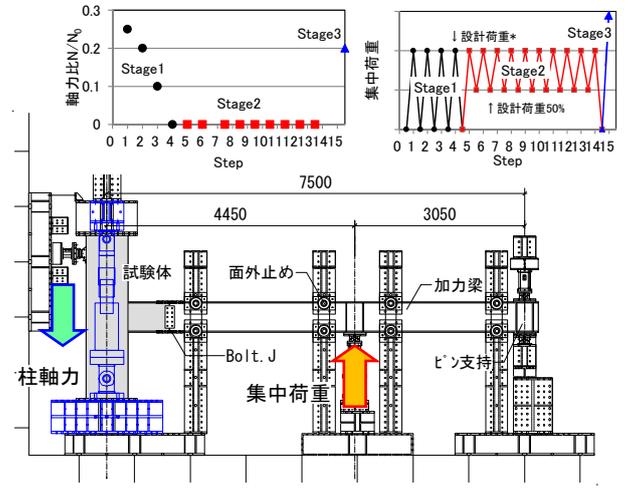


図-16 加力装置と加力プログラム

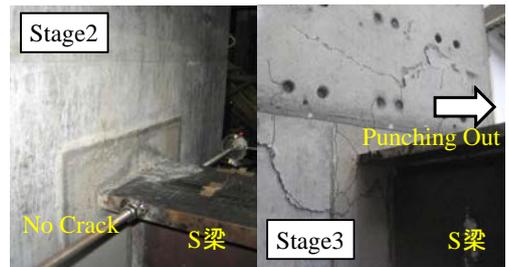


写真-1 破壊性状 (試験体 No.2)

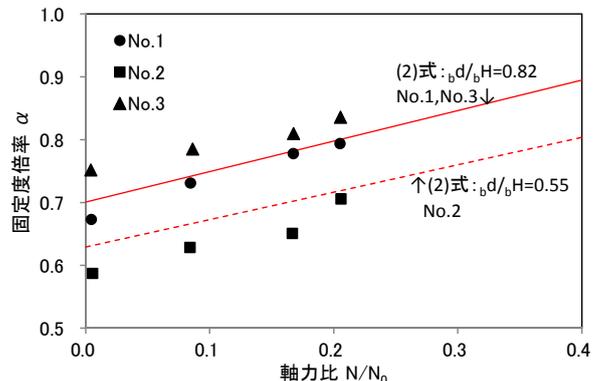


図-19 固定度と軸力比の対応

ス位置のモーメント M_A の算定には、図-15に示すS梁フェイス位置近傍に貼り付けた歪ゲージの計測値を用いた。歪ゲージの計測値を、弾性と仮定して応力度に変換し、断面係数を乗じ、モーメント分布を線形と仮定してモーメント M_A を算定した。接合部の固定度 α と埋込み長さの対応を図-18に示す。図中の実験結果は、加力Stage1における柱軸力比 $N/N_0=0.2$ の実験結果である。(2)式による計算結果と前章のFEM解析結果を併せて示す。図-18に示した通り、実験結果と(2)式およびFEM解析結果は良い対応を示した。

接合部の固定度 α と柱軸力比の対応を図-19に示す。図中の実験結果は、各試験体の加力Stage1の実験結果である。また、各試験体の埋込み長さ比に対応した(2)式による計算結果を併せて示す。接合部の固定度 α と柱軸力比の対応においても、実験結果と(2)式は良い対応を示している。以上より、(2)式に示した接合部の固定度 α の評価式の妥当性を確認できた。

5. まとめ

本開発では、海外の非地震国における中高層建物を対象として、施工合理化／省人化を実現するハイブリッド構法としてSemi-Rigid RCS構法を提案した。本構法はS梁をPCaRC柱に埋込む簡易なディテールで、施工性が良く、在来工法と比較して労務環境に左右されず、工期遅延リスクが低い。

本報では、想定建物をモデル化したFEM解析を実施し、本構法の接合部の基本的な力学性状について検討した。次に、FEM解析結果に基づき、本構法の接合部の固定度および耐力の評価式を提案した。最後に、部分架構試験体を用いた構造実験を実施し、提案式の妥当性を確認した。得られた知見を以下に示す。

- 接合部の固定度 α は、(1)式で定義すれば、S梁の埋込み長さ比と柱軸力比に線形的な対応を示す。接合部の固定度 α は(2)式で評価できる。
- 梁スパン内での最大モーメント、端部せん断力および最大変形は、剛接の場合とピン接合の場合の梁理論による計算値を極値として、(2)式を用いて求めた接合部の固定度 α を用いて線形補間して求められる。
- 本構法の接合部の耐力は、(4)～(8)式で評価できる。
- 部分架構を用いた構造実験の結果、本構法の接合部は長期荷重レベルの繰返し荷重に対して、顕著な損傷は発生せず、剛性低下しないことを確認した。
- 実験結果は、提案式による計算値およびFEM解析結果と良い対応を示し、提案した(1)～(8)式の妥当性を確認した。

本報では、半剛接合による合理的設計法の考え方を示した。ただし、本構法の実案件適用に向けては、積載荷重変化や外力による軸力変動の影響、接合部コンクリートの強度発現、施工ステップの影響など、不確定な要因に対して設計上の安全率を設定し、設計法として確立する必要がある。これらについては、今後の検討課題である。

参考文献

- 1) 坂本眞一，他：壁 SRC-梁 S ハイブリッド外殻構造の開発（その 1）～（その 6），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造III, pp.1481-1492, 2013.8
- 2) 石井大吾，他：壁 SRC-梁 S ハイブリッド外殻構造の開発（その 7）～（その 10），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造III, pp.1271-1278, 2014.9
- 3) 佐川隆之，他：壁 SRC-梁 S ハイブリッド外殻構造の開発（その 11）～（その 12），日本建築学会大会学術講演梗概集，構造III, pp.1313-1316, 2015.9
- 4) 日本建築学会：鋼構造接合部設計指針, 2012.

DEVELOPMENT OF HYBRID STRUCTURES WITH SEMI-RIGID CONNECTION FOR LOW RISK SEISMIC ZONES

Daigo ISHII and Koji YAMANOBE

This paper proposed the RCS hybrid structures (Semi-Rigid RCS Structures) to minimize the manpower on site and construction for low risk seismic zones. The Semi-Rigid RCS structure consists of pre-cast RC column and steel beam embedded to the connection. By considering the semi-rigid behaviors of the connection, the moment distribution on steel beam can be controlled and the steel beam size can be minimized.

According to the experimental results and FEM analysis results, the authors proposed the connection rigidity and strength estimation for the Semi-Rigid RCS Structures, and confirmed its validity.