

スマートスリット構法の開発 その2 部分架構実験

Development of Smart Slit Construction Method Part2: Partial Frame Experiment

郡司 康浩*

Yasuhiro Gunji

赤井 冬来***

Fuyuki Akai

金川 基**

Motoi Kanagawa

安田 稜太*

Ryota Yasuda

要 約

スマートスリット構法は、鉄筋コンクリート（以降、RC と称す）袖壁付き柱に関する技術である。スマートスリット構法では、RC 袖壁付き柱について一般的には鉛直の構造スリットを設置する柱と袖壁の接続部に目地形状の欠損部のみを設置することで、構造安全性を担保することを目指している。なお、袖壁脚部と梁との間には水平の構造スリットを設置する。

本報では、スマートスリット構法がそれを含む架構の挙動に及ぼす影響を検討するために実施した部分架構実験の概要や主な実験結果などについて報告する。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 部分架構実験
- § 3. 実験結果
- § 4. 実験結果に対する考察
- § 5. おわりに

§ 1. はじめに

RC 袖壁付き柱は、旧来から共同住宅や学校建築などの RC 建物に用いられてきたが、過去には多くの地震被害例えば¹⁾を受けてきた。そこで、近年では柱と袖壁側面、および梁と袖壁脚部の間に構造スリットを配置して袖壁と柱および梁との構造的な縁を切り、明快な構造計画となる工法（以降、一般工法と称す）を採用することが一般的である。

構造スリットを設置したことによる効果は、地震被害調査結果²⁾からも明らかになっている。一方、柱と袖壁側面間に設置する構造スリット（以降、鉛直スリットと称す）については、施工面からの課題³⁾も指摘されている。

そこで、筆者らは文献⁴⁾の先行研究の考え方を参考として新たな柱と袖壁の接合方法（以降、スマートスリット構法と称す）を提案し、建物への適用を目指している。

スマートスリット構法単独の構造性能については、例えば文献⁵⁾で報告しているが、スマートスリット構法が架構の挙動にどのような影響を与えるかについては現状解明されていない。そこで、スマートスリット構法がそれを含む架構の挙動に及ぼす影響を検討するために部分架構実験を実施した。本報では、実験の概要と主な実験結果などについて報告する。なお、スマートスリット構法の詳細については、文献⁶⁾を参照されたい。

§ 2. 部分架構実験

2-1 試験体の概要

スマートスリット構法と部分架構の関係を図-1 に示す。部分架構の試験体は、スマートスリット構法を含む架構の一部を十字形の試験体として模擬したものである。

試験体の概要を図-2 および表-1 に示す。試験体は、概ね 15 階建て程度までの RC 建物で想定される部材寸法の 1/2 スケールで、総数は 3 体である。

スマートスリット構法を含む試験体のパラメータは、柱せい (D_c) に対する袖壁長さ (L_w) の比（以降、袖壁長さ比と称し、 $\beta=L_w/D_c$ と定義する）である。なお、柱や梁の断面寸法、袖壁厚 (t_w) は全試験体共通で、変化するのは L_w のみである。柱断面は柱幅 (B_c) $\times$ $D_c=400 \times 600$ mm、梁断面は梁幅 (B_b) $\times$ 梁せい (D_b) $=300 \times 400$ mm、 $t_w=75$ mm である。CBJ-1S-17 は $L_w=100$ mm、 $\beta=0.17$ である。また、CBJ-1S-75 は $L_w=450$ mm、 $\beta=0.75$ である。両試験体ともに、袖壁脚部には水平の構造スリット（以降、水平スリットと称す）に相当する空隙を設け梁との縁を切った。なお、 L_w

* 技術研究所 建築技術グループ

** 技術研究所

*** 技術研究所 建築技術グループ

(現：関東建築支社 海岸 3 丁目工事事務所)

の値は一般的な共同住宅において採用されている寸法を参考に設定した。

スマートスリット構法を含む試験体と比較を行うため、一般工法を含む試験体としてCBJ-2S-75を設定した。CBJ-2S-75の断面寸法は、CBJ-1S-75と同様とした。各試験体の設計方法の詳細は、文献⁷⁾を参照されたい。また、試験体に用いた材料の試験結果を表2～3に示す。

2-2 加力方法

加力装置の概要を図-3に、全体制御用変位計の配置を写真-1に示す。加力は、柱の反曲点位置をピン支承、梁

の反曲点位置をピンローラー支承で支持し、試験体上部に設置したジャッキで軸力比0.15に相当する圧縮軸力を作用させた後、反力壁に設置したジャッキを用いて正負交番の繰り返し漸増加力を行った。加力の制御は、写真-1に示す変位計D1、D2を用いて計測した梁に対する柱の相対水平変位を、上下柱の反曲点位置間距離(2,200mm)で除した相対変形角(R')による変位制御とした。加力は $R'=1/800\text{rad}$ を1サイクル、 $R=1/400$, $1/200$, $1/133$, $1/100$, $1/66$, $1/50$, $1/33$, $1/25\text{rad}$ を各2サイクル行った。

表-1 試験体諸元

試験体		CBJ-2S-75	CBJ-1S-17	CBJ-1S-75
パラメータ		一般工法	$\beta=0.17$	$\beta=0.75$
柱	$B_c \times D_c(\text{mm})$	400×600		
	主筋 (p_{lc})	12-D16($p_{lc}=0.33\%$)		
	帯筋 (p_{wc})	2-D10@70($p_{wc}=0.51\%$)		
梁	$B_c \times D_c(\text{mm})$	300×400		
	主筋 (p_{lb})	6-D19($p_{lb}=1.44\%$)		
	あばら筋 (p_{wb})	3-S10@70($p_{wb}=1.00\%$)		
仕口部帯筋 (p_{ws})		2-D10×3 段 ($p_{ws}=0.27\%$)		
袖壁	$t_w \times L_w(\text{mm})$	75×450	75×100	75×450
	壁筋 (p_s)	縦横共通 D4@80 ダブル ($p_s=0.47$)		
スリット	鉛直	有	無	無
	水平	有	有	有
設計基準強度 (N/mm ²)		30		
軸力 (kN)【軸力比】		1,100【0.15】		

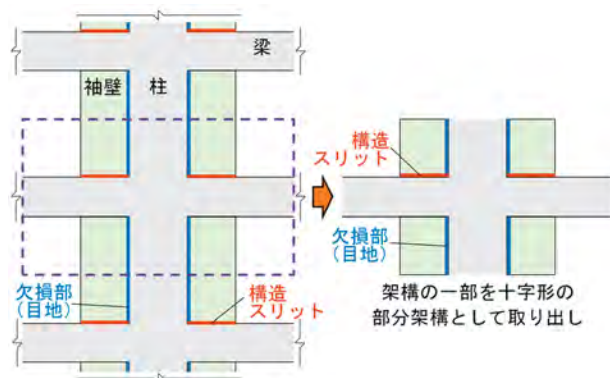


図-1 スマートスリット構法と部分架構の関係

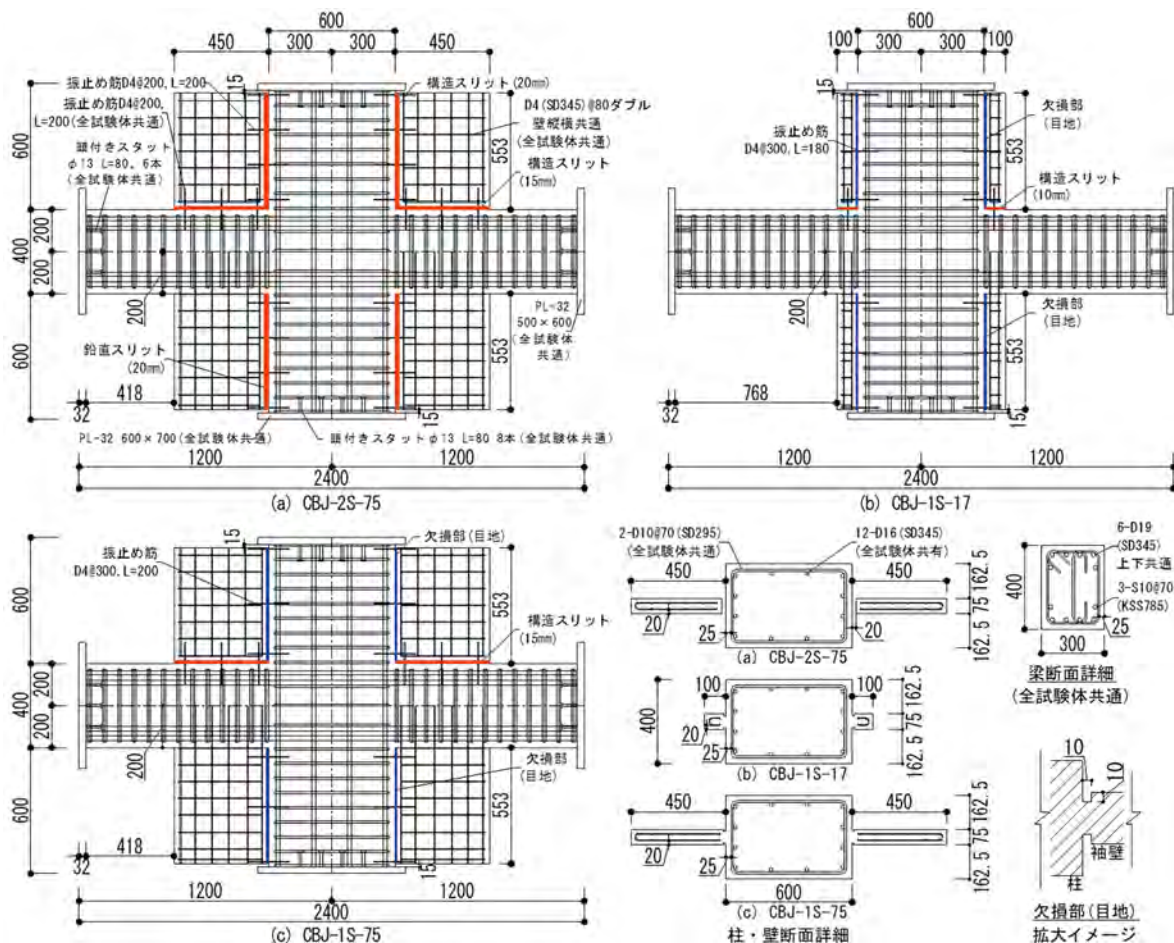


図-2 試験体の概要

§3. 実験結果

3-1 層せん断力-相対変形角関係

試験体の層せん断力-相対変形角関係を図-4に示す。なお、以降の説明では図-3に示すように正側方向に取付く梁を北梁、負側方向に取付く梁を南梁と呼称する。また、梁主筋の降伏は、梁主筋の同位置に貼付した2枚のひずみゲージの平均値で判断した。

$\beta=0.17$ のCBJ-1S-17は、北梁の下主筋が $R=1/200\text{rad}$ 近傍で降伏ひずみに達し、 $R=1/150\text{rad}$ 前後でその他の梁主筋が降伏ひずみに至り、 $R=1/33\text{rad}$ で最大層せん断力となり、 $R=1/25\text{rad}$ まで安定した挙動を示した。

$\beta=0.75$ のCBJ-1S-75は、荷重発生状況がCBJ-1S-17と異なっており、梁主筋が $R=1/150\text{rad}$ 前後で降伏ひずみに達した後、 $R=1/133\text{rad}$ (正側)または $R=1/100\text{rad}$ (負側)で最大層せん断力となった。その後、層せん断力の

表-2 鉄筋の材料試験結果

鉄筋種別	降伏応力度 (N/mm^2)	降伏ひずみ ($\times 10^{-3}$)	ヤング係数 ($\times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)	引張強度 (N/mm^2)
D4(SD345)	372.0	1927	1.93	558.4
D10(SD295)	347.3	2019	1.72	476.4
D16(SD345)	391.8	2265	1.73	572.3
D19(SD345)	385.0	2238	1.72	589.0
S10(KSS785)	820.3	4507	1.82	996.0

表-3 コンクリートの材料試験結果

試験体名	圧縮強度 (N/mm^2)	圧縮強度時ひずみ ($\times 10^{-3}$)	ヤング係数 ($\times 10^4 \text{N}/\text{mm}^2$)	割裂引張強度 (N/mm^2)
CBJ-2S-75	33.0	2085	2.76	2.01
CBJ-1S-17	32.3	1982	2.76	1.96
CBJ-1S-75	32.7	2026	2.78	2.01

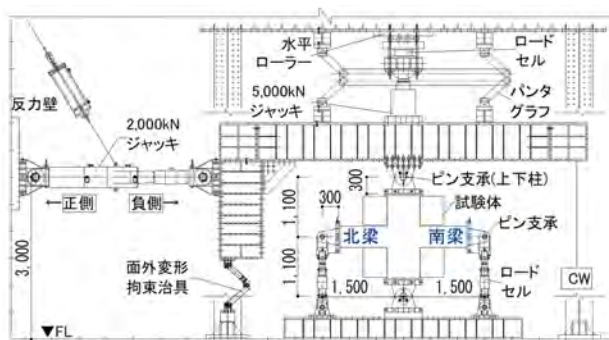


図-3 加力装置

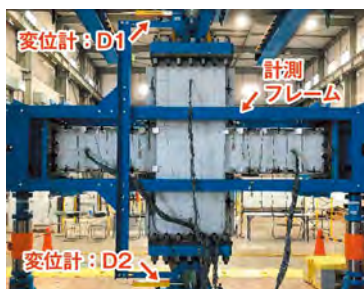


写真-1 制御用変位計の配置

サイクルピーク値は、最大層せん断力から40kN程度低下する挙動を示したが、 $R=1/25\text{rad}$ まで荷重が急減するなどの脆性的な挙動は生じなかった。なお、前述した層せん断力の特徴的な挙動は、 β の値が同じ試験体を用いた文献⁵⁾の実験でも確認された。

一般工法であるCBJ-2S-75は、 $R=1/150\text{rad}$ 前後で梁主筋が降伏ひずみに至り、 $R=1/33\text{rad}$ で最大層せん断力となり、 $R=1/25\text{rad}$ まで安定した挙動を示した。なお、前述した各試験体の柱主筋のひずみは、実験終了まで降伏ひずみ以下の値であった。

3-2 ひび割れ状況

試験体の $R=1/25\text{rad}$ 加力後のひび割れ状況を図-5に示す。梁のひび割れ状況に着目すると、曲げひび割れおよびせん断ひび割れが初めて発生する変形状態は、3つの試験体で同様であった。また、最終的なひび割れ状況に大きな違いは見られないが、加力途中でひび割れ幅が大きくなる位置には試験体毎に特徴が見られた。

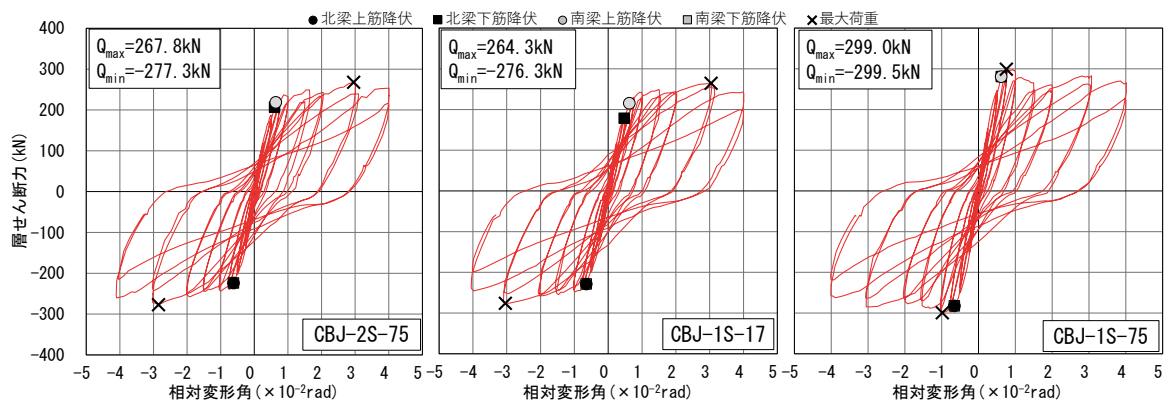
梁の曲げひび割れ幅について、CBJ-1S-17およびCBJ-2S-75では、加力全体を通じて柱面近傍のひび割れ幅が一番大きかった。一方、CBJ-1S-75では特に $R=1/100\text{rad}$ 以降の変形状態において梁ごとに特徴が異なった。梁下が曲げ引張になる梁では、柱面近傍でひび割れ幅が一番大きくなったが、梁下が曲げ圧縮になる梁では、 R の増大に伴いひび割れ幅の大きくなる位置が袖壁端から、柱面側へ変化した。この現象については、4章で考察する。

梁下に取り付く袖壁のひび割れ状況に着目すると、CBJ-1S-17およびCBJ-1S-75の袖壁は、壁頭部にひび割れが集中する傾向は同様であるが、最終ひび割れ状況に違いが見られた。CBJ-1S-17では壁頭部全体が圧壊しコンクリートが剥落したが、CBJ-1S-75の頭部では全体的な圧壊は生じず、袖壁端に近い部分でコンクリートの剥落が生じた。また、CBJ-1S-75では袖壁端から斜め下方向に伸びるひび割れが確認できた。CBJ-1S-17およびCBJ-1S-75の袖壁のひび割れの傾向は、文献⁵⁾と同様であった。

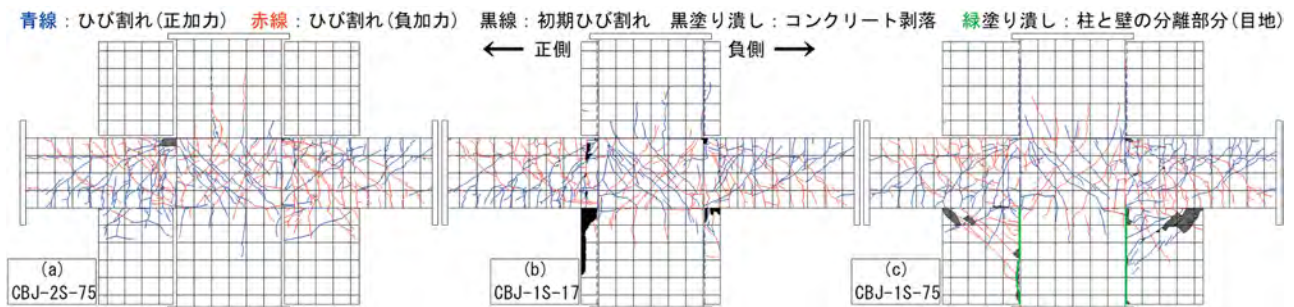
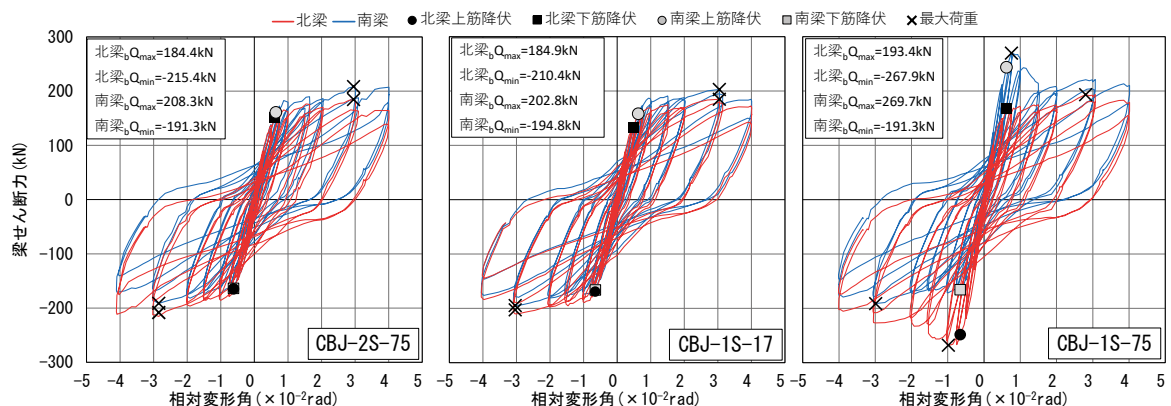
梁下に取り付く袖壁と柱の接続部に設けた目地のひび割れ状況にも、特徴が見られた。CBJ-1S-17では $R=1/133\text{rad}$ サイクルで目地の一部にひび割れが生じたが、その後大きな進展はなかった。一方、CBJ-1S-75では $R=1/400\text{rad}$ サイクルで目地にひび割れが発生し、 $R=1/133\text{rad}$ サイクル以降で目地を境に柱と袖壁が分離する状態に至った。このような β の違いによる目地のひび割れの傾向も、文献⁵⁾と同様であった。

3-3 梁せん断力-相対変形角関係

梁せん断力と相対変形角の関係を図-6に示す。図-6に示す梁せん断力は、梁の反曲点位置での反力の値であり、反曲点位置の支承が引張になる側を正の値として図示しているが、南北梁の同一の R 時点におけるせん断力を比較しやすくするため、北梁のせん断力には-1を乗じて示した。



図—4 層せん断力—相対変形角関係


 図—5 ひび割れ図 ($R'=1/25$ rad 加力後)


図—6 層せん断力—相対変形角関係

CBJ-1S-17 は、正側負側ともに $R'=1/33$ rad で最大せん断力となり、正側では梁下が曲げ圧縮になる南梁のせん断力が、曲げ引張になる北梁のせん断力よりも約 15kN 大きな値を示した。一方、負側では梁下が曲げ圧縮となる北梁のせん断力が、曲げ引張となる南梁のせん断力よりも約 15kN 大きな値を示し、正側とは逆の関係となった。

CBJ-1S-75 は、CBJ-1S-17 と異なる荷重発生状況を示し、正側では梁下が曲げ圧縮となる南梁が $R'=1/133$ rad で最大せん断力となるのに対して、曲げ引張となる北梁では $R'=1/33$ rad で最大せん断力となり、南北梁で最大せん断力を示す変形状態が異なった。

負側では梁下が曲げ圧縮となる北梁が $R'=1/100$ rad で最大せん断力となるのに対して、曲げ引張となる南梁では $R'=1/33$ rad で最大せん断力となり、正側と同様に南北

梁で最大せん断力を示す変形状態が異なった。南北梁の最大せん断力の差は正側負側ともに約 75kN であり、CBJ-1S-17 よりも差が大きかった。

これらより、梁の最大せん断力やその値を示す変形状態には、 β の違いが影響していることが把握できた。また、CBJ-1S-75 では最大せん断力に達した後、せん断力が低下する現象を確認した。この要因については、4 章で考察する。

CBJ-2S-75 では、正側負側ともに $R'=1/33$ rad で梁の最大せん断力となり、梁下が曲げ圧縮になる梁の最大せん断力が、曲げ引張になる梁の最大せん断力よりも約 25kN 大きな値となった。

§ 4. 実験結果に対する考察

4-1 層せん断力と梁せん断力の最大値

層せん断力最大値は、CBJ-1S-17 で 276.3kN、CBJ-1S-75 で 299.5kN、CBJ-2S-75 で 277.3kN であった。部材寸法が同じ試験体でスマートスリット構法の有無による影響を直接的に比較すると、層せん断力最大値の CBJ-2S-75 に対する CBJ-1S-75 の比は 1.08 であり、スマートスリット構法は層せん断力最大値に影響を与えることを確認した。

梁せん断力最大値について正側で検討すると、南梁では CBJ-1S-17 で 202.8kN、CBJ-1S-75 で 269.7kN、CBJ-2S-75 で 208.3kN であった。また、北梁では CBJ-1S-17 で 184.9kN、CBJ-1S-75 で 193.4kN、CBJ-2S-75 で 184.4kN であった。

梁せん断力最大値についても層せん断力と同様に検討すると、梁せん断力最大値の CBJ-2S-75 に対する CBJ-1S-75 の比は南梁で 1.29、北梁で 1.05 であった。ここで、正側では南梁の梁下が曲げ圧縮、北梁の梁下が曲げ引張となる。これらより、スマートスリット構法は特に、梁下が曲げ圧縮になる梁のせん断力最大値に影響を及ぼすことを把握した。

3-3 節で示した CBJ-1S-75 の梁せん断力が最大値に達した後に低下する現象については、3-2 節で示した袖壁のひび割れ状況も併せて考えると、袖壁端部でコンクリートの破壊が進展することで袖壁の梁に対する拘束が低下し、実質的な梁の内法長さが増大することで生じたと推察される。また、梁の実質的な内法長さが増大したことも、3-2 節で示した梁の曲げひび割れ幅の大きくなる位置が袖壁端から柱面側へ変化したことと関係していると考えられる。

4-2 梁主筋のひずみ性状

正側の $R'=1/200\text{rad}$ サイクルピーク時点における梁主筋のひずみ分布を図-7 に示す。なお、正側では北梁の梁下が曲げ引張側、南梁の梁下が曲げ圧縮側となる。

北梁の主筋ひずみを試験体間で比較すると、下主筋で CBJ-1S-17 のひずみが他の試験体よりも多少大きくなっているが、その他については全試験体で概ね同様なひずみとなっていた。

一方、南梁の主筋ひずみを試験体間で比較すると特徴的な傾向が見られた。1 つ目は、上主筋のひずみについてである。CBJ-1S-17 と CBJ-2S-75 は柱面に向かってひずみが漸増しているのに対して、CBJ-1S-75 では袖壁端に向かってひずみが漸増し、袖壁端から柱面間では変化が小さくなっていた。

2 つ目は、下主筋のひずみについてである。CBJ-1S-17 と CBJ-2S-75 は柱面に向かってひずみが漸増しているが、柱面から 100mm 離れた位置 (CBJ-1S-17 の袖壁端) からはひずみが多少漸減する挙動になっていた。一方、CBJ-1S-75 は袖壁端に向かってひずみが漸増しているが、袖壁端から柱面間では漸減する挙動であった。

これらより、スマートスリット構法は梁下が曲げ圧縮になる梁主筋のひずみ性状に与える影響が相対的に大きく、逆に梁下が曲げ引張になる梁では小さいことを確認した。また、スマートスリット構法を含む架構間で比較すると、 β の値が大きいほど一般工法を含む架構との差が明瞭になっていたことから、梁主筋のひずみ性状に与える影響度合いには、 β の大きさも関係していると考えられる。

4-3 袖壁と柱梁の相対挙動

CBJ-1S-75 の梁下の袖壁と柱の相対水平変位の推移を図-8(a) に示す。相対水平変位は、袖壁に固定した水平方向の変位計を用いて計測した値であり、各サイクルのピーク値を図示した。なお、柱と袖壁が離れる側を正の値としている。

図-8(a) より、正側で梁下が曲げ圧縮になる南梁下に取り付く袖壁では、柱と袖壁の相対水平変位はほぼ 0 であった。一方、梁下が曲げ引張になる北梁下に取り付く袖壁では、 $R'=1/200\text{rad}$ 以降の変形状態において柱と袖壁が離れる挙動を示した。

また、例えば南梁下に取り付く袖壁では $R'=-1/200\text{rad}$ で柱と袖壁が離れる挙動を示しているが、次のサイクルピークである $R'=1/133\text{rad}$ 時には、柱と袖壁の相対水平変位がほぼ 0 に戻っている。これらより、スマートスリット構法を含む架構の袖壁は、一方向の加力において一旦柱と袖壁が離れたとしても、逆方向の加力時に柱と袖壁の相対水平変位がほぼ 0 に戻る特徴があることが明らかになった。

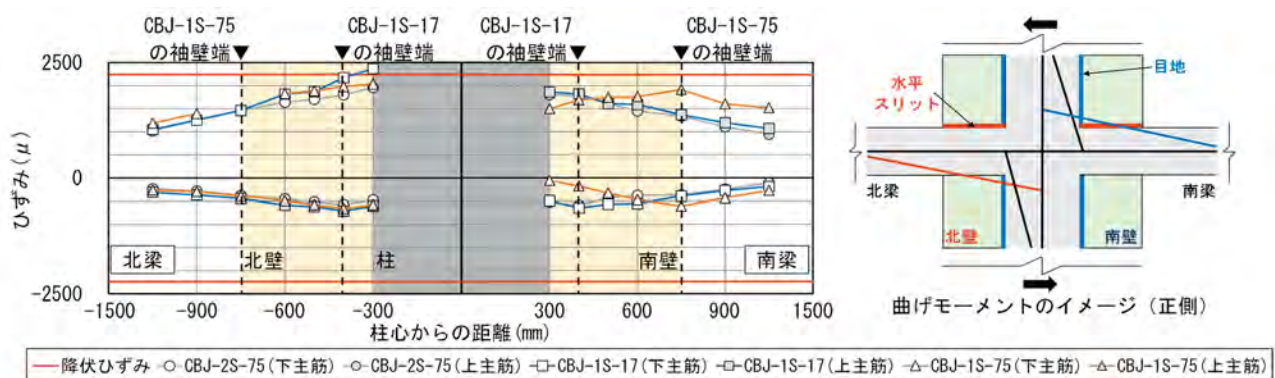


図-7 梁主筋のひずみ分布 (正側・ $R'=1/200\text{rad}$)

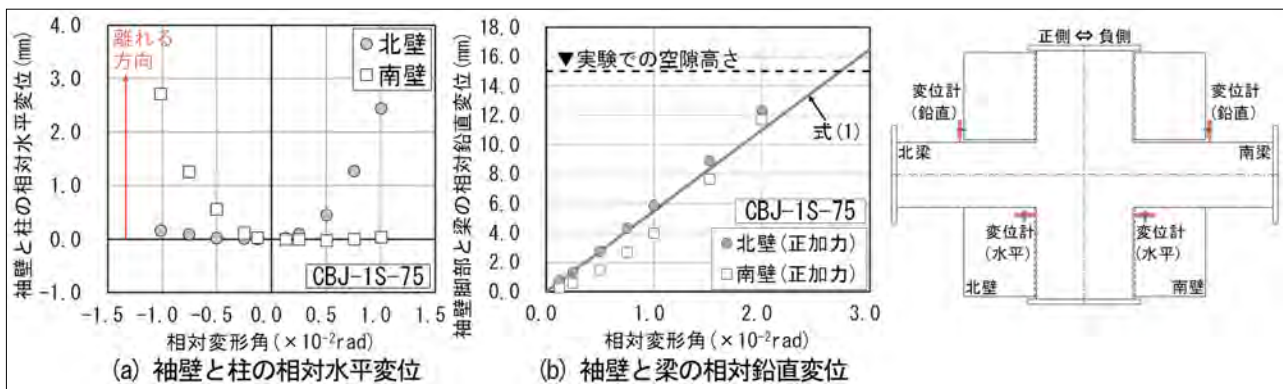


図-8 袖壁と柱梁の相対的な挙動

次に、袖壁脚部と梁との相対的な鉛直方向変位（正側）の推移を整理して図-8(b)に示す。相対鉛直変位は、袖壁端に固定した鉛直方向の変位計で計測した値であり、各サイクルのピーク値を図示した。また、図-8(b)では袖壁と梁が離れる側を正の値としているが、図示の都合上、正側で袖壁と梁が近づく側となる北壁の変位量に-1を乗じて同図に示した。図-8(b)中には、式(1)で算定した値も併記した。式(1)は、文献⁸⁾に示されている構造目地の見付幅算定式である。

$$\delta_s = R_s \times L_w \times \frac{l}{h} \quad (1)$$

ここで、 δ_s ：構造目地の見付幅、 R_s ：保証層間変形角、 L_w ：袖壁長さ、 l ：柱の高さ、 h ：柱の内法高さである。

図-8(b)より、 $R=1/50\text{rad}$ までの計測結果は式(1)で算定した値と概ね近似していることが確認できる。これらより、スマートスリット構法の袖壁脚部と梁間に設置する水平スリットの厚さは、式(1)を用いて算定できることを確認した。なお、実験では $R=1/33\text{rad}$ で袖壁下端と梁の接触が確認されているが、その現象も式(1)を用いて説明できる。

§5. おわりに

スマートスリット構法が、それを含む架構の挙動に及ぼす影響を検討するために部分架構実験を実施した。本報の範囲内で確認できた事項を以下に示す。

- (1) スマートスリット構法は、層せん断力や梁せん断力の最大値を示す変形状態、梁主筋のひずみ性状に影響を及ぼす。また、袖壁長さ比が大きいほど影響度合いが顕著である。
- (2) 目地のひび割れの進展や袖壁上部のひび割れ状況、袖壁端から斜め下方にひび割れが進展するなどの特徴は、文献⁵⁾の実験結果と同様であった。
- (3) スマートスリット構法は、それを含む架構の中で特に梁下が曲げ圧縮になる側の梁のせん断力や梁主筋のひずみ性状に対する影響が大きい。

一方、梁下が曲げ引張になる側の梁のせん断力や梁主

筋のひずみ性状に対する影響は小さい。

- (4) スマートスリット構法の袖壁は、一方向の加力で一旦柱との分離が生じたとしても、逆方向の加力時には分離がほぼ0に戻るという特徴を有する。
- (5) スマートスリット構法を含む架構の袖壁脚部と梁間に設置する水平スリットの厚さは、文献⁸⁾に示される構造目地の見付幅算定式を準用して検討できる。

謝辞。 本報は西松建設・秋田県立大学・日本大学の共同研究における成果の一部を纏めたものである。ご指導頂いた、秋田県立大学 西田教授・菅野教授、日本大学 高橋教授に深謝申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会：2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報，pp.439-456，2011.7
- 2) 古賀一八：熊本地震から見た設計・建設年代で異なる発災後の対応，コンクリート工学，Vol.55，No.12，pp.1024-1025，2017.12
- 3) 深澤他：鉛直構造スリットのコンクリート側圧耐荷性能評価に関する研究，日本建築学会技術報告集 第17巻 第36号，pp.433-438，2011.6
- 4) 木原他：片側袖壁付きRC柱における壁板の損傷軽減に関する研究，コンクリート工学年次論文集，Vol.37，No.2，pp.103-108，2015
- 5) 郡司他：壁脚部のみに水平スリットを有するRC袖壁付き柱の静的加力実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.2，pp.373-378，2022
- 6) 郡司他：スマートスリット構法の開発 その1 曲げせん断実験，西松建設技報 48号，2025
- 7) 郡司他：壁脚部のみに水平スリットを有するRC袖壁付き柱の部分架構実験，コンクリート工学年次論文集，Vol.45，No.2，pp.481-486，2023
- 8) 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，1990.11