

# 論文 鉄骨境界梁を有する並列プレキャスト連層壁の履歴性状

浦塚 正伸\*1・李 文聰\*2・江崎 文也\*3・田中 照久\*4

**要旨:**アンボンド高強度鉄筋(PC鋼棒13φ)を断面中央に配置し、壁主筋及び壁縦筋脚部をアンボンド化して基礎梁と一体に打設した鉄骨境界梁付並列連層壁の実験によれば、エネルギー吸収の大きい履歴性状を示すことがわかった。そこで、プレキャスト連層壁を鉄骨境界梁で連結した並列連層壁の履歴性状を明らかにするため、鉄骨梁と連層壁の接合実験、プレキャスト連層壁と基礎梁の接合実験を行い、鉄骨梁がエネルギー吸収の大きい履歴性状を示すこと、プレキャスト連層壁が復元性のある履歴性状を示すことを実証した。また鉄骨境界梁付並列連層壁はエネルギー吸収の大きい履歴性状を示し、修復性に富んだ連層壁とすることができた。

**キーワード:**自己復元性、連層耐震壁、アンボンド、高強度鉄筋、鉄骨境界梁

## 1. 序

文献1)で連層壁主筋及び壁縦筋脚部をアンボンド化して基礎梁と一体化打設した並列連層耐震壁の実験を行い、修復性に富んだ連層耐震壁とすることができる見通しが得られた。そこで、連層壁をプレキャスト化し、基礎梁との接合性能及び連層壁と鉄骨梁との接合性能について実験的に明らかにするとともに、プレキャスト化した連層壁と基礎梁をアンボンド高強度鉄筋(PC鋼棒13φ)で連結した並列連層耐震壁を鉄骨梁で接合した鉄骨境界梁付並列耐震壁の一定軸力下の水平力載荷実験を行い、その履歴性状について検討を行った。本論は上記の実験とその検討結果を述べるものである。

## 2. 実験概要

### 2.1 試験体

図-1に試験体形状、図-2に配筋例とシアキー詳細、図-3に鉄骨境界梁形状と境界梁ゲージ貼付位置を示す。境界梁接合シリーズ実験は、連層壁1体と2種類の境界梁を用意し、20φのPC鋼棒の締め付け(PC鋼棒の降伏点荷重の1/4程度の約85kNの初期張力)によって壁に取付けた。試験体名はそれぞれ09-WB-1、09-WB-2で示した。壁接合シリーズ実験は、連層耐震壁水平断面中央に4本のアンボンド高強度鉄筋(PC鋼棒13φ)を配置し、壁脚部のシアキー有無の試験体を用意した。シアキー有りの試験体を09-UWB-1、シアキーなしの試験体を09-UWB-2で示す。並列耐震壁は、09-UWB-2の連層耐震壁2枚を並列させ、09-WB-2で使用した境界梁を20φのPC鋼棒の締め付け(PC鋼棒の降伏点荷重の1/3程度の約107kNの初期張力)によって取り付け、連結したものである。試験体名は、09-UBWB-1.5-0.05で示す。

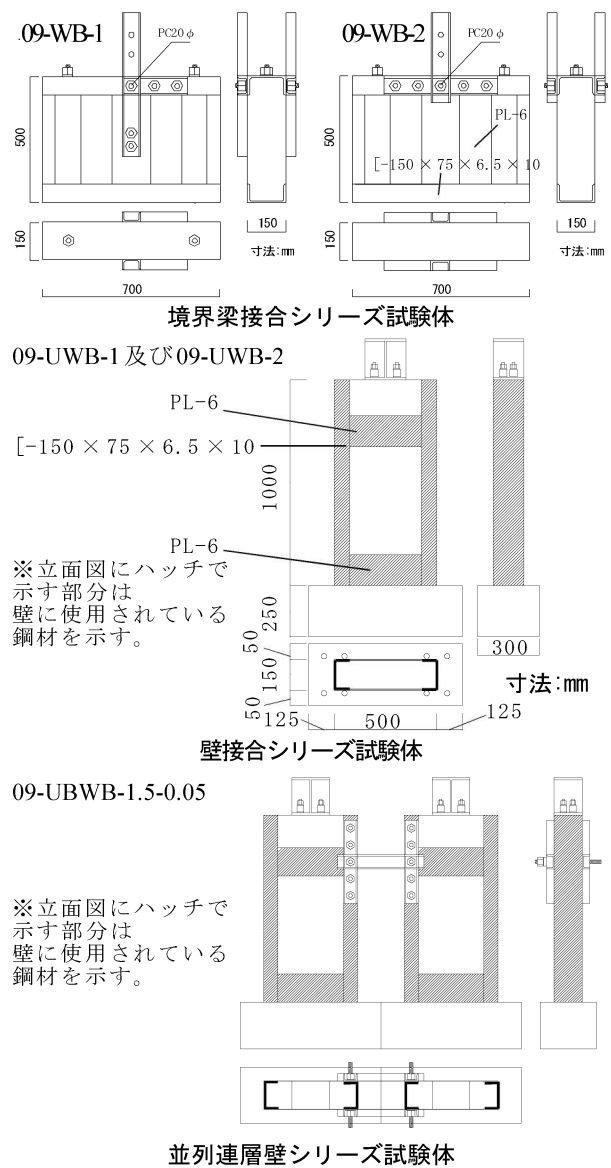


図-1 試験体形状

\*1 福岡大学大学院工学研究科建設工学専攻 (正会員)

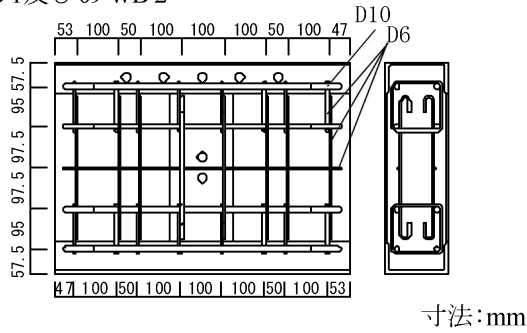
\*2 福岡大学工学部建築学科助教・博士(工学) (正会員)

\*3 福岡大学工学部建築学科教授・工博 (正会員)

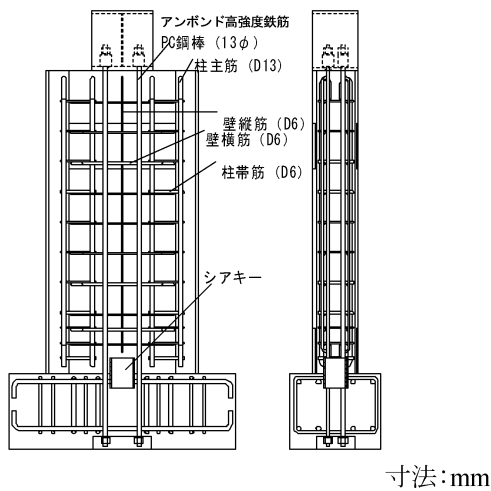
\*4 福岡大学工学部建築学科助手 (正会員)

表-1に使用材料の力学的性質、表-2に試験体一覧を示す。

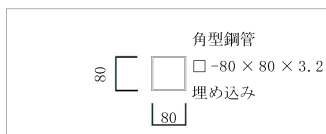
09-WB-1及び09-WB-2



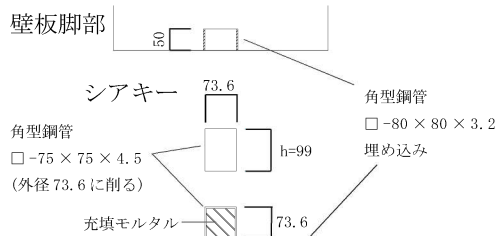
09-UBW-1



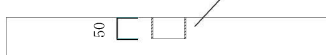
基礎梁上端(平面)



壁板脚部



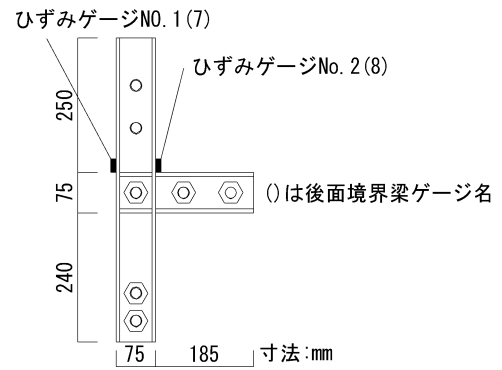
基礎梁上端(立面)



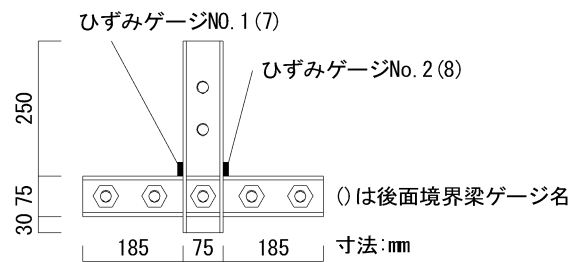
※シアキーの充填モルタルは水セメント比50%, セメントの2.5倍の砂を調合したもの。そのシアキーを基礎梁に埋め込んだ角型鋼管に差し込む。

図-2 配筋例とシアキー詳細

09-WB-1



09-WB-2



09-UBWB-1.5-0.05

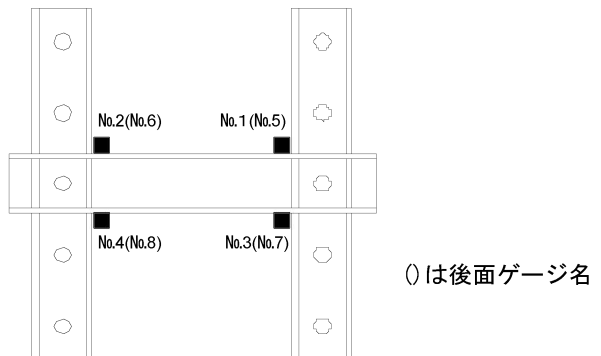


図-3 境界梁形状及びゲージ貼付位置

表-1 材料力学的性質

鉄筋					
種別	$\alpha$ (mm <sup>2</sup> )	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$E$ (GPa)	$\epsilon$ (%)
D6	32	350	521	194	17.8
D13	127	346	509	187	16.9
PC鋼棒13φ	132	1210	1273	176	11.2

$\alpha$  : 断面積  $\sigma_y$  : 降伏点応力度  $\sigma_u$  : 引張強度  $E$  : ヤング係数  $\epsilon$  : 伸び

鉄骨			
鋼材	$\sigma_y$ (MPa)	$\sigma_u$ (MPa)	$E_s$ (GPa)
[75×40×5×7]	274	412	191

$\sigma_y$  : 降伏点応力度  $\sigma_u$  : 引張強度  $E_s$  : ヤング係数

コンクリート			
試験体	$\sigma_B$ (MPa)	$E_c$ (GPa)	$\epsilon_c$ (%)
壁接合シリーズ	21.7	21	0.19
境界梁接合シリーズ			
09-UBWB-1.5-0.05	25.6	24.5	0.221

$\sigma_B$  : シリンダー圧縮強度  $E_c$  : ヤング係数  $\epsilon_c$  : 圧縮強度時のひずみ

表-2 試験体一覧  
境界梁接合シリーズ試験体

試験体名	柱			壁	
	断面積	主筋	帯筋	縦筋	横筋
09-WB-1	150×150 (mm×mm)	4-D13	8-D6	2-D6	8-D6
09-WB-2					

壁接合シリーズ試験体

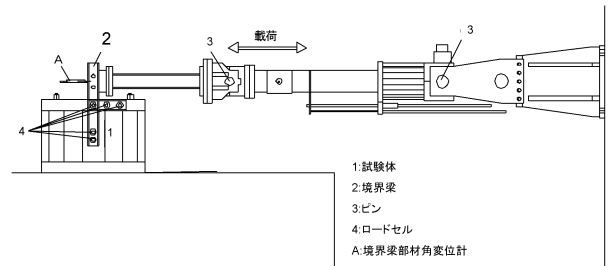
試験体名	柱			壁		PC鋼棒	シアキー
	断面積	主筋	帯筋	縦筋	横筋		
09-UBW-1	150×150 (mm×mm)	4-D13	D6@50 (h ≤ 200mm)	2-D6	D6@50 (h ≤ 200mm)	4-13φ	有
09-UBW-2			D6@100 (h ≥ 200mm)		D6@100 (h ≥ 200mm)		無

並列連層壁シリーズ試験体

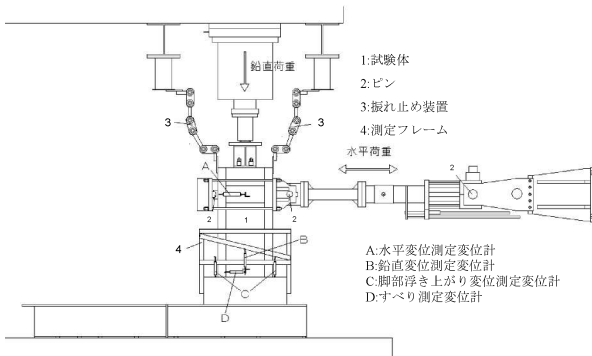
試験体名	柱			壁		PC鋼棒
	断面積	主筋	帯筋	縦筋	横筋	
09-UBWB-1.5-0.05	150×150 (mm×mm)	4-D13	D6@50 (h ≤ 200mm) D6@100 (h ≥ 200mm)	2-D6	D6@50 (h ≤ 200mm) D6@100 (h ≥ 200mm)	4-13φ

## 2.2 荷重方法および荷重プログラム

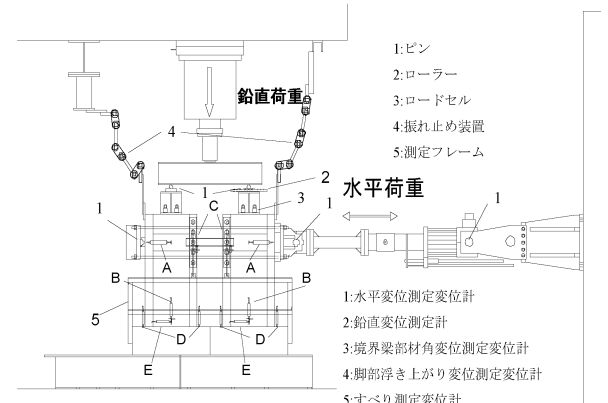
図-4の荷重装置を用いて、部材角 $R$ を0.5%ずつ漸増させ、3%まで各制御変位を3回繰り返す正負交番繰り返し荷重(壁接合シリーズは81kNの一定軸力及び並列連層壁シリーズは192kNの一定軸力を荷重)を行う。部材角 $R$ は水平力荷重装置の水平変位 $\delta$ を荷重位置から壁下端までの高さ $h$ で除した $R=\delta/h$ である。



境界梁接合シリーズ



壁接合シリーズ



並列連層壁シリーズ

図-4 荷重装置

## 2.3 測定方法

境界梁接合シリーズ実験においては、図-5に示すように、水平変位計A, Bを用いて境界梁の部材角の測定、境界梁の取り付けに用いた20φのPC鋼棒の緊張力をロードセルを用いて測定した。図は09-WB-1であるが、09-WB-2においても同様である。鉄骨境界梁のひずみについては図-3に示す位置にひずみゲージを貼付け、測定した。また、壁接合シリーズ実験においては、図-5に示す基礎梁に取り付けたフレーム、溶接したアングルを用いて、水平変位計(A, C)、鉛直変位計(1,3)、すべり測定変位計(ア,ウ)、脚部浮き上がり変位計(あ,う)を取り付け、測定を行った。また、13φのPC鋼棒の緊張力をセン

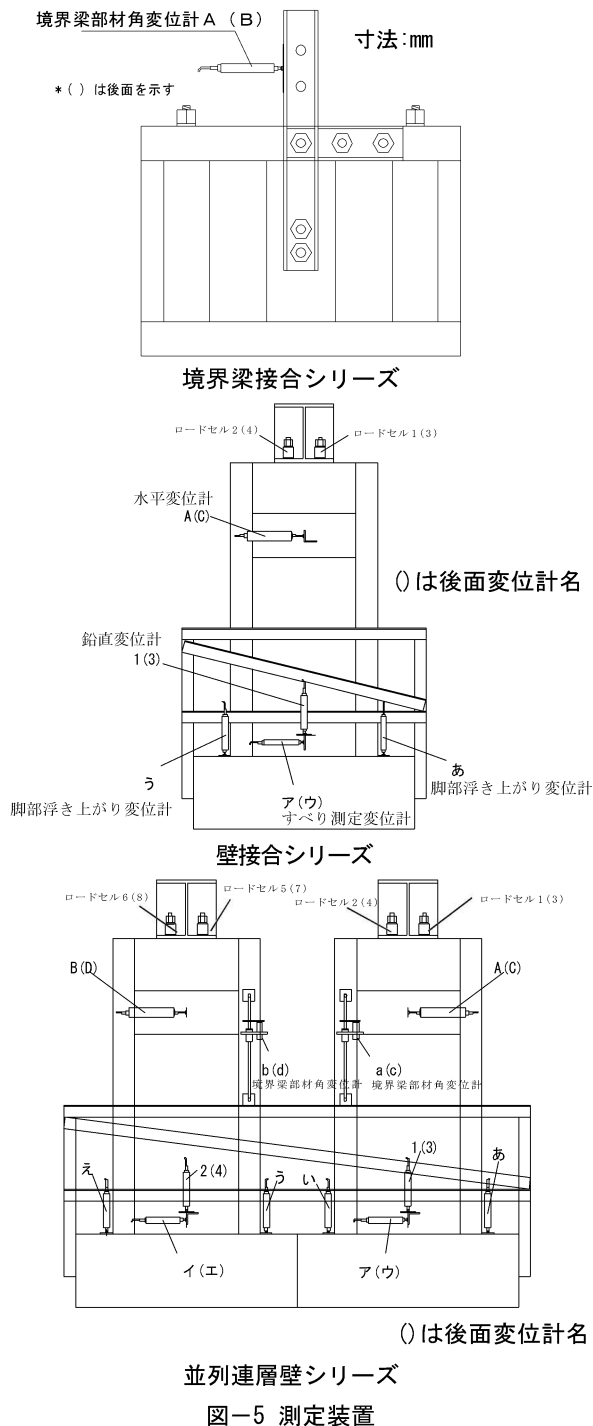
ターホール形のロードセル(ロードセル1~4)によって測定した。並列連層壁シリーズ実験は図-5に示すように、基礎梁に取り付けたフレーム、または試験体に溶接したアングルを利用して水平変位計(A~D)、鉛直変位計(1~4)、境界梁部材角変位計(a~d)、脚部浮き上がり変位計(あ~え)、すべり測定変位計(ア~エ)を取り付け、変位測定を行った。鉄骨梁のひずみについては、図-3に示す位置にゲージを貼り付け、ひずみを測定した。13φ及び20φのPC鋼棒の緊張力測定はセンターホール形のロードセル(ロードセル1~4)を取り付け、測定した。それぞれの実験の試験体の変化については、カメラ及び目視によるスケッチで記録した。

### 3. 実験結果

09-WB-1は部材角3%を超えるところで試験体がすべったため、実験を終了した。09-WB-2では境界梁と載荷装置の接合面に回転が生じ、力の伝達が上手くいかなかったため、部材角2%で実験を終了した。

09-UBW-1は部材角3%の途中で加力点にずれが生じたため、実験を終了した。09-UBW-2は計画通りの部材角3%実験を終了した。どちらも多少基礎部分でのひび割れが見られた。

09-UBWB-1.5-0.05は変位測定が不可能となった部材角2.5%で終了した。



### 3.1 履歴性状

表-3に実験結果、図-6~8に荷重変形関係を示す。境界梁接合シリーズでは、いずれの試験体とも曲げ降伏を起こす鉄骨梁特有の紡錘形の履歴性状を示した。計画した20φのPC鋼棒の初期張力で境界梁の耐力が十分に発揮された。壁接合シリーズでは、いずれの試験体とも原点指向の履歴性状を示し、残留変形がほとんど生じていない。本実験では、鉄骨梁取付の相違やシアキーの有無が履歴性状の及ぼす影響は見られなかった。並列連層壁シリーズでは、エネルギー吸収の大きい紡錘形の履歴性状を示した。

### 3.2 境界梁のひずみ

図-9に境界梁接合シリーズ及び並列連層壁シリーズの境界梁ひずみと平均部材角の関係の一部を示す。点線ラインは降伏ひずみである。境界梁接合シリーズ実験は、部材角1%程度で降伏していることがわかる。並列連層壁シリーズでは、部材角0.5%程度で降伏していることがわかる。

### 3.3 壁脚部と基礎の接地面での脚部のすべり

図-10に壁接合シリーズ試験体の壁脚部と基礎梁上面とのすべりと平均部材角の関係の一部を示す。シアキーがないとすべりが大きくなっている。

### 3.4 PC 鋼棒の緊張力

壁接合シリーズ及び並列連層壁シリーズのロードセル名と位置は図-5に、PC鋼棒の緊張力と平均部材角の関係の一部を図-11に示す。部材角の増大とともに緊張力が増大し、連層壁に変動軸力が導入されていることがわかる。

### 3.5 脚部浮き上がり

図-12に壁接合シリーズ及び並列連層壁シリーズの浮き上がり回転角と平均部材角の関係を示す。これらによれば、連層壁の部材角は連層壁脚部の回転変形により生

表-3 実験結果

境界梁接合シリーズ

試験体名	$Q_u$ (kN)		$R_u$ (%)	
	+	-	+	-
09-UBW-1	116	-128	1.99	-3.07
09-UBW-2	115	-134	1.37	-1.94

壁接合シリーズ

試験体名	$Q_u$ (kN)		$R_u$ (%)	
	+	-	+	-
09-UBW-1	86	-93	1.98	-2.00
09-UBW-2	105	-98	3.00	-2.99

並列連層壁シリーズ

試験体名	$Q_u$ (kN)		$R_u$ (%)	
	+	-	+	-
09-UBWB-1.5-0.05	326	-307	2.45	-2.44

$Q_u$ : 最大水平荷重  $R_u$ :  $Q_u$  時の部材角

じている。

### 3.6 鉄骨境界梁部材角

図-13に並列連層壁シリーズの鉄骨境界梁部材角と平均部材角(水平変位を加力点の高さで割り、%に直した値を部材角とし、両壁の平均の値を平均部材角とす

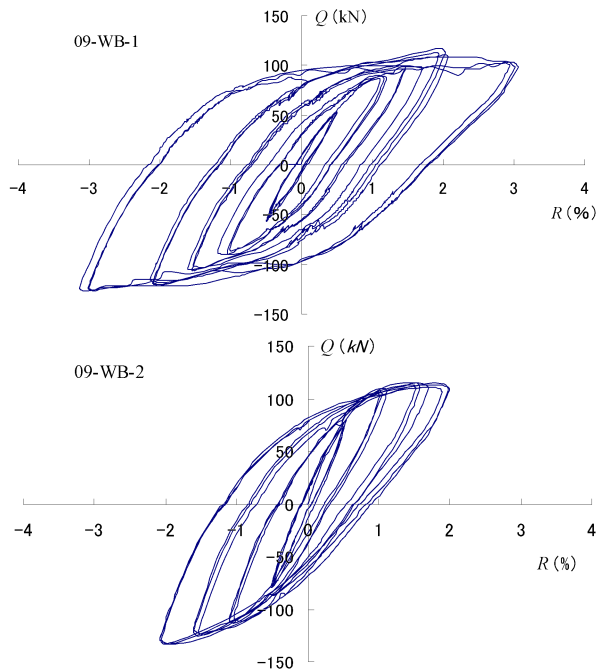


図-6 境界梁接合シリーズの荷重変形関係

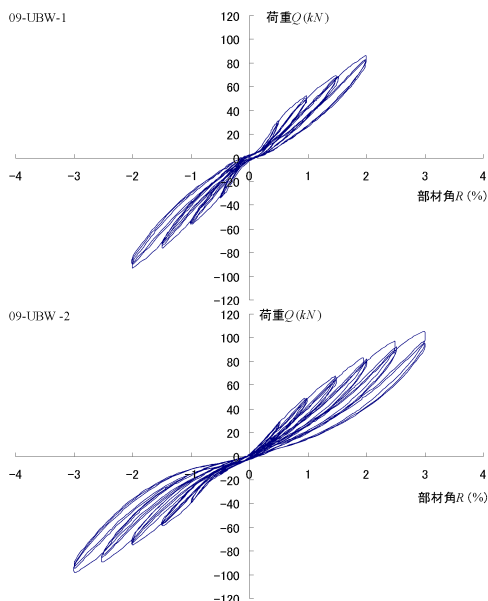


図-7 壁接合シリーズの荷重変形関係

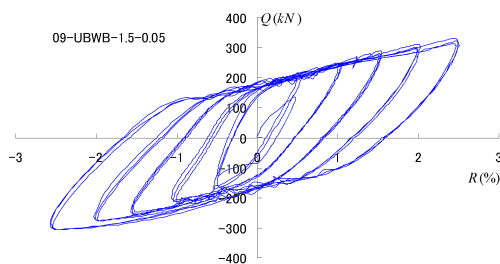


図-8 並列連層壁シリーズの荷重変形関係

る)の関係を示す。図中に連層壁脚部で壁が剛体回転したときの壁のRと境界梁の部材角の関係を破線で示す。これらによればほぼ連層壁が脚部で剛体回転していることがわかる。境界梁の部材角が連層壁の部材角より大きい場合、

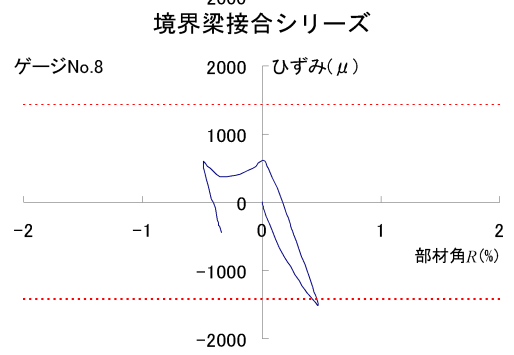
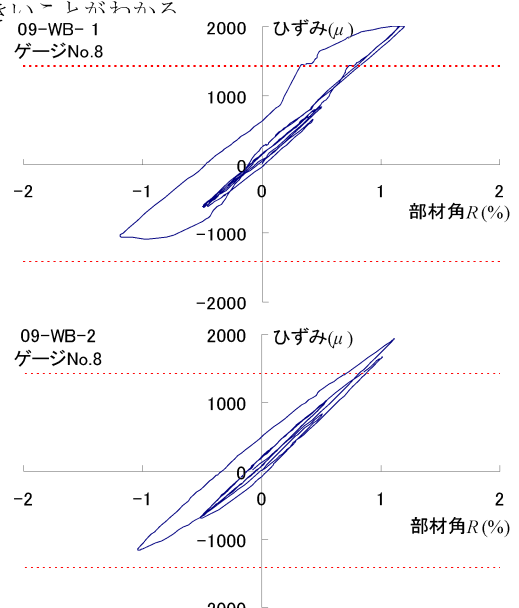


図-9 境界梁ひずみと平均部材角の関係

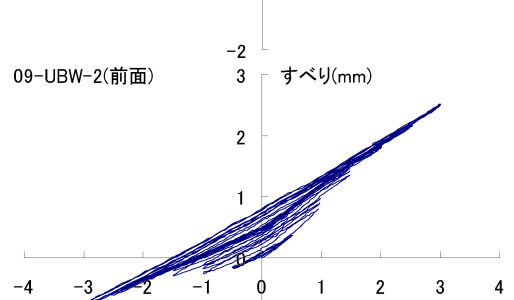
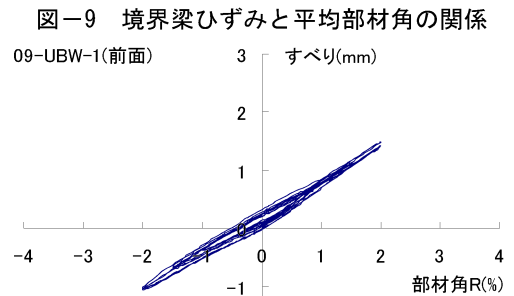


図-10 壁接合シリーズのすべりと平均部材角

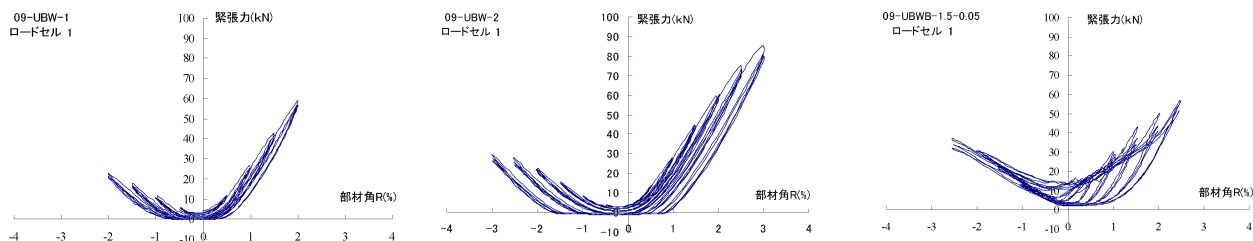


図-11 PC鋼棒の緊張力と平均部材角の関係

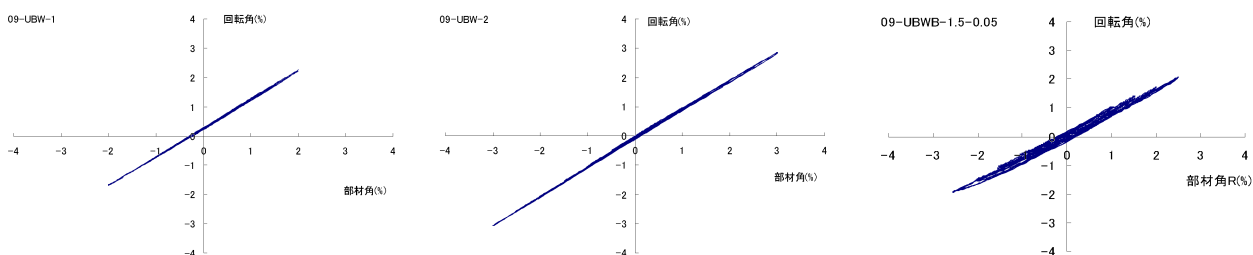


図-12 浮き上がり回転角と平均部材角の関係

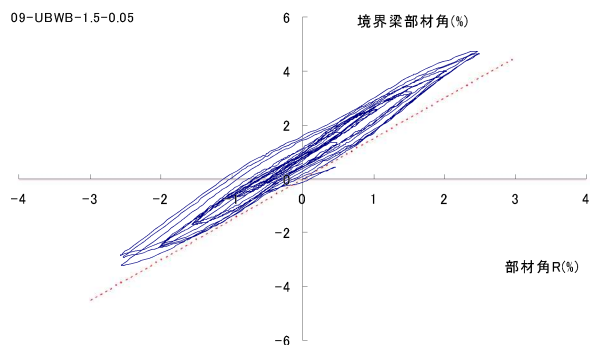


図-13 鉄骨境界梁部材角と平均部材角の関係

#### 4. 結論

境界梁接合、壁接合及び並列連層壁の各シリーズの実験を行い、以下の結論を得た。

- 1)境界梁接合シリーズでは、いずれの試験体も1.0%程度で鉄骨梁が降伏し、エネルギー吸収の大きい履歴性状を示した。部材角2%時まではほぼ同様の履歴性状が見られ、接合部の相違による履歴性状への影響は見られなかった。
- 2)壁接合シリーズでは、水平変形が増大してもひび割れは基礎部だけで壁にはほとんど見られず、残留変形もほとんど生じなかった。シアキーによるすべり防止は効果があることがわかった。また、シアキー有りの方が若干ではあるが初期剛性が高くなっていた。耐力については両者にほとんど違いはなかった。
- 3)並列連層壁シリーズでは、水平変形が増大しても壁はひび割れを生じず、境界梁でエネルギーを吸収し、平均部材角0.5%程度で鉄骨梁は降伏した。実験後は境

界梁を容易に除くことができ、壁は若干の浮き上がりは見られたがほぼ元の位置に戻った。これらの実験結果から、本論で提案するプレキャスト並列連層耐震壁は、エネルギー吸収の大きい履歴性状を示すことができるとともに、塑性化した鉄骨境界梁を容易に取り外すことができ、修復性に富んだ連層耐震壁とすることができる。

#### 5. 今後の検討課題

- 1)境界梁接合シリーズについては部材角2%以降における接合部の相違が履歴性状にもたらす影響の検討をする必要がある。
- 2)壁接合シリーズについてはプレキャスト化を目的とするこの実験では施工精度が重要であり、工法を含め今後検討する必要がある。
- 3)並列連層壁シリーズでは、壁と基礎の接地面ですべりが見られたので、シアキーの施工法も含めた検討が必要と思われる。

#### 謝辞

試験体製作にあたって平成21年度研究室の卒論生、大学院生、及び福岡大学工学部建築学科技術職員平國久雄氏にお世話になった。ここに、関係者各位に感謝します。

#### 参考文献

- 1)浦塚正伸, 江崎文也, 李文聰, 田中照久: 自己復元性のある連層壁の開発に関する研究, コンクリート工学年次論文集, Vol.31, No.2, 2009, pp415-420