

プレキャスト RC ブレースを用いた混合構造に関する実験的研究

Experimental Study on Mixed Structure with Precast RC Brace

江頭 寛 HIROSHI EGASHIRA
 小坂 英之 HIDEYUKI KOSAKA
 山中 久幸 HISAYUKI YAMANAKA
 田野 健治 KENJI TANO

建築生産計画部 梅木 俊毅 TOSHITAKE UMEKI

鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁からなる混合構造の耐震要素として、圧縮のみに抵抗するプレキャスト RC ブレースを適用するために、RC ブレース単材の圧縮実験、ブレース仕口部近傍の部分架構実験およびブレースを組み込んだ架構実験を実施した。これらの実験の結果、RC ブレースの圧縮強度は、コンクリートと鉄筋の累加強度の約 0.9 倍であること、架構に組込んだ RC ブレースは、仕口部周辺の応力集中による破壊を生じやすく、これを回避するために、ブレース端部に応力分散部を設けることが有効であることなどがわかった。

キーワード：RC ブレース、プレキャスト、混合構造、免震構造、圧縮強度

We examined the use of the precast RC brace as an earthquake resistant member of the structure consists of RC columns and steel beams. In this study, the compressive strength tests of the RC brace and destructive tests of the sub-assemblages with brace joint and the frame with RC brace were executed. As a result, the followings are turned out. The compressive strength of the RC brace was about 0.9 times of that of accumulative strength of the concrete and the steelbars. The RC brace built in frame occurs stress concentration failure in the connection part, and the stress decentralization part like as a concrete mass is turned out to be effective to prevent the failure at the edge of the RC brace.

Key Words: RC Brace, Precast, Mixed Structure, Base Isolation Structure, Compressive Strength

1. はじめに

鉄筋コンクリート柱と鉄骨梁からなる混合構造¹⁾⁻⁵⁾

(以下、柱 RC 梁 S 構造)の架構に耐震要素としてプレキャスト RC 造のブレースを用いる構工法について研究開発を行っている。引張力に弱く、圧縮力に強いコンクリートをブレース材に利用するには、圧縮方向にのみ抵抗する機構とすることが必要であり、細長比の大きなブレース材では圧縮力に対して脆性的な破壊性状を示すことが懸念される。しかしながら、免震構造を採用し、上部構造に作用する地震力を抑制して RC ブレースの負担軸力を制御する設計によれば、架構に大きな剛性を付与することができる RC ブレースの特性が活かされ、合理的な構造とすることが可能である。また、RC ブレースをプレキャスト化することによって、鉄骨ブレースと同様の簡便な施工を実現できるものと期待される。

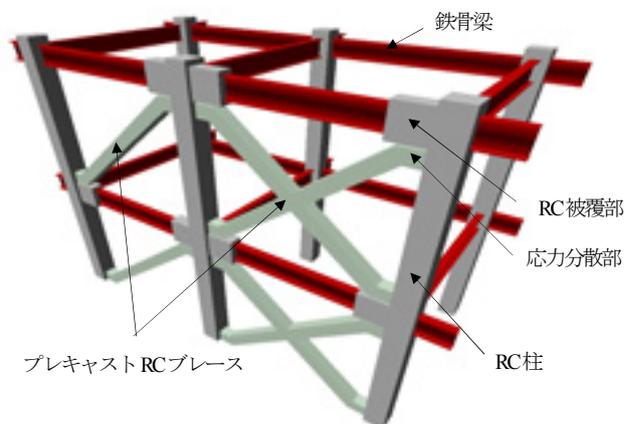


図-1 架構の概要図

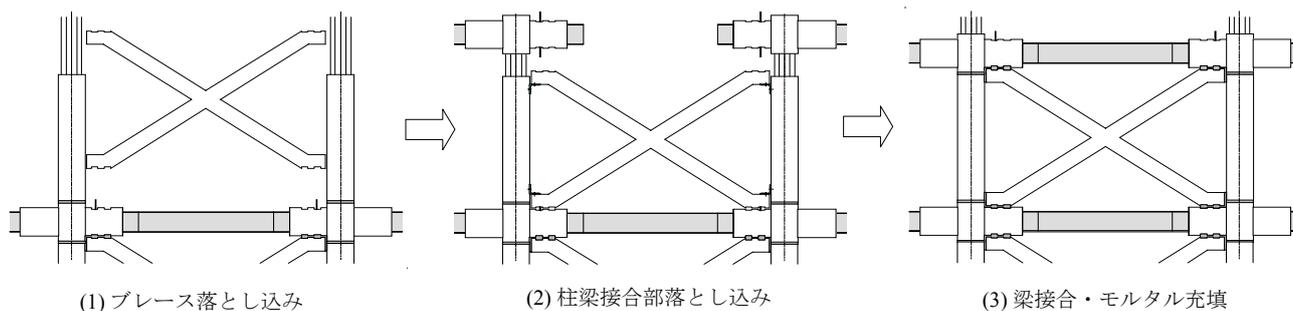


図-2 プレキャスト工法による施工例

本研究では、このプレキャスト RC ブレースの適用に際して基本性能を把握するために、① RC ブレース単材の圧縮実験、② ブレース仕口部を対象とした部分架構実験、③ RC ブレースを有する架構の水平加力実験を行った。本報では、プレキャスト RC ブレースを用いた工法の概要および各実験結果について報告する。

2. 工法概要

図-1に架構の概要図を、図-2にプレキャスト工法による施工例を示す。本工法は、柱部材の建て方後に、RC ブレースを据付けて仮組みし、次いで柱梁接合部、鉄骨梁中央部の各部材を架設するというものである。柱梁接合部の部材は、RC ブレースが取り付け梁端部を含めてコンクリートで被覆された鉄骨梁貫通形式の混合構造である。柱フェイス位置の鉄骨梁フランジ間には支圧板を設けている。

柱-柱梁接合部間の接合およびブレース端部の接合は、高強度モルタルを充填することによって行う。本 RC ブレースは引張力には抵抗しないことを意図しているため、ブレースの仕口部は、部材の脱落防止用のダボ鉄筋を配するのみとし、ブレースの軸圧縮力は充填モルタルを介して柱梁接合部に伝達する機構となっている。ブレースの端部は、軸部より断面を大きくし、ブレース軸力により柱梁接合部に作用する応力集中の緩和を図っている。このブレース端部の応力分散部は、ブレース取り付け時の安定性を確保することにも寄与している。

本架構形式の主な特徴は、①圧縮のみに抵抗する RC ブレースを耐震要素に用いることで、ブレース仕口部の構造を単純化させたこと、②ブレースをはじめ、柱、梁などの架構を構成する主要な部材をプレキャスト化し、工業化工法に対応できるようにしたことである。本工法の適用によって、鉄骨構造と同様な建て方工事が実現でき、RC 造耐震壁を用いた場合に比べて建設工期の短縮が可能となる。

表-1 試験体の一覧

試験体名	幅×せい B×D(mm)	座屈長さ L_k (mm)	偏心距離 e (mm)	L_k/D	e/D	加力方法
BL0	150×150	2,700	0.0	18	0	中心圧縮
BS0		1,950	0.0	13	0	
BM0		2,250	0.0	15	0	
BM1			12.5		1/12	逆対称偏心圧縮
BM2			25.0		1/6	

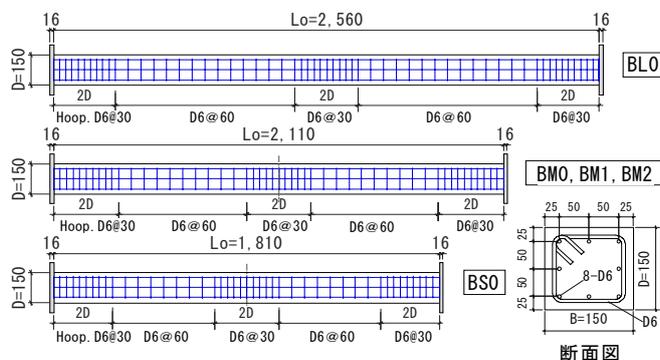


図-3 試験体図

3. RC ブレース単材の圧縮実験

本章では、RC ブレース単材の圧縮強度を検証するために行った加力実験の概要と結果について報告する。

(1) 試験体

表-1に試験体の一覧を、図-3に試験体図を示す。試験体は、幅 $B \times$ せい $D=150 \times 150$ mm の断面形状をした合計 5 体の RC ブレース材である。試験体のパラメータは、座屈長さ L_k (部材長 L_0 + 支持金物長 140mm) と荷重の偏心距離 e である。BL0, BM0, BS0 は偏心のない中心圧縮試験体であり、座屈長さの断面せいに対する比 L_k/D は、それぞれ 18, 15, 13 である。一方、BM1, BM2 は $L_k/D=15$ の偏心圧縮試験体であり、荷重の偏心距離の断面せいに対する比 e/D はそれぞれ 1/12, 1/6 としている。主筋は 8-D6 で、両端部は 16mm の鋼板に溶接している。横補強筋は両端と中央部が $D6@30$ mm、その間が $D6@60$ mm である。表-2に材料試験結果を示す。

表-2 材料試験結果

記号	コンクリート			鉄筋D6 (SD295A)	
	圧縮強度 σ_B	割裂強度 σ_t	弾性係数 E_i	降伏点 σ_y	弾性係数 E_i
	N/mm ²	N/mm ²	$\times 10^4$ N/mm ²	N/mm ²	$\times 10^5$ N/mm ²
BL0	31.9	2.88	2.75	359 (0.2%オフセット値)	1.94
BS0	32.0	2.73	2.71		
BM0	33.1	3.11	2.74		
BM1	32.2	2.72	2.71		
BM2	33.1	2.74	2.70		

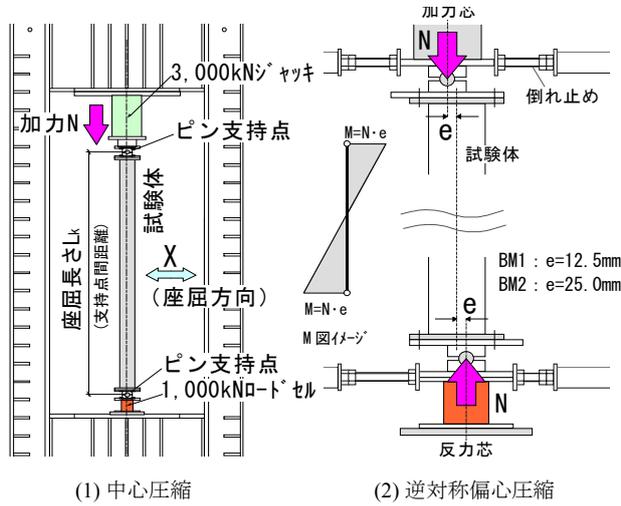


図-4 加力方法

(2) 加力および計測方法

図-4に加力方法を示す。加力は最大荷重 3,000kN の油圧ジャッキで静的に行った。試験体上下端の支持状態は、一方向 (X方向) に回転可能なピン支持とし、座屈方向を限定させた。中心圧縮加力時は、同図 (1) に示すように上下ピンの位置を試験体断面の図心位置に合わせた。偏心圧縮加力時は、実際のブレースに逆対称モーメントが生じることを想定し、上下ピンの位置を同図 (2) のように逆方向に偏心させた。加力ルールは、式 (1) に示す中心圧縮強度 N_0 の 0.3, 0.6 倍の荷重をピーク値として載荷、除荷を 1 回ずつ行い、その後には破壊まで加力することとした。

$$N_0 = \sigma_y A_s + \sigma_B A_c \tag{1}$$

- ここに、 N_0 : 中心圧縮強度 (N),
- A_s : 鉄筋の断面積(mm²),
- A_c : コンクリートの断面積(mm²)
- σ_y : 鉄筋の降伏点(N/mm²),
- σ_B : コンクリートの圧縮強度(N/mm²)

計測項目はジャッキの荷重と試験体上下ピン間の軸変形で、それぞれロードセルと変位計で計測した。

(3) 実験結果

a) 最終破壊状況

写真-1に試験体の最終破壊状況を示す。同写真には破壊部位を○印で示した。中心圧縮試験体の破壊部位は、BL0が部材中央付近、BS0, BM0は部材下端から 2 ~ 3D

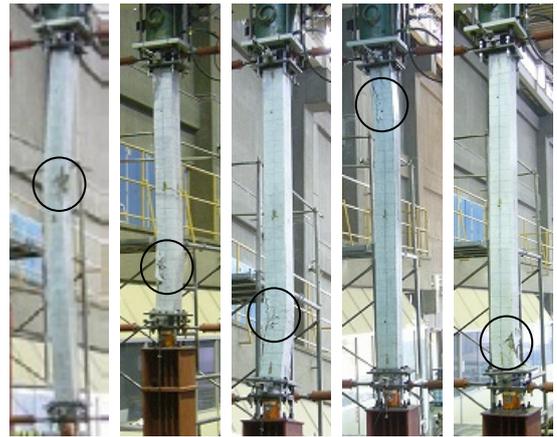


写真-1 最終破壊状況

表-3 圧縮強度の実験値と計算値の対応

記号	L/D	e/D	実験値	式(1)による	N_{max}/N_0	
			N_{max}	中心圧縮強度 N_0		
			kN	kN		
BL0	18	0	699	801	0.87	
BS0	13	0	704	804	0.88	
BM0	15	0	740	828	0.89	
BM1		1/12	623	808	0.77	
BM2		1/6	532	828	0.64	

の範囲となった。偏心圧縮試験体の破壊部位は、BM1が部材上部、BM2が部材下部であり、材端の偏心モーメントの影響を受けている。いずれの試験体も、コンクリートの圧壊により最大荷重に達し、荷重が低下した。

b) 荷重と軸ひずみの関係

図-5に荷重と軸ひずみの関係を示す。同図の縦軸は荷重Nを中心圧縮強度 N_0 で除した無次元化荷重、横軸は試験体上下ピン間の軸変形 ΔL を座屈長さ L_k で除した軸ひずみである。同図 (1) に示す中心圧縮試験体の荷重 - 軸ひずみ曲線は3体とも同様な曲線となり、 L_k/D の違いによる影響は顕著ではない。 N/N_0 の最大値は3体とも約 0.9 で、その時の軸ひずみは $2,000 \sim 2,500 \times 10^{-6}$ である。同図 (2) に示す偏心圧縮試験体 BM1, BM2 は、偏心のない BM0 に比べて剛性、最大荷重ともに低くなっている。 N/N_0 の最大値は e/D が大きいほど小さく、BM1 が約 0.8, BM2 が約 0.6 となった。

(4) 圧縮強度の評価

表-3に圧縮強度の実験値と計算値の対応を示す。上述したように中心圧縮強度の実験値 N_{max} は、座屈を無視した計算値 N_0 の約 0.9 倍の値となった。図-6に座屈を考慮した接線係数理論に基づく接線係数荷重 N_{cr} と中心圧縮加力の実験値との対応を示す。 N_{cr} の算定では、コンクリートの応力 - ひずみ関係は、CFT 指針⁶⁾に示す方法に準じ、鉄筋の応力 - ひずみ関係は、完全弾塑性型のバ

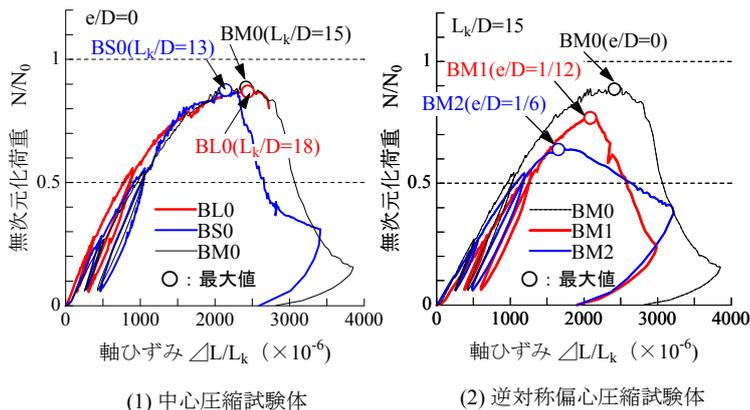


図-5 荷重-軸ひずみ関係

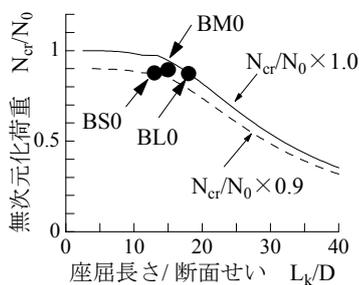


図-6 接線係数荷重と実験値

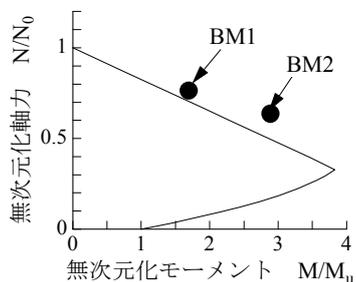


図-7 M-N 相関曲線と実験値

イリニアでモデル化した。実験値は N_{cr} の 0.9 ~ 1.0 倍程度の間位置しており、両者はほぼ整合している。図-7に文献7)による RC 柱のM-N相関曲線と偏心圧縮加力の実験結果との対応を示す。同図の縦軸と横軸は、それぞれ N_0 と軸力が0のときの RC 部材の終局曲げ耐力 M_u で無次元化している。BM1, BM2 の実験値は、M-N 相関曲線を1~3割程度上回っている。

4. ブレース仕口部を対象とした部分架構実験

本章では、RC ブレース仕口部の接合方法と当該部の強度を検証するために行ったト字形部分架構の加力実験の概要と結果について報告する。

(1) 試験体

表-4、表-5に試験体と配筋の一覧を、図-8、図-9に試験体全体図と試験体部分詳細図を示す。試験体は、建物外周部に位置する柱梁接合部を対象としたト字形部分架構で、試験体数は10体である。試験体の主なパラメータは、ブレース仕口部の接合形式と形状、およびコンクリートの強度である。

ブレース仕口部の接合形式は、AJタイプと、BJタイプの2種類である。AJタイプは、ブレース仕口部の

表-4 試験体の一覧

試験体	ブレース仕口部	L_v/D_b	水平目地部のシヤコッター	コンクリート設定強度		
AJ1-1 AJ1-2	入隅型	0.30	なし	30N/mm ²		
AJ2		0.65				
AJ3						
AJ2e AJ3S AJ3SG AJ3SH		1.00	あり			
BJ1		出隅型	1.00		-	30N/mm ²
BJ1H					-	55N/mm ²

<備考>
 AJ2e：ブレースが偏心接合されたタイプ
 AJ3SG：ジベル鋼材が柱梁接合部に内蔵されたタイプ
 AJ3SH, BJ1H：柱梁接合部のコンクリート強度を高めたタイプ

表-5 配筋の一覧

試験体	部位	主筋	せん断補強筋
AJ1-1 AJ1-2	柱	8-D6	□-D6@75
	柱梁接合部		
AJ2 AJ2e	梁	上端筋2-D10 下端筋2-D10	□-D6@90
	ブレース	4-D6	□-D6@40
その他	柱	8-D6	□-D6@75
	柱梁接合部		□-D6@40
	梁	上端筋2-D10 下端筋2-D10	□-D6@60
	ブレース	4-D6	□-D6@40

接合面を柱梁の入隅部に合わせた接合形式(入隅型)の試験体、BJタイプは、柱梁の入隅部にコンクリートを増打ちし、ブレース材端の接合面をブレース材軸に直交させた接合形式(出隅型)で、仕口部の軸力伝達性を高めた試験体である。AJ2eを除く試験体のブレースは、材軸と柱梁接合部の中心位置が一致するように取付けられている。試験体のコンクリート強度は、30N/mm²を基本とした。

AJ1のブレース仕口部は、図-8(1)に示すようにブレースの傾斜角度に応じて先細りした形状となっている。AJ2、AJ3は、ブレース仕口部に生じる応力集中を緩和するために、図-8(2),(3)に示すようにブレース仕口部の鉛直接合距離 L_v を長くし、ブレース軸力の応力分散部を設けた形状となっている。図-8(4)のAJ3Sは、AJ3のブレース仕口部の水平接合面に、図-9(2)に示すシヤコッターを設けた試験体、図-8(5)のAJ3SGは、AJ3Sの柱梁接合部内のS梁端部にH型断面のジベル鋼材を溶接した試験体である。図-8(6)に示すAJ2eは、ブレースを柱梁接合部の中心位置から下方に偏心させて取付けた試験体であり、偏心距離 e のブレース断面せい D_b に対する比 e/D_b は約0.35になっている。図-8(7)のBJ1は、ブレース材端部の応力分散部を柱梁側に設けた試験体である。AJ3SHとBJ1Hは、仕口部のディテールをそ

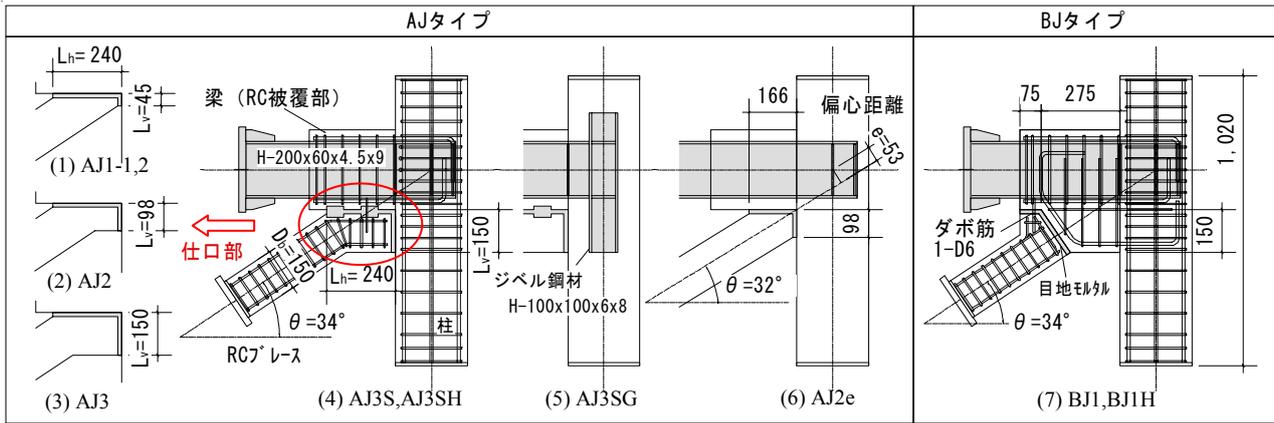


図-8 試験体全体図

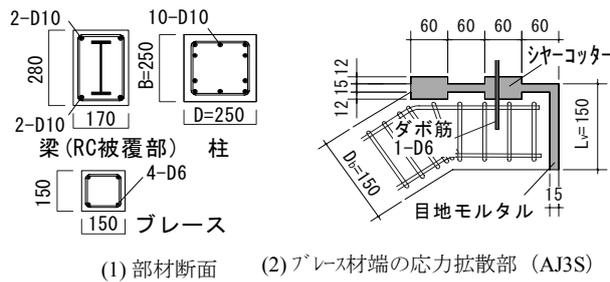


図-9 試験体部分詳細図

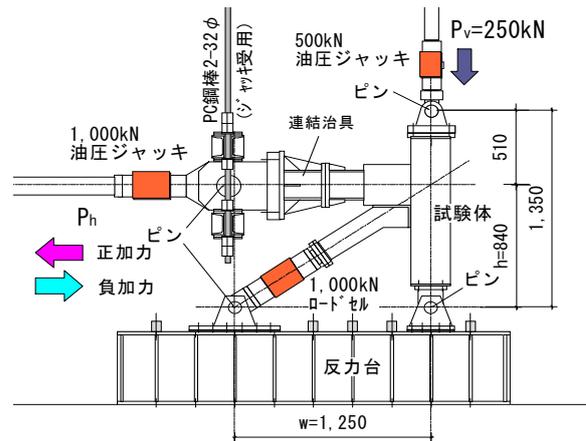


図-10 加力方法

それぞれ AJ3S と BJ1 に対応させ、コンクリート強度を他の試験体より高く 55N/mm^2 に設定した試験体である。なお、AJ3SH と BJ1H は、ブレースの外周部を鋼板で被覆補強し、柱梁接合部の破壊が先行するように設定した。ブレース仕口部の鉛直接合距離 L_v のブレース断面せい D_b に対する比 L_v/D_b は、AJ タイプでは、AJ1, AJ2, AJ3 の順に 0.3, 0.65, 1.0 であり、BJ タイプは 1.0 である。

試験体は、柱梁部とブレース部のコンクリートを別々に打設して製作した。強度確認の後に両者を仮組し、接合面の目地部へモルタルを充填して接合した。ブレース取付け部には、ブレースの脱落防止のために、図-9(2)に示すダボ筋 (1-D6) を配置した。表-6に材料試験結果を示す。

(2) 加力および計測方法

図-10に加力方法を示す。柱頭部に 250kN ($\sigma_N = 4.0\text{N/mm}^2$) の一定軸力を作用させた状態で、S梁端部に取り付けた油圧ジャッキにより水平力を静的に加えた。試験体の柱およびブレースの反力部は、鉛直および水平変位を拘束したピン支持とし、柱頭および梁端の加力部は、加力の直交方向は変位の拘束のないピン接合による加力とした。

加力ルールは正負交番の漸増加力とし、ブレースに圧

縮力が作用する方向を正加力、その逆を負加力とした。正加力時は荷重制御とし、ブレースの圧縮力が式(1)に示した N_0 の 0.15, 0.30, 0.45, 0.60, 0.75, 0.90 倍となる荷重をピーク値として加力した。負加力時は変位制御とし、正加力時に生じた水平変形量を目標値に加力した。正負ともに加力と除荷を1回ずつ行い、荷重が最大荷重の7割程度になった時点で加力を停止した。

計測項目は、ブレース軸力、水平力、柱軸力、および柱梁接合部の中心位置と柱脚部ピン間の距離 h の相対変形で、それぞれロードセルと変位計で計測した。

(3) 実験結果

a) 最終破壊状況

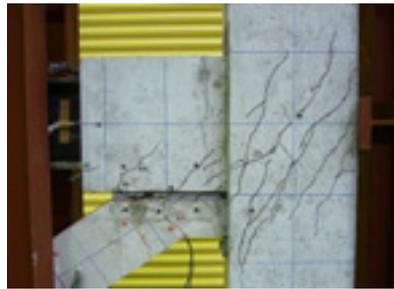
写真-2に最終破壊状況を示す。AJ1-1 は、ブレース仕口部の先端が圧壊 (同写真(1)) し、AJ3SG, BJ1 はブレース本体が圧壊 (同写真(6),(8)) した。その他の試験体は、柱梁接合部にブレース材軸方向の斜めひび割れが多数生じ、柱梁接合部がせん断破壊する破壊形式となった。AJ3SHは、梁の RC 被覆部分にもひび割れが多数生じて (同写真(7)) おり、BJ1 と BJ1H (同写真(8), (9)) に類似したひび割れ状況になった。

表-6 材料試験結果

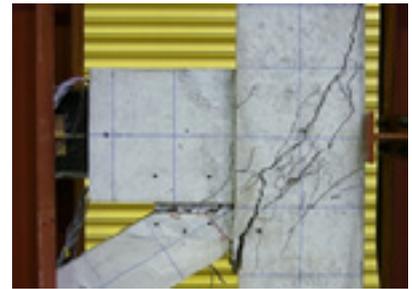
コンクリート					鋼材 (鉄筋, 鋼板)						
試験体	部位	圧縮強度 N/mm ²	割裂強度 N/mm ²	弾性係数 ×10 ⁴ N/mm ²	試験体	部位	種別	径 (板厚)	降伏点 N/mm ²	降伏歪 ×10 ⁶	弾性係数 ×10 ⁵ N/mm ²
AJ1-1	全部材	28.2	2.4	2.67	AJ1-1	柱・梁主筋	SD345	D10	382	2,140	1.88
AJ1-2	全部材	29.4	2.9	2.79	AJ1-2	ブレース主筋	SD295	D6	380	0.2%オフセット	1.78
AJ2	全部材	30.0	2.9	2.74	AJ2	せん断補強筋					
AJ2e	全部材	30.0	2.7	2.75	AJ2e	H鋼フランジ	SM490	(9mm)	417	2,240	2.08
AJ3	全部材	33.2	2.9	2.79	AJ2e	H鋼ウェブ	SM490	(4.5mm)	375	0.2%オフセット	1.92
AJ3S	全部材	32.6	2.7	2.69	その他	柱・梁主筋	SD345	D10	388	2,110	1.94
AJ3SG	全部材	32.7	3.0	2.73		ブレース主筋	SD295	D6	340	0.2%オフセット	1.87
AJ3SH	柱・梁	53.7	3.7	3.13		せん断補強筋	SM490	(9mm)	428	2,120	2.09
BJ1	全部材	30.6	2.6	2.68		H鋼フランジ					
BJ1H	柱・梁	55.0	4.2	3.12		H鋼ウェブ	SM490	(4.5mm)	346	0.2%オフセット	1.94



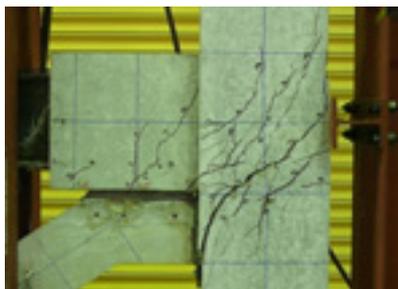
(1) AJ1-1: ブレース破壊



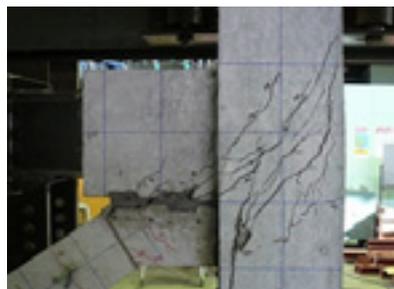
(2) AJ2: 接合部破壊



(3) AJ2e: 接合部破壊



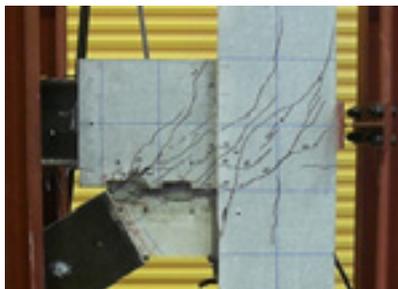
(4) AJ3: 接合部破壊



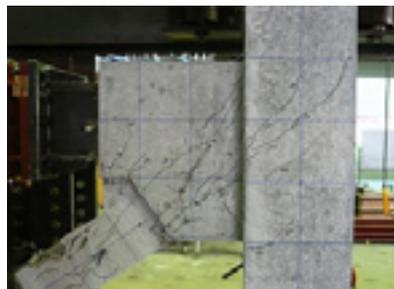
(5) AJ3S: 接合部破壊



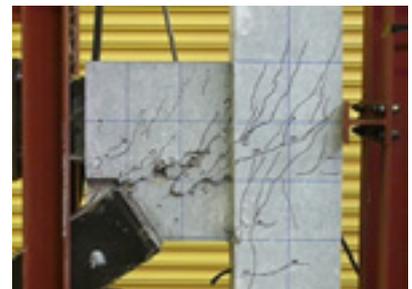
(6) AJ3SG: ブレース破壊



(7) AJ3SH: 接合部破壊



(8) BJ1: ブレース破壊



(9) BJ1H: 接合部破壊

写真-2 最終破壊状況

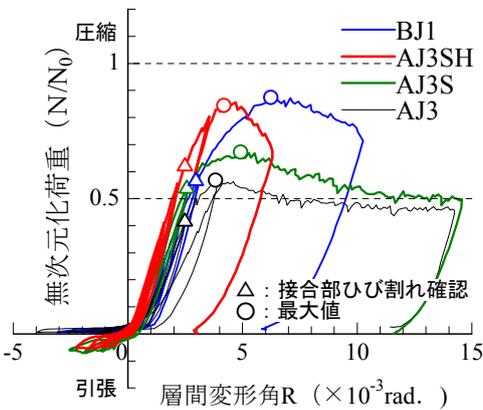


図-11 ブレース軸力-層間変形角関係

表-7 実験値と計算値の対応

試験体	L _v /D _b	破壊部位	ブレースの最大圧縮力			柱梁接合部の最大せん断力		
			実験値 N _{max} (kN)	計算値 N ₀ (kN)	N _{max} /N ₀	実験値 P _{h,max} (kN)	計算値 P _p Q _u (kN)	P _{h,max} /P _p Q _u
AJ1-1	0.30	ブレース	319	680	0.47	275	-	-
AJ1-2		接合部	408	707	0.58	345	309	1.12
AJ2	0.65	接合部	436	720	0.61	374	311	1.20
AJ2e		接合部	374	719	0.52	315	311	1.01
AJ3	1.00	接合部	446	785	0.57	370	329	1.12
AJ3S		接合部	519	772	0.67	442	328	1.35
AJ3SG		ブレース	686	776	0.88	591	-	-
AJ3SH		接合部	652	772*	0.84	552	401	1.38
BJ1	1.00	ブレース	636	728	0.87	542	-	-
BJ1H		接合部	816	728**	1.12	694	406	1.71

*AJ3Sのコンクリート強度で計算した値, **BJ1のコンクリート強度で計算した値

b) ブレース軸力と層間変形角の関係

図-11 にブレース軸力と層間変形角の関係を示す。同図は AJ3, AJ3S, AJ3SH, BJ1 の加力結果を示したもので、縦軸は N_0 で無次元化した値、横軸は図-10 に示す距離 h 間の層間変形角である。同図の曲線は、正加力時には圧縮抵抗し、負加力時にはほとんど引張抵抗しておらず、意図したとおりの RC ブレースの特性を示している。いずれの試験体も柱梁接合部にひび割れが発生した後には剛性が低下し、最大荷重に達している。ブレースの最大圧縮力は、BJ1, AJ3SH, AJ3S, AJ3 の順に大きい。

c) 実験値と計算値の対応

表-7 にブレースの最大圧縮力の実験値と計算値の対応を示す。ここに、AJ3SH と BJ1H のブレース強度の計算値は、それぞれ AJ3S と BJ1 のコンクリート強度を用いて計算している。AJ タイプの最大圧縮力の実験値の計算値に対する比 N_{max}/N_0 は、AJ1-1, AJ1-2 が 0.47, 0.58, AJ2, AJ3 が 0.61, 0.57, AJ3S が 0.67 となっており、ブレース仕口部の鉛直接合距離 L_v が長いほど耐力は大きくなっている。しかし、柱梁接合部の強度が不足しているため、いずれもブレースの圧縮強度まで達しない結果となっている。ブレースが接合偏心した AJ2e の N_{max}/N_0 は 0.52 となり、AJ1-2 や AJ2 よりさらに低い値となった。一方、コンクリート強度を AJ3S の約 1.6 倍とした AJ3SH の N_{max}/N_0 は 0.84、ジベル鋼材を用いた AJ3SG は 0.88、BJ1 と BJ1H はそれぞれ 0.87 と 1.12 となり、3 章で述べたブレース単材の中心圧縮加力実験の結果 ($N_{max}/N_0 \approx 0.9$) と同程度の値を示している。

同表には柱梁接合部で破壊した試験体の最大せん断力実験値 $P_{h,max}$ と柱梁接合部のせん断強度計算値 pQ_u との対応を併記した。柱梁接合部のせん断強度は、式 (2) ~ 式 (5) を用いて計算した。なお、式 (3) ~ 式 (5) 中に使用した諸係数は、文献 8) に示す実験結果に基づき設定した。

$$pQ_u = Q_w + Q_h + Q_c \quad (2)$$

$$Q_w = 0.9 A_w \cdot \sigma_{wy} / \sqrt{3} \quad (3)$$

$$Q_h = 0.5 p_w \cdot \sigma_{wy} \cdot B_c \cdot m_c d \quad (4)$$

$$Q_c = 0.4 C_1 \cdot B_c \cdot D_c \cdot 0.1_c \sigma_B \cdot j \delta \quad (5)$$

ここに、 Q_w : ウェブ耐力 (N),
 Q_h : 横補強筋耐力 (N),
 Q_c : コンクリート耐力 (N),
 A_w : 梁ウェブの延長上に位置する柱梁接合部の鉄骨ウェブの断面積 (柱せい×ウェブ板厚) (mm²)
 σ_{wy} : ウェブの降伏応力度 (N/mm²),
 p_w : 横補強筋比 (0.002以上とする)
 σ_{wy} : 横補強筋の降伏応力度 (N/mm²),
 B_c : 柱幅(mm),
 $m_c d$: 外側柱主筋の中心間距離(mm),

D_c : 柱せい(mm),
 σ_B : 柱梁接合部内コンクリート軸圧縮強度 (N/mm²),
 C_1 : 柱梁接合部補強ディテールによる係数,
 $C_1=0.7$ (直交梁なし),
 $C_1=1.0$ (直交梁あり),
 $j \delta$: 柱梁接合の形状による係数,
 $j \delta = 1.0$ (L字形),
 $j \delta = 2.0$ (ト字形),
 $j \delta = 3.0$ (十字形)

実験値の計算値に対する比 $P_{h,max}/pQ_u$ は 1.01 ~ 1.71 となり安全側の評価となっている。AJ3S, AJ3SH, BJ1H は他より高い比率を示し、それぞれ 1.35, 1.38, 1.71 となっている。これは写真-2(5),(7),(9)のひび割れ状態から判断されるように、梁端の RC 被覆部分がせん断抵抗要素として機能していることに起因するものと考えられる。

5. RC ブレースを有する架構の水平加力実験

本章では、RC ブレースを有する架構の破壊性状と水平耐力を検証するために行った加力実験の概要と結果について報告する。

(1) 試験体

図-12 に試験体全体図を、図-13 に試験体部分詳細図を示す。試験体は、AI, AX, BX の 3 体で、層高 $h=1,540\text{mm}$ 、柱間距離 $w=2,500\text{mm}$ の 1 層 1 スパンの架構である。柱脚部は RC 造のスタブで固定支持している。ブレースの断面せいに対する長さの比は約 15 である。ブレースは、材軸と柱梁接合部の中心位置が一致するように取付けられている。試験体を構成する柱、梁、ブレースはすべてプレキャスト化されており、図-12 に示す目地位置にモルタルを注入して接合されている。

3 体の試験体は、図-13(1) に示す部材断面は共通であり、ブレースの配置形式とブレース仕口部の接合形式を異にしている。図-12(1) の AI のブレースは一方向の配置とし、同図(2),(3) の AX, BX のブレースは 2 方向の X 形の配置としている。AI と AX のブレース仕口部は、図-13(2) に示すように応力分散部を設けた AJ タイプの接合形式となっており、当該部の水平目地にはシーヤークッターを設けている。BX のブレース仕口部は、接合面を材軸に直交させ、応力分散部を架構側に設けた BJ タイプの接合形式になっている。ブレース取付け部には、ブレースの脱落防止用のためのダボ筋 (1-D6) を設置した。

AI, AX のブレースには、正負繰り返し荷重によるブレース仕口部の損傷を低減するために、図-12 の a 部

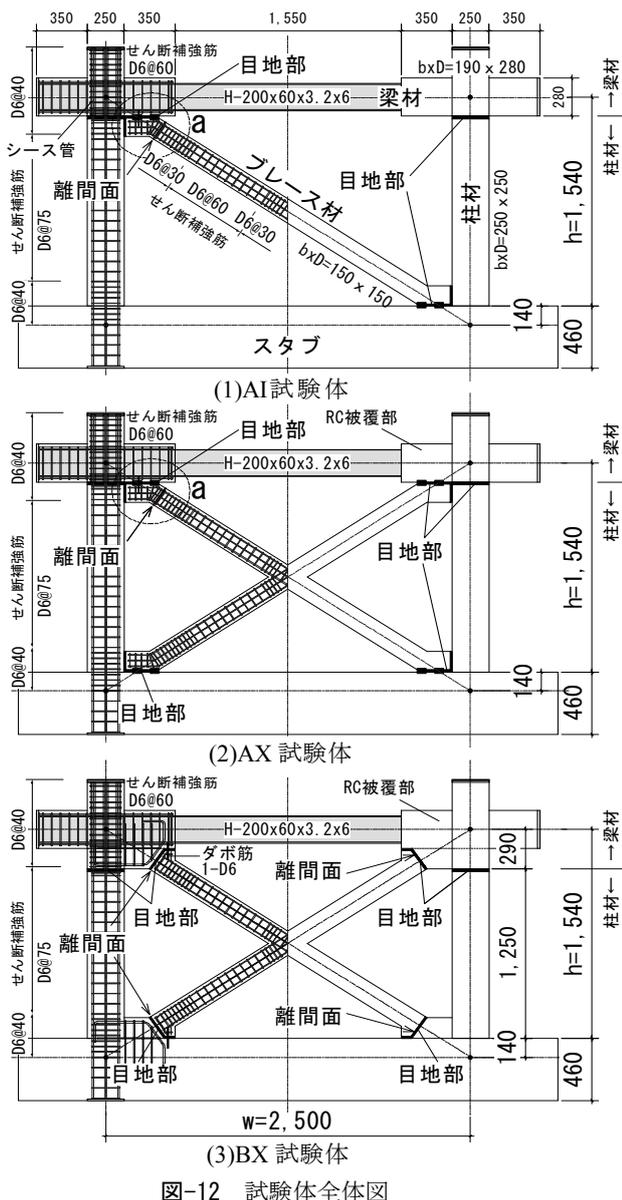


図-12 試験体全体図

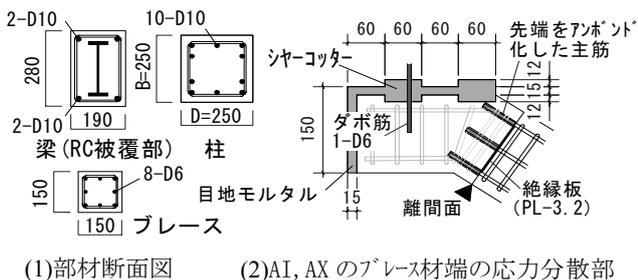


図-13 試験体部分詳細図

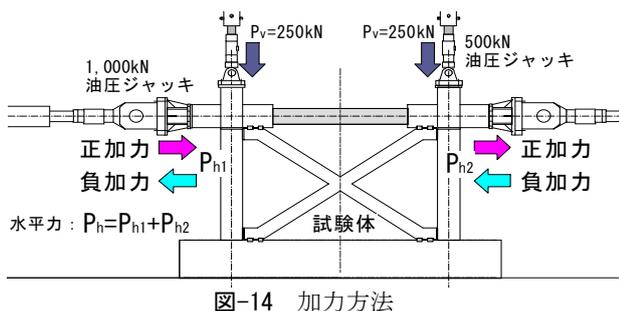


表-8 材料試験結果

試験体	部位	圧縮強度	割裂強度	弾性係数		
		N/mm^2	N/mm^2	$\times 10^5 N/mm^2$		
コンクリート	AI	53.2	3.9	3.01		
	AX	54.9	3.7	3.10		
鋼材	柱・梁主筋	SD345	D10	389	2,180	1.89
	ブレース主筋	SD290A	D6	323	3,750	1.85
	各部せん断補強筋			(0.2%オフセット値)		
	H鋼フランジ	SHW400	t=6.0	364	2,410	2.07
	H鋼ウェブ		t=3.2	375	1,940	2.07

表-9 ブレース軸力の実験値と計算値の対応

試験体	加力方向	実験値 N_{max} (kN)	計算値 N_0 (kN)	比 N_{max}/N_0
AI	正	656	766	0.86
AX	正	640	790	0.81
	負	536		0.68
BX	正	621	737	0.84
	負	666		0.90

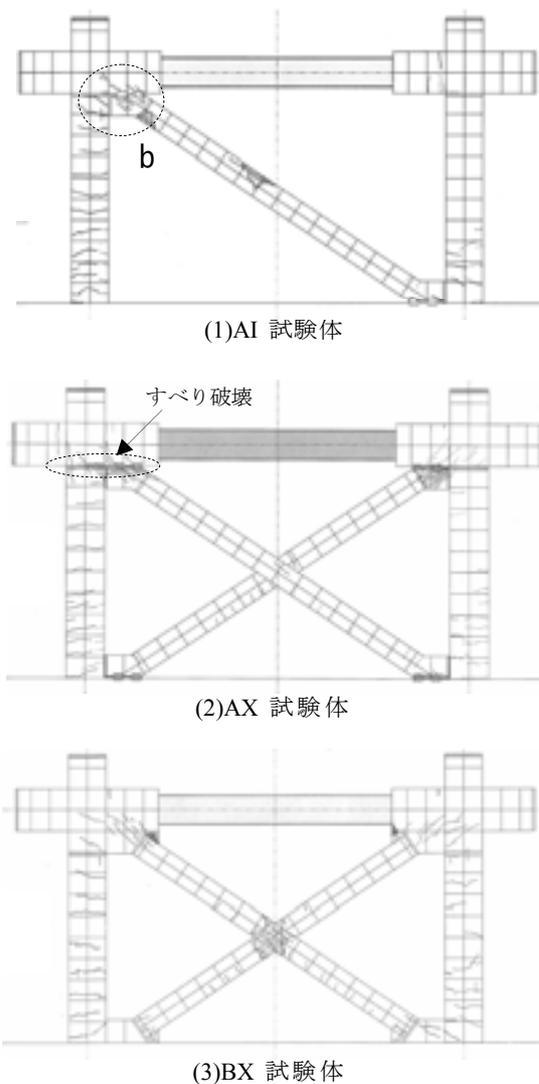


図-15 最終ひび割れ図

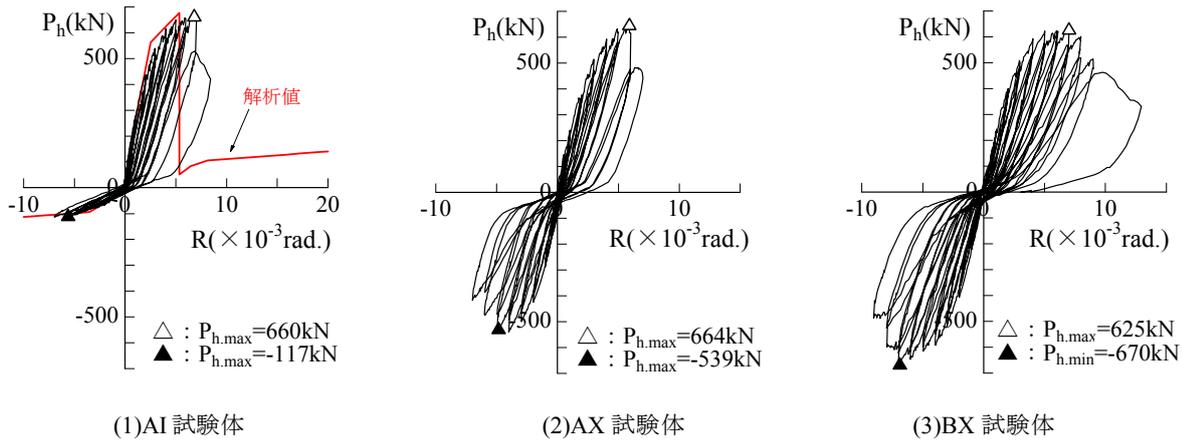


図-16 水平荷重 - 層間変形角関係

に示す断面位置に引張力を遮断する離間面を設けた。
 図-13(2)に示す▲位置の断面が、コアコンクリートの絶縁板 (PL-3.2) と先端部をアンボンド化した主筋の作用により、引張時に離間するようになっている。AX は、この離間面の効果を比較するために他方のブレースにはこれを採用していない。BX は、ブレース端部が目地部になっており、その柱梁接合部側は応力分散部で軸断面積が大きいので、引張時には目地部で離間する機構になっている。

材料試験結果を表-8に示す。部材のコンクリート強度は 30N/mm^2 を基本とし、AI, AX の柱梁接合部はその1.8 倍程度の強度に設定した。

(2) 加力および計測方法

図-14 に加力方法を示す。左右の柱に 250kN ($\sigma_N=4.0\text{N/mm}^2$) の一定軸力を作用させた状態で、2 台の油圧ジャッキを同一変位になるように制御することにより水平力を加えた。加力ルールは、原則として層間変形角 $R=12,3,4,5,6,7,8,9,10(\times 1/1,000\text{rad.})$ をピーク値に、正負交番の加力を2 回ずつ繰り返すこととし、荷重が最大荷重の7 割程度になった時点で加力を停止した。

計測項目は、柱軸力と水平力および層高 h 間の層間変形で、それぞれロードセルと変位計で計測した。

(3) 実験結果

a) 最終破壊状況

図-15 に最終ひび割れ図を示す。AI は、ブレースの反力が作用する柱に曲げひび割れが多数生じ、ブレースが圧壊して最大荷重に至った。同図(1)b 部のブレースの材端部は、接合部方向に小さいひび割れが一樣に広がっており、応力集中による局所的な破壊を生じていないことが観察された。また、当該部に設けた絶縁板位置での

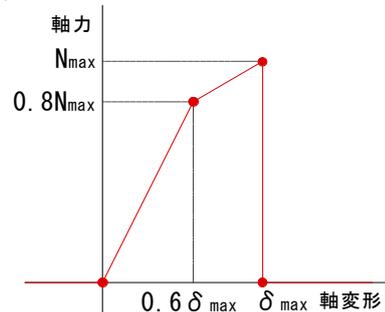


図-17 RC ブレースの荷重変形特性のモデル化

ブレース断面の離間により、ブレース本体に顕著な引張ひび割れは生じていない。

AX, BX も同様な破壊状況を示した。AX では同図(2)に示すように、ブレースの圧壊と同時に、柱の水平目地部で滑り破壊を生じた。

b) 水平荷重と層間変形角の関係

図-16 に水平荷重 P_h と層間変形角 R の関係を示す。AI と AX の負加力時を除く最大荷重 $P_{h,max}$ は、いずれも 650kN 前後となり、各試験体の差はほとんどない。BX は、AI や AX に比べて最大荷重後の荷重の低下が緩やかである。AX の負加力は、断面内に絶縁板を持たない方のブレースが、ひび割れによる損傷が進行したために、最大荷重は正加力より2 割程度低い値になった。

AI の負加力は、ブレースが抵抗しないため、純ラーメン架構の加力と等価である。AI の正負の最大荷重の差から、ブレースと純ラーメンの水平力の負担比を求めると、 $4.6 : 1.0$ となった。全試験体にこの比が成立するものとして求めたブレース軸力の最大値 N_{max} と、中心圧縮強度 N_0 との対応を表-9に示す。実験値の計算値に対する比 N_{max}/N_0 は、AX の負加力を除き $0.8 \sim 0.9$ 程度となり、3 章で述べた中心圧縮加力実験の結果と対応している。

(4) 架構の水平耐力と変形量の評価

図-5(1)に示したBM0試験体の荷重-軸ひずみ関係を基に、RCブレースの荷重変形特性を図-17のようにモデル化し、これをAI試験体のフレーム解析モデルに用いて弾塑性解析を行った。解析結果を図-16(1)に併記する。解析値は実験値にほぼ整合しており、RCブレースを有する架構の水平耐力と変形量を評価することができた。

6. まとめ

プレキャストRCブレースに関する各種の加力実験を行い、以下の結果を得た。

- ① L_k/D が18, 15, 13で偏心のないRCブレース単材の圧縮強度は、中心圧縮強度 N_0 の約0.9倍であり、接線係数荷重 N_{cr} の約0.9～1.0倍であった。
- ② 逆対称に偏心したRCブレース単材の圧縮強度は、 $e/D=1/12$ で N_0 の約0.8倍、 $e/D=1/6$ で約0.6倍であり、RC柱のM-N相関曲線とおおむね対応した。
- ③ ト字形部分架構の、ブレースの最大軸力の中心圧縮強度 N_0 に対する比は、AJタイプが0.5～0.9程度、BJタイプが0.9～1.1程度となった。
- ④ AJタイプは、ブレース仕口部の水平接合面にシーヤークッターを設け、柱梁接合部のコンクリート強度を高めることで、BJタイプと同等な仕口部の強度を確保することができる。
- ⑤ ブレースを有する架構の水平耐力は、ブレースの配置形式やブレース仕口部の接合形式に関わらずほぼ同じ値となり、ブレースの最大軸力は、中心圧縮強度 N_0 の0.8～0.9倍程度となった。
- ⑥ ブレース仕口部に応力分散部を設けることで、当該部の応力集中による局所的な破壊を回避することができる。
- ⑦ ブレース断面に離間面を設けることで、ブレースの引張時の損傷や、強度低下を防止することができる。

参考文献

- 1) 小林ほか：柱RC・梁S構造の接合部に関する実験的研究，日本建築学会大会学術講演梗概集C，pp.1849-1850，1993.9
- 2) 小林ほか：柱RC・梁S構造接合部の支圧耐力に関する基礎実験，日本建築学会大会学術講演梗概集C，pp.1851-1852，1993.9
- 3) 谷垣ほか：柱RC梁S構造の接合部性能に関する研究その1～その3，日本建築学会大会学術講演梗概集C，pp.1657-1662，1994.9
- 4) 小林ほか：柱RC梁S構造の接合部性能に関する研究その4～その5，日本建築学会大会学術講演梗概集C-1，pp.909-912，1995.8
- 5) 南ほか：ブレース付き柱RC梁S構造の十字形架構実験その1～その2，日本建築学会大会学術講演梗概集C-1，pp.1287-1290，2000.9
- 6) 日本建築学会：コンクリート充填鋼管構造設計施工指針，1997，pp.22-25
- 7) 日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能，1990，pp.396-397
- 8) 山中ほか：柱RC梁S接合部の破壊形式と耐力に関する実験的研究，コンクリート工学年次論文報告集，Vol.17，No.2，pp.1083-1088，1995