

サニコン構法開発に伴う構造実験

小 島 雅 樹* 盛 永 一 郎**
 渡 辺 康 保*** 石 田 忠****
 阿 世 賀 宏*****

要 約

本論文は、当社で開発したサニコン構法の応力伝達機構を実験的に究明するために行った模型実験の報告である。

この構法は、柱、梁、壁、スラブにプレキャスト鉄筋コンクリート部材を使用し、梁間方向をラーメン構造、桁行方向を独立耐力壁として、相互の応力伝達は現場打ちスラブを介して行うよう設計されている。

実験は、縮尺比1/2.5および1/1の2体の模型を作り、主に水平方向の加力を受けた場合の応力伝達について、設計荷重から破壊に至るまでの強度ならびに変形性状を究明した。

その結果により構法に改良を加え、設計への一資料とした。

目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 立体構面水平加力実験－1
- § 3. 立体構面水平加力実験－2
- § 4. あとがき

§ 1. はじめに

サニコン構法の開発は、昭和51年5月横内副社長の御示唆により建築設計部が計画に着手したのに始まる。昭和51年8月に「鉄骨＋P C」造案を作成。

昭和51年11月東京建築支店安藤支店長主管のもとに、営業、設計、施工の各分野の人員を招集、プロジェクトチームが発足した。昭和52年1月、改良案としてP C造案を作成、2月に関係各方面の了承を得、現在の原形となった。3月に「杉浦ビル」の設計を開始し、8月に「永井薬局ビル」、昭和53年4月に「日本橋ビル」を設計開始し、いずれも既に竣工している。

本構法は建築基準法第38条^{*1}に該当するため、日本建築センターの技術評定を得たのち、建設大臣の認定を得ることが必要とされ、上記3件の物件については、個別認定を申請し評定を受けてきた。この個別認定では審査期間が、最低でも建築センター約2ヵ月、大臣認定約1ヵ月を要する。このため、昭和53年4月より建築設計部が中心となって構法認定取得作業に着手した。この構法

認定制度は、個別認定による4～5件の建設実績を経て構法の完成度の高いもののみが対象となり、日本建築センターの評定を得たのち、建設省技術審査委員会を経て技術的に認定される。さらに係官の現場視察、部材製造工場への立入り検査に合格したのち、建設大臣認可（一般認定）となる。これにより建設省から全国特定行政庁に通達および設計図書一式が送付され、以降は確認申請のみで実施建設可能となる。

上記の個別および一般認定作業に、サニコン構法の強度、変形性状の確認が実験的に必要とされたため構造実験が開始された。開発の実績工程表を表－1に示す。

なお、昭和54年5月現在にて、建築センターの構法認定および基準法38条による認定を取得している。

申請に用いた資料の項目を表－2に掲げる。

（*1この章の規定又はこれに基く命令若しくは条例の規定は、その予想しない特殊の建築材料又は構造方法を用いる建築物については、建設大臣がその建築材料又は構造方法がこれらの規定によるものと同等以上の効力があると認める場合においては適用しない。）

§ 2. 立体構面水平加力実験－1

2－1 実験概要

第1回の構造実験は、昭和52年4月から約2ヵ月にわたって行われたもので、個別認定の申請に必要とされた。詳細は日本建築学会中国大会（昭和52年10月）で報告している。当初は、桁行構面の耐力機構をブレース構造とした案であったが、この設計方法の妥当性を検討するため、縮尺率1/2.5の立体構面による水平加力実験を行ったものである。

* 建築設計部構造課
 ** 建築設計部部長
 *** 東京建築支店住宅相談係長
 **** 建築設計部構造課
 ***** 技術研究部建築技術課

表-1 サニコン開発実績工程表

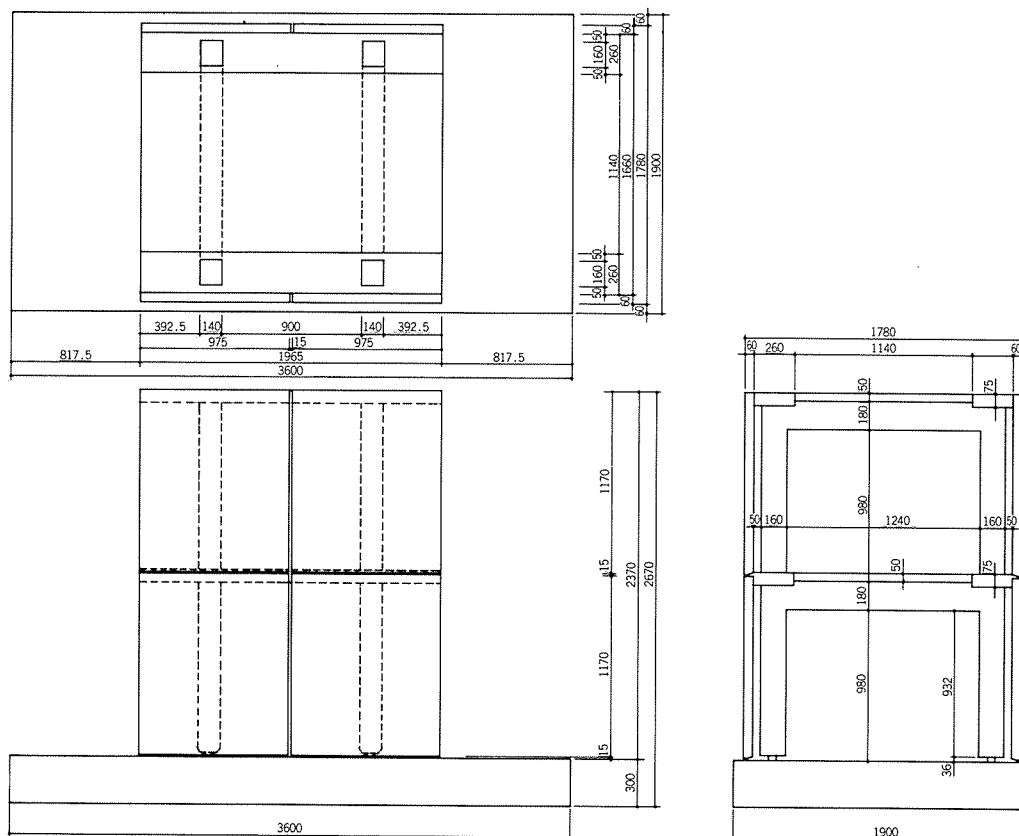
[illegible]

表-2 評定資料

1. コンクリート系構造評定委員会評定申込概要書
2. サニコン構法構造設計要項
 - 1 構造設計指針
 - 付録1－1構造計算参考例
 - 1) 設計図
 - 2) 構造計算書
 - 3) 構造設計指針チェックリスト
 - 4) 構造検討資料
 - 2 P C部材製造規定
 - 3 施工要領書
 - 4 接合部ディテールシート
 - 付録4－1ジョイント耐力一覧表

參考資料

- 1) NMBスプライススリーブ製品規格
- 2) NMBスプライススリーブ継手工法に用いるプレキャスト鉄筋コンクリート部材の製造要領書
- 3) NMBスプライススリーブ継手工法施工要領書
- 4) NMBスプライススリーブ継手工法検査要領書
- 5) コンクリートフォーム施工要領書
- 6) モルタル施工要領書
- 7) 実験報告書
- 8) サニコン構法構造設計評定概要一覧表



図一 1 試験体形状・寸法

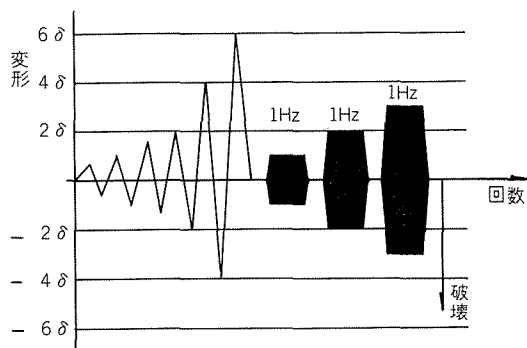


図-2 加力内容

試験体の概要を図-1に示す。加力方法は静的能力75tアクチュエーターにより、試験体頂部の床板に取り付けたH形鋼の水平加力ビームを介して正負繰返し加力とした。

加力は荷重制御でなく、载荷によって実施設計で想定した壁の平均せん断応力度が、ちょうど得られた時の試験体頂部の変形を基準とした、いわゆる静的変位制御方式による。

加力内容を図-2に示す。

2-2 実験経過

実験経過を概略述べると、設計荷重時には一層壁板に曲げきれつが一本発生するが伸展はしない。設計荷重時の1.5倍の変形においては、曲げきれつの数が増加する。

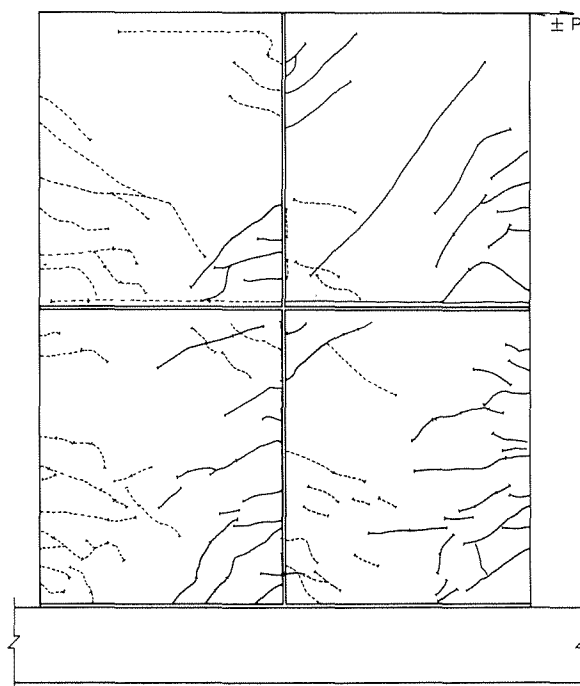


図-3 最終とき裂状況

2倍の変形においては、壁に曲げきれつより伸展したせん断きれつが1層、2層とも認められる。4倍の変形においては、新たなせん断きれつの発生が顕著であり、壁相互の鉛直目地部分のきれつ幅も増大した。6倍の変形においては、一層壁板の曲げきれつ幅が増大し、壁柱脚部の浮上りが認められた。最終加力は負方向加力で行ったが、最終耐力は1層柱脚部の圧潰により決定された。図-3に最終加力終了後の壁板のきれつ状況を示す。

2-3 実験結果とその考案

実験結果として、荷重変形曲線の1例を図-4に、壁柱脚部の鉛直相対変位を図-5に、壁鉛直鉄筋のひずみ度を図-6に示す。

荷重変形曲線によれば、設計荷重時の4倍程度の変形では若干の剛性低下が現われており、6倍の変形では、スリップ型の傾向となり、これは壁鉛直方向鉄筋のボン드가消失したためと思われる。最終加力 $R \approx 1/130 \text{ rad}$ において一層柱脚部が圧潰し、耐力が急激に低下した。

壁柱脚部の鉛直相対変位については、設計荷重時の4倍の変形において鉛直方向鉄筋が降伏し、最終荷重時には左右の壁が独立した挙動を示している。

鉄筋のひずみ度によれば、斜材は最終加力時において引張降伏したが、圧縮側の座屈現象は観察されなかった。水平材は、ほとんどひずみが生じていない。

以上の結果より、本接合法による応力伝達は、きれつ発生状況、各壁板の水平変位、および鉄筋のひずみ量より判断し、有効に下層に伝わっていることが確認された。

しかし、履歴曲線および破壊性状から判断すると、ブレース構造として設計するのは不適当であり、壁式構造として水平力を処理する方法が自然と思われた。

このため、実施設計においては上述の設計変更を行い、日本建築センターの審査を受けている。

§ 3. 立体構面水平加力実験-2

3-1 実験目的

サニコン構造が、水平面斜め方向加力を受けた場合の

- ① 剛性の異なる、ラーメンと耐力壁の挙動
- ② 床板を介しての水平力の伝達状況

を実験的に究明するため、昭和53年6月から4ヵ月間にわたって行ったもので、構法認定申請時の提出資料の一部とした。

3-2 実験概要

(1) 試験体

部材断面は、スケール・イフェクトの影響をさけるため、部材寸法は可能なかぎり実大寸法とした。

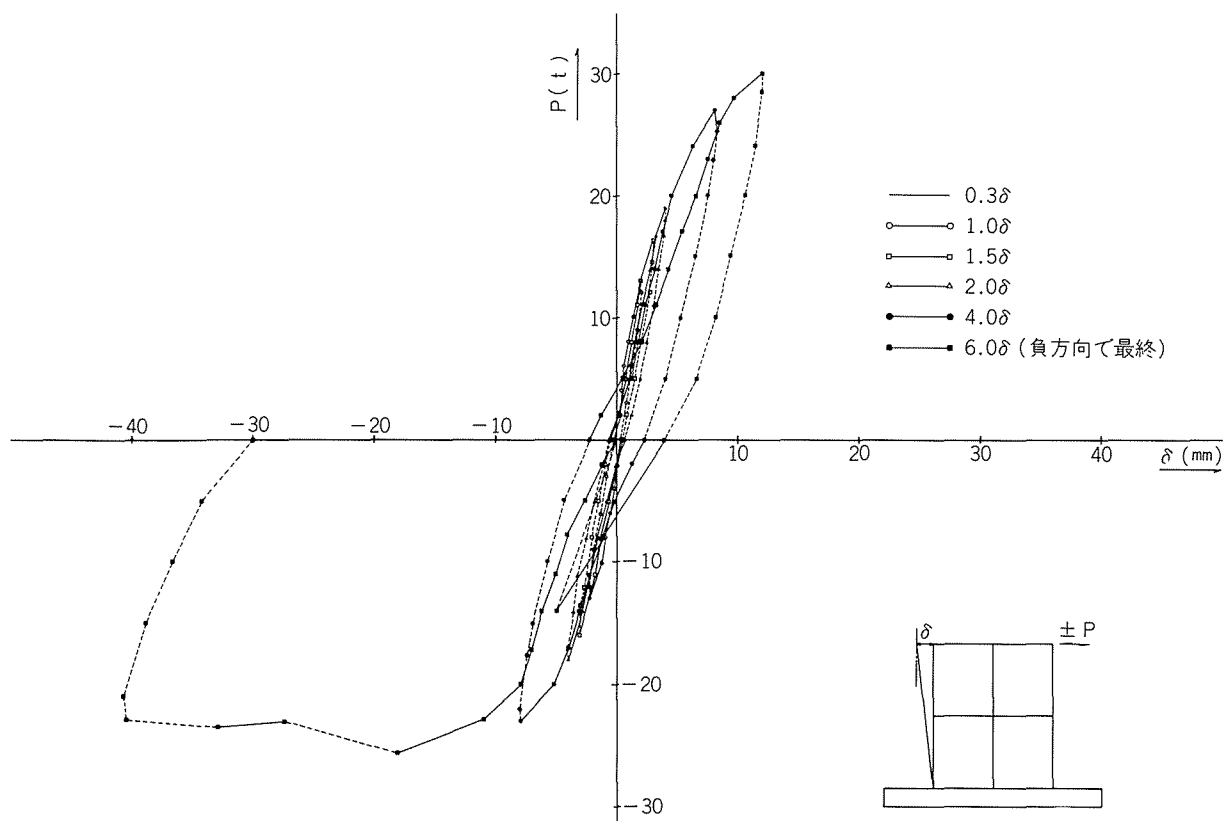


図-4 2層部荷重-変形曲線

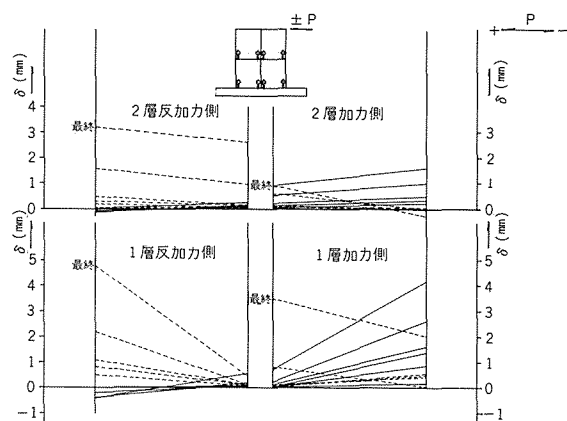


図-5 壁柱脚部の鉛直相対変位

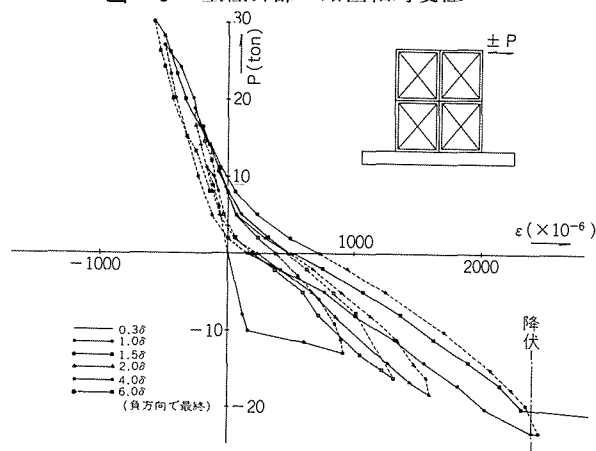


図-6 壁鉛直鉄筋のひずみ測定結果

ただし、柱スパン、ラーメン間隔は、試験機の容量および実験室の構造より制約を受け、それぞれ3,000mmとしたので、通常の実施設計より若干少なめの値となっている。層数については、試験部分を一層としたが、加力による影響をさけるため上一層にダミーを設けて、結局2層の張間方向2構面および桁行方向2構面よりなる立体構面模型一体とした。

試験体の形状、寸法を図-7に、部材の寸法、配筋を図-8に示す。

(2)使用材料

本実験に用いた構造材料を表-3に示すが、実施設計との相違点は次のとおりである。

(a) プレキャストコンクリート部材に用いた軸鉄筋は、D16以上をSD35としているが、本実験ではSD30としたこと。

(b) 現場打ちコンクリートの品質は、設計基準強度 $F_c=210\text{kg/cm}$ としているが、試験時の材令の関係から $F_c=240\text{kg/cm}$ としたこと。

などである。

(3)試験体の製作および養生

プレキャスト部材は、ラーメン部材2体、壁板部材4体、床部材1体を鋼製型枠を用いて打設し、6時間蒸気養生を行い1日後に脱型し、建方強度がでるまで、PC工場のストックヤードで空中養生を行

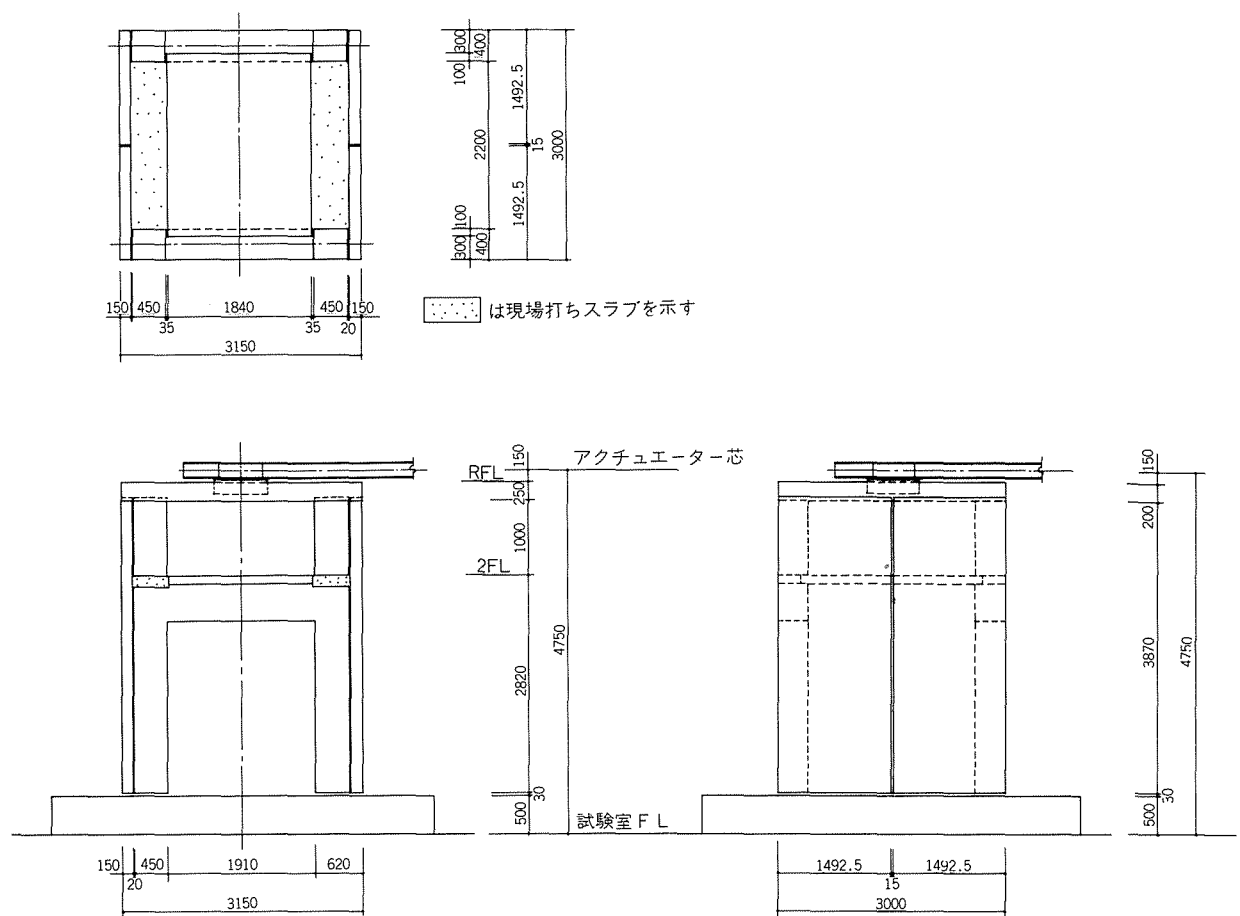


図-7 試験体形状・寸法

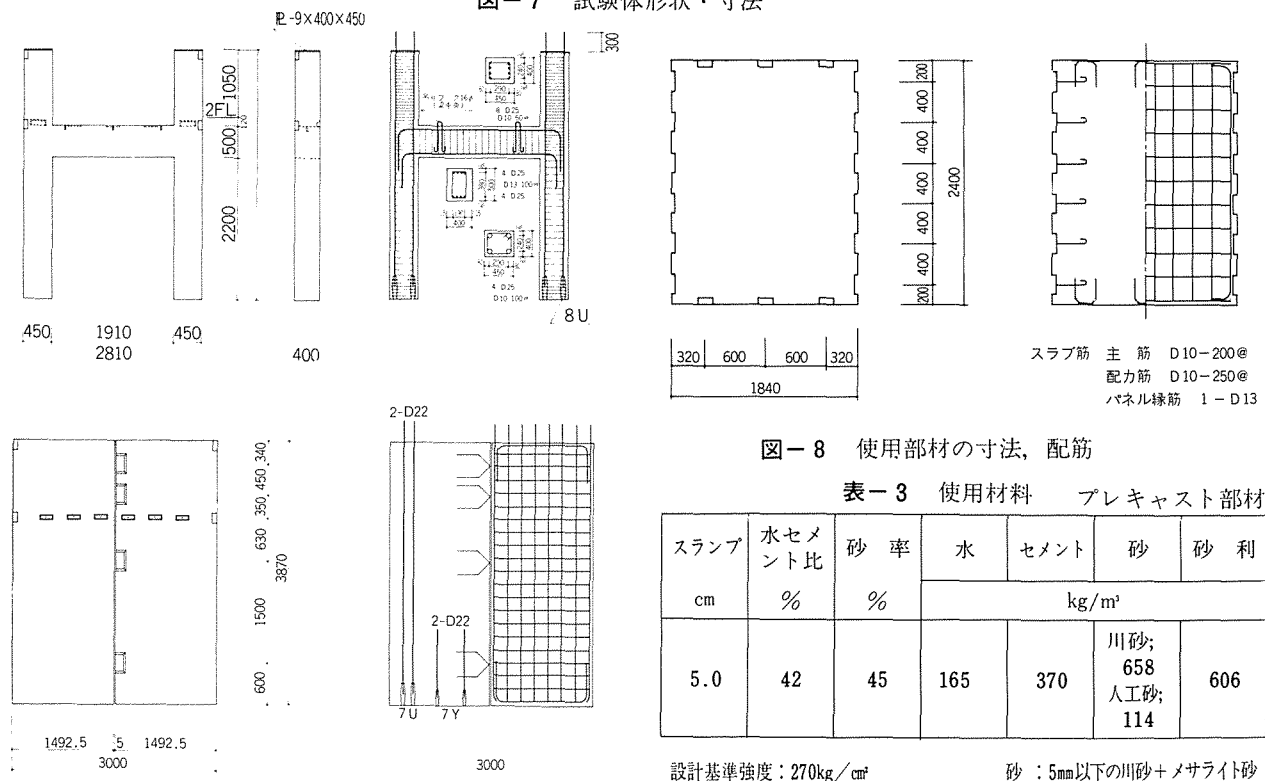


図-8 使用部材の寸法、配筋

表-3 使用材料 プレキャスト部材

スラブ cm	水セメント比 %	砂率 %	水	セメント	砂	砂利
			kg/m ³			
5.0	42	45	165	370	川砂; 658 人工砂; 114	606

設計基準強度: 270kg/cm² 砂: 5mm以下の川砂+メサライト砂
セメント: 普通ポルトランドセメント 砂利: メサライト砂利

(表－3つづき) 現場打ちスラブ

スラブ cm	水セメント比 %	砂 率 %	水	セメント	砂	砂 利
kg/m³						
15	53.5	43.3	155	290	814	1089

設計基準強度：240kg/cm² 砂：5mm以下の川砂
セメント：普通ポルトランドセメント 砂利：25mm以下の川砂利
目地モルタル

重 量 比		
水	セメント	砂
0.4	1	1.5

セメント：普通ポルトランドセメント 砂 5mm以下川砂
各種コンクリートの強度

打 設 部 分	圧 縮 強 度 (kg/cm²)	割 裂 強 度 (kg/cm²)
プレキャスト部材	290	26.5
	294	24.8
	294	27.6
	平 均	26.3
後打ちコンクリート	200	15.6
	204	15.1
	196	15.3
	平 均	15.3
目 地 モ ル タ ル	434	――
	424	
	平 均	

グラウト材の圧縮強度

圧 縮 強 度 (kg/cm²)	平 均 (kg/cm²)
815	850
869	
867	

使用鉄筋の機械的性質

呼び径	断 面 積 (cm²)	降伏強度 (kg/cm²)	引張強度 (kg/cm²)	の び 率 %	使用箇所
D25	5.07	3630	5640	24.5	柱、主筋
		3590	5640	19.6	
	平 均	3610	5640	22.1	
D25	5.07	3550	4260	24.5	はり、主筋
		3610	5520	22.5	
	平 均	3580	4890	23.5	
D22	3.89	3820	5740	19.6	壁、主筋
		3640	5610	25.3	
		3750	5760	27.2	
	平 均	3740	5700	24.0	

った。
反力ベースとなる基礎は、実験場内に現場打ちとした。本実験においては、実験室の工程の関係から建方後移動して所定の位置にセットする方式を取っ

たため、移動用の吊りフック等を設けている。
建方順序は、まず、柱脚および壁脚部の敷モルタルを反力ベース上に敷き、ラーメン材より建方をはじめ。次に4枚の壁板の建方を行い、梁上端にプレキャスト床板をのせ、プレキャスト部材の建方を終了する。建方1日後に壁板相互の鉛直ジョイント部の添え金物と床板底部に埋めこまれたアングルの溶接を行う。次いで壁板と床板にアンカーボルトをさし込み所定の床配筋を行う。また、頂部ダミーの加力スラブ配筋も同時に行い、レディーミクストコンクリートを同時打設した。後日、壁板相互の鉛直ジョイント部に軟練りモルタルを注入し、壁板の一体性を保った。

ジョイントコンクリートが設計基準強度に達した時点で試験体の移動を行う。まず、基礎に取り付けられた治具とオイルジャッキを利用して試験体を鉛直方向に持ち上げ、基礎下端にローラーを入れ、チェーンブロックを利用して引く。所定の位置まで移動させ、レベル調整後スペーサーを挿入し、セメントペーストを注入した。最後に鋼棒を使用して試験体と試験装置反力板とを緊結し、試験体のセットを完了した。

(4)加力装置および加力方法

加力装置は、静的能力75tアクチュエーターによる（加力の後半においては能力の点から100tに変更した）。試験体頂部の現場打ちスラブに埋め込まれたH形鋼にハイテンションボルトを利用して、同じくH形鋼よりなる水平加力ビームを取付け、その端部の加圧プレートをアクチュエーターと緊結する。
加力の順序は、まず柱主筋が降伏するひずみ度の

表－4 変位の測定項目

測 定 項 目			使用機器	記録方式
柱 脚	ラーメン方向	水平変位	KD-30 ダイヤルゲージ	デジタル変位 検出器
		鉛直変位		
	壁 方 向	水平変位		
		鉛直変位		
壁 脚	壁 方 向	水平変位		
		鉛直変位		
壁 板	相対水平変位			
	相対鉛直変位			
床 板	相 対 ず れ			
	相 対 目 開 き			
柱 頭	ラーメン方向	水平変位	変位変換器	X-Yレコーダー
	壁 方 向			
壁 頭	壁 方 向	水平変位		

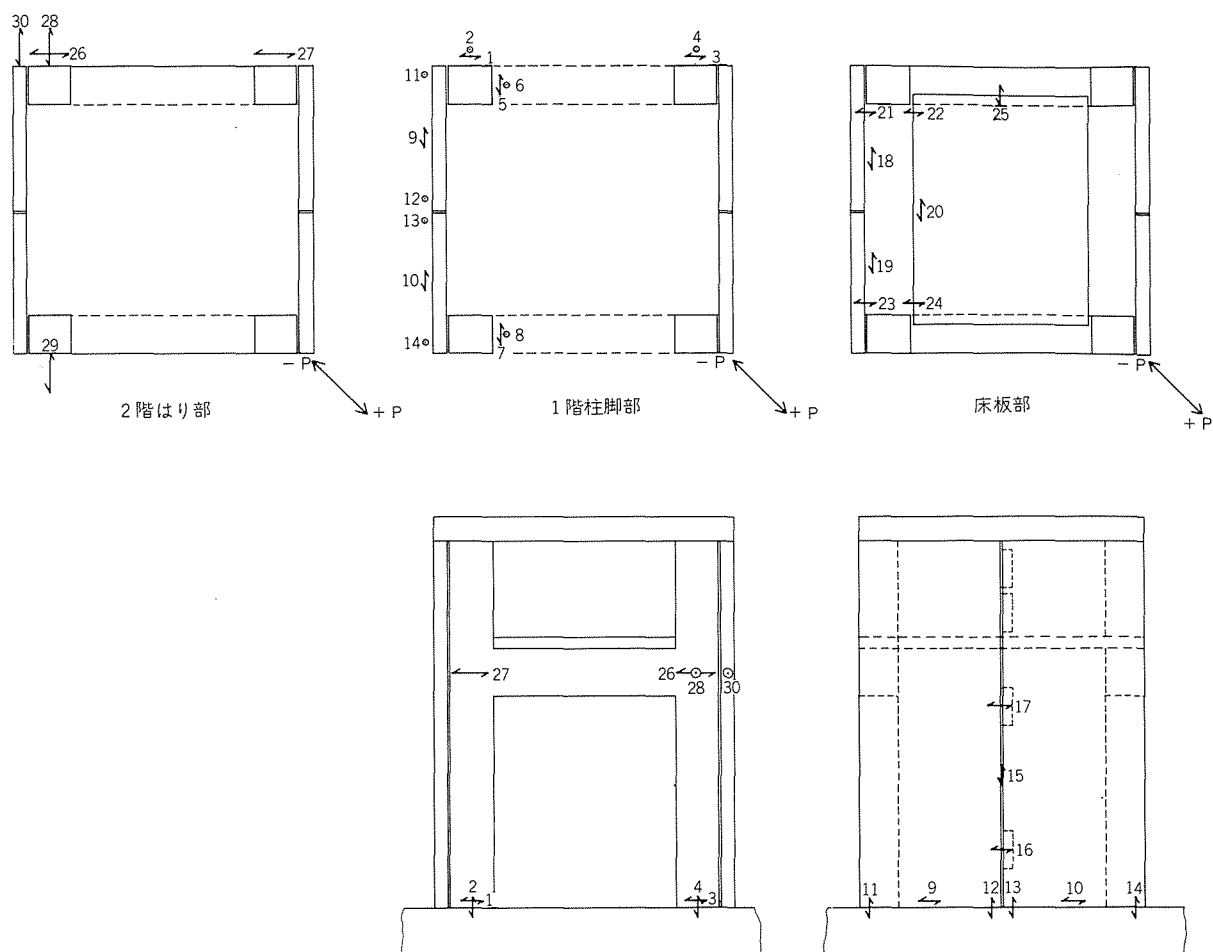


図-9 変位計設置状況

0.7 倍で正負 1 回繰返し、次に主筋が降伏するひずみ度で正負 1 回繰返す。この時のラーメン方向柱頭部の変形を基準にし、以後 2、3、4、6 倍と加力し、その後最終加力とする。

(5) 測定装置および測定方法

測定は、き裂の測定を目視により、変位の測定を変位変換器およびダイヤルゲージを用いて行い、ひずみ測定はワイヤーストレインゲージを用いて行った。

変位の測定項目を表-4 に、計器の設置状況を図-9 に示す。

また、ひずみの測定は、柱はりの主筋のみについて行った。図-10 にワイヤーストレインゲージ貼付状況を示す。

3-3 実験経過

(1) き裂および破壊状況

(a) 初き裂は、荷重 $P=18\text{ t}$ の時で、壁脚打継ぎ部に発生する。

(b) 次に、 $P=20\text{ t}$ においては、はり下隅角部にき裂が発生し、ほぼ同時に、はり上隅角部にも小さいき裂が発生する。

(c) $P=24\text{ t}$ で、はりのき裂はそれぞれ伸展し、はり端の曲げき裂となる。また柱脚の打継ぎ部に、水平方向のき裂が発生する。この時、鉄筋のひずみ度は降伏時の 0.5 倍であった。

ここで除荷し、負方向の加力を行ったが、この場合においても、き裂発生位置、程度は、各荷重段階とも、ほぼ正方向と同様であった。

(d) 鉄筋の降伏時ひずみ度の 0.7 倍加力において、 $P=28\text{ t}$ で、柱脚および柱頭に曲げき裂が発生する。また、はりにも新たに曲げき裂が発生する。

(e) 柱脚鉄筋降伏時の加力において、はりの曲げき裂が増加し、前の加力段階まで曲げき裂であったものは、ほんのわずかではあるが、せん断き裂へと伸展していく。柱脚、柱頭の曲げき裂も増加する。また、壁板に曲げき裂が発生

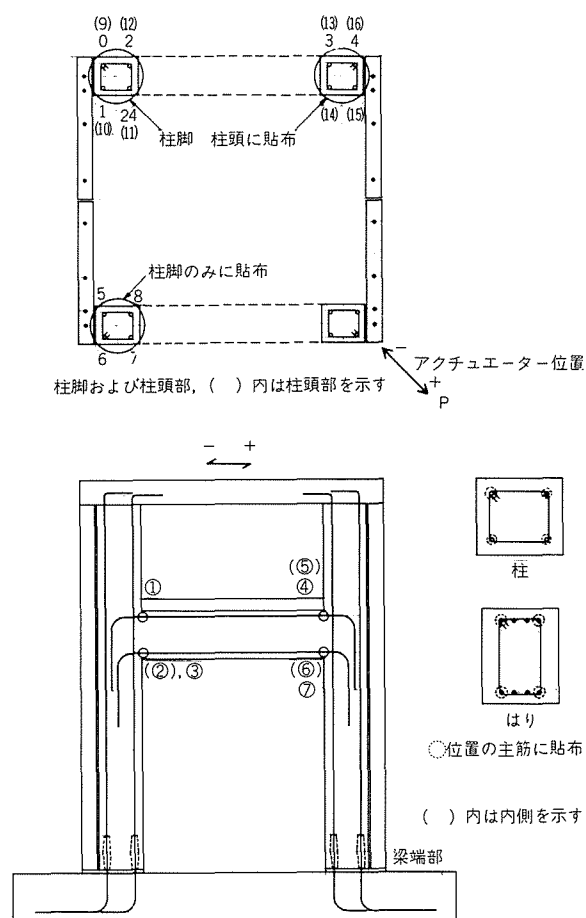


図-10 ワイヤーストレインゲージ貼布状況

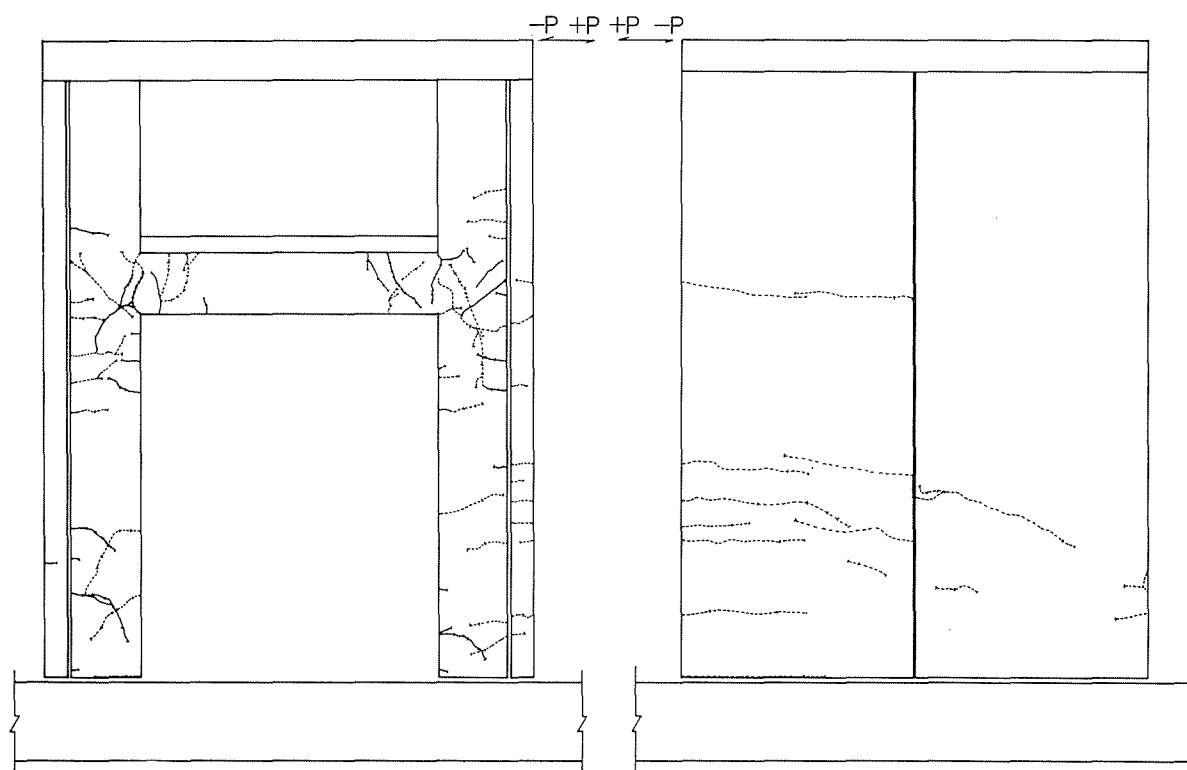


図-11 最終とき裂状況 (アクチュエーター側)

するが、その位置は、柱脚に発生した曲げきれつと同程度の高さである。

(f) 次に、降伏荷重時変形の1.5倍の変形時には、負荷重時 $P = -54 \text{ t}$ で、パネルゾーンにせん断きれつが発生した。また、柱頭の曲げきれつの数が増加した。

(g) 正荷重時にパネルゾーンにせん断きれつが発生したのは、降伏荷重時変形の2倍の変形時で $P = 63 \text{ t}$ である。この荷重段階において、柱脚、柱頭の曲げきれつはせん断きれつへと移行していく。また、壁板においても多数の曲げきれつが発生する。

本実験は、降伏荷重時変形の2倍変形時の正負加力を終了した時点で、アクチュエーターを75 tから100 tに変換して、以後の加力を負方向片振り繰返し加力とした。

(h) 降伏荷重時変形の3倍変形時において、壁板に多数の曲げきれつが発生し、柱頭、柱脚およびはりのせん断きれつが伸展する。また、パネルゾーンにも新たなせん断きれつが発生する。

(i) 以後、4倍、5倍の変形と加力していったが、新しいきれつの発生はなかった。

なお、本実験は、降伏荷重時変形の5倍の変形時において、加力用スラブが破壊し加力不能となったため、実験を終了した。

最終時のきれつ状況を、図-11に示す。

(2) 柱頭部の水平変位

荷重変形曲線の2, 3の例を図-12に示す。ラーメンのラーメン方向の荷重については、主筋の降伏ひずみ度0.7倍のひずみ度までは、弾性的挙動を示している。以後、降伏荷重時の1.5倍の変形時までは良好な挙動を示しているが、2倍の変形時より逆S型の成分が現われてくる。この時期は、壁板に曲げきれつが多数発生し、柱脚部の曲げきれつがせん断きれつに移行していく時期と一致している。

次にアクチュエーターを取替えた後の片振り加力については、各荷重段階においても急激なる耐力の低下はなく、安定した挙動を示している。

壁板の壁方向の変形については、ラーメン方向の変形の約1/100であり、両方向の剛性の差が明確に現れている。

(3) 壁板および床板の挙動

壁板の打継ぎ部および壁脚部には、有害なきれつの発生は最終時まで認められず、また壁板相互の相対的な水平変位および鉛直変位もほとんどなく、2

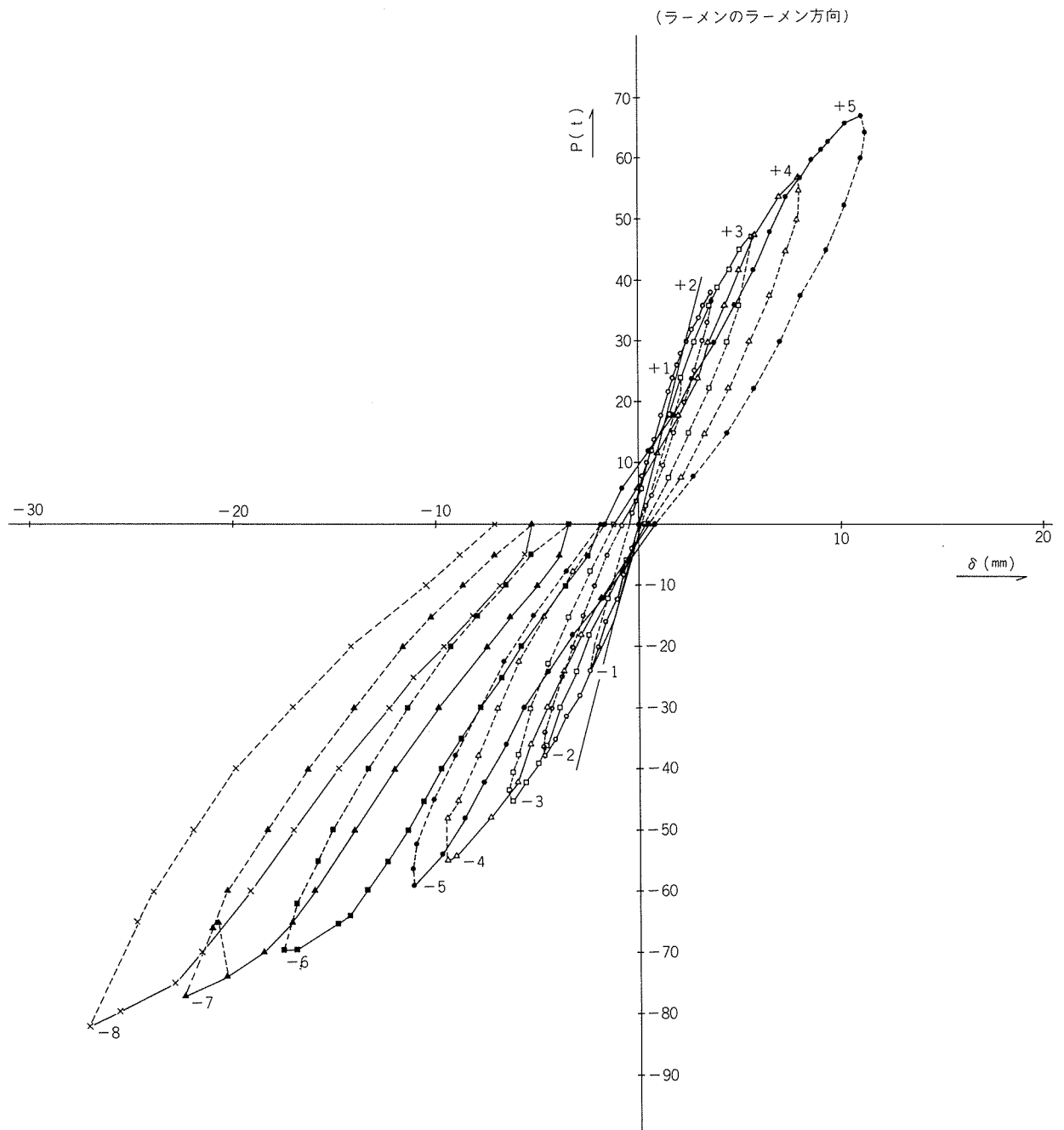


図-12 柱頭部 荷重-変形曲線

枚の壁板はコッターおよび添え金物を介して良好な挙動を示していることが確認された。

また図-11に示した壁板のきれつ状況より明らかに、加力側壁板のうち特に引張軸力を受ける柱側の壁ユニット（図中の左半分）にきれつが集中しているが、それは、本実験が斜め方向加力のため、ラーメン方向の入力の影響によるきれつと思われる。これより、ラーメン方向入力に際し壁板もある程度抵抗していることが考察される。

次に床板の挙動については、プレキャスト床版と現場打ちコンクリートとの打継ぎ部に、小さなきれつの発生が認められるが、最大荷重時までそのきれつ幅は広がることなく、また相対的なすべりおよび目開きもほとんどなく、最後まで床版は健全であり、水平力の伝達は良好であったと思われる。

(4)鉄筋のひずみ状況

ワイヤーストレインゲージは、柱頭、柱脚およびはり端に貼付したが、柱頭およびはり端の鉄筋は、最大荷重時まで降伏しなかった。

図-13に、柱脚鉄筋の降伏順序を示す。

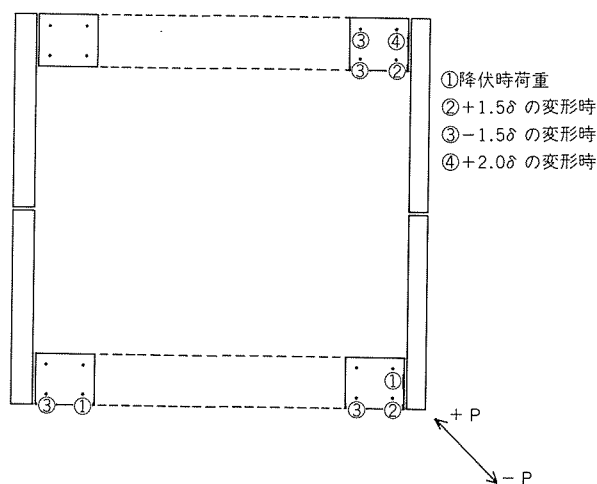


図-13 柱脚の鉄筋降伏順序

(b) ラーメンフレームの応力および変形については材の曲げ変形のみを考慮する。なお加力スラブの剛性は無視する。

(c) 耐力壁の変形については、目地部を無視して1枚の板として取扱い、材の曲げ・せん断変形を考慮する。ところで、図-14によれば、ラーメンおよび壁の両方向とも初期の段階においては、実験値の方が計算値より剛性が高く出ているが、20 t 近辺までよい対応をしていることが認められる。

なお、本実験は斜め方向加力なので、両方向に計算通りの入力がなされているかどうかを検討するた

3-4 実験結果とその検討

(1)初期剛性の検討

図-14に、実験結果と計算値との比較を示す。計算に用いた仮定は次のとおりである。

(a) 弾性剛性には、軸鉄筋の効果を無視する。

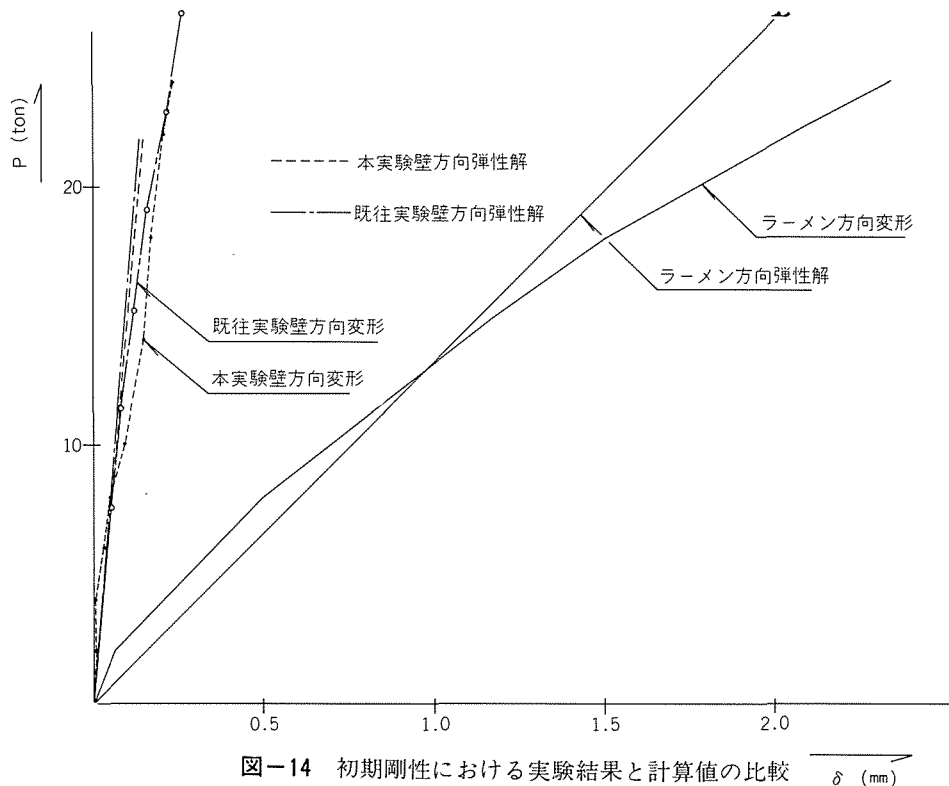


図-14 初期剛性における実験結果と計算値の比較

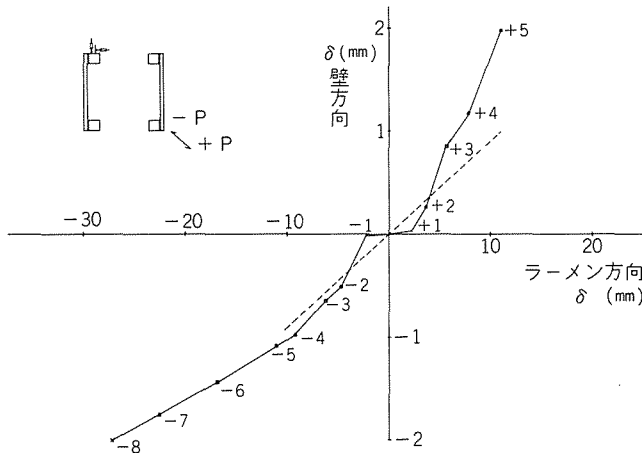
め、前回（実験－１）の結果をも付記している。

両結果の比較によれば、既往の壁方向実験と本実験とはほぼ同様の挙動を示しており、また弾性解においても良好な対応を示しており、斜め方向加力の妥当性が確認された。

(2)ねじれの検討

次に図－15に、各荷重段階における最大荷重時のラーメン方向変形と壁方向変形の関係を示す。

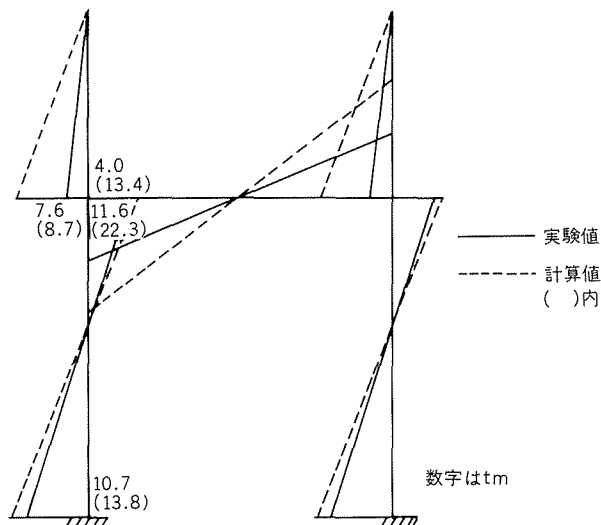
これによると正方向加力においてラーメン方向に対する壁方向変形の割合が、負方向よりも多少多めに出ているが、全体としてグラフが直線的であり、ねじれが生じていないと言えよう。



図－15 各荷重段階における柱頭の変位

(3)終局時の計算値と実験値との比較

次に終局耐力時のモーメント分布についてのべる。ワイヤーストレインゲージの値より、柱脚鉄筋が降伏した時の柱脚、柱頭およびはり端部のモーメントを求め、計算値と比較した結果を図－16に掲げる。終局強度式は日本建築学会RC構造計算規準、付20にある式を用いた。



図－16 モーメントの比較

この結果によれば、下一層部分において、計算値と実験値はかなり良く一致している。

3-5 実験結果の要約

本実験を終了して、次の諸点が確認された。

- (1) ラーメン方向の変形において、部材角 $1/100\text{rad}$ までの加力では、柱脚、柱頭およびはり端部に曲げせん断き裂の発生は認められるが、どのき裂幅も小さく、架構として致命的なき裂の発生は認められなかった。
- (2) 壁板のき裂状況は、ほぼラーメン部材の柱位置と同様の高さに、曲げき裂として発生している。このことは、ラーメン方向の変形に対して壁板が有効に働いていることを示している。また壁板のき裂が加力側に集中しているのは、本加力が斜め方向加力のため、壁板の加力側でラーメンの引張りが付加されたことによると思われる。
- (3) 初期剛性においては、ラーメン方向および壁方向ともよく弾性解と一致しており、斜め方向加力が計算どおりラーメン方向、壁方向に分力されていると思われる。
- (4) 前節立体構面水平加力実験その1と本実験とで、壁方向の初期剛性を比較すると、ほぼ同様の挙動を示しており、また弾性解ともよく一致しており、このことから斜め方向加力の妥当性が確認された。
- (5) 荷重変形関係において、ラーメン方向の変形量は壁方向の約80倍であったが、この割合は最大耐力時まで変わらずほぼ一定であり、本架構はねじれ現象を起こしていないことが確認された。
- (6) 本実験では、ラーメン材2体を用いたが、両者は壁板の影響は受けてはいるものの、正負加力に対して同様の挙動を示しており、床板を介しての応力伝達は有効に行われていることが確認された。
- (7) 本実験は破壊にいたるまで行うことができなかったが、変形角 $1/100\text{rad}$ までの加力において、各部のジョイント回りの有害なき裂の発生もなく、本構法により設計された立体構面の安全性が確認された。

§ 4. あとがき

サニコン構法の構造実験には、横浜国立大学工学部建築学科末永研究室の御協力を、また、サニコン構法開発全般には社内各分野の皆様より御指導を頂きましたことを感謝いたします。