

鉄筋コンクリートラーメン構造プレハブ化に 関する一連の実験的研究 (第1報)

篠木 武彦
武田 寿一
永井 康淑

概 要

わが国における建築構造体の工業生産化は、共同住宅を中心とした壁式構造に限定されていると言っても過言ではない。しかしながら、最近の労務費の高騰、熟練工の不足などを考えるならば、また、重量物荷揚機械の発達をも考慮に入れば、建築物、工作物の工業生産化をもっと拡張してゆかねばならないと思われる。最も一般的な構造である鉄筋コンクリートラーメン構造のプレハブ化を目的とし、その構造的可能性を実験的に確かめるのが本研究の目的である。ここに第1報として報告するのは、国電某駅人道地下道施工に際し計画されたものであるが、鉄筋コンクリートセグメントを接合し、地下道を構築する目的で行なった実験の報告であり、接合部の曲げ実験と実大組立フレームの実験との二つが含まれている。

1. 接合部の曲げ実験

組立建築物の接合部で最も重要なことは、プレキャスト部材から他のプレキャスト部材へ、いかに単純に、力を流してやるかということである。今回の実験では、ハイテンションボルト（以下 H. T. ボルトという）の摩擦接合を利用している。

1.1 試験体

S1 試験体（1面せん断フリクションタイプ）

図-1に示すごとく、主筋にプレートを添わせて溶接し、プレキャスト部材から突き出ているこのプレート同志を H. T. ボルトで締めつけ、後に、アルミナセメントを用いたモルタルを充填している。図を見てわかる様に、主筋からプレートへ、プレートから主筋へ力が流れる時に偏心を生じている。

S2 試験体（2面せん断フリクションタイプ）

図-2に示すように接合方法は S1 試験体とほぼ同じであるが、力の流れにおける偏心をなくすために、一方の主筋にプレートを2枚添わせて溶接し、他方は1枚のプレートに開先をつけ主筋をスミ肉溶接してある。

S1, S2 両者共に、プレートは鉄筋の降伏引張力を取りきれるような断面のものを使用しており H. T. ボルトにも充分なトルク値を与えているし、摩擦面はショットプラストまたはサンドプラストで黒皮を除去してある。

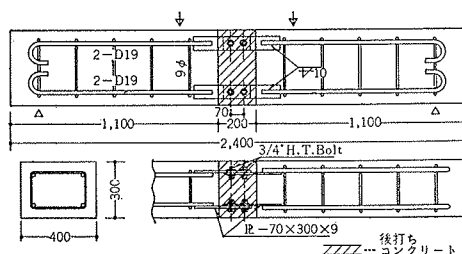


図-1 S1 試験体

1.2 使用材料の性質

使用材料の性質は次のごとくである。

組骨材の最大寸法 (mm)	スランプ (cm)	空気量 (m/m)	単位水量 (kg)
25	5	3	165
単位セメント量 (kg)	水セメント比 (%)	単位組骨材量 (kg)	単位組骨材料 (kg)
330	50	790	1109

表-1 コンクリートの調合

コンクリート強度 $F_c = 379 \text{ kg/cm}^2$

後打ちモルタル（アルミナセメント使用）

$F_c = 575 \text{ kg/cm}^2$

鉄筋 19φ (SD30)

降伏応力度: 3640 kg/cm^2

引張応力度: 5520 kg/cm^2

1.3 加力方法および変形測定方法

加力方法は単純梁型式とし、接合部に純曲げモーメントが作用するように2点集中載荷とした。変形は中央点の撓みと接合部の曲率をダイヤルゲージで測定した。曲率の測定は後打ちコンクリート部の変形を測定している。中央の撓みは支点に対する相対撓みを測定し、ゲージホルダーは試験体の変形によって影響を受けないように、完全なピンとローラーで支持されるように製作したものを用いた。

1.4 実験結果とその考察

実験は、プレキャスト部材の初きれつが発生してから一旦荷重を下げ、次に引張鉄筋が降伏するまで載荷し、3回目で破壊させている。

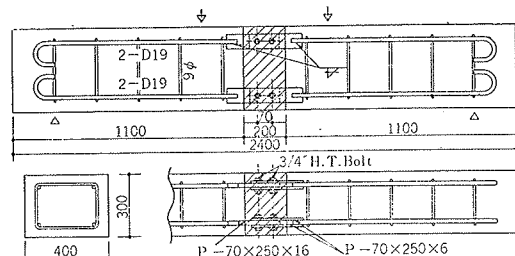
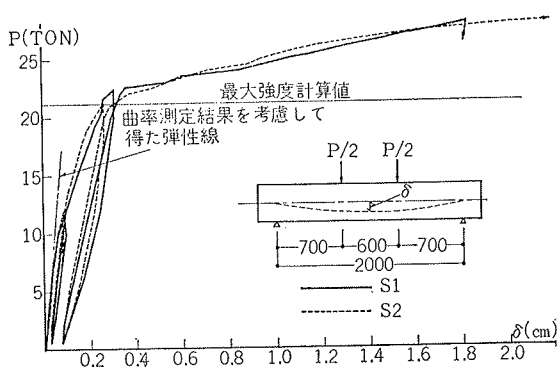
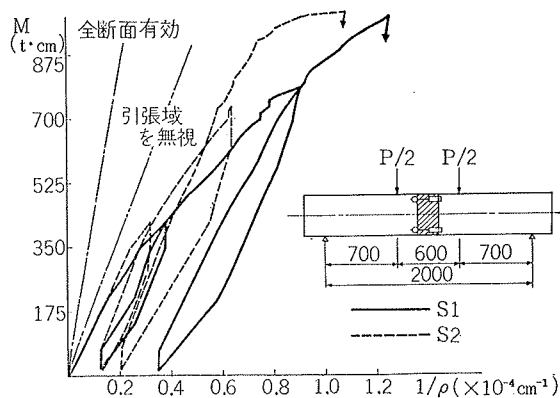


図-2 S2 試験体

実験により得られた荷重—撓み曲線，モーメント—曲率曲線を図—3—図—4に示す。初期剛性に関しては，後打ちモルタルとプレキャスト部材との縁がすぐ切れるために，一体打ちコンクリート部材として計算した値よりも，その変形は約2倍となっている。部材中央で測定した曲率を考慮して計算すると図に見られるごとくほぼ一致する。一方，曲率についてみると，コンクリート全断面が有効であるとした計算値が約3倍である。前述したように，打ち継ぎ部の縁がすぐ切れるから，コンクリートの引張域を無視して計算すると，それでも，計算値の約1.5倍となる。しかし，鉄筋に溶接したプレートが全断面有効であるとして計算してあるから，この影響があらわれているものと考えられる。



図—3 荷重—撓み曲線



図—4 モーメント—曲率曲線

S 1, S 2 試験体の各荷重における P/δ 値を比較すると次表のようになる。

	P (t)	5.5	7.5	10.0	15.0	20.0	25.0
S 1 (1面せん断)		178.6	174.3	154.0	103.3	81.7	23.6
S 2 (2面せん断)		166.7	159.5	156.2	115.3	89.0	26.3

表—2 P/δ 比較表

表—2 と 図—3 より，S 1 と S 2 では終局時にいたるまで，ほとんどその差がないことがわかる。

次に，終局強度について実験値と計算値を比較して表—3に示す。

試験体名	降伏強度 (t)			最大強度 (t)		
	実験値	計算値	実/計	実験値	計算値	実/計
S 1	22.3	18.0	1.24	28.0	21.2	1.32
S 2	21.3	18.0	1.18	28.1	21.2	1.32

表—3 終局強度

計算値については，降伏強度を e 関数法によって，最大強度は矩形法によっている。降伏強度では，S 1 で1.24倍，S 2 で1.18倍，最大強度では，S 1 で1.32倍 S 2 で1.33倍と，計算値をかなり大きく上まわっている。最終破壊は，接合部でなく，プレキャスト部材のコンクリート圧壊によって起っている。

1. 5 まとめ

- i) 1面せん断，2面せん断いづれのものも，変形量，降伏強度，最大強度および曲率に関して，ほとんど差がなく，引張力の偏心の影響が現われていない。
- ii) 変形の計算は，コンクリート打ち継ぎ部分で，コンクリート引張域を無視して計算すれば，ほぼ，実験値と計算値を合わせることが出来るものと思われる
- iii) 接合プレートは，鉄筋の引張力を十分とりきれるようになっているため，プレキャスト部材の曲げ破壊を起したが，このように，力の流れの乱れる接合部では，破壊を起させない方が良くと思われる。

2. 組立フレームの実大実験

前述した接合部曲げ実験で良好な結果を示した S 1 (1面せん断フリクションタイプ) の接合法によって実大構造物を鉄筋コンクリートセグメントで構成し加力実験を行ない，その耐力，変形性状を調べた。使用目的が地下道であったために，外力としては，水平材鉛直材共に等分布荷重を想定し，4点集中載荷とした。

2. 1 試験体

試験体は水平材 4.2m，鉛直材 3.7m (いづれも部材中心)，コンクリート断面巾 60cm，丈 40cm の実大鉄筋コンクリート構造物で，L型部材と直線部材とで構成したものである。各セグメントは常設工場で製作され，工事現場へ輸送した後に，主筋に溶接された添板 (Ⅱ—9) 同志を H.T. ボルトで締め付けて，アルミナセメントを用いたコンクリートを充填し組立てたものである。試験体および接合部の詳細を図—5.6に示す。

2. 2 加力方法および変形測定方法

試験体の周囲に鉄骨製反力用フレームを仮設して，オイルジャッキ 2 基で鉛直及び水平方向に同時加力を行ない，荷重値はロードセルによって決定した。荷重の各作用点，支持点にはフリクションによる材軸方向の力が伝わらないように，すべてローラーを使用し，等分布外力に対応させて1部材に4ヶの集中荷重が加わるようにした。また，試験体の重力を支えるものと

して各節点の近傍にコロを介し、試験体の変形あるいは移動に伴うフリクションを最小限にいとめるようにした。これらの加力状況を図-7に示す。

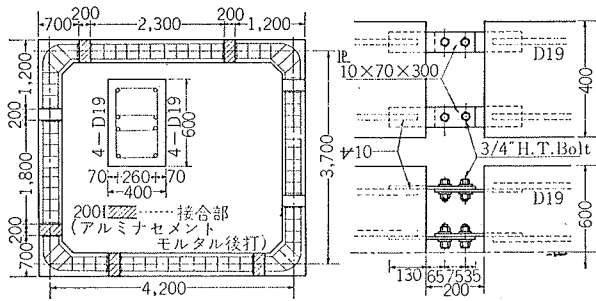


図-5 試験体 図-6 接合部詳細図

変形は節点に対する部材中央の撓みあるいは加力点の撓み、その接合部の曲率、節点角およびラーメン全体の形状変化をダイヤルゲージで測定した。撓み測定用ゲージホルダーは各節点にボルトを埋め込みこれに支持させ、試験体の変形によって影響を受けないよう完全なピンとローラーで支持されるよう製作したものをを用いた。鉄筋応力はストレインゲージによって測定し、これらは曲率の計算もできるよう上端筋、下端筋へ貼付した。その他、鉄筋応力測定と同じ断面の圧縮

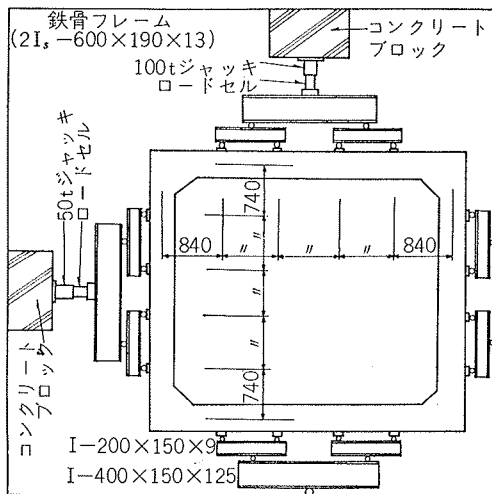


図-7 加力図

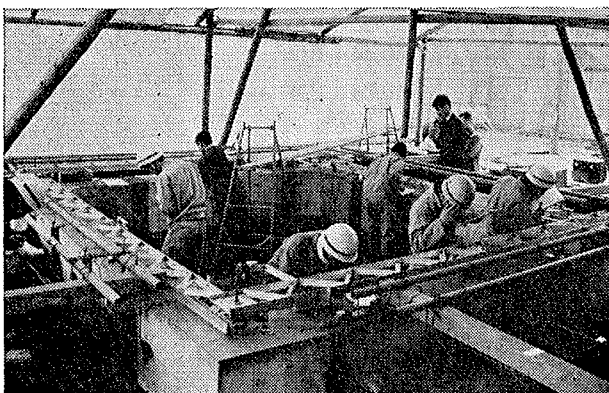


図-8

側コンクリート表面にもストレインゲージを貼付した。これらの状況は図-8に示してある。

2.3 使用材料の性質

使用材料の性質は次のごとくである

水セメント比 (%)	単位セメント量 (kg)	単位水量 (kg)	スランプ (cm)
50	350	175	7.5
単位組骨材料 (kg) 利根川産	単位組骨材量 (kg) 多摩川産	粗骨材の最大寸法 (mm)	空気量 (%)
675	1180	25	3.0

表-4 コンクリートの調合：調合強度 350kg/cm² コンクリート強度 (材令：32日, 35日)

$$F_c = 363 \text{kg/cm}^2 \quad 1/4 E = 2.92 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$$

後打ちモルタル材令：(13日アルミナセメント使用)

$$F_c = 413 \text{kg/cm}^2 \quad 1/4 E = 2.59 \times 10^5 \text{kg/cm}^2$$

	降伏応力度 (kg/cm ²)	引張応力度 (kg/cm ²)	ヤング係数 (kg/cm ²)	伸び (%)
D-19	3665	5960	1.95×10^5	21.4
9φ	2440	3750		32.4
6φ	3050	4080		30.8
H-9	3840	5845		20.0

表-5 鉄筋

2.4 実験結果とその考察

実験は荷重30tで2回繰り返した後に破壊へと進めた。荷重12~16tで水平材中央部にへアークラック程度の曲げきれつが発生し、24tで鉛直材端部にも曲げきれつが観察された。さらに荷重を上げると、62tで下側水平材の引張鉄筋が、66tで上側水平材の引張鉄筋がおのおの降伏し、70tで鉛直材端部が降伏している。その後も荷重は漸次上昇を続けたが、加力装置の関係で、実験は76tで中止した。きれつは、水平材では細かく分散し、鉛直材では端部の1つのきれつに、ほぼ集中して巾を広げ、最大荷重時で約3mmに達した。プレキャスト部分と後打ちモルタルとの接触面の開きは観察できなかった。

実験より得られた水平材中央部および節点での荷重一変形曲線を図-9に示す。図中の弾性計算線はフレームのコンクリートが一体に打設されたものとして計算してあり、接合部の影響は考慮してない。きれつ発生まで(12~16t)を弾性範囲とすると、この範囲では、中央撓み、節点角ともに、実験値と計算値は良く

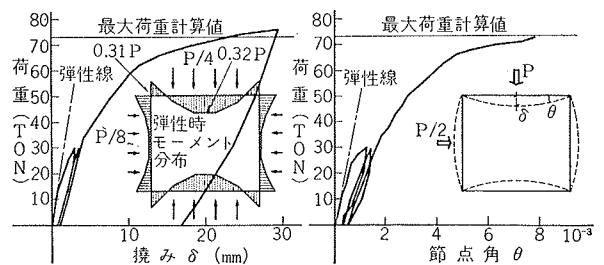


図-9 荷重一変形曲線

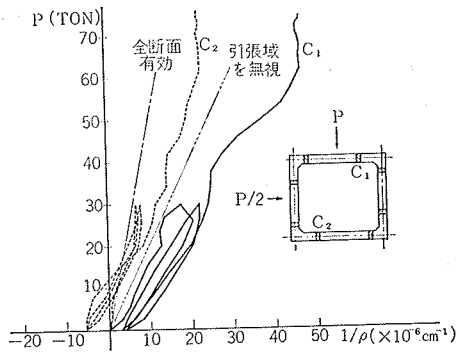


図-10 接合部の曲率

一致している。き裂発生荷重の計算値は、コンクリートの引張応力度を $1/10 F_c$ とすると、18 t である。接合部の曲率についてみると、図-10にみるごとく、コンクリートの引張域を無視した場合の計算値に近く前述した曲げ実験より得られた結果と同様の傾向にあり、一体打ちの場合の3倍位の曲率になっている。しかし、比較的応力の小さい所に接合部を設けているので、全体の変形に与える影響は少ないようである。

終局荷重については、平面保持と終局時応力分布を矩形に仮定して計算すると、曲げモーメントのみを考えると55.2 t、軸力をも考慮すると73.2 t である。実験では、この値を越えても徐々に荷重は上昇を続けた。図-12に示すのが、主要断面の荷重—曲率曲線である。A断面が62 tで降伏すると、B断面、C断面の曲率の増加が大きくなり、モーメントの再分布していることを示している。71 tでC断面が降伏するとB断面の曲率増加はいくらか鈍ってくる。塑性理論による破壊機構は図-11に示すごとく、まず、水平材中央部に塑性ヒンジができ、次に鉛直材の上下端に同時にヒンジができて崩壊する型であるが、実験とほぼ一致するようである。各断面は鉄筋比が、0.58%と小さく、また鉄筋のかぶり7 cm と厚いために、引張筋が降伏した後に、中立軸がどんどん上昇し、圧縮筋であったものも引張筋として作用するようになり、引張筋降伏後もかなりの負担モーメントの増加があるために、はっきりとした塑性ヒンジが見つけれなかった。実験は装置の関係で76.0 tで中止したが、その時の梁中央部コンクリート圧縮歪は 2000μ でいまだ圧壊症状は見せていなかった。水平材中央部最大撓みは2.9 cm、部

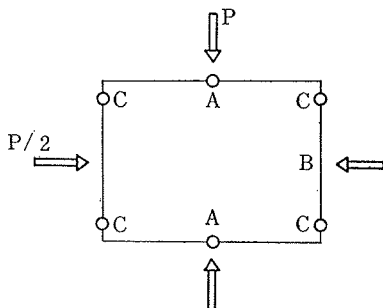


図-11 崩壊型

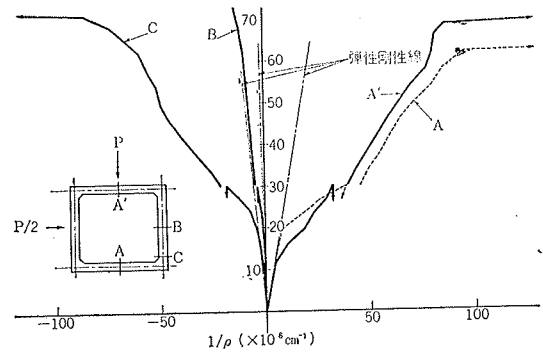


図-12 荷重—曲率曲線

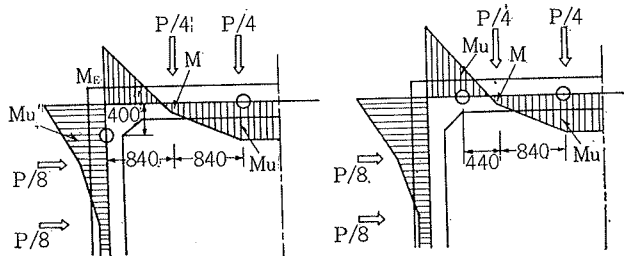


図-13 A型崩壊型 B型崩壊型

材角にして約 $1/70$ であった。

最後に、フレームの崩壊荷重の求め方を簡単に述べておこう。崩壊型として考えられるのは、次の2種類である。

A型崩壊型：水平材中央部と鉛直材の端部に塑性ヒンジの形成される型。

B型崩壊型：水平材中央部と水平材端部に塑性ヒンジの形成される型。

各型のモーメント分布を図示すると図-13の通りである。

モーメント分布より、最大抵抗モーメントと荷重 P との関係を求める。

A型では

$$M_E - M_{U'} = 0.40 \times P/4$$

$$M_U - M = 0.84 \times P/4$$

$$M_E + M = 0.84 \times P/2$$

3式より、 M 、 M_E を消去すると

$$P = M_U + M_{U'}/0.53 \dots\dots(1)$$

B型では、

$$M_U + M = 0.44 \times P/2$$

$$M_U - M = 0.84 \times P/4$$

2式より M を消去すると

$$P = 2M_U/0.43 \dots\dots(2)$$

まず、軸力を考慮しない断面の最大抵抗モーメント M_U を求め、(1)または(2)式により P_1 を求める。次に、 P_1 によって生ずる軸力、水平材では $P_1/4$ 、鉛直材では $P_1/2$ を考慮した最大抵抗モーメント M_{U2} 、 M_{U2}' を求め、それによって P_2 を算出する。この過程を繰り返してゆけば、 P はある値 P_U に収れんする。この値 P_U がフレームの崩壊荷重である。

2.5 まとめ

今回の様に、比較的応力の小さい所に接合部を設けるならば、弾性範囲では、従来行なわれてきている弾性計算が適用できるし、破壊機構を考える場合にも、一体打ちコンクリートの場合と同様な塑性解析による

ことができる。しかしながら、1の接合部の曲げ実験で明らかのように、応力の大きい所に接合部を設ける場合には、接合部の曲率が、全体の変形に及ぼす影響はかなり大きくなるものと予想される。