

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2報)

篠木 武彦
武田 寿一

概要

鉄筋コンクリートラーメン構造のプレハブ化にあたって、一番の問題点はプレキャスト部材同志の接合方法であろう。各接合部にとって、構造的に安全であることは言うまでもないが、施工、特に組立てが容易であることは不可欠な条件である。このことを考慮しながら、柱-梁接合部、梁-スラブ接合部を考案し、実験を行なったので報告する。柱-梁接合部では曲げをボルトでとり、せん断をジグザグ型のコンクリート目地をとっている。また、梁-スラブ接合部はU字型プレキャスト梁の中にスラブ鉄筋をアンカーし、後打ちコンクリートで充填する方法をとっている。

1. 柱-梁接合部の実験

今回の実験では、長期荷重時のモーメント分布に対応させる梁型の試験体2体と、地震時モーメント分布に対応させるX型試験体2体、合計4体の実験を行なった。

1.1. 試験体の形状・寸法

まず、接合部の説明を行なうと、プレキャスト柱、プレキャスト梁には、鋼製スパイラルシースによって穴が貫通しており、その穴にボルトを通し、このボルトを梁に定着板とナットを使用してアンカーしている(図-1 図-2 参照)。柱側面と梁端部にはへこみがありボルトを貫通させた後にこの部分にコンクリートを打設してジグザグ型の目地を形成している。梁の主筋と接合用のボルトとは一種のラップジョイントになっている。試験体の寸法は4層の最下階程度を対称とし、実大の約 $\frac{2}{3}$ とし、柱断面は40×40cm、梁断面は一般部分で24×50cm、端部は24×70cmであり、梁の曲げスパン4.6m、柱曲げスパン2.3mである。柱は接合部分を除き、矩形の中空断面を採用している。中空断面の性状については、実験を終了しているが、その報告は後日に譲ることにする。試験体の詳細は図-1、図-2に示し、各試験体の相違点を表-1で簡単に説

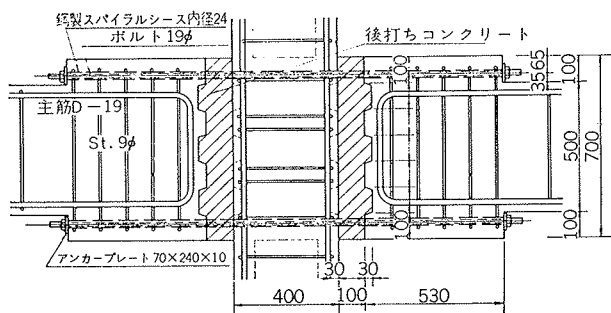


図-1 柱-梁接合部詳細

明する。

1.2. 加力方法および変形測定方法

加力はすべて、当研究所の300tアムスラー圧縮試験機を使用して行なった。各試験体ともに正負繰返し加力を行なったが、GJ型の負加力、GJe型の正負加力では、アムスラーのヘッドに鉄骨のIビームを取付けて2点載荷を行なった。加力方法を図-3、図-4に示す。

変形は、GJ型で中央の撓みおよび目地部分の曲率を、GJe型では、柱梁材の個々の撓み、接合部のせん断変形、全体の変形及び接合部の曲率をダイヤルゲージで測定した。GJ型では、支点および中央の浮き沈みを測定し、中央の両支点に対する相対撓みを求め

試験体名		
GJ-1		長期荷重に対応、ボルトにグラウトをする
GJ-2		" グラウトなし
GJe-1		地震時荷重に対応、グラウトあり
GJe-2		" グラウトなし

表-1 試験体の説明

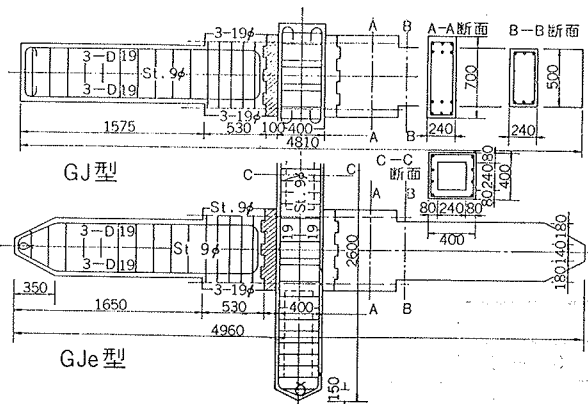


図-2 試験体

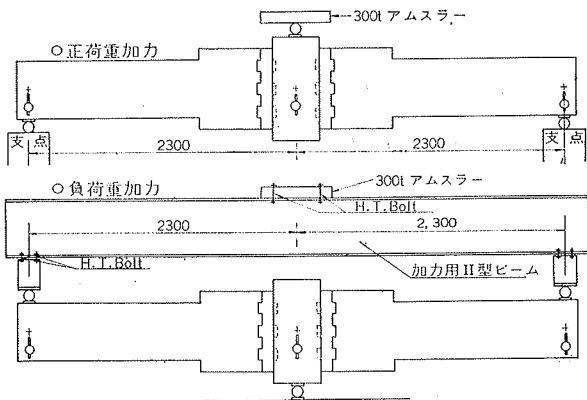


図-3 加力方法

た。GJe型では、柱梁交叉部にゲージホルダーを固定し、柱、梁個々の撓みを測定している。コンクリートおよび鉄筋の主要点には、ストレインゲージを貼って歪を測定し、ボルト端部の引張力を知るために、定着板とナットの間ロードセルを挿入している。これらの変形測定状況を図-4に示してある。

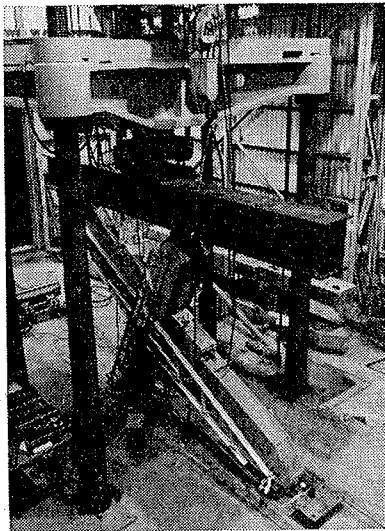


図-4

1.3. 使用材料の性質

コンクリートは豆砂利コンクリートで、プレキャスト部材ではスランプ20cmの軟練りとし、目地部分のコンクリートは、目地突起部分とプレキャスト部分とが、セッティングによって隙間ができないようにスランプ10cmの硬練りとした。調合強度はプレキャスト部材が300kg/cm²、目地部分が400kg/cm²である。コンクリートは容量0.2m³のミキサーによって、当研究所の敷地内で混練り打設した。各バッチごとにテストシリンダーを2本ずつ採取し、実験時に圧縮強度および弾性係数を測定した。測定値は次の通りである。弾性係数は、最大荷重の1/3セカンドモデュテスをとっている。

- プレキャスト部分 $F_c = 327 \sim 427 \text{ kg/cm}^2$
 $E_c = 2.50 \sim 3.10 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$
- 目地部分 $F_c = 439 \sim 498 \text{ kg/cm}^2$
 $E_c = 2.98 \sim 3.23 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$

	降伏応力度 (kg/cm ²)	引張応力度 (kg/cm ²)	弾性係数 (kg/cm ²)
SD-35	3730	5700	2.0×10^6
SR-24	3450	4580	1.95×10^6

表-2

鉄筋は主筋がSD35の19φ、スタラップおよびフープはSR24の9φである。鉄筋の機械的性質は表-2の通りである。

接合用のボルト(19φ)は引張応力度7750kg/cm²で明りょうな降伏点はつかめなかった。

1.4. 実験結果とその考察

各試験体の荷重-変形曲線を図-5、図-7に、鉄筋降伏荷重および最大荷重の実験値と理論計算値を表-3に示す。

供試体名	鉄筋降伏荷重		最大荷重		
	実験値 (TON)	理論値 (TON)	実験値 (TON)	理論値 (TON)	実/理
GJ-1	15.0~16.0	18.3	20.7	19.0	1.09
GJ-2	16.0~17.0	18.3	21.6	19.0	1.14
GJe-1	52.0~56.0	55.3	67.0	58.3	1.15
GJe-2	52.0~54.0	57.8	64.0	59.1	1.08

表-3 最大荷重

理論計算にあたっては、鉄筋降伏荷重をe関数法によって、最大荷重を矩形法(最大応力度0.85F_c、最大コンクリート圧縮歪度3000μを仮定)によっている。危険断面はB-B断面である(図-2参照)。

(i) GJ型試験体について

実験は、第1正荷重で鉄筋降伏まで、第2正荷重で降伏後の変形を伸ばし、第1負荷重で第2正荷重と同程度の変形を起させて、第3正荷重で破壊させている。

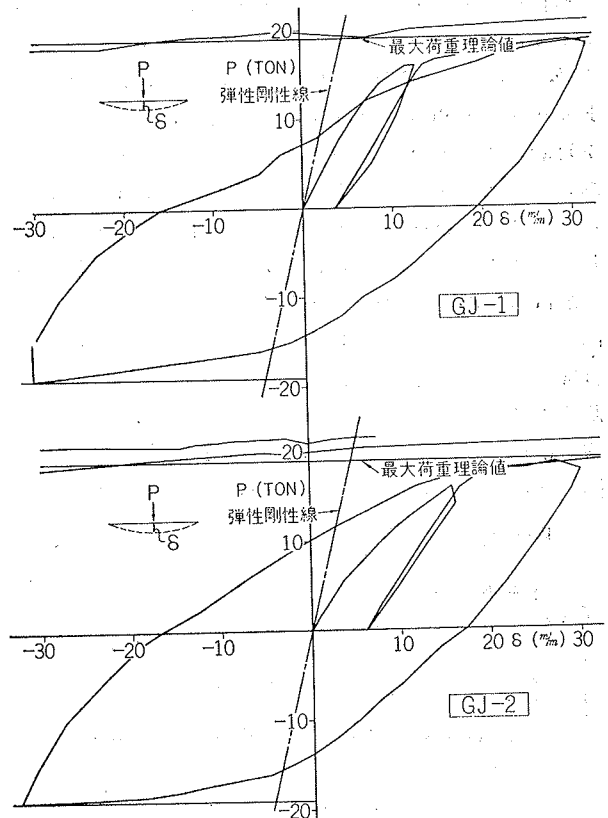


図-5 荷重-撓み曲線

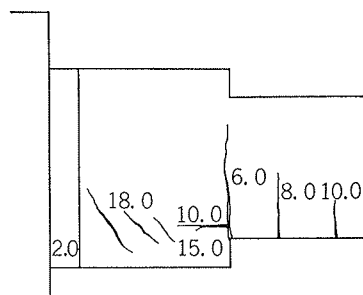
曲げモーメントの最も大きい所に後打ちコンクリートの目地があるために、載荷後すぐにプレキャスト部材と目地との縁が切れ、変形は相当に大きくなっている。荷重—変形曲線の図中にある弾性剛性線は、部材を一番小さな断面、B-B断面の一樣部材とした時（一体打ちコンクリート）の計算値であるが、GJ-1では、その約2倍、GJ-2では約3倍の変形となっている。GJ-1は、最初からプレキャスト部材の方にも、運搬時に発生したきれつがあったから、実際には、もっと剛性が高くなると考えられる。GJ-2では、ボルトとコンクリートに付着がないので、ボルトの全長にわたって最大引張力が作用するため、伸びが大きく、それが変形を大きくしている原因であろう。鉄筋降伏後の繰り返し荷重ではGJ-1の方も付着が切れるためか、両者の剛性には大きな差はみられない。最大変位およびその時の部材角は表—4の通りである。

	最大変位量	最大部材角
GJ-1	9.2cm	1/25
GJ-2	12.8cm	1/18

表—4

最終破壊は、GJ-1、GJ-2共に引張鉄筋アンカー部分でコンクリートが鉄筋に沿って割れ、耐力が落ちたが、その時には、すでにB-B断面での圧縮側コンクリートが圧壊を始めていた。鉄筋降伏荷重の実験値が理論計算値よりもいくらか低くなっているが、断面急変による局部応力が影響を与えているのではないかとと思われる。最大荷重はいずれの試験体も実験値の方が大きくなっている。

きれつの発生状況は図—6に示す通りである。まずプレキャスト部材と目地との縁がすぐ切れ、6tで断面急変部から曲げきれつが発生する。さらに荷重を上げると、10tでこのきれつから別れて、ほぼ引張鉄筋の高さに水平きれつが発生し、鉄筋が降伏する15tあたりから、引張鉄筋と30°~45°の角度をもつきれつが数本発生する。今回の場合には、このきれつが最終破壊の原因となっている。

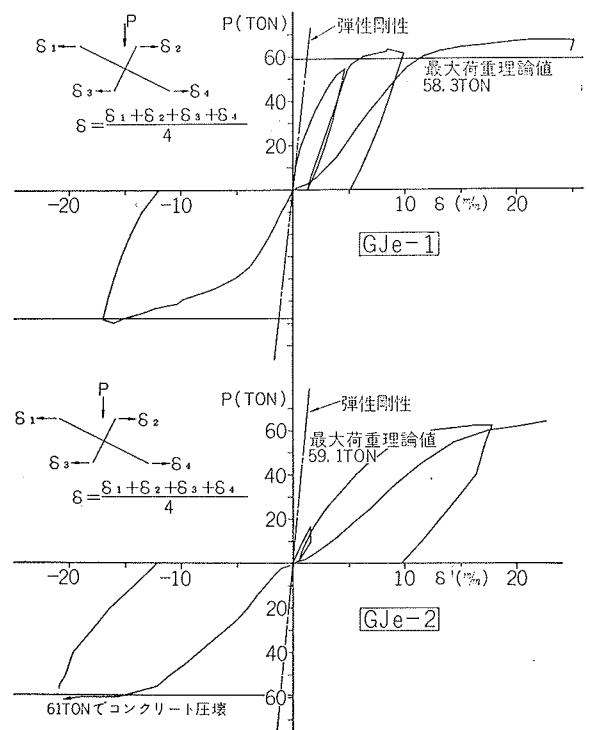


図—6 きれつ発生状況

(ii) GJe型試験体について

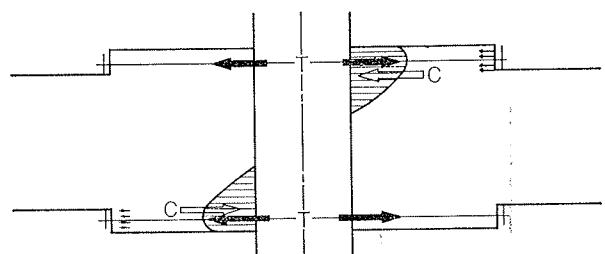
この種の試験体も(i)と同様に第3正荷重で破壊させている。荷重—変形曲線の図で、変形が連続してい

ないのは、正荷重から負荷重へ、負荷重から正荷重へかえる場合に、試験体を90°回転させてセットしなおすが、その間の変形が測定できなかったためである。図中の弾性剛性線は、柱梁交叉部を完全剛とし、梁はB-B断面の一樣材、柱は一樣中空断面とし接合部の影響を考慮しないで計算した値である。初期剛性は、グラウトがないと、ある場合に比較して約4倍にもなる。これはGJ試験体と同じ理由によるものと思われる。地震時荷重の場合には、鉄筋降伏後の剛性も、グラウトがある場合とない場合では、かなりの相違がある。きれつ性状に関しては、GJ型とほとんどかわりがない。



図—7 荷重—変形曲線

最終破壊は目地部分のコンクリート圧壊によって生じている。この圧壊はかなり早いうちに、すなわちGJe-1で降伏変形の3~4倍、GJe-2では約2倍の変形で起っているが、これは下図に示すごとく、曲げによる圧縮力Cのほか、圧縮側にあるボルトも、コンクリートとの付着がないために引張力Tを受け、その引張力が端部のアンカープレートを通じて圧縮力としてコンクリートに伝わり、C+T(軸力を考慮しなけれ



図—8 応力分布

ば2C)の圧縮力がこの断面に加わることに起因しているものと思われる。

図-9は図中に示す位置での圧縮歪と曲げモーメントとの関係を示したものである。実線がGJe型の実験値、鎖線がGJ型の実験値であり、一点鎖線はe関数法による理論計算値である。各試験体のコンクリート応力度歪度関係が多少違ってはいるが、また、GJe型の試験体では軸力を同時に受けるが、それも最大荷重時で平均応力度が約3.5kg/cm²であるから、おおよその傾向はこのグラフでつかめると思う。GJ型の試験体では、アンカープレートからの圧縮力の影響を受けないので、GJe型と比較してみると、一瞥してわかるように、グラウトなしで地震時荷重を受けると圧縮歪の進行が速く、上述したことと一致している。グラウトしてある場合には、第1正荷重では、付着が完全には切れていないらしく、GJ型と同程度の圧縮歪を示している。ここでGJ型よりも剛性が高くでているのは、軸力の影響であると考えられる。

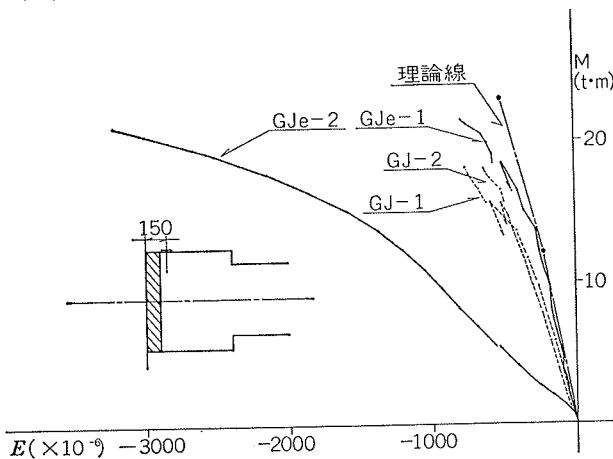


図-9 モーメント-圧縮歪曲線

2. 梁-スラブ接合部 (T型梁) の実験

プレキャスト梁とプレキャストスラブを組み合わせてT型梁とした場合、梁-スラブの一体性を確める目的で、プレキャスト梁2体、一体打ちコンクリートT型梁1体の曲げせん断実験を行なった。

2.1. 試験体の形状・寸法

接合方法としては、プレキャストU型梁に、フラブをのせ、スラブ筋をU字内にアンカーし、その部分をコンクリートで充填する方法をとっている。断面としてはT型で、フランジ巾80cm、フランジ厚6cm、ウェブ巾24cm、全丈は46cmである。曲げスパンは2.8m

試験体名	断面図	説明
GB-1		梁と後打ちコンクリートとにシャーコネクターがない
GB-2		シャーコネクターとしてスターラップを延長する
GB-3		一体打ちコンクリートT型梁

表-5 試験体の説明

にとった。試験体を図-10に示し、表-5で各試験体の相違点を簡単に説明する。

2.2. 加力方法および変形測定方法

加力は、300tアムスラー圧縮試験機による単純梁式の中央集中荷重である。各試験体ともに正負繰り返し荷重を行なったが、加力方法はGJ型と同様である。

変形は、中央の撓み、支点の浮き沈み、スラブと梁との滑りをダイヤルゲージによって測定し、主要点のコンクリートおよび鉄筋の歪をストレインゲージによって測定した。

2.3. 使用材料の性質

コンクリートの調合に関しては、1の場合と同様であり、後打ちコンクリートもプレキャスト部と同じ調合のものを使用している。コンクリート強度弾性係数は次の通りである。

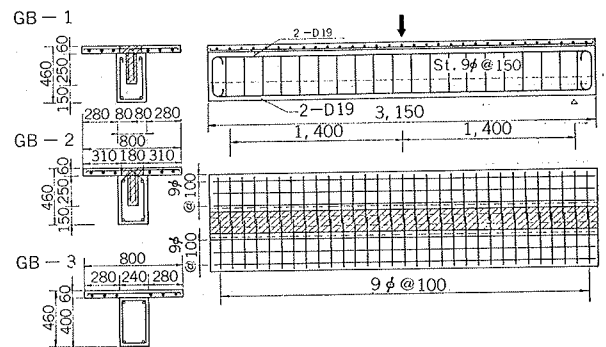


図-10 G B 型 試験体

プレキャスト部分 $F_c=354\sim 362\text{kg/cm}^2$

$E_c=2.53\sim 2.61\times 10^5\text{kg/cm}^2$

後打ち部分 $F_c=282\sim 305\text{kg/cm}^2$

$E_c=2.45\sim 2.49\times 10^5\text{kg/cm}^2$

鉄筋およびボルトに関しては、1と同様である。

2.4. 実験結果とその考察

実験では、各試験体とも中央撓み約2cm、部材角で1/70で正負繰り返し、第2正荷重で破壊させている。

実験より得られた中央部の荷重-撓み曲線を図-11に示す。きれつ発生までを弾性範囲とすると、弾性範囲内では、理論線と実験値とはきわめて良く一致して

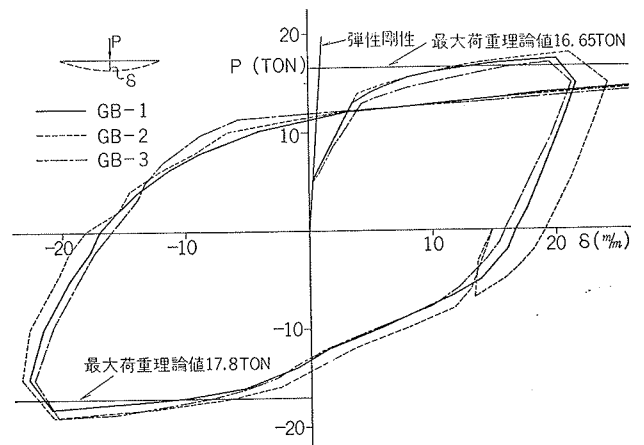


図-11 荷重-撓み曲線

おり、各試験体間の差もほとんど見られない。初きれつ発生荷重は、5～6 tであるが、コンクリートの引張応力度を約 $1/10 F_c$ の 35kg/cm^2 とすると、理論値は5.3 tであり、ほぼ一致する。

鉄筋の引張降伏は、GB-1, GB-3で13～14 t, GB-2では14～15 tで起っているが、鉄筋比が非常に小さく、また、上端筋も引張筋として作用する様になるので、鉄筋降伏後のモーメント増加はかなり大きく、各試験体とも、50%近い荷重の増大を示している。各試験体の最大荷重の実験値と理論値の比較をすると表一6のようになる。理論計算値は矩形法により、フランジは全巾にわたって等価に有効であると仮定している。

試験体名	鉄筋降伏荷重	最大荷重		
	実験値 (TON)	実験値 (TON)	理論値 (TON)	実/理
GB-1	13.0～14.0	20.8	16.65	1.25
GB-2	14.0～15.0	21.85	"	1.31
GB-3	13.0～14.0	19.67	"	1.18

表一6 最大荷重

なお、負荷重時の最大荷重計算値は17.8 tである。図一11の荷重—撓み曲線、表一6の最大荷重に示されている通り、プレキャスト梁と一体打ち梁とでは、変形、耐力ともに、その差はほとんど見られない。きれつ性状に関しても同様である。スラブと梁との滑りに関しては、シャーコネクターをつけたGB-2では、破壊に至るまで、観察できなかったが、シャーコネクターのないGB-1では、引張鉄筋のアンカー部分のコンクリートが割れて破壊しているが、その時に急激な滑りを起している。しかしながら、最大変形は89mmであり、部材角で $1/16$ 、塑性率で25であり、コンクリートの圧壊も始まっていた。GB-2, GB-3の破壊は完全な曲げ破壊であった。

3. まとめ

(i) 柱—梁接合部をモーメント最大の位置にもうけているために、変形がかなり大きくなっている。特にボルトにグラウトをしない場合には顕著である。この変形が悪影響を及ぼす場合には、接合用ボルトを緊張して、接合面にプレストレスを与えれば、初期剛性を一体打ちの場合と同程度まで高めることは可能であろう。いずれにせよ、ボルトには防錆のこともあり、グラウトをすることは必要である。

(ii) GJe型の実験結果から明らかなように、グラウトをした場合でも、地震時荷重の繰返しを受けると、塑性率3～4とかなり脆い部材となっている。これは、ボルトの定着方法にも問題があるが、ボルトとコンクリートとの付着力の小さいことが影響をしている。一体打ちの鉄筋コンクリート構造物でも、梁柱接

合部に丸鋼の通し配筋を行なうと、同様なことが見られている(昭和40年関東支部研究発表会、鉄筋コンクリート梁柱接合部に関する実験的研究、都立大東洋一)

(iii) 最大荷重に関しては、GJ型, GJe型ともに、従来の塑性式によって計算できる。

(iv) スラブ—梁接合部に関しては、一体打ちのT型梁と比べて、変形、耐力ともに何ら遜色ないが、プレキャスト部材と後打ちコンクリート部分との間のシャーコネクターの必要性が、せん断スパンと梁丈との関係もあり、今回の実験だけでは、結論づけることができない。

終りに、本研究に際して、協力していただいた早大大学院生岡本直君に対し心から感謝の意を表します。