

## PIP柱列くいとコンクリートによる合成壁工法の研究（その1）

—室内模型実験—

小 粥 庸 夫

岡 田 武 二

## § 1. 序 論

最近“都市開発”とか“都市再開発”とかという言葉も耳新しくなくなってきた。人口過密都市では建物の高層化と深層化が進み、地下街や地下鉄の建設はますます盛んになっていくばかりである。都市はその機能を複雑にし、高度にし、ひとびとの社会環境を向上させ、生活を豊かにしていく。

ところが、このこととは全く逆に、市街地における建設工事ともなう騒音や振動は、社会環境を低下させ、いわゆる建設公害を生んでいる。

場所打ちくいと工法は、このような建設公害を防止する基礎工法として開発されたものであり、最近はこの種の工法の進展が著しい。PIPくいと工法もこの種の工法の一つであり、振動や騒音がほとんどなく、工期短縮ができ、施工場所が狭くてすむなど数々の利点をもっている。

PIPくいは、基礎くいとして用いられる他に、連続に打設し（以下PIP柱列くいとよぶ）、山留として用いられている。そしてこのPIP柱列くいは、山留としての役目を終ると埋め殺される場合がほとんどである。

そこで、著者らはこのPIP柱列くいとコンクリートを打ち継ぎ、合成壁を形成し、これを地下壁本構造体とする工法の開発を目的とした研究を計画し、これを“PIP柱列くいとコンクリートによる合成壁工法の研究”と名付けた。

しかるに、PIP柱列くいと後打ちコンクリートとの合成については、理論上未開発の分野であり、また実験による理論の解析についても極めて類例が少ない。たとえば、プレパクト・モルタルにコンクリートを後打ちした場合の一体性（合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗の大きさをばく然と表現した言葉）についても、プレパクト・モルタルの表面処理方法とジベル鉄筋比<sup>注1)</sup>がどのように影響してくるのか明らかでない。本工法を実施するためには、これらの要因と前述の一体性との関係を明

らかにして、安全かつ経済的な表面処理方法とジベル鉄筋比を知らなければならない。また、ジベル鉄筋の埋め込み方法についても、理論的には可能であっても現場施工を考えた場合非常に手間がかかるため不経済になったり、施工精度が悪いため安全率が低下するようなことがあってはならない。

そこで、本論では“PIP柱列くいとコンクリートによる合成壁工法の研究”の第1報として、プレパクト・モルタルはりにコンクリートはりを打ち継いで合成はりを製作し、その合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗におよぼす打ち継ぎ方法の影響を調べる目的で室内模型実験を行なった。

その結果、プレパクト・モルタルの表面処理方法と合成はりの一体性については、

- ①表面に土が付着した状態で打ち継いだ合成はりは、かなり一体性が低下すること、
  - ②表面を水洗いして打ち継いだ合成はりと表面に平均2mmの凹凸をつけた後水洗いして打ち継いだ合成はりは、一体性がほとんど変わらないこと、
  - ③表面に平均10mmの凹凸をつけた後水洗いして打ち継いだ合成はりは、一体性がかなり高くなること、
- などがわかった。

また、ジベル鉄筋比と合成はりの一体性については、

- ①ジベル鉄筋比0.000%の合成はりは、一体性が著しく低下し、最大耐力は一体はりの半分になってしまうこと、
- ②ジベル鉄筋比が0.000%から0.250%に上がると合成はりの一体性は急に高くなること、
- ③しかしながら、ジベル鉄筋比をさらに上げて、0.565%、1.00%、としてもそれらの合成はりの一体性はほとんど同じで、ジベル鉄筋比0.250%の合成はりとほとんど変わらないこと、

④ジベル鉄筋比1.51%の合成はりには、打ち継ぎ面のずれ亀裂が発生しないこと、すなわち一体はりと同等と

注1) ジベル鉄筋の断面積を打ち継ぎ面の面積で割った値

なること、  
などがわかった。

さらに、打ち継ぎ面の位置と合成はりの一体性については、打ち継ぎ面が合成はり断面の中立面から引張側に移動すると合成はりの一体性がかなり低下することがわかった。

## § 2. 実験計画

プレバクト・モルタルはりにコンクリートはりを打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗におよぼす打ち継ぎ方法の影響を調べる目的で、種々の打ち継ぎ方法で打ち継いだ合成はり試験体を製作し、これに2点載荷曲げ荷重を加え、初亀裂荷重、打ち継ぎ面のずれ荷重、最大耐力などを測定した。次に、試験体、載荷、測定について述べる。

### 2.1 試験体

試験体は、表-1に示すようにそれぞれ打ち継ぎ面の打ち継ぎ方法が異なっており、全部で17種類、1種類について3体ずつ、合計51体ある。17種類の試験体のうちわけは、プレバクト・モルタルとコンクリートの合成はり試験体が11種類、コンクリートの一体はりが5種類、プレバクト・モルタルの一体はりが1種類である。次に、試験体の材料並びに配合、配筋図ならびに形状寸法、打ち継ぎ方法、製作について述べる。

試験体	打ち継ぎ面の打ち継ぎ方法					ジベル数比
	打ち継ぎ面の処理	打ち継ぎ方向	打ち継ぎ面の形状	打ち継ぎ面の位置		
IA-0.25	A:土が付着した状態	V:鉛直	F:平面	N:中立面		0.250%
IB-0.25	B:水洗いした状態	V	F	N		0.250
IC-0.25	ワイヤーブラシで磨り平均2mmの凹凸をつけた後水洗いした状態	V	F	N		0.250
ID-0.25	平均10mmの凹凸をつけた後、水洗いした状態	V	F	N		0.250
CS-0.25	コンクリート鉛直打設一体はり					0.250
MS-0.25	プレバクト・モルタル鉛直打設一体はり					0.250
IR-0.25	C	V	R:円曲面	T:引張側		0.250
IT-0.25	C	V	F	T		0.250
N-0.00	C	V	F	N		0.000
N-0.50	C	V	F	N		0.565
N-1.00	C	V	F	N		1.00
N-1.50	C	V	F	N		1.51
NS-0.00	コンクリート鉛直打設一体はり					0.000
NS-0.50						0.565
NS-1.00						1.00
NS-1.50						1.51
YH-0.25	C	H:水平	F	N		0.250

表-1 試験体一覧

### 2.1.1 材料ならびに配合

試験体の素材は、プレバクト・モルタル、コンクリート、鉄筋と3つに大別される。

プレバクト・モルタルは、配合を次のようにして、プレバクト電動4切ミキサ(200r.p.m)で3分間練り混ぜる。

設計基準強度	Fo=240kg/cm <sup>2</sup>
所要フロー値	20±2sec
砂	F.M. 1.4~2.2
1パッチ	0.088m <sup>3</sup>

セメント C	フライアッシュ F	砂 S	水 W	エイド IA	IA/(C+F) %	W/(C+F) %
100	40.0	150	67.9	1.20	0.857	48.5

コンクリートは、配合を次のようにして、コンクリート・ミキサーで練り混ぜる。

設計基準強度	Fo=210kg/cm <sup>2</sup>
配合強度	Fo=Fo+σ+t =210+25+20=255kg/cm <sup>2</sup>

所要スランブ	20±2cm
砂	1.2mm以下
砂利	20mm以下
セメント強度	K=350kg/cm <sup>2</sup>

セメント kg/m <sup>3</sup>	単位水量 kg/m <sup>3</sup>	砂 kg/m <sup>3</sup>	砂利 kg/m <sup>3</sup>	水セメント比 o/Wt
357	203	635	1116	56.9

プレバクト・モルタル、コンクリート、鉄筋の強度試験結果は表-2に示す通りである。

素 材	圧 縮		引 張		曲 げ 強度 kg/cm <sup>2</sup>	ヤング率 kg/cm <sup>2</sup>
	強度 kg/cm <sup>2</sup>	強度 kg/cm <sup>2</sup>	降伏点 kg/cm <sup>2</sup>	伸 率 %		
プレバクト・モルタル	244	25.6			50.9	1.71×10 <sup>4</sup>
コンクリート	300	24.4			35.1	3.00×10 <sup>4</sup>
鉄 筋	12φ		5000	3670	28.7	2.10×10 <sup>4</sup>
	6φ		6400	5100	不明	2.10×10 <sup>4</sup>

\* 試験して求めたものではない。

表-2 素材強度試験結果

### 2.1.2 配筋図ならびに形状寸法

試験体はすべて同形状同寸法で、幅b=15cm、高さh=25cm、長さl=180cmである。

各試験体の配筋は、図-1に示すように引張り側主鉄筋は4-φ12(丸鋼)とし、圧縮側主鉄筋は4-φ6(丸鋼)をダブル配筋する。この配筋については“PIP柱列くいとコンクリートによる合成壁工法”が実際に現場施工される場合を想定して、引張り側主鉄筋がコンクリート

の主鉄筋に相当し、圧縮側主鉄筋がP I P くの主鉄筋に相当するものとする。

また各試験体のスタラップ筋は、打ち継ぎ面のジベル鉄筋をそのまま延長して用い、@150-φ6(試験体 I A・0.25, I B・0.25, I C・0.25, I D・0.25, C S・0.25, M S・0.25, I I R・0.25, I I I T・0.25, I V-0.00, I V S-0.00, V H・0.25), @150-φ9(試験体 I V-0.50, I V S-0.50), @100-φ12(試験体 I V-1.00, I V S-1.00)の4種類とする。

打ち継ぎ面のジベル鉄筋比は、0.000%(試験体 I V-

0.00, I V S-0.00), 0.250%(試験体 I A・0.25, I B・0.25, I C・0.25, I D・0.25, I I R・0.25, I I I T・0.25, V H・0.25), 0.565%(試験体 I V-0.50, I V S-0.50), 1.00%(試験体 I V-1.00, I V S-1.00), 1.51%(試験体 I V-1.50, I V S-1.50)の5種類とする。

### 2.1.3 打ち継ぎ方法

打ち継ぎ方法は種々考えられるが、打ち継ぎ面のせん断抵抗に影響する要因として次の5項目を選ぶ。

#### ① 打ち継ぎ面の処理

##### A. 土が附着した状態

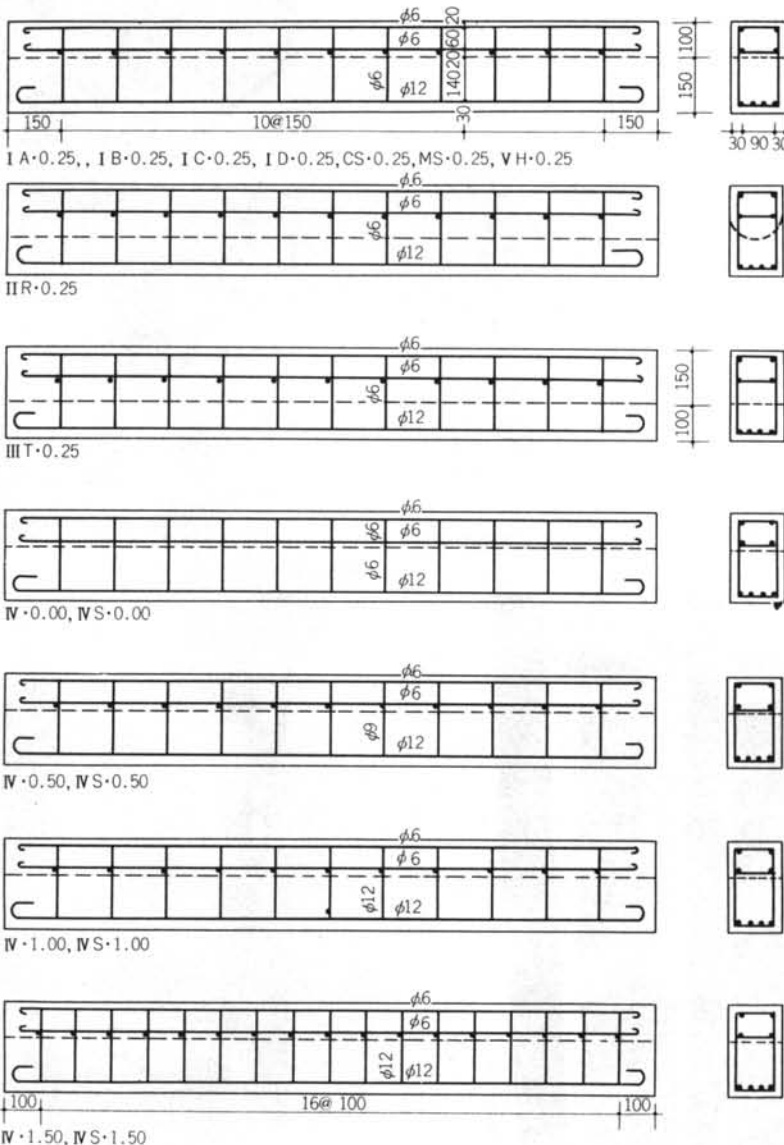


図-1 配筋図

- B. 水洗いした状態
- C. ワイヤ・ブラシで削り平均2mmの凹凸をつけた後水洗いした状態
- D. 平均10mmの凹凸をつけた後水洗いした状態
- ② 打ち継ぎ面の打ち継ぎ方向
  - H. 水平打ち継ぎ
  - V. 鉛直打ち継ぎ
- ③ 打ち継ぎ面の形状
  - F. 平面
  - R. 円曲面
- ④ 打ち継ぎ面の位置
  - N. 中立面
  - T. 引張側
- ⑤ ジベル鉄筋比
  - 0.000%, 0.250%, 0.565%, 1.00, 1.51%

#### 2.1.4 製作

試験体は、表-1に示すように、プレパクト・モルタルとコンクリートを打ち継いだ合成はりとは、プレパクト・モルタルの一体はりとは、コンクリートの一体はりがある。

そのうち合成はりの製作については、写真-1に示すように3面を金属・フォームで囲込み、圧縮側鉄筋を挿入し、打ち継ぎ面となる残り1面をラワン材で囲込んで型枠を仕上げる。この型枠ラワン材は、写真-2に示すように所定の位置に丸穴をあけ、そこからジベル鉄筋を外へ出す。

次に、写真-2に示すようにプレパクト・モルタルはりを鉛直打設する。

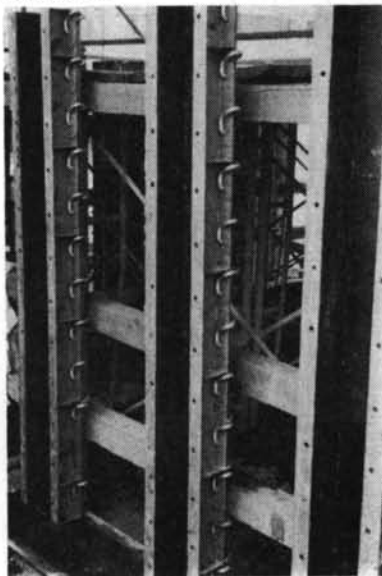


写真-1 先打ちプレパクト・モルタルはりの型枠

プレパクト・モルタルの材令3日で、写真-3に示すように打ち継ぎ面の型枠ラワン材を除去し、写真-4に示すように打ち継ぎ面の処理をし、写真-5に示すように後打ちコンクリートの配筋（先打ちプレパクト・モルタルのジベル鉄筋と後打ちコンクリートのジベル鉄筋は溶接して仕上げる）をして、3面を金属・フォームで囲込み後打ちコンクリートの型枠を仕上げる。

プレパクト・モルタルの材令4日で、後打ちコンクリートを鉛直打設する。

その後、プレパクト・モルタルの材令7日で脱型し、同材令14日まで湿潤鉛直養生し、以後同材令25日まで湿



写真-2 先打ちプレパクト・モルタルの打設

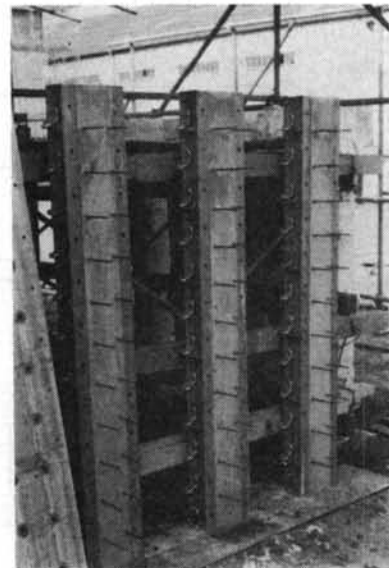


写真-3 打ち継ぎ面の脱型



荷重段階は、曲げ初亀裂荷重が 2.5ton 前後であることを考慮し、原則として0.0tonから3.0tonまでは0.5ton 間隔とし、3.0ton以上は1.0ton間隔とする。

荷重速度は、各荷重ごとにダイヤル・ゲージとコンタクト・ゲージで測定し、亀裂を観察する時間も考慮して、1 荷重段階約10分とする。

### 2.2.2 載荷装置

載荷装置は、図-2および写真-6に示すように

- ① 200ton構造物試験機 1
- ② 100ton分離式油圧ジャッキ(山本起重機KK) 1
- ③ 100ton分離式手動油圧ポンプ(山本起重機KK) 1

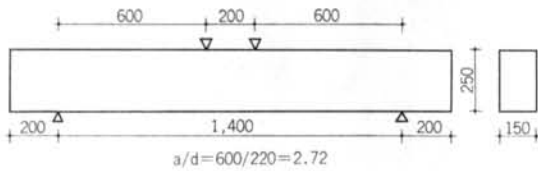


図-2 載荷

- ④ 球座 1
- ⑤ 載荷はり H-100×100×6×8 1
- ⑥ ピンおよびローラー支点 各2
- ⑦ 支点台座

コンクリート・ブロック 150×150×500 2  
よりなる。

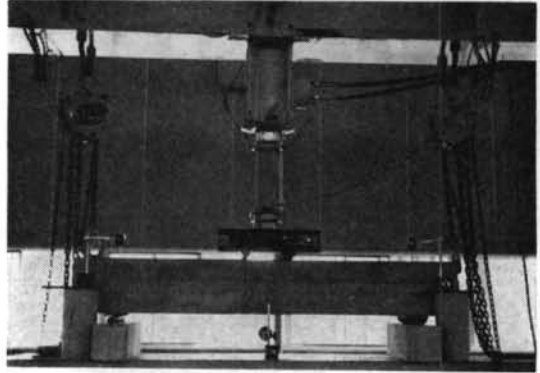


写真-6 実験状況

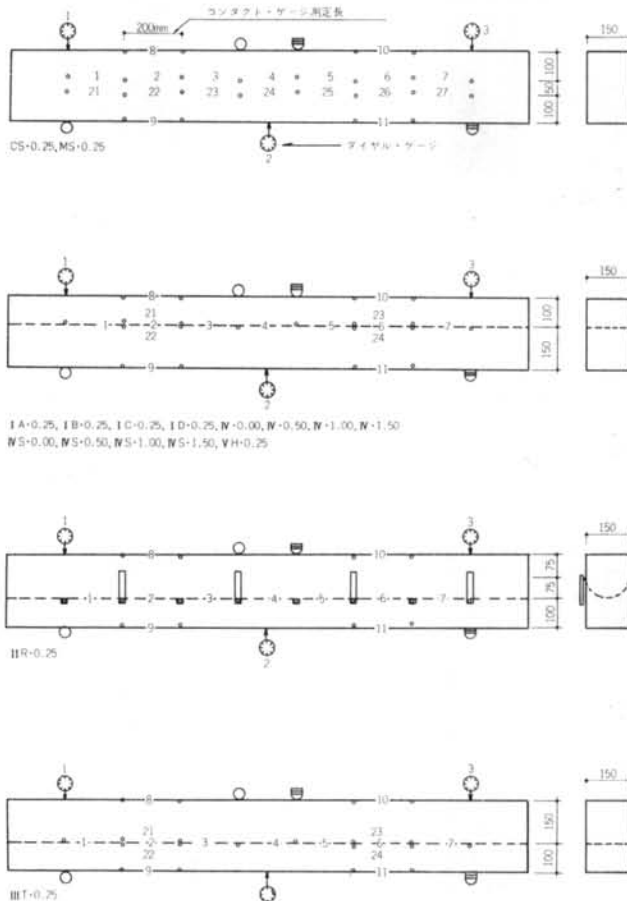


図-3 測定計画

### 2.3 測定

全試験体の測定計画は、図-3 に示す。

次に、測定の種類、測定装置について述べる。

#### 2.3.1 測定の種類

打ち継ぎ面のずれひずみは、コンタクト・ゲージを標点距離  $l=200\text{mm}$  にして図-3 に示すように設置し、各荷重段階ごとにずれひずみ  $\Delta l$  を測定し、ずれひずみ度  $\epsilon=\Delta l/l$  を求める。合成はりの打ち継ぎ面のずれひずみ測定点は片面7点ずつで両面で14点とする。

たわみは  $1/100\text{mm}$  ダイヤル・ゲージを図-3 に示すように設置し各荷重段階ごとに中央点のたわみを求める。

ひずみ分布は、コンタクト・ゲージを標点距離  $l=200\text{mm}$  にして図-3 に示すように設置し、各荷重段階ごとにひずみ  $\Delta l$  を測定し、ひずみ度  $\epsilon=\Delta l/l$  を求める。各試験体につき2断面ずつ測定する。

その他、曲げ亀裂、せん断亀裂、打ち継ぎ面のずれ亀裂を観察し、最大耐力を測定する。

#### 2.3.2 測定装置

測定装置は、写真-6 に示すように

- |  |   |
|--|---|
| ① $1/100\text{mm}$ ダイヤル・ゲージおよびマグネット・スタンド   | 5 |
| ② コンタクト・ゲージ(協同精機KK)<br>最小目盛 $1/1000\text{mm}$ 、ストローク $1\text{mm}$ 、標点距離 $200\text{mm}$ | 2 |
| ③ 50tonロード・セルおよびインジケーター(自動制御KK)  | 1 |
- よりなる。

## § 3. 実験結果

実験結果を、亀裂発生状況ならびに破壊状況、荷重とたわみの関係、荷重とひずみ度の関係、荷重とずれひずみ度の関係、各種亀裂荷重および最大耐力に分けて次に述べる。

### 3.1 亀裂発生状況ならびに破壊状況

図-4、写真-7は、亀裂発生状況ならびに破壊状況を示したものであり、プレパクト・モルタルならびにコンクリートを鉛直打設した試験体については紙面の右方が上方で左方が下方である。

次に、各試験体について、その亀裂発生状況ならびに破壊状況を述べる。

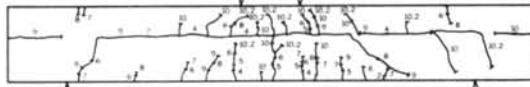
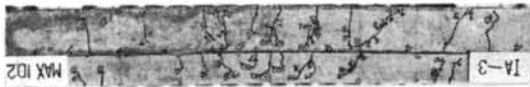
まず、**IA・0.25**試験体については、 $P=2.0\text{ton}$ 前後で試験体中央部下側に3~4本の曲げ初亀裂が生じ、 $P=2.5\sim 4.0\text{ton}$ で試験体中央部付近の打ち継ぎ面にずれ初亀裂が生じる。そしてそれが急速に左右に進展して、 $P=5.0\sim 6.0\text{ton}$ では、打ち継ぎ面の約70%にずれ亀裂が生じる。さらに荷重を加えると、プレパクト・モルタルとコンクリートとは完全にはく離して、プレパクト・モルタルに生じる亀裂とコンクリートに生じる亀裂が打ち継ぎ面を境にして全く別々なものとなり、いわゆる合成はりの状態から重ねはりに近い状態に移る。 $P=8.0\text{ton}$ 前後でコンクリートにせん断亀裂が生じる。せん断亀裂は、必ず試験体を鉛直打設する時上方となる部分に顕著に生じる。これは鉛直打設した試験体全てについていえることであり、せん断亀裂以外の曲げ亀裂についても前述のように試験体を鉛直打設する時に上方となる部分に多く生じる。中央たわみは、 $P=4.0\text{ton}$ 前後で急に増大し、 $P=10.0\text{ton}$ 前後では1cmを越え最大耐力に達する。破壊は、前述のせん断亀裂と、プレパクト・モルタルの曲げ亀裂ならびに載荷点付近の圧縮により決まる。

**IB・0.25**ならびに**IC・0.25**試験体については、両方ともほぼ同様な状態を示す。曲げ初亀裂については、**IA・0.25**試験体と同様であるが、打ち継ぎ面のずれ亀裂については、**IA・0.25**試験体が  $P=2.5\sim 4.0\text{ton}$ で発生しそれが  $P=5.0\sim 6.0\text{ton}$ でほぼ全体に進展するのに対して**IB・0.25**ならび**IC・0.25**試験体は  $P=7.0\sim 8.0\text{ton}$ でずれの初亀裂が生じ、最大耐力に達してもそれがあまり進展せず、打ち継ぎ面の約30%にとどまる。最大耐力も**IA・0.25**試験体より上がって  $P=11.5\text{ton}$ 前後となる。

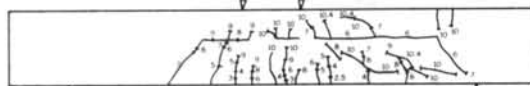
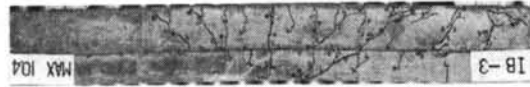
**ID・0.25**試験体については、さらにずれ亀裂が生じにくく  $P=8.0\text{ton}$ となり、それもずれ亀裂のみ遊離して生じるというのではなく、試験体の両端より伸びる曲げせん断亀裂が打ち継ぎ面に達すると、それが5cm程度水平に進みずれ亀裂となる状態である。

**CS・0.25**ならび**MS・0.25**に試験体については、一体はりであるのでずれ亀裂はない。曲げ初亀裂についてはいままでの試験体と変わらないが、せん断初亀裂荷重は、**CS・0.25**試験体が  $P=9.0\text{ton}$ であるのに対して**MS・0.25**試験体は  $P=5.0\sim 6.0\text{ton}$ である。また**CS・0.25**試験体の亀裂に比較して**MS・0.25**試験体の亀裂は、約2倍の本数で網目状に入り組んでいる。

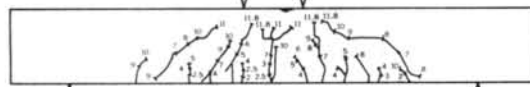
**IIR・0.25**ならびに**IIIT・0.25**試験体のずれ亀裂荷重は、各々  $P=6.0\text{ton}$ 前後、 $P=3.0\sim 4.0\text{ton}$ であり、**IIIT・0.25**試験体は、打ち継ぎ面のほぼ全域にずれが生じ



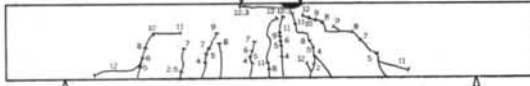
No.1 1A-0.25-3



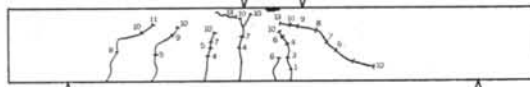
No.2 1B-0.25-3



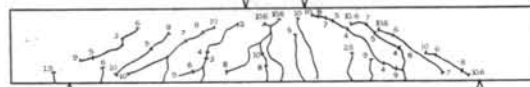
No.3 1C-0.25-1



No.4 1D-0.25-2



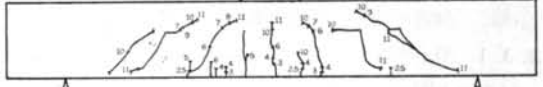
No.5 1CS-0.25-1



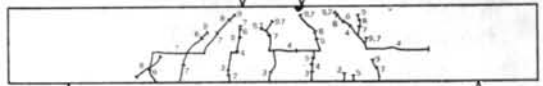
No.6 1MS-0.25-3

ている。

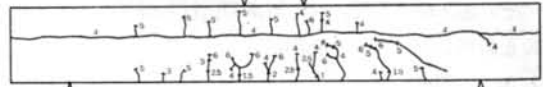
IV-0.00, IV-0.50, IV-1.00, IV-1.50試験体については、ジベル鉄筋比が0.000%, 0.565%, 1.00%, 1.51%と次第に多くなっていき、IV-0.00試験体がP=3.0~3.5ton で打ち継ぎ面が完全にずれたのに対し、IV



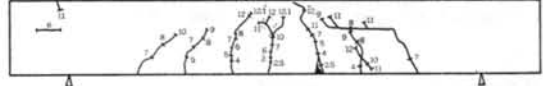
No.7 1IR-0.25-2



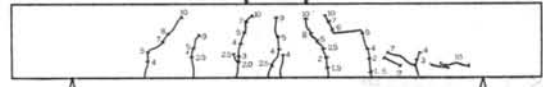
No.8 1III-0.25-3



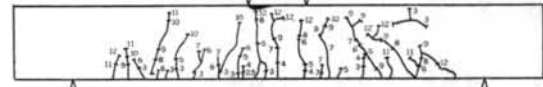
No.9 1R-0.00-2



No.10 1R-0.50-1



No.11 1R-1.00-1



No.12 1R-1.50-1

1.50試験体は、その最大耐力P=12.0ton 前後までずれない。せん断初亀裂荷重についても、ジベル鉄筋の少ない試験体から多い試験体の順にならべるとP=6.0ton, P=9.0ton, P=9.0~10.0ton, P=10.0~11.0ton と順に増大している。



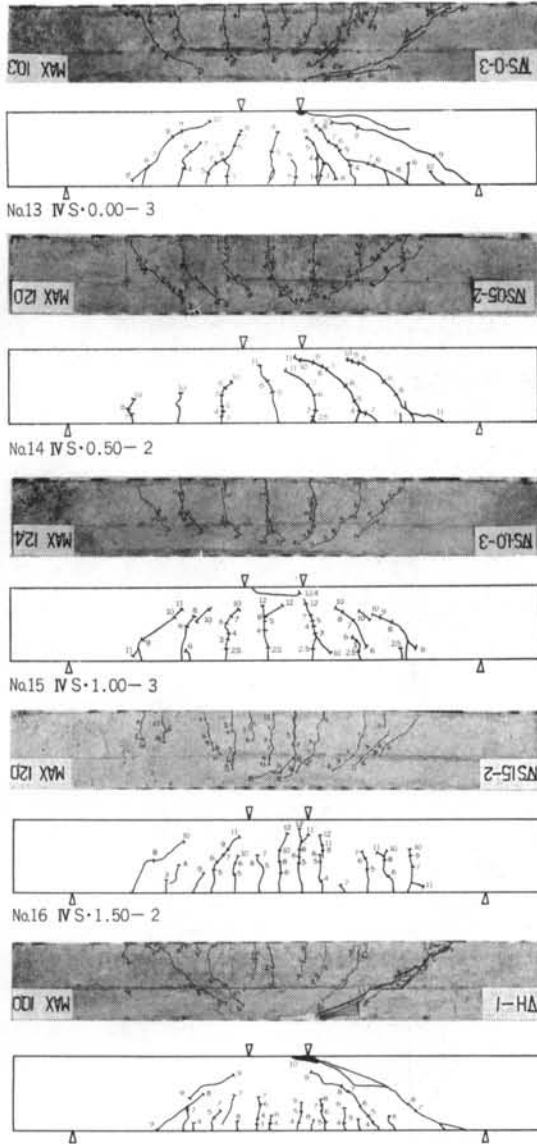
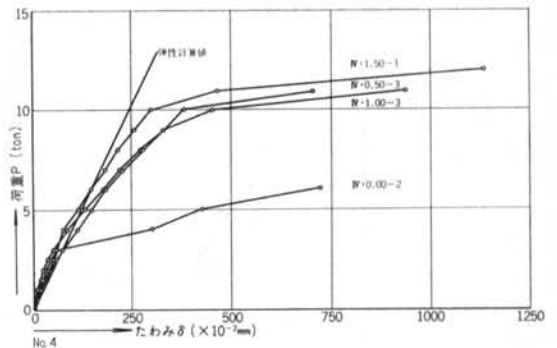
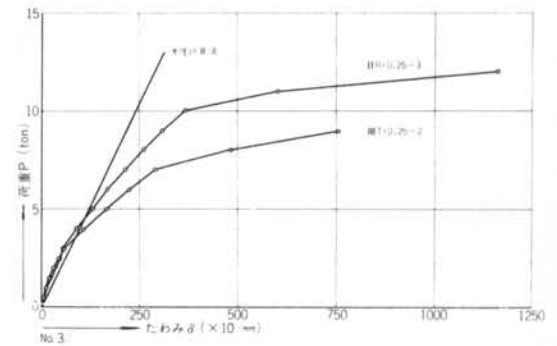
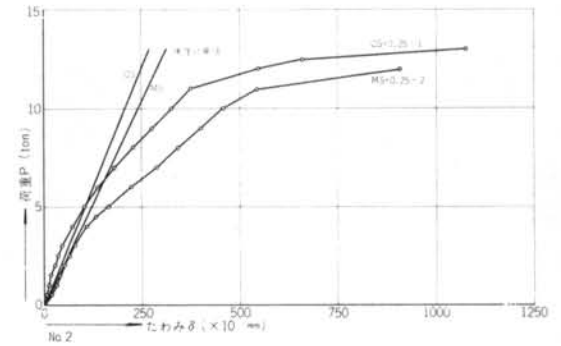
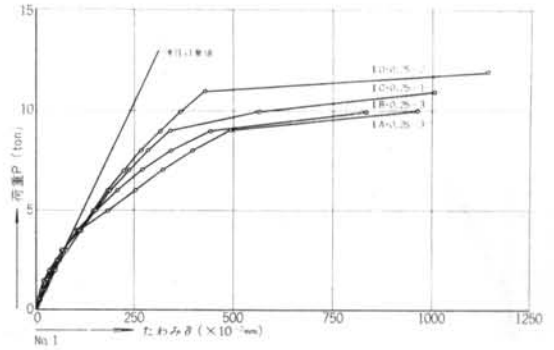


図-4、写真-7 写真亀裂発生状況ならびに破壊状況

IVS・0.00, IVS・0.50, IVS・1.00, IVS・1.50試験体については、CS・0.25ならびにMS・0.25試験体と同様に一体はりであるのでずれ亀裂はない。せん断亀裂荷重について、ジベル鉄筋の少ない試験体から多い試験体の順にならべると、 $P=8.0\text{ton}$ ,  $P=8.0\sim 9.0\text{ton}$ ,  $P=9.0\sim 10.0\text{ton}$ となりIVS・1.50試験体には、せん断亀裂と断定できるような亀裂は見あたらない、

最後に、VH・0.25試験体について、この試験体は、コンクリートを水平打設したため亀裂に方向性（鉛直打設した試験体のように、亀裂が打ち込み時上方になった方に片寄ること）が見られず $P=8.0\text{ton}$ 付近で左右対称



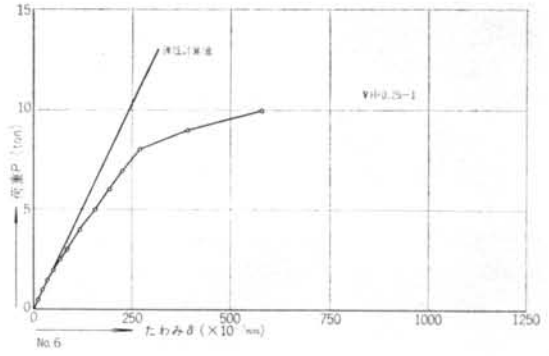
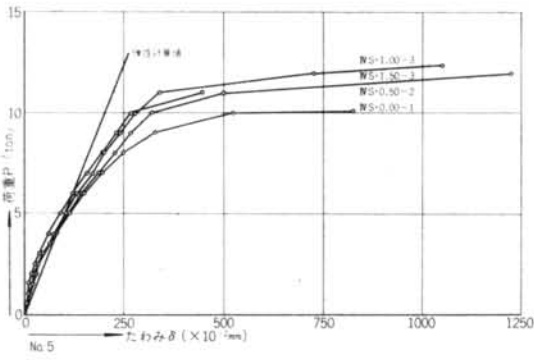


図-5 荷重とたわみの関係

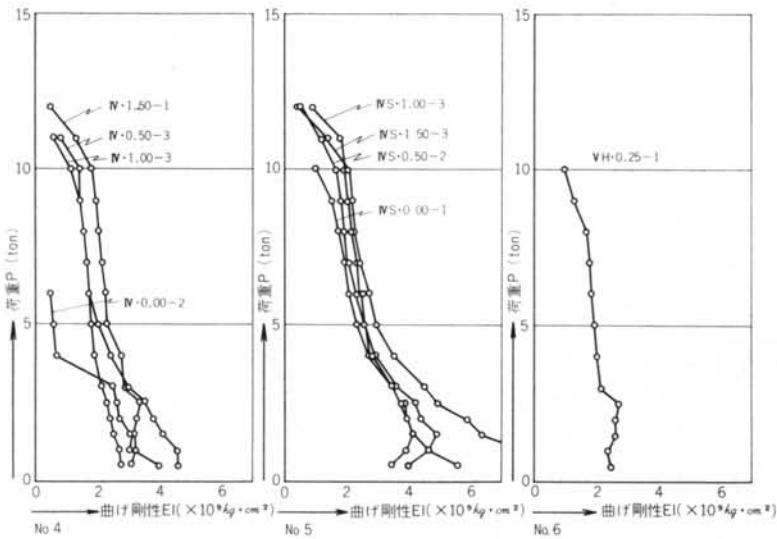
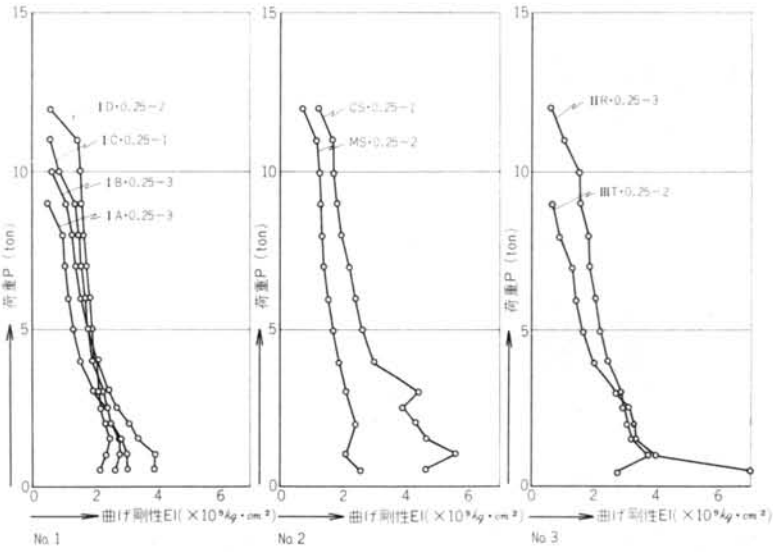


図-6 荷重と曲げ剛性の関係

に大きなせん断亀裂が生じる。そしてそのせん断亀裂が  
 載荷点の下まで進展して載荷点付近の圧縮破壊を助長  
 し、最大耐力に達する。

### 3.2 荷重とたわみの関係

図-5 は、荷重とたわみの関係を示したものであり、  
 横軸を試験体中央たわみ (単位 $10^{-2}$ mm) にとり縦軸を荷  
 重 (単位ton) にとる。

また、荷重とたわみの関係の実測値を用い、式(1)から  
 EI を求めて図-6 に荷重と曲げ剛性の関係を示す。

$$EI = \frac{Pl_1(3l_1^2 - 4l_2^2)}{48\delta} \quad \dots(1)$$

ただし EI ; 曲げ剛性  
 P ; 荷重

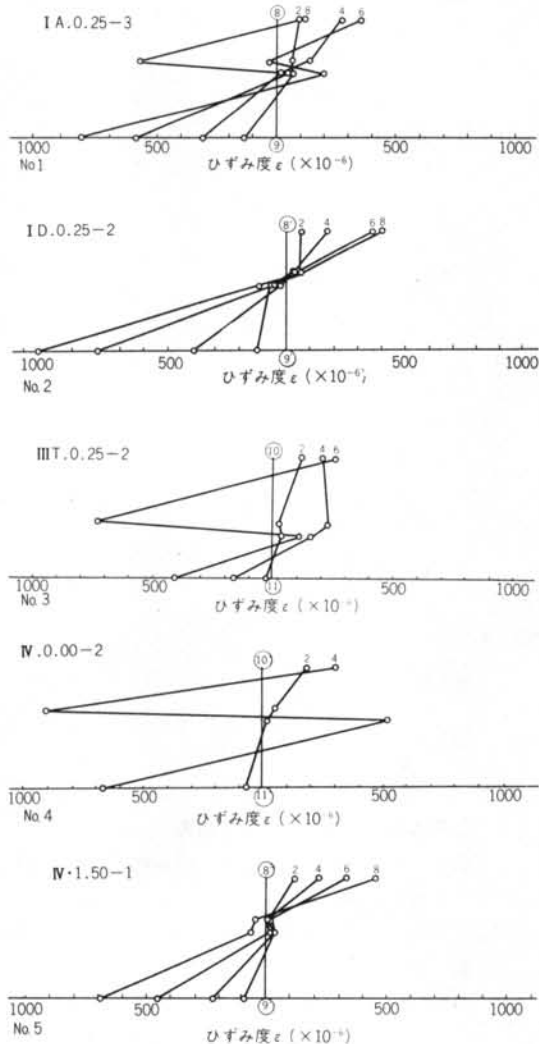


図-7 荷重とひずみ度の関係

$\delta$  ; 中央たわみの実測値  
 $l$  ; 支点スパン140cm  
 $l_1$  ; せん断スパン60cm

この図は、横軸を曲げ剛性 EI (単位 $10^9$ kg $\cdot$ cm $^2$ ) にとり  
 縦軸を荷重 (単位ton) にとる。

### 3.3 荷重とひずみ度の関係

図-7 に荷重とひずみ度の関係の代表的な例を示す。  
 この図は、図-3 に示すコンタクト・ゲージ測定点の測  
 定値から、

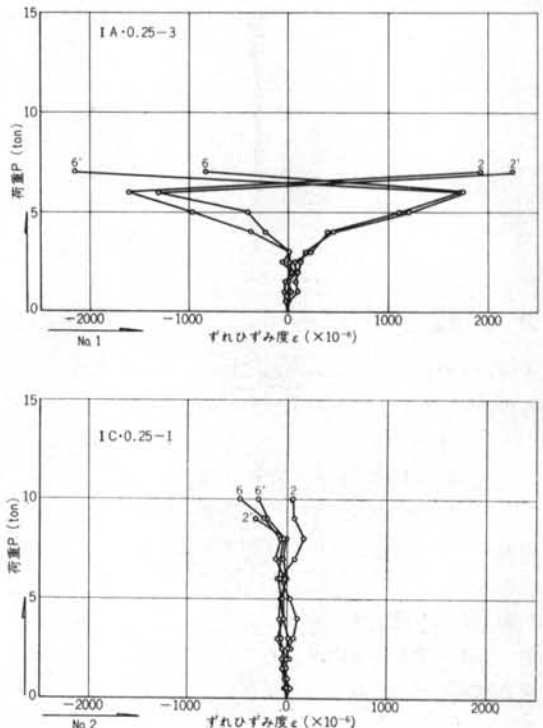
⑧, ⑫, ⑭, ⑯, ⑳, ㉑, ㉒, ㉓, ㉔, ㉕, ㉖, ㉗, ㉘, ㉙, ㉚, ㉛, ㉜, ㉝, ㉞, ㉟, ㊱, ㊲, ㊳, ㊴, ㊵, ㊶, ㊷, ㊸, ㊹, ㊺, ㊻, ㊼, ㊽, ㊾, ㊿

の値を図示したものであり、“2.3.1測定の種類”で述べ  
 たように各種試験体につき2断面のひずみ度分布を示し  
 たものである。

### 3.4 荷重とずれひずみ度の関係

図-8, 図-9, 図-10 に荷重とずれひずみ度の関係の  
 代表的な例を示す。

図-8 は、試験体の片面につき各2測定点ずつ、すな  
 わち1試験体につき4測定点の“荷重とずれひずみ度の  
 関係”を示すものであるが、各測定点の測定値は打ち継



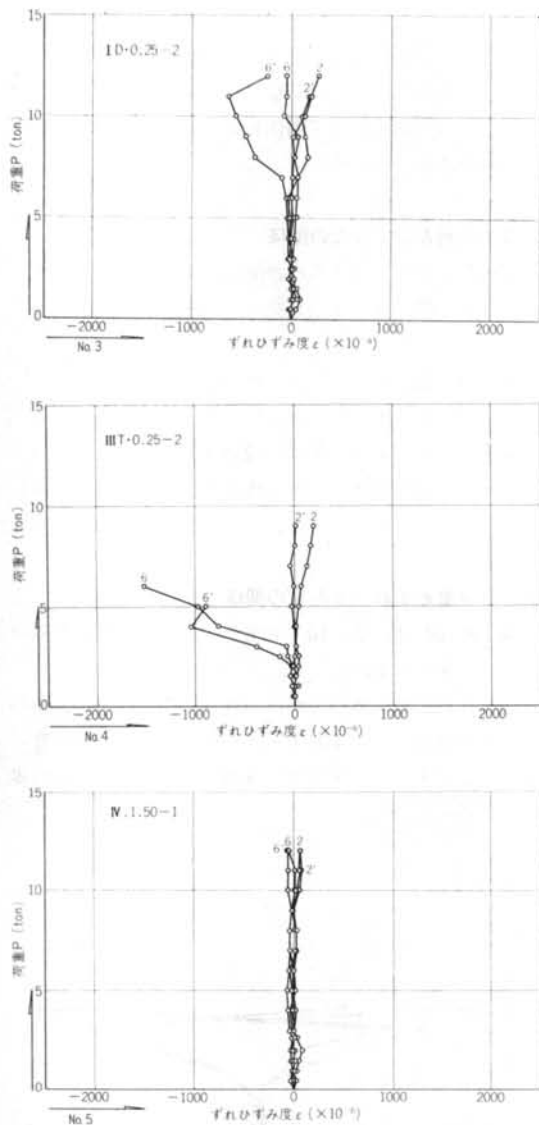


図-8 荷重とずれひずみ度の関係(その1)

ぎ面のずれによるひずみと曲げおよびせん断亀裂のひずみ  
が加わった値となるので、その影響を取り除くため図  
-3に示すコンタクト・ゲージ測定点の測定値から

$$\textcircled{2} - (\textcircled{21} + \textcircled{22})/2, \quad \textcircled{6} - (\textcircled{23} + \textcircled{24})/2$$

$$\textcircled{7} - (\textcircled{27} + \textcircled{28})/2, \quad \textcircled{8} - (\textcircled{29} + \textcircled{30})/2$$

の値を計算して、所定のずれひずみ度を求めそれを図示  
したものである。

図-9は、図-3に示すコンタクト・ゲージ測定点の  
値から①～⑦ならびに⑩～⑫の絶対値を平均して、それ  
を各試験の平均ずれひずみ度として図示したものであ  
る。

図-10は、各試験体の各荷重段階(2 ton間隔)のずれ

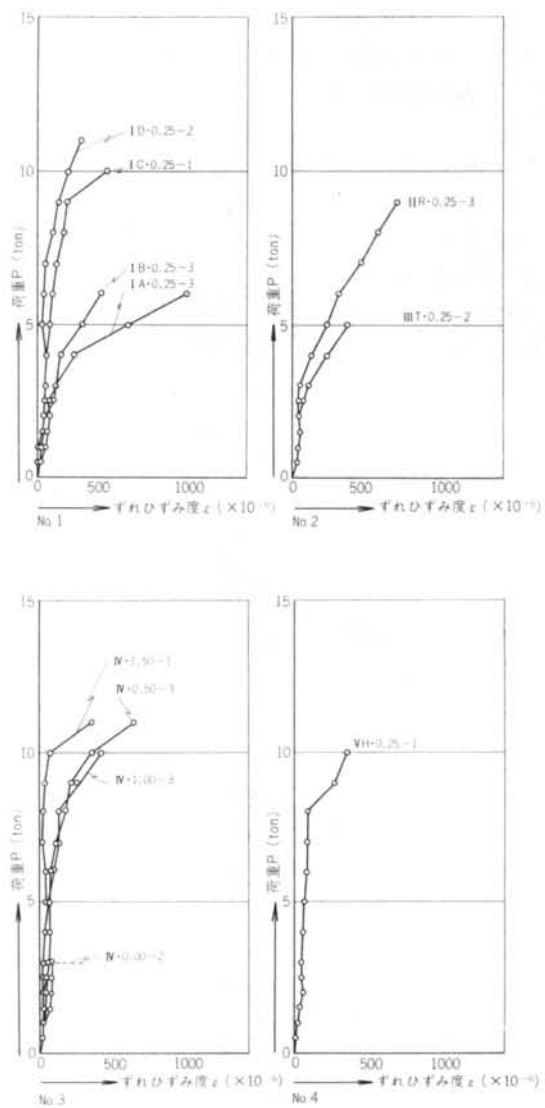


図-9 荷重とずれひずみ度の関係(その2)

ひずみ度を図示したものである。

なお、これらの図は、ずれひずみ度の単位を  $10^{-4}$  と  
する。

### 3.5 各種亀裂荷重ならびに最大耐力

全試験体の曲げ初亀裂荷重、せん断初亀裂荷重、ずれ  
荷重、最大耐力を表-4に示す。

ずれ荷重は、実験担当者の目測、図-6、図-7、図  
-8、図-9、図-10より判定して求めたものである。

図-11は表-4を、横軸をジベル鉄筋比(単位%)縦  
軸を荷重(単位ton)にとって示したものである。

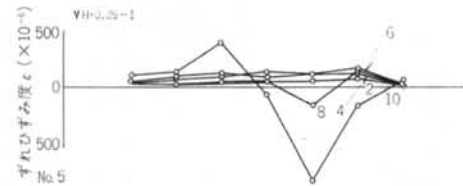
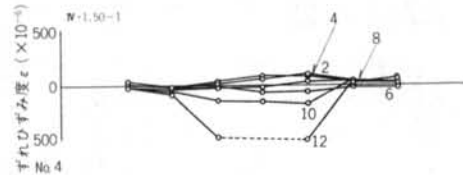
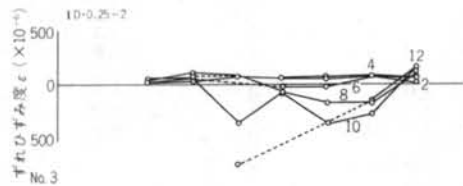
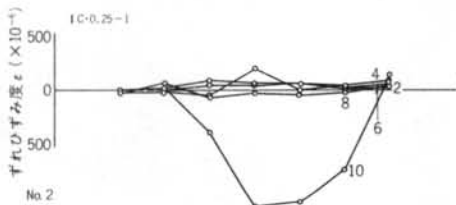
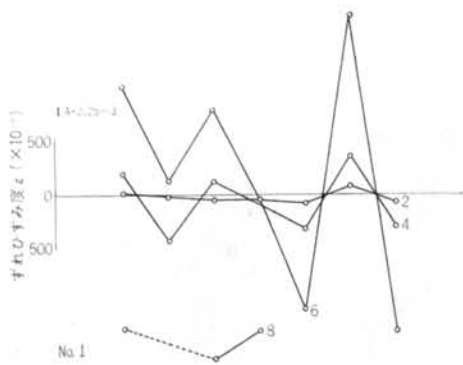


図-10 荷重とずれひずみ度の関係 (その3)

## § 4. 考 察

本実験を、各種測定結果およびその理論値、合成はり

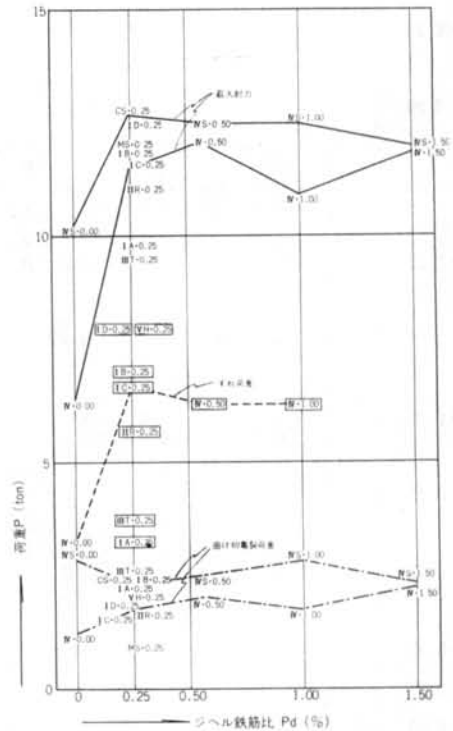


図-11 実験結果 荷重とジベル鉄筋比の関係の打ち継ぎ方法と打ち継ぎ面のせん断抵抗の関係に分けて考察する。

### 4.1 各種測定結果およびその理論値

曲げ初亀裂荷重について、その実験値は表-4に示すように  $P=1.0\sim 2.8\text{ton}$  である。これらの値は、かなりばらついているが、打ち継ぎ面の表面処理方法ならびにジベル鉄筋比との関連性はみとめられない。また、合成はりの曲げ初亀裂荷重は、一体はりの曲げ初亀裂荷重とほぼ同等で、曲げ初亀裂荷重時に打ち継ぎ面のずれは生じていないものと思われる。

最大耐力について、その実験値は表-4に示すように  $P=6.3\sim 12.7\text{ton}$  である。これらの値は、打ち継ぎ面の表面処理方法ならびにジベル鉄筋比と密接な関連がある。17種類ある試験体を最大耐力の小さいものから大きいものと順に列べると、3つのグループに分けることができる。第1グループは、IV・0.00試験体である。この試験体は、合成はり試験体でその最大耐力は、 $P=6.3$

試 験 体	初 亀 裂 荷 重 (ton)				打 ち 継 ぎ 面 の ず れ 荷 重 (ton)								最 大 耐 力 (ton)		
	曲 げ		せ ん 断		各 種 資 料 か ら 見 た ず れ 荷 重					判 定		実 験 値	平 均		
	実 験 値	平 均	実 験 値	平 均	目 測	図-6	図-7	図-8	図-9	図-10	実 験 値			平 均	
I A · 0.25	1	2.0		8.0		2.5	3.0	4.0	2.5	3.0	2.0	2.5	3.2	9.7	9.8
	2	2.0	2.2	8.0	8.3	2.5	3.0	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0		9.6	
	3	2.5		9.0		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0		10.2	
I B · 0.25	1	2.0		9.0		8.0	7.0	8.0	8.0	9.0	8.0	8.0	7.0	12.4	11.8
	2	2.5	2.3	10.0	9.0	9.0	5.0	8.0	8.0	9.0	8.0	8.0		12.6	
	3	2.5		8.0		6.0	5.0	6.0	4.0	5.0	4.0	5.0		10.4	
I C · 0.25	1	2.0		9.0		6.0	7.0	2.0	9.0	9.0	10.0	6.0	6.7	11.8	11.5
	2	1.0	1.7	10.0	9.3	7.0	7.0	不明	7.0	7.0	8.0	7.0		10.7	
	3	2.0		9.0		7.0	7.0	不明	10.0	9.0	10.0	7.0		12.1	
I D · 0.25	1	1.5		10.0		8.0	7.0	8.0	11.0	11.0	8.0	8.0	8.0	12.4	12.4
	2	2.0	1.8	10.0	10.0	8.0	11.0	8.0	8.0	10.0	8.0	8.0		12.3	
	**3														
C S · 0.25	1	2.5		9.0		一体はりであるのでずれない								13.0	12.7
	2	2.5	2.3	9.0	9.0									12.7	
	3	2.0		9.0										12.5	
M S · 0.25	1	1.0		5.0		一体はりであるのでずれない								13.4	12.0
	2	1.0	1.0	5.0	5.7									12.1	
	3	1.0		6.0										10.6	
II R · 0.25	1	1.5		8.0		6.0	5.0	*	*	5.0	4.0	6.0	5.7	9.5	11.0
	2	1.5	1.7	9.0	8.7	7.0	7.0			6.0	4.0	6.0		11.4	
	3	2.0		9.0		5.0	5.0			5.0	4.0	5.0		12.2	
III T · 0.25	1	3.0		8.0		4.0	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	4.0	3.7	9.1	9.5
	2	2.5	2.5	7.0	7.3	3.0	4.0	6.0	2.5	4.0	4.0	3.0		9.5	
	3	2.0		7.0		4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0		9.9	
IV · 0.00	1	1.5		6.0		3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	4.0	3.0	3.2	6.3	6.3
	2	1.0	1.2	6.0	6.0	3.0	3.0	4.0	4.0	3.0	4.0	3.0		6.2	
	3	1.0		6.0		3.0	3.0	4.0	3.0	3.0	4.0	3.5		6.4	
IV · 0.50	1	2.0		9.0		8.0	7.0	不明	7.0	9.0	8.0	8.0	6.3	12.1	12.1
	2	2.0	2.0	9.0	9.0	3.0	7.0	不明	8.0	10.0	10.0	3.0		12.2	
	3	2.0		9.0		8.0	10.0	不明	4.0	9.0	8.0	8.0		12.0	
IV · 1.00	1	1.0		10.0		6.0	9.0	不明	9.0	8.0	6.0	6.0	6.3	10.0	10.9
	2	1.5	1.7	9.0	9.7	7.0	8.0	不明	8.0	9.0	6.0	7.0		10.0	
	3	2.0		10.0		6.0	9.0	なし	10.0	9.0	8.0	6.0		11.0	
IV · 1.50	1	2.5		11.0		なし	10.0	なし	なし	11.0	12.0	なし	なし	12.2	11.9
	2	2.0	2.2	10.0	10.7	なし	9.0	なし	なし	10.0	10.0	なし		11.0	
	3	2.0		11.0		なし	10.0	なし	なし	11.0	10.0	なし		12.5	
IV S · 0.00	1	2.5		8.0		一体はりであるのでずれない								10.1	10.2
	2	3.0	2.8	8.0	8.0									10.1	
	3	3.0		8.0										10.3	
IV S · 0.50	1	2.5		9.0		一体はりであるのでずれない								13.0	12.5
	2	2.0	2.5	8.0	8.7									12.0	
	3	3.0		9.0										12.4	
IV S · 1.00	1	3.0		9.0		一体はりであるのでずれない								12.5	12.5
	2	3.0	2.8	10.0	9.7									12.6	
	3	2.5		10.0										12.4	
IV S · 1.50	1	2.0		なし		なし								12.0	12.0
	2	2.5	2.3	なし	なし									12.0	
	3	2.5		なし										12.0	
V H · 0.25	1	3.0		8.0		7.5	8.0	*	*	9.0	8.0	8.0	8.0	10.0	10.2
	2	1.0	2.0	10.0	8.7	8.0	8.0			10.0	10.0	8.0		11.5	
	3	2.0		8.0		7.0	8.0			9.0	8.0	8.0		9.0	

\*測定せず \*\*試験体が不完全なため実験せず

表-4

試験体	最大耐力					中央たわみ***		
	** 実験値 (t・m)	重ねはり		一体はり		実験値 (mm)	理論値 (mm)	実/理
		理論値 (t・m)	実/理	理論値 (t・m)	実/理			
I A・0.25	2.94	1.85	1.59	3.22	0.91 5	1.13	0.871	1.30
I B・0.25	3.54	1.85	1.92	3.22	1.10	0.770	0.871	0.88
I C・0.25	3.45	1.85	1.86	3.22	1.07	0.980	0.871	1.12
I D・0.25	3.62	1.85	2.01	3.22	1.15	1.18	0.871	1.31
C S・0.25	3.81	*	*	3.40	1.12	0.823	0.807	1.02
M S・0.25	3.60	*	*	3.22	1.12	1.19	0.871	1.37
II R・0.25	3.30	1.85	1.78	3.22	1.02	0.800	0.871	0.92
III T・0.25	2.85	1.85	1.54	3.22	0.88 5	0.870	0.871	0.99
IV・0.00	1.89	1.85	1.02	3.22	0.58 7	2.12	0.871	2.44
IV・0.50	3.63	1.85	1.96	3.22	1.13	0.930	0.871	1.07
IV・1.00	3.27	1.85	1.77	3.22	1.01	1.08	0.871	1.24
IV・1.50	3.57	1.85	1.93	3.22	1.11	0.900	0.871	1.04
IV S・0.00	3.06	*	*	3.40	0.90 0	0.850	0.807	1.05
IV S・0.50	3.75	*	*	3.40	1.10	0.750	0.807	0.93
IV S・1.00	3.75	*	*	3.40	1.10	0.660	0.807	0.82
IV S・1.50	3.60	*	*	3.40	1.06	0.720	0.807	0.89
V H・0.00	2.06	1.85	1.65	3.22	0.95 0	0.980	0.871	1.13

\* 一体はりである。  
 \*\* 最大耐力は ①IV・0.00試験体が打ち継ぎ面のせん断破壊によって決まり、②I A・0.25、III T・0.25、V H・0.25試験体が打ち継ぎ面のせん断破壊と合成はりの曲げ破壊が並行して決まり、③I V S・0.00試験体がせん断破壊と曲げ破壊が並行して決まり④残りの試験体は、曲げ破壊によって決まった。  
 \*\*\* プレバクト・モルタルまたはコンクリートの圧縮応力が各々の強度の与となる曲げモーメントを求めその時のたわみで比較した。

表一五 実験値と理論値の比較

ton と他の試験体に比較して極端に低い。これは、IV・0.00 試験体にジベル鉄筋が入っておらず P=3.2ton で打ち継ぎ面にずれが生じ、以後荷重が増すにしたがい打ち継ぎ面が完全にはがれていわゆる重ねはりの状態になって破壊したためである。

IV・0.00試験体の最大耐力についてその実験値と論理値の比は、表一五に示すように重ねはりの理論値と比較した値が1.02で、一体はりの理論値と比較した値が0.587である。このことは、IV・0.00試験体が重ねはりの状態になって破壊したことを示すものである。なお、表一五の最大耐力の理論値は、いずれも断面の応力状態が矩形分布になったと仮定して式(2)から求めたものである。

$$Mb = A_s \sigma_{sy} \left( b - \frac{1}{2} \cdot \frac{A_s \sigma_{sy}}{0.85 \sigma_c \cdot b} \right) \dots (2)$$

ただし Mb ; 曲げ最大耐力  
 A<sub>s</sub> ; 引張鉄筋断面積  
 σ<sub>sy</sub> ; 引張鉄筋降伏点応力度  
 σ<sub>c</sub> ; コンクリートの破壊応力度  
 d ; 断面の有効高さ

b ; 断面の幅

次に、第2グループはI A・0.25試験体、III T・0.25試験体、IV S・0.00試験体、V H・0.25試験体である。これら4種類の試験体の最大耐力の実験値は、表一四に示すように各々P=9.8ton, P=9.5ton, P=10.2ton, P=10.2ton である、第1グループの値と比較するといずれもかなり高い。これら4種類の試験体のうち、I A・0.25試験体、III T・0.25試験体、V H・0.25試験体は、合成はり試験体で、V H・0.25試験体は、一体はり試験体である。これら3種類の合成はり試験体の最大耐力について、その実験値と理論値の比は、表一五に示すように重ねはりの理論値と比較した値が各々1.59, 1.54, 1.65で、一体はりの理論値と比較した値が各々0.915, 0.885, 0.950 である。つまり、これら種類の合成はり試験体は、重ねはりの状態になって破壊したものではないが、そうかといって完全な一体はりの状態で破壊したものでもない。いずれの試験体も打ち継ぎ面がずれを生じたため、それが原因で最大耐力が約10~5%程度低下したものと思われる。IV S・0.00試験体について、その実験値と理

論値の比は、表一5に示すように一体はりの理論値と比較した値が0.900である。IVS・0.00試験体は、一体はりであるので打ち継ぎ面のずれは生じないが、スタラップ筋（ジベル鉄筋を延長してスタラップ筋としている）が入っていないので大きなせん断亀裂を生じた。曲げ最大耐力の実験値が理論値に比較して10%低下したのは、そのためであると思われる。最後に、第3グループは、残りの12種類の試験体である。これら12種類の試験体のうち、合成はり試験体は7体で一体はり試験体は5体である。これら12種類の試験体の最大耐力について、その実験値と理論値の比は、表一5に示すように一体はりの理論値と比較した値はすべて1.01以上である。このことは、これら12種類の試験体について一体はり試験体はもちろんのこと、合成はり試験体も打ち継ぎ面のずれなどが曲げ最大耐力を低下させないことを示している。

中央たわみについて、その実験値と理論値の比を表一5に示す。表からもわかるように、各試験体の実験値はIV・0.00試験体を除いて理論値にほぼ等しい。IV・0.00試験体は、 $P=3.2\text{ton}$  で打ち継ぎ面にずれを生じたため、図一5に示すように  $P=3.0\text{ton}$  前後で中央たわみが急に大きくなっている。このため、実験値と理論値の比も表一5に示すように2.44となっている。なお、表一5の中央たわみは、断面の圧縮緑応力度がプレパクト・モルタルまたはコンクリート強度の  $\frac{1}{3}$  になる時の荷重（いわゆる設計荷重である）で、実験値と理論値を比較した。また、中央たわみの理論値は式(3)で求めた。

$$\delta = \frac{Pl^3}{48EI} (3l^2 - 4l'^2) \quad \dots (3)$$

$$I = \left\{ \frac{1}{3} k^3 + nP(1-k)^2 + nP' \left( k - \frac{d'}{d} \right)^2 + nP'' \left( k - \frac{d''}{d} \right)^2 \right\} bd^3$$

$$k = -n(P+P'+P'') + \sqrt{n^2(P+P'+P'')^2 + 2n \left( P+P' \frac{d'}{d} + P'' \frac{d''}{d} \right)}$$

- ただし  $\delta$  ; 中央たわみ  
 $P$  ; 荷重  
 $l$  ; 支点スパン  
 $l'$  ; せん断スパン  
 $I$  ; 断面二次率  
 $E$  ; コンクリートまたはプレパクト・モルタルのヤング率  
 $n$  ; コンクリートまたはプレパクト・モルタルのヤング係数比  
 $k$  ; 中立軸比

- $P$  ; 引張鉄筋比  
 $p'$  ; 第1圧縮鉄筋比  
 $p''$  ; 第2圧縮鉄筋比  
 $d$  ; 断面の有効高さ  
 $d'$  ; 第1圧縮鉄筋と圧縮緑の距離  
 $d''$  ; 第2圧縮鉄筋と圧縮緑の距離  
 $b$  ; 断面の幅

#### 4.2 合成はりの打ち継ぎ方法と打ち継ぎ面のせん断抵抗の関係

各合成はりの打ち継ぎ面のずれ荷重は、実験担当者のずれ亀裂の目測、図一6に示すように荷重と曲げ剛性の関係を表わす曲線の屈折点、図一7に示すように断面のひずみ分布が変化する点、図一8、図一9に示すように荷重とずれひずみ度の関係を表わす曲線の屈折点、図一10に示すように打ち継ぎ面のずれひずみ度分布が変化する点などに注目して求める。結果は、表一4に示すとうりである。そして、そのずれ荷重から打ち継ぎ面のせん断応力度を計算し、それを表一6に示す。

打ち継ぎ面にずれを生じるせん断応力度は表一6に示すように、各々の試験体によってかなり差がある。IA・0.25試験体ならびにIV・0.00試験は5.55kg/cm<sup>2</sup>である

試験体	せん断応力度 (kg/cm <sup>2</sup> )		
	打ち継ぎ面の ずれ荷重時	せん断初亀裂 荷重時	最大耐力時
IA・0.25	5.55	14.4	17.0
IB・0.25	12.1	15.6	20.4
IC・0.25	11.6	16.1	19.9
ID・0.25	13.8	17.3	21.5
CS・0.25	*	15.6	22.0
MS・0.25	*	9.85	20.8
HR・0.25	9.85	15.1	19.1
HT・0.25	6.40	12.6	16.4
IV・0.00	5.55	10.4	10.9
IV・0.50	10.1	15.6	21.0
IV・1.00	10.1	16.8	18.9
IV・1.50	ずれない	18.5	20.6
IVS・0.00	*	13.8	17.7
IVS・0.50	*	15.1	21.6
IVS・1.00	*	16.8	21.6
IVS・1.50	*	亀裂なし	20.8
VH・0.25	13.8	15.1	17.7

\* 一体はりであるのでずれない

表一6 せん断応力度



のに対して、 $1D \cdot 0.25$ 試験体ならびに $VH \cdot 0.25$ 試験体では $13.8\text{kg/cm}^2$ と倍以上になっている。これは、合成はりの打ち継ぎ方法と密接な関連がある。

すなわち、打ち継ぎ面にずれを生じる時のせん断応力度をジベル鉄筋比の小さな試験体から大きな試験体の順に比較すると $IV \cdot 0.00$ 試験体が $5.55\text{kg/cm}^2$ 、 $IC \cdot 0.25$ 試験体が $11.6\text{kg/cm}^2$ 、 $IV \cdot 0.50$ 試験体ならびに $IV \cdot 1.00$ 試験体が $10.1\text{kg/cm}^2$ となり、 $IV \cdot 1.50$ 試験体は、ずれを生じない。このことからわかるように、ジベル鉄筋を入れないで打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗はかなり低い。しかし、ジベル鉄筋を $0.25\%$ 入れた合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗は、ジベル鉄筋を入れない場合に比べて高くなる。そしてジベル鉄筋を $1.51\%$ 入れた合成はりは、打ち継ぎ面にずれを生じないで一体はりと同等になる。

今度は、打ち継ぎ面にずれを生じる時のせん断応力度を、プレバクト・モルタルの表面処理方法の異いで比較すると、 $IA \cdot 0.25$ 試験体が $5.55\text{kg/cm}^2$ 、 $IB \cdot 0.25$ 試験体が $12.1\text{kg/cm}^2$ 、 $IC \cdot 0.25$ 試験体が $11.0\text{kg/cm}^2$ 、 $ID \cdot 0.25$ 試験体が $13.8\text{kg/cm}^2$ となる。このことからわかるように表面に土が付着した状態で打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗はかなり低く、それに比較すると表面に $10\text{mm}$ 程度の凹凸をつけた後、水洗いして打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗はかなり高くなる。

さらに、打ち継ぎ面にずれを生ずる時のせん断応力度を、打ち継ぎ面の位置および形状の異いで比較すると、 $IC \cdot 0.25$ 試験体が $11.6\text{kg/cm}^2$ 、 $IIR \cdot 0.25$ 試験体が $9.85\text{kg/cm}^2$ 、 $IIIT \cdot 0.25$ 試験体が $6.40\text{kg/cm}^2$ 、 $VH \cdot 0.25$ 試験体が $13.8\text{kg/cm}^2$ となる。断面の引張領域にあたる打ち継ぎ面のせん断抵抗は、断面の中立軸にある打ち継ぎ面のせん断抵抗の約 $50\%$ となってしまう。また、打ち継ぎ面が半曲面になると、打ち継ぎ面の一部が断面の引張領域に入るため、断面の中立軸にある打ち継ぎ面のせん断抵抗より若干低くなる。また、水平打ち継ぎした合成はりは、鉛直打ち継ぎした合成はりに比較して、打ち継ぎ面のせん断抵抗が若干上昇する。これは、水平打ち継ぎした合成はりは、打ち継ぎ面にレイタンス現象などを生じにくく、したがって打ち継ぎ面がよく付着するためと思われる。

なお、本実験では、せん断スパンとはり断面の有効高さの比を約 $2.7$ にとっているが、一般にこの比が $2.5$ 前後でせん断耐力が最も弱くなるといわれているので、本実験より求めた打ち継ぎ面のせん断抵抗は、最も安全側にある（値が小さく出る）ものと思われる。

## § 5. 結 論

本実験の結果次のようなことが明らかになった。  
ジベル鉄筋と打ち継ぎ面のせん断抵抗について

ただし、次の条件を満たす場合

条件1 プレバクト・モルタルの表面処理方法は、表面に $2\text{mm}$ 程度の凹凸をつけた後水洗いする。

条件2 打ち継ぎ面の位置は、断面の中立軸にある。

条件3 打ち継ぎ方向は、鉛直である。

1) ジベル鉄筋を入れないで打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗はかなり低い。打ち継ぎ面のずれは、せん断応力度が約 $5.6\text{kg/cm}^2$ になると生じる。最大耐力は、一体はりの $60\%$ であり、重ねはりとして計算した理論値とよく一致する。

2) ジベル鉄筋を $0.250\%$ 入れた合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗は、ジベル鉄筋を入れない場合に比べて高くなる。打ち継ぎ面のずれは、せん断応力度が約 $10\text{kg/cm}^2$ になると生じる。破壊は、せん断破壊に先行して曲げ破壊となり、その最大耐力は一体はりの $95\%$ でほぼ一体はりとして考えてよい。

3) ジベル鉄筋を $0.565\%$ 、 $1.00\%$ 入れた合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗は、ジベル鉄筋を $0.250\%$ 入れたものとほぼ同じである。

4) ジベル鉄筋比 $1.51\%$ の合成はりは、せん断応力度が約 $20.6\text{kg/cm}^2$ になっても打ち継ぎ面にずれを生じない。

プレバクト・モルタルの表面処理方法と打ち継ぎ面のせん断抵抗について

5) ジベル鉄筋を $0.250\%$ 入れた合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗は、プレバクト・モルタルの表面処理方法によって異なる。

6) 表面に土が付着した状態で打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のずれは、せん断応力度が約 $5.6\text{kg/cm}^2$ で生ずる。曲げ最大耐力は、1)の場合と異なり一体はりの約 $85\%$ を確保し、重ねはりとして計算した理論値の $1.6$ 倍となる。これは、ジベル鉄筋の効果によるものである。

7) 表面を水洗いして打ち継いだ合成はりと、表面に $2\text{mm}$ 程度の凹凸をつけた後水洗いして打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗は、ほぼ同等である。

8) 表面に平均 $10\text{mm}$ の凹凸をつけた後水洗いして打ち継いだ合成はりの打ち継ぎ面のせん断抵抗は、7)よりわずかに大きくなる。打ち継ぎ面のずれは、7)のせん断応力度の $20\%$ 増しのせん断応力度で生じる。

#### 打ち継ぎ面の位置および形状と打ち継ぎ面のせん断抵抗について

- 9) 断面の引張領域にある打ち継ぎ面のせん断抵抗は、断面の中立軸にある打ち継ぎ面のせん断抵抗の約50%となる。曲げ最大耐力は、一体はりの約80%となる。
- 10) 打ち継ぎ面が半曲面になると、打ち継ぎ面のせん断抵抗は、断面の中立軸にある打ち継ぎ面のものより若干低下する。打ち継ぎ面のずれは、2)のせん断応力度の約90%のせん断応力度で生じる。曲げ最大耐力は、一体はりの約95%で、ほぼ一体はりと考えてよい。

#### 打ち継ぎ方向と打ち継ぎ面のせん断抵抗について

- 11) 水平打ち継ぎした合成はりは、鉛直打ち継ぎした

合成はりと比較すると、打ち継ぎ面のせん断抵抗が若干上昇する。

## § 6. あとがき

本実験では、打ち継ぎ面のせん断抵抗について検討したが、ジベル鉄筋比が0.000%から0.250%の場合のせん断抵抗についてはまだ不明な点が多いので、今後さらに検討を加える必要がある。

なお、本実験の結果から考えると打ち継ぎ面の設計許容せん断応力度は、打ち継ぎ面のずれ荷重以下の値をとることが望ましい。