

[2134] 入力制御取替可能プレキャスト鉄筋コンクリート造耐震壁  
曲げ補強方法についての研究

河村 博之\*1・浜田 公也\*2

1. まえがき

筆者らは、中高層鉄骨造を対象に、1. RC造耐震壁としての機能は損なわないまま、プレファブ化し、耐火構造壁の機能も維持し、2. 収縮応力、温度応力、不同沈下等による不測のひびわれを防ぎ、3. 室区画改修のための移設が容易なように高力ボルトで上下ばりに接合し、4. 地震時には壁の形状(開口、リブ等)に応じて、ひびわれ等の支障を生じない範囲で、且つ壁が抵抗し得るだけのせん断力を負担させることができる入力制御接合を行い、5. しかもこの接合部で粘りを持たせ、エネルギーを吸収させるダンパーの役目を果たさせる表記耐震壁システムを考え(図-1、図-2)、実験を行いつつある[1]。このシステムは、水平力抵抗部位をフレームと壁に完全に分離し、壁はプレキャストRC造とする。取付は壁脚部は高力ボルトにより、幅木とコンクリート床厚内で接合し、頭部は天井内で図-2(a)のように完全弾塑性型に近い荷重-変形履歴特性を持ち、塑性変形能の大きな入力制御金物による入力制御接合を行うものである。設計手順は、先ず各壁にひびわれ等の損傷を生じない上限のせん断荷重を求め、この荷重より若干下回る荷重で降伏する入力制御金物を壁上部に挿入する。従って壁には入力制御金物の降伏荷重以上の応力は生じない。次に壁脚部はこの荷重以上の強度を有するようにせん断抵抗接合と曲げ抵抗接合を行う。フレームは設計荷重からこの壁の総入力制御荷重を減じた荷重について設計を行う。このときフレームと入力制御耐震壁の変形条件は図-2(b)の条件を満たす必要がある。 $\delta_{LCWY}$ を小さくするためには、壁自身と壁脚部の接合部分の水平剛性ができるだけ大きくなるようにせねばならない。

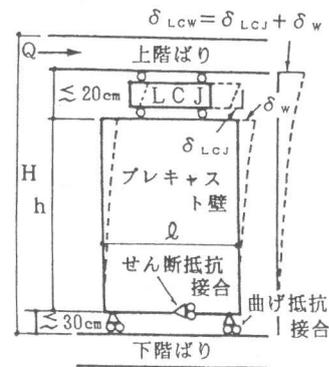
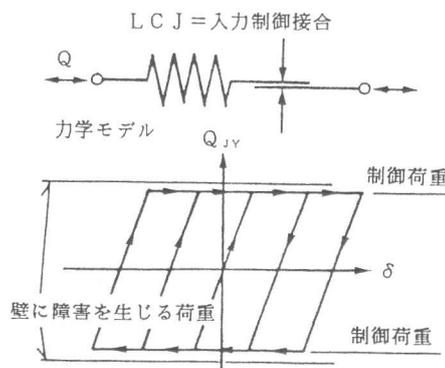


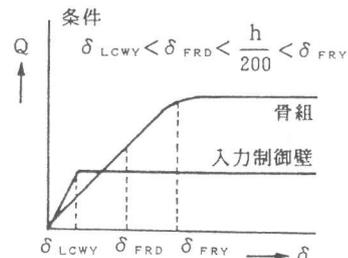
図-1 耐震壁システム

本報告は表記耐震壁の曲げひびわれ発生荷重を大きくして、負担せん断力を大きくし、且つ変形条件を満たすために、曲げによる水平剛性が大きくなる曲げ補強方法と接合方法を模索するために、曲げ補強筋に普通丸鋼および平鋼を用い、丸鋼にはアンボンドストレ



(a) せん断力-変形履歴特性

$\delta_{LCWY}$  = 入力制御壁全体の降伏時変形  
 $\delta_{FRD}$  = 骨組の設計荷重時変形  
 $\delta_{FRY}$  = 骨組の降伏時変形



(b) 荷重-変形条件

図-2 入力制御接合と壁の力学特性

\*1 九州産業大学教授 工学部建築学科、工学博士 (正会員)

\*2 三菱建設(株)技術開発部主任研究員、博士(工学) (正会員)

場合について、また接合金物は曲げ補強筋を直接接合した場合と別アンカー金物を接合した場合について実験を行い、それらの力学的性状を検討し、有効な接合方法を求めたものである。

## 2. 実験

### 2.1 供試体の形状と種類

供試体の形状は、図-3に示すように表記耐震壁の一部を抽出した形状とした。壁には、鉄骨フレーム上ばりから入力制御金物を介し水平力が入力し、せん断と曲げ応力が生じるが、せん断力にはその大部分を、壁部分では長さ方向の中央部分で、壁脚接合部分では中央部に設けるせん断接合部が抵抗するものとし、抽出した部分の実験供試体には、曲げ応力による引張力のみが作用するものとして、この引張力に抵抗する最良の曲げ補強方法及び接合方法を模索するために図-4に示す7種類の供試体について実験を行った。

- Fタイプ：曲げ補強筋にフラットバーを使用し、このフラットバーを直接接合するもの

- Rタイプ：曲げ補強筋に丸鋼を使用し、この丸鋼にボルト締めした接合金物を接合するもの

- RRタイプ：曲げ補強筋に丸鋼を使用し、別の丸鋼でアンカーされたフラットバーを接合するもの

- RFタイプ：曲げ補強筋に丸鋼を使用し、別にアンカーされたフラットバーを接合するもの

- R-Pタイプ：Rタイプの曲げ補強筋にアンボンドストレスを導入したもの

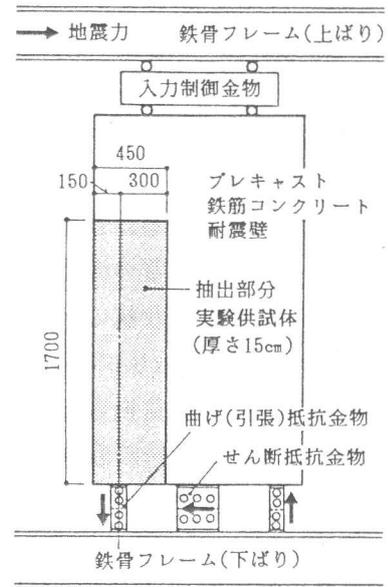


図-3 供試体のモデル

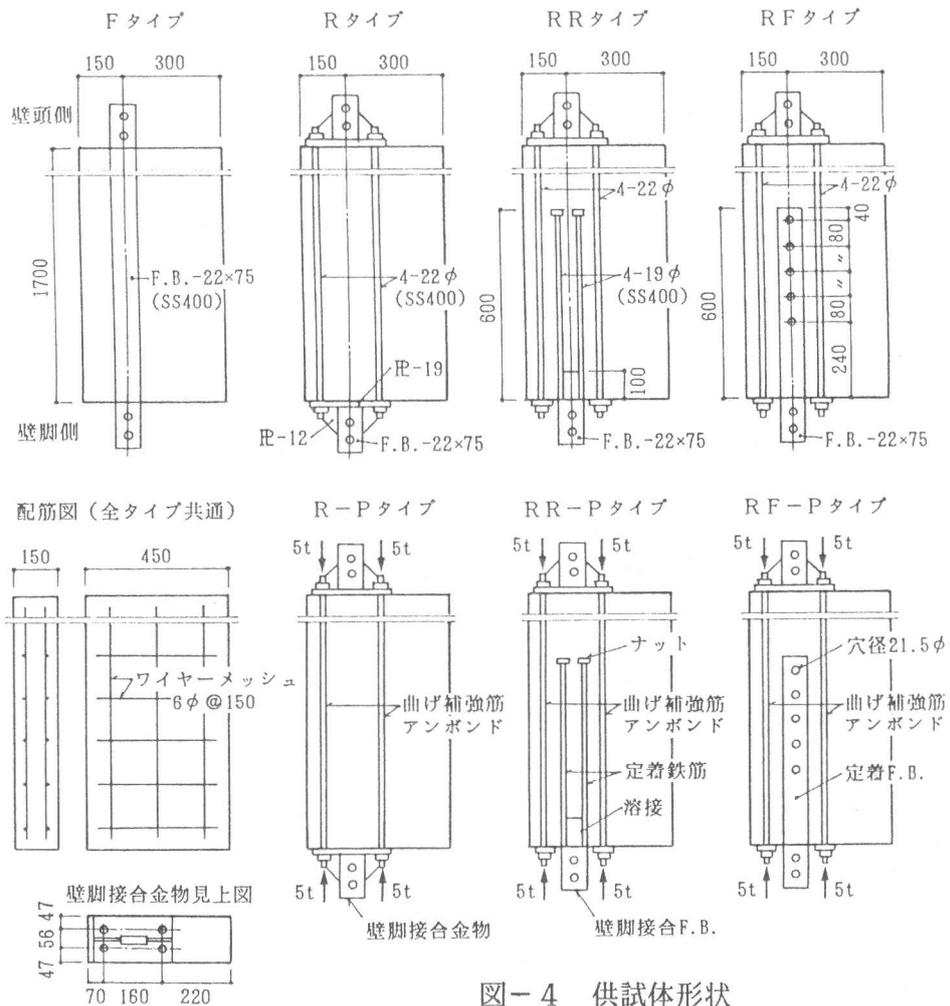


図-4 供試体形状

- RR-Pタイプ：RRタイプの曲げ補強筋にアンボンドストレスを導入したもの
- RF-Pタイプ：RFタイプの曲げ補強筋にアンボンドストレスを導入したもの

これらの7種類の供試体は、同一のものを2回に分けてコンクリートを打設し（No.1、No.2供試体とする）、3日後に脱型、実験日まで空中養生した。曲げ補強筋の丸鋼端部のナットは、アンボンドストレスを導入したものは、予め1本当たり5t、合計4本で20tの引張力を作用させ、その他のものは軽く手で締めた程度である。

## 2.2 加力および測定

加力は嶋津製油圧式万能試験機(200t)を使用し、5t毎の漸増片振り引張载荷をした。アンボンドストレスの導入荷重は自作のロードセルで測定した。コンクリート部分の伸び量は電気式変位計(測定範囲：25mm，感度： $500 \times 10^{-6}/\text{mm}$ )および壁脚部の拔出し量はクリップゲージ(測定範囲：5mm，感度： $1000 \times 10^{-6}/\text{mm}$ )を用いて測定した。なお、変形測定位置は図-6中を示す。

## 3. 実験結果

各供試体（No.2供試体を示すがNo.1もほぼ同じ）毎に、初ひびわれ、引張荷重 $P=20t$ 時のひ

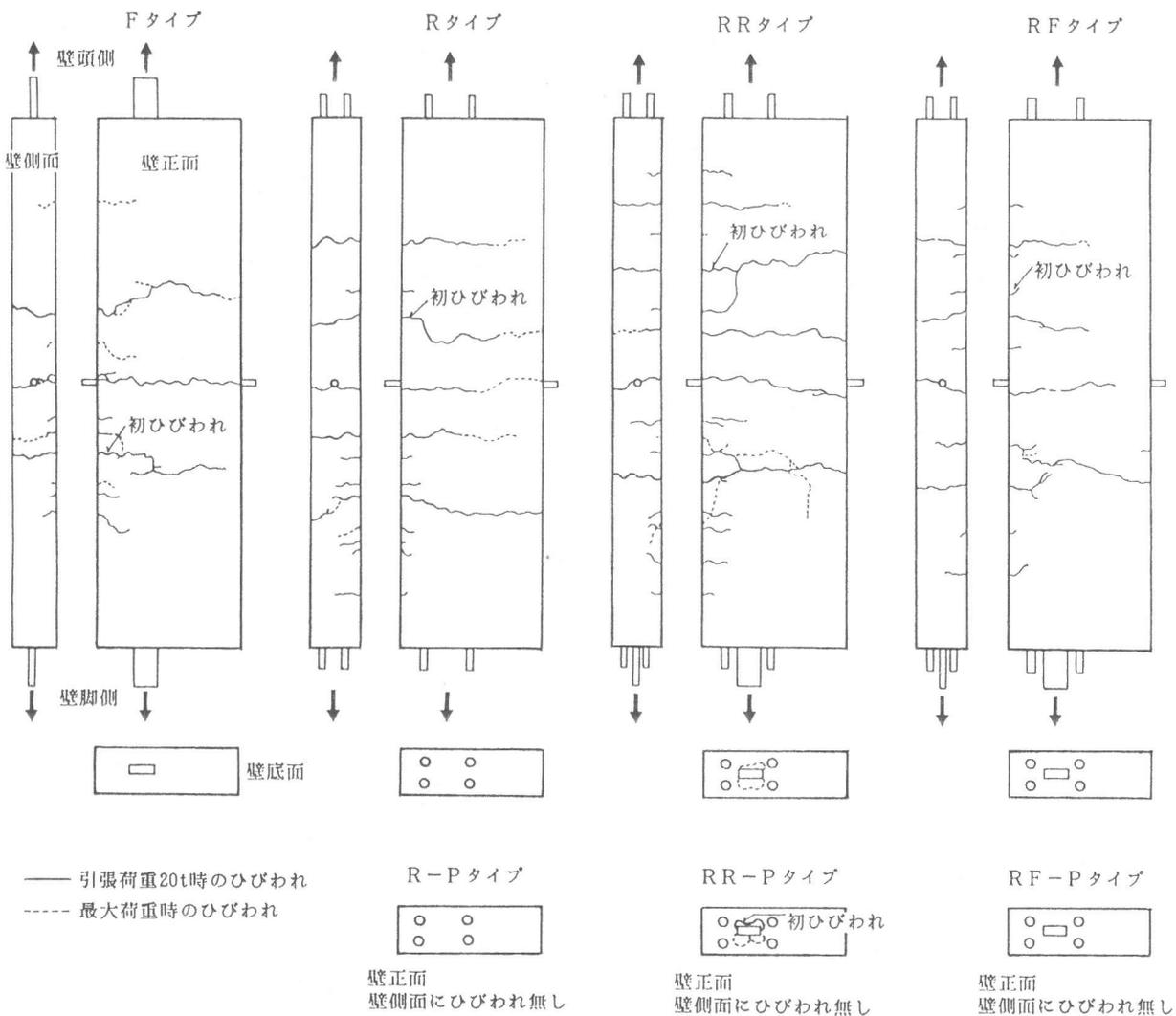


図-5 ひびわれ図

びわれ、最大荷重時のひびわれ状況を図-5に、荷重変形曲線と $P_{max}$ を図-6に示す。ただし、アンボンドストレスを導入した供試体(R-P、RR-P、RF-Pタイプ)については、壁正面(図-5参照)にひびわれは生じなかったため、壁底面のみを示した。各No.2供試体のひびわれ発生状況と破壊状況について述べると、

- Fタイプ：初ひびわれは $P \approx 6$  tで生じ、その後荷重の増加とともにひびわれが供試体全長にわたって増加し、且つ成長した。最終破壊は $P_{max} \approx 45$  tで接合部分のフラットバーが引張降伏した。

- Rタイプ：初ひびわれは $P \approx 7$  tで生じ、Fタイプと同様にひびわれが増加成長し、最終破壊は $P_{max} \approx 46$  tで壁脚部接合金物を接合している曲げ補強筋のネジ部が引張降伏した。

- RRタイプ：初ひびわれは $P \approx 7$  tで生じ、F、Rタイプと同様にひびわれが増加成長し、やがて定着鉄筋(19 $\phi$ )にナットを設けた位置付近のひびわれが大きくなり、最終破壊は $P_{max} \approx 34$  tで定着鉄筋が引張降伏し、定着鉄筋に溶接してある壁脚接合フラットバーがともに抜出した。

- RFタイプ：初ひびわれは $P \approx 5$  tで生じ、F、R、RRタイプと同様にひびわれが増加成長し、徐々に定着フラットバーの先端位置付近のひびわれが大きくなり、最終破壊は $P_{max} \approx 21$  tで定着フラットバーが抜出した。

- R-Pタイプ：コンクリート部分にひびわれは発生せず、最終破壊は $P_{max} \approx 46$  tで壁脚部接合金物を接合している曲げ補強筋のネジ部が引張降伏した。また、コンクリートの伸び変形は、アンボンドストレスの荷重分(20 t)までは、曲げ補強筋とコンクリートが一体となった時の弾性変形を生じ、その後はコンクリート部分に引張応力が作用しないため伸びはほとんど増加しない。

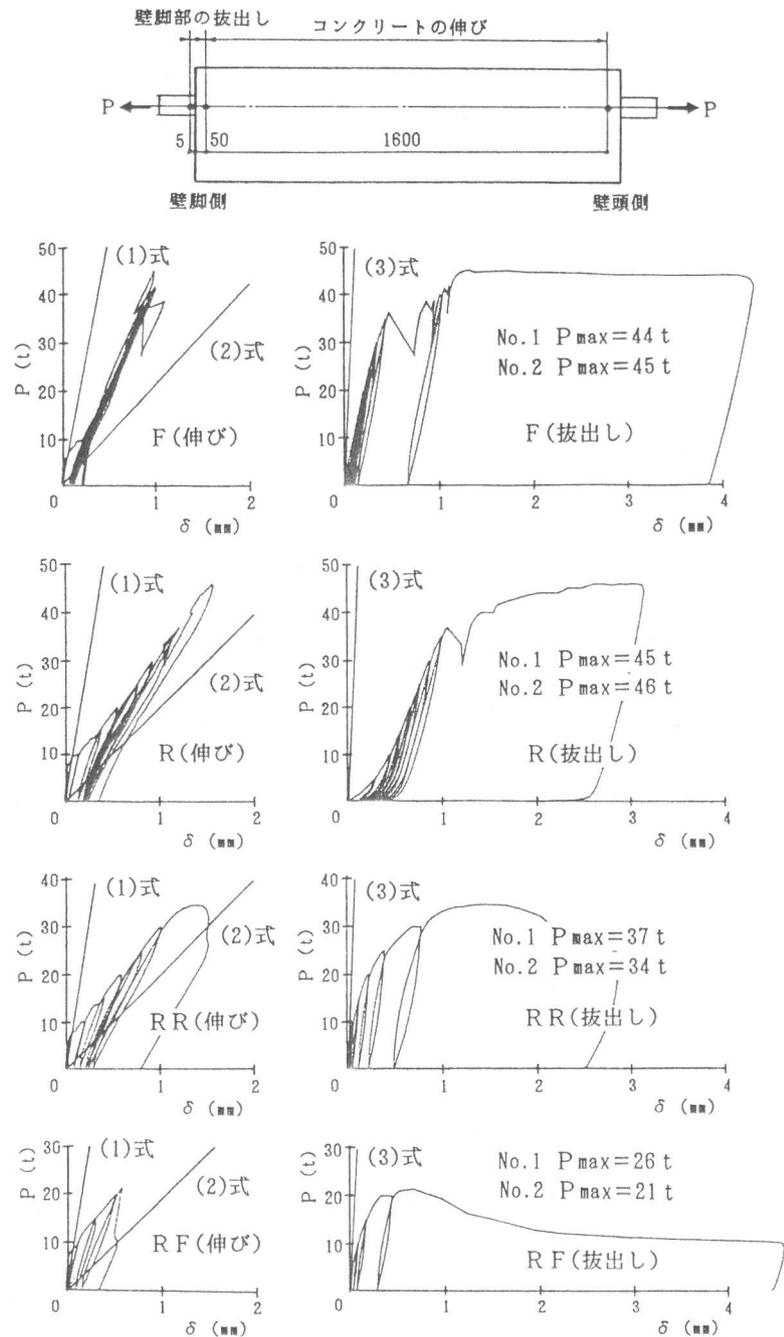


図-6 荷重変形曲線(その1)

• RR-Pタイプ：このタイプもアンボンドストレスの影響で、壁正面にはひびわれは生じなかったが、 $P \approx 24$  tで壁脚接合フラットバー周辺の表面コンクリートが薄く剥がれるような初ひびわれが生じた。最終破壊は $P_{max} \approx 36$  tで定着鉄筋が引張降伏し、定着鉄筋に溶接してある壁脚接合フラットバーがともに抜出した。また、コンクリートの伸びは、R-Pタイプと同様である。

• RF-Pタイプ：コンクリート部分にひびわれが発生せず、最終破壊は $P_{max} \approx 23$  tで定着フラットバーが抜出した。コンクリートの伸びはR-Pと同様である。

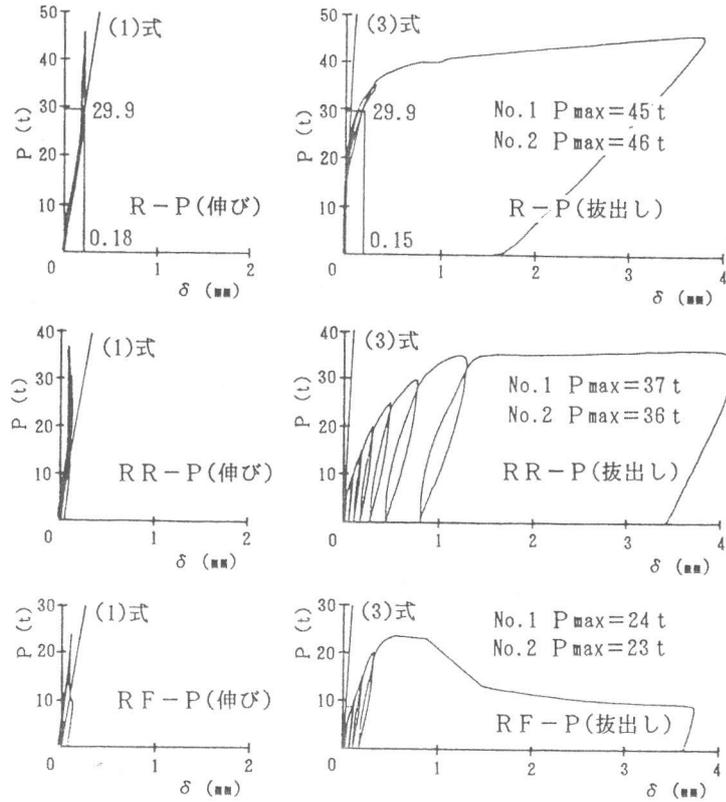


図-6 荷重変形曲線 (その2)

なお、F、Rタイプの荷重変形曲線の中で、降伏後急に荷重低下を生じているのは、摩擦接合部分が滑ったためである。

#### 4. 結果の考察

曲げ補強筋とコンクリートが一体となった場合のコンクリート部分の伸び量 $\delta_1$ と引張荷重Pの関係式は、図-7に示すような歪分布で、応力は歪に比例するものと仮定すれば、

$$P = \{3 \cdot b \cdot t / 4 + (n - 3/4) \cdot A_{s1}\} \cdot E_c \cdot \delta_1 / \ell \quad (1)$$

b : 供試体幅(45cm)

t : 供試体厚(15cm)

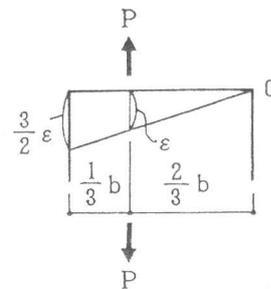
n : ヤング係数比(11)

$A_{s1}$  : 曲げ補強筋の断面積

$E_c$  : コンクリートのヤング係数

( $2.75 \times 10^5 \text{ kg/cm}^2$ ,  $\sigma_B = 343 \text{ kg/cm}^2$ )

$\ell$  : コンクリートの伸び量測定支点間距離(160cm)



曲げ補強筋のみの伸び量 $\delta_2$ と引張荷重Pの関係式は、

図-7 壁水平断面の仮定歪分布

$$P = A_{s1} \cdot E_s \cdot \delta_2 / \ell \quad E_s : \text{鋼材のヤング係数}(2.1 \times 10^6 \text{ kg/cm}^2) \quad (2)$$

壁脚接合および定着フラットバーの抜出し量 $\delta_3$ とPの関係式は、

$$P = A_{S2} \cdot E_s \cdot \delta_3 / L \quad (3)$$

$A_{S2}$  : 定着金物の断面積       $L$  : 拔出し量測定支点間距離(5.5cm)

で表されるものとし、式(1)~式(3)で計算した直線を図-6中に記入した。アンボンドストレスを導入しないものの割線伸び剛性は、式(1)と式(2)から求まる伸び剛性の中間にあるが、導入したものはほぼ式(1)を満している。

表記壁のコンクリート壁と壁脚接合部の性能目標は、より小さな水平変形、即ち高い水平剛性、大きい耐力である。今回行った実験供試体の中では、壁の曲げ応力に抵抗する補強筋を直接接合金物で接合するF、R、R-Pタイプが応力の伝達をスムーズに行うことができ、降伏荷重も明確である。また、壁のひびわれの発生を抑制し剛性を高めるためには、アンボンドストレスを導入したR-P、RR-P、RF-Pタイプが有効である。これらより、曲げ補強と壁脚部の接合方式は、図-5、6からも明らかのように、R-Pタイプが最も適している。

今、R-Pタイプのコンクリートの壁の大きさ  $\phi = 200\text{cm}$ 、 $h = 250\text{cm}$ 、 $t = 15\text{cm}$  の壁の許容せん断入力  $Q_{LCJ}$  を  $20\text{t}$  ( $\bar{\tau} = 6.7\text{kg/cm}^2$ ) と仮定したときのみかけの回転による壁頭の水平変形を試算してみる。曲げ補強筋の脚部に働く引張力は  $T = 20 \times 250 / 170 = 29.4\text{t}$  となり、この時R-P No.2供試体の実験値(図-6その2)から、壁の高さに換算した伸び量(安全側に高さ方向に一樣に29.4t作用するものとした値)、拔出し量(実験値そのまま)、接合金物の伸び(実験値そのまま、但し図は省略)を加えた全体の変形量は  $\Delta \phi \approx 0.018 \times 250 / 160 + 0.015 + 0.023 = 0.066\text{cm}$  である。安全例のために圧縮例も同じ量だけ縮むものとしたときの回転による水平変形量は  $\delta_{WM} + \delta_{WR} \approx (0.066 \times 2 / 170) \times 250 / 2 = 0.097\text{cm}$  である。ここで、 $\delta_{FRD}$  は  $H/200 \sim H/350$  であるから[1]、

$$\delta_{LCW} = \delta_{LCJ} + \delta_{WS} + \delta_{WM} + \delta_{WR} + \delta_{SWAY} \quad (4)$$

$\delta_{LCW}$  : 入力制御壁全体の水平変形       $\delta_{LCJ}$  : 入力制御接合金物の水平変形  
 $\delta_{WS}$  : プレキャスト壁のせん断変形       $\delta_{WM}$  : プレキャスト壁の曲げ変形  
 $\delta_{WR}$  : プレキャスト壁脚の回転変形       $\delta_{SWAY}$  : プレキャスト壁脚の水平変形

$\delta_{LCW} < \delta_{FRD} \leq H/350 \approx 1\text{cm}$  であるためには  $\delta_{LCJ} + \delta_{WS} + \delta_{SWAY} = 1 - \delta_{WM} - \delta_{WR} = 0.907\text{cm}$ 、 $\delta_{WS} + \delta_{SWAY}$  を  $0.4\text{cm}$ 、 $\delta_{LCJ}$  を  $0.5\text{cm}$  以下におさえることは容易であると思われるから、このR-Pタイプは充分剛性も大きく実用性のあるものであることがわかる。

## 5. まとめ

表記耐震壁の曲げ補強方法および曲げ抵抗接合方法を7種類について実験した結果、曲げ補強筋に普通丸鋼を用い、この丸鋼に直接接合金物をボルト締めし、アンボンドストレスを導入するR-Pタイプの接合方法が最も性能が良いことが明らかになった。更に、この接合方法での水平荷重時の回転変形量を概算した結果、許容変形量も十分満足することが明らかになった。

## 参考文献

- 1) 土屋・河村・立石・浜田：入力制御取替可能プレキャストコンクリート耐震壁についての研究(その1)、日本建築学会学術講演梗概集(北陸)、C構造II、pp.889~890、1992.8