

[120] R-PC耐震壁接合部のせん断挙動に関する研究

正会員 ○ 磯 健一 (東京都立大学 工学部)
 正会員 東 洋一 (東京都立大学 工学部)
 正会員 遠藤 利根穂 (東京都立大学 工学部)
 沼本 学 (東京都立大学 工学部)

1. 序.

本研究は、R-PC(RC造によるPC工法)高層住宅において、耐震壁の合理的な接合方法の開発を目的とし、水平及び鉛直接合部の正負繰返し加力による実験を行い、接合部の剛性、諸強度、破壊性状について検討し、シアコッター、接合部の補強筋の効果を確認し、R-PC耐震壁の設計の基礎資料を得るものである。

2. 実験計画

2.1. R-PC耐震壁の概要 本研究で対象とするR-PC耐震壁を、図1に示す。耐震壁は、RC造はり一体に形成されたもので、1スパン内に2つの耐震壁をシアコッター及びループ筋による水平接合部及び鉛直接合部によりはり上端及び耐震壁相互で接合する。鉛直接合部では、耐震壁のシアコッターの間隔はループ筋間隔と等しいが、水平接合部では、はり上端のシアコッターは、PC床板の取り付けベースと同形であり、耐震壁のシアコッターと形状、間隔は異なる。

2.2. 試験体 図2に、試験体の形状・寸法、配筋等を示す。試験体は、実大スケールで、鉛直接合部3体(単調載荷1体、正負繰返し載荷2体)、水平接合部5体(単調載荷1体、正負繰返し載荷2体、軸方向力負荷繰返し載荷2体)の合計8体である。表1に、試験体の種類、配筋量、軸方向力、及びコンクリート、鉄筋の材料特性等を示す。

2.3. 試験方法 図3に、試験装置を示す。実験前に、試験体にPC鋼棒により図に示す加力治具を締め付け、加力フレームに水平に設置された油圧ジャッキにより加力治具を介して、試験体にせん断力を加える。さらに、水平接合部H-05-1, 2では、加力フレーム中央に鉛直に設置した油圧ジャッキにより実験中一定に保持した軸方向力を加える。V-00-1, H-00-1外の6体の試験体では、同一変位で2~3回の正負繰返し加力(大変位域では、1回)を行った。また、図2に示した測定治具により、上下PCパネル間の相対変位を測定し、コッター付け根位置の鉄筋の歪をW.S.G.により測定し、同位置のコンクリート表面に、3方向W.S.G.を貼付し、

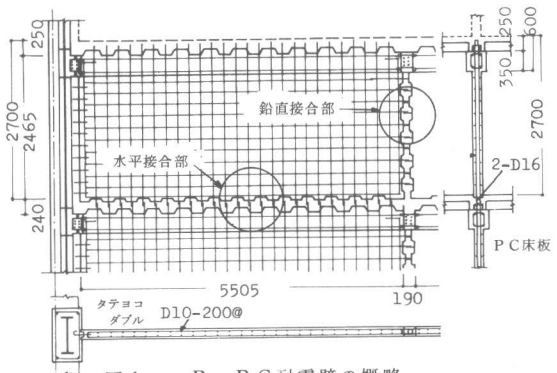


図1. R-PC耐震壁の概略

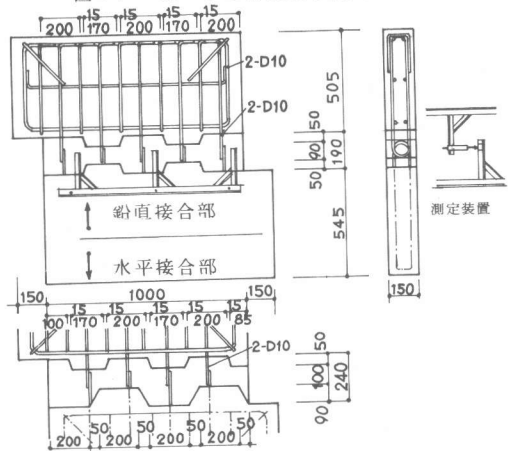


図2. 試験体

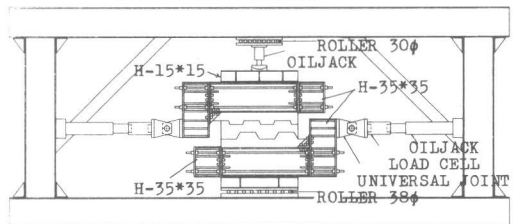


図3. 試験装置

歪を測定した。

3. 実験結果及びその検討

表2に、各試験体の実験結果を一覧して示す。また、図4(a)~(c)に、荷重・水平変位曲線及び破壊性状を示し、図5(a)~(c)に、試験体中央部の鉄筋の荷重・歪曲線を示す。

3. 1. 破壊性状 鉛直接合部では、 $\tau = 10 \sim 13 \text{ kg/cm}^2$ ($\delta = 1.0 \text{ mm}$) で、コンクリートの打継面に沿ったひびわれが発生し、変位の増加につれ、 $\tau = 16 \text{ kg/cm}^2$ 前後で、充てんコンクリート及びPCパネルに、コッターの隅角部よりせん断ひびわれが発生し、同時にすべり量が増加した。V-00-1 では、せん断ひびわれ発生後、荷重があまり上昇せず $\tau = 18.1 \text{ kg/cm}^2$ で最大耐力を示し、すべり量が増加し、中央のせん断ひびわれの幅が広がった。繰返し载荷を行ったV-00-2, 3では、荷重は増加し、中央部に大きなせん断ひびわれが発生して $\tau = 26.2 \sim 28.2 \text{ kg/cm}^2$ で最大耐力を示した。最大耐力以後は、荷重が急激に低下し破壊した。また、同一変位での繰返しによる耐力低下は約20%であるが、図4に示すように、荷重・変位曲線も逆S字のスリップ形となっている。

水平接合部では、PCパネルのシアコッターの大きさが異なるため、打継面に沿ったひびわれは、 $\tau = 13 \text{ kg/cm}^2$ 前後で大きいコッターに集中して発生し始め、荷重の増加につれ、充てんコンクリート及びPCパネルに、 $\tau = 19 \text{ kg/cm}^2$ (負側で 12 kg/cm^2) でせん断ひびわれが発生し、同時に、すべり量が増加した。さらに、荷重を増加すると、図4(b), (c)に示すように、PCパネルのシア

表1. 試験体一覧

| 試験体 | せん断伝達機構 | 鉄筋 ¹⁾ | | 軸方向力 (T(kg)) | 備考 |
|--------|------------|------------------|-------------------------|-----------------|---------|
| | | 種類 | Ps(kg/cm ²) | | |
| V-00-1 | ダボ効果+コッター | 10-D10 | 0.47 | 0 | 一方向载荷 |
| V-00-2 | " | 10-D10 | 0.47 | 0 | 正負交番繰返し |
| V-00-3 | " | 10-D10 | 0.47 | 0 | " |
| H-00-1 | " | 8-D10 | 0.38 | 0 | 一方向载荷 |
| H-00-2 | " | 8-D10 | 0.38 | 0 | 正負交番繰返し |
| H-00-3 | " | 8-D10 | 0.38 | 0 | " |
| H-05-1 | ダボ+コッター+摩擦 | 8-D10 | 0.38 | 3.33 | " |
| H-05-2 | " | 8-D10 | 0.38 | 3.33 | " |

1) 鉄筋: $P_t = 0.45bD$, a : 接合部断面面積, $\sigma_s = 3250 \text{ kg/cm}^2$
 2) コンクリート: PC板 $F_c = 324 \text{ kg/cm}^2$, $F_t = 25 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 2.3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$
 充てん部 $F_c = 296 \text{ kg/cm}^2$, $F_t = 22 \text{ kg/cm}^2$, $E_c = 2.3 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$

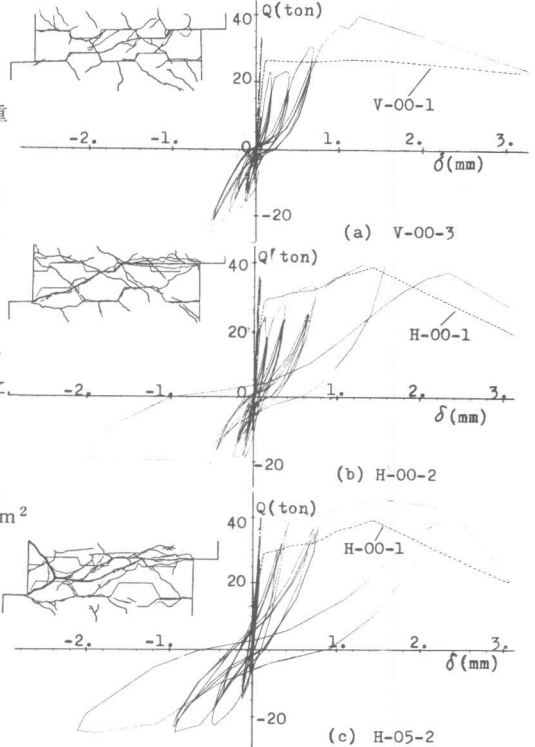


表2. 実験結果一覧 図4. 荷重・変位曲線, 破壊性状

| 試験体 | 初期剛性 (t/mm) | | | 打継面 ひびわれ τ (kg/cm ²) | せん断ひびわれ強度 (kg/cm^2) ²⁾ | | | | | | 終局強度 (kg/cm^2) | | | | | 破壊 モード |
|-------|-----------------|--------------|------------------|---|--|---------------------|----------------------------|------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|---------------------|----------------------------|-----------|
| | 実験値 K_T | 計算値 K_c | 実/計 K_T/K_c | | 実験値 τ_1 | 計算値1 τ_{c1} | 実/計1 τ_1/τ_{c1} | 計算値2 τ_2 | 実/計2 τ_2/τ_{c2} | 計算値1 τ_{c1} | 実/計1 τ_1/τ_{c1} | 計算値2 τ_{c2} | 実/計2 τ_2/τ_{c2} | 計算値1 τ_{c1} | 実/計1 τ_1/τ_{c1} | |
| 鉛直接合部 | V-00-1 | 328 | 439 | 0.75 | 7.3 | 17.3 | 21.9 | 0.79 | 19.5 | 0.91 | 18.1 | 28.4 | 0.64 | 28.4 | 0.64 | S |
| | V-00-2 | 286 | 439 | 0.65 | 14.7 12.8 | 16.0 10.7 | 21.9 | 0.73 | 19.5 | 0.82 | 28.7 19.5 | 28.4 | 1.01 | 28.4 | 1.01 | S |
| | V-00-3 | 323 | 439 | 0.73 | 9.33 9.33 | 15.3 6.67 | 21.9 | 0.70 | 19.5 | 0.79 | 26.2 16.6 | 28.4 | 0.92 | 28.4 | 0.92 | S |
| 水平接合部 | H-00-1 | 308 | 383 | 0.80 | 12.7 | 19.4 | 20.1 | 0.97 | 19.7 | 0.98 | 26.0 | 26.6 | 0.98 | 26.8 | 0.97 | C |
| | H-00-2 | 351 | 383 | 0.92 | 16.0 11.7 | 18.8 12.5 | 20.1 13.6 | 0.94 0.92 | 19.7 | 0.95 | 26.7 14.0 | 26.6 16.8 | 1.00 0.83 | 26.8 | 1.00 | C |
| | H-00-3 | 267 | 383 | 0.70 | 8.13 6.67 | 20.1 12.8 | 20.1 13.6 | 1.00 0.94 | 19.7 | 1.02 | 25.8 13.7 | 26.6 16.8 | 0.97 0.82 | 26.8 | 0.96 | C |
| | H-05-1 | 198 | 383 | 0.52 | 12.0 11.9 | 27.1 15.7 | 22.4 15.9 | 1.21 0.99 | 23.1 | 1.17 | 30.7 19.9 | 28.9 19.2 | 1.06 1.04 | 30.2 | 1.02 | C |
| | H-05-2 | 313 | 383 | 0.82 | 12.0 13.3 | 26.7 3.3 | 22.4 15.9 | 1.19 0.84 | 23.1 | 1.16 | 30.7 17.1 | 28.9 19.2 | 1.06 0.89 | 30.2 | 1.02 | C |

1) 打継面ひびわれ: コンクリート打継面に沿ったひびわれが発生する時の荷重。
 2) ひびわれ性状を考慮して、コッター効果を評価。
 3) 破壊モード: C: コッター付け根位置でのせん断破壊。 S: 充てんコンクリートのせん断破壊。

コッターの付け根がせん断破壊し、最大耐力を示し、急激に荷重が低下した。荷重・変位曲線は、鉛直接合部と同様に、繰返し載荷では、逆S字型を示した。軸方向力を加えたH-05-1, 2でも、H-00-2, 3と同様の破壊性状を示した。

3. 2. 剛性 表2及び図4に、せん断変形のみを考慮した初期剛性の計算値を示す。初期剛性の実験値は表2に示すように、ばらつきが大きい。初期剛性の計算値は、鉄筋のダボ変形及び打継面でのせん断剛性の低下などを考慮していないので、実験値より高い値となり、実/計で、約0.70であった。

3. 3. コッターの応力解析 図6に、接合部のコンクリートに貼付した3方向ゲージの歪測定結果のロゼット解析により求めた主応力の大きさと向きを示す。参考のために、図7に、FEM弾性解析(定はずみ三角形要素で、試験体全体を解析)で求めた応力分布を示す。両解析では、ヤング係数は、コンクリートの圧縮強度試験のセカンドモジュラスを用い、FEMでは、コンクリートの打継面の付着の影響及び鉄筋は考慮していない。実験結果とFEM解析では比較的よい対応を示し、打継面に沿ったひびわれが発生するまでは、接合部は、一体打とほぼ同様の挙動を示すと思われる。

3. 4. せん断ひびわれ強度 表2に、せん断ひびわれ強度を示すが、鉛直接合部では平均 $16\text{kg}/\text{cm}^2$ であるが、水平接合部では、軸方向力のないH-00-1, 2, 3は平均 $19\text{kg}/\text{cm}^2$ と鉛直接合部に比べて約10%ほど高い値を示し、軸方向力のあるH-05-1, 2では、 $27\text{kg}/\text{cm}^2$ と、H-00-1, 2, 3に比べて約30%ほど低下している。

3. 5. 終局強度 表2に示すように、鉛直接合部V-00-1では、終局強度は $18.1\text{kg}/\text{cm}^2$ であり、せん断ひびわれ発生後の荷重の増加が見られず、V-00-2, 3では、終局強度は $28.7\sim 26.2\text{kg}/\text{cm}^2$ であった。水平接合部で軸方向力のないH-00-1, 2, 3の終局強度は

$26.0\sim 27.3\text{kg}/\text{cm}^2$ でありV-00-2, 3とあまり差が見られなかった。軸方向力のあるH-05-1, 2では $30.6\text{kg}/\text{cm}^2$ で、軸方向力のない接合部に比べて約20%ほど終局強度が増加している。

3. 6. 繰返し加力による影響 繰返しを行った接合部では、正負の荷重でせん断ひびわれ強度、終局強度に差が見られ、負荷重の場合の強度は、正荷重の約50~60%

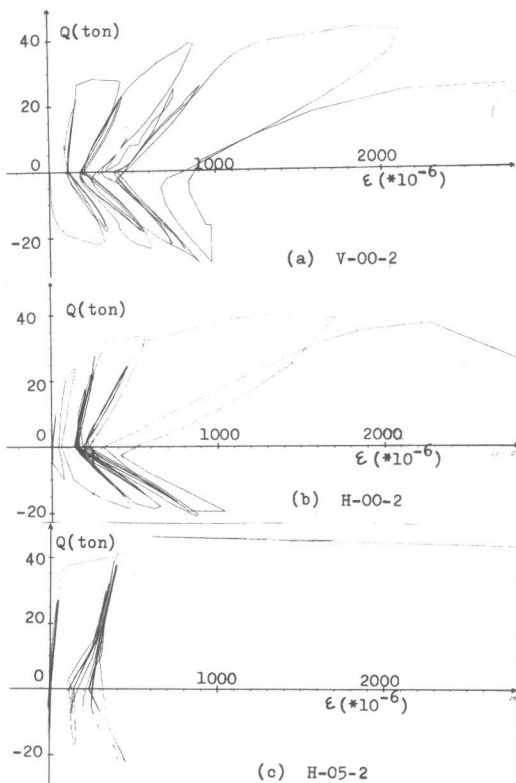


図5. 荷重・歪曲線(鉄筋)

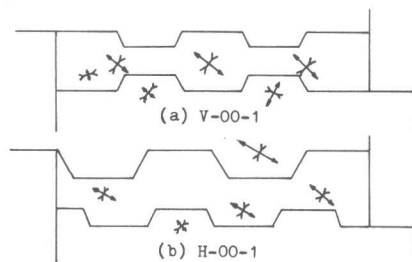


図6. コッターの応力

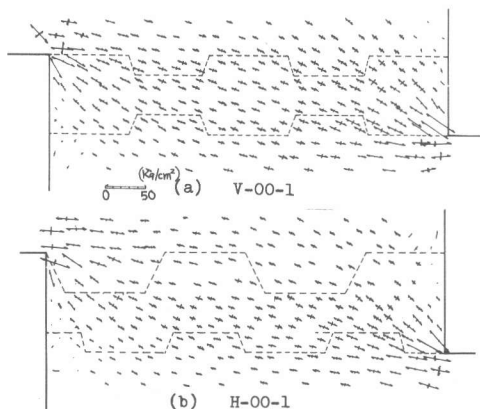


図7. FEM解析結果

の強度であった。また、鉛直接合部では、正負の荷重でひびわれ状況に差は見られなかったが、水平接合部では、コッターが正負で対称に配置していないため、ひびわれ状況もかなり異っている。

3. 7. ひびわれ強度、終局強度の計算値の検討 せん断ひびわれ強度、終局強度は、コッターの効果、さし筋の効果及び軸方向力による摩擦効果により評価される。池田²⁾は、コッター効果を $0.1Fc$ 、ダボ効果を $1/\sqrt{3}Ps\sigma_y$ 、摩擦効果を $\mu\sigma_0$ とし降伏強度を推定しており、吉田³⁾は、ひびわれ経路をもとにコッターの効果を評価しその妥当性について検討している。ここでは、これらを参考にし、2通りの方法により計算値を求めた。

(1) コッター効果をせん断ひびわれ発生によるすべり破壊時に $0.1Fc$ 、終局時に $0.15Fc$ とし、ダボ効果を $1/\sqrt{3}Ps\sigma_y$ 、摩擦効果 $\mu\sigma_0$ とし、それぞれの強度を次式により求めた。ここで、摩擦係数 μ について、本研究では、末永¹⁾の研究をもとに、 $\mu = 0.7$ とした。

$$\tau_{y1} = \frac{Q_{y1}}{t \cdot l} = 0.1Fc \frac{t \cdot l_c}{t \cdot l} + \frac{1}{\sqrt{3}} Ps \sigma_y + \mu \sigma_0$$

$$\tau_{u1} = \frac{Q_{u1}}{t \cdot l} = 0.15Fc \frac{t \cdot l_c}{t \cdot l} + \frac{1}{\sqrt{3}} Ps \sigma_y + \sigma_0$$

t : 接合部の板厚 (cm), l : 接合部の長さ (cm)
 l_c : コッターの付け根長さ (cm),
 cr : ひびわれ経路長さ (cm)
 Ps : 鉄筋比 (%), σ_y : 鉄筋降伏強度 (kg/cm^2)
 σ_0 : 軸方向応力度 (kg/cm^2), μ : 摩擦係数
 τ_y : せん断ひびわれ強度 (kg/cm^2),
 τ_u : 終局強度 (kg/cm^2)

(2) ひびわれ経路を仮定してコッターの効果のみでせん断ひびわれ強度を評価し、終局時には、ダボ効果を累加し次式により強度を求めた。

$$\tau_{y2} = \frac{Q_{y2}}{t \cdot l} = \frac{1}{t} \left\{ \sqrt{\alpha \cdot 1Fc + \sigma_0} \cdot t \cdot l_{cr} \right\} + \mu \sigma_0$$

$$\tau_{u2} = \frac{Q_{u2}}{t \cdot l} = \tau_{y2} + 1/\sqrt{3} Ps \sigma_y$$

表2及び図8, 9にせん断ひびわれ強度、終局強度の実験値と計算値との比較を示す。せん断ひびわれ強度及び終局強度の実験値と計算値とは比較的良好に一致する。水平接合部では正負の荷重で強度が異なるが、破壊性状などから、コッター効果を評価して得た計算値と実験値は正負いずれの荷重でもよく一致している。また、図8, 9には既往の実験結果も示しているが、計算値(1)の終局強度は実験値と計算値と比較的良好に一致している。

4. まとめ

R-P C耐震壁の鉛直。水平接合部のせん断挙動について実験を行い、次のことが明らかになった。

- 1) ひびわれ発生までの剛性は、せん断変形のみを考慮した計算値でほぼ推定でき、応力分布も理論値と比較的良好に一致した。
- 2) 鉛直接合部では充てんコンクリートがせん断し、水平接合部では、コッターが対称でないため、1つのコッターにせん断力が集中し、コッターがせん断破壊をした。
- 3) 軸方向力を加えた水平接合部では、せん断ひびわれ強度、終局強度は軸方向力の効果により増加したが、破壊性状の差は見られなかった。
- 4) ひびわれ性状を考慮して求めたせん断ひびわれ強度、終局強度の計算値は実験値と比較的良好に一致している。なお、本研究は、(株)長谷川工務店による委託研究の一貫として行われたものであり、同社技術開発部 鮑津福秀、榎田聡太郎両氏の御協力に深く感謝いたします。

文献 1) 末永, 石丸, 井川原 ; 壁式プレキャスト鉄筋コンクリート造構面の力学的挙動に関する基礎的研究: 建築学会大会, 昭和47年10月
 2) 池田, 山田, 出井, 川島; 大型プレキャストコンクリートパネルによる高層共同住宅に関する研究: 建築学会大会, 昭和48年10月
 3) 吉野, 田中; コッターを有するプレキャスト鉄筋コンクリート耐震壁の実験的研究: 建築学会大会, 昭和53年9月

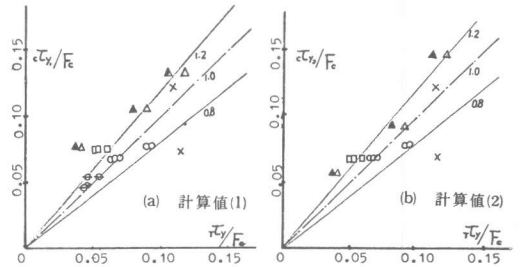


図8. せん断ひびわれ強度の実験値と計算値

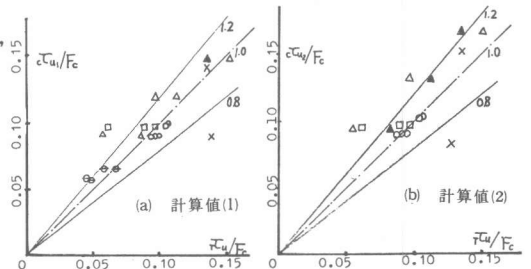


図9. 終局強度の実験値と計算値