

## 論文 鉄筋コンクリート梁・柱部材の付着に対する設計法

前田 匡樹\*1

要旨：日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」に示されている付着に対する設計法について、既往の鉄筋コンクリート造梁・柱部材の実験結果を用いて、その適合性を検討した。また、筆者が提案している付着割裂強度式および付着割裂耐力式を用いて、部材実験結果の破壊モード、最大耐力、限界変形角に影響する因子について検討し、鉄筋コンクリート造梁・柱部材の付着割裂破壊に対する設計条件を求めた。

キーワード：梁・柱部材、付着割裂強度、付着割裂耐力、破壊モード、限界変形角

## 1. はじめに

付着割裂破壊は、せん断破壊と同様に脆性的な破壊モードである。従って、梁部材や1階の柱部材などの降伏ヒンジを計画する部材の場合、強度を確保するとともに、必要とされる靱性能を確保し部材が本来持つ曲げ耐力や変形能を発揮させるために、降伏後の付着割裂破壊も防ぐ必要がある。日本建築学会の「鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針・同解説」[1]（以下、指針と略す）には、藤井・森田の研究[2]に基づく付着割裂強度式を用いた付着に対する設計法が示されている。しかしながら、指針の付着強度式は、高強度コンクリートに適用できないこと、副補強筋の効果を過小評価することなどの問題点が指摘されている。また、部材実験結果に対する検証も十分になされていない。

そこで本研究では、既往の繰り返し荷重を受ける柱・梁部材実験結果を用いて、指針の付着に対する設計法の適合性について検討し、また、筆者がこれまでに提案した付着割裂強度式および付着割裂耐力式を用いて同様の検討を行ない、付着割裂破壊を防ぐための条件についてまとめた。

## 2. 建築学会指針の付着に対する設計の検討

## 2.1 付着に対する設計条件

指針の「6.5 付着に対する設計」[1]では、設計用付着応力度として曲げ付着応力 $\tau_f$ およびトラス作用による付着応力 $\tau_t$ を考慮している。曲げ付着応力度は、圧縮主筋の応力度を上限強度時の曲げ解析により求めるもの（ $\tau_{f1}$ ）と、降伏強度に達しているとした場合（ $\tau_{f2}$ ）を以下の式(1)および式(2)で与えている。また、トラス作用による付着応力 $\tau_t$ は、式(3)で与えられる。

$$\tau_{f1} = d_b (\sigma_y + \sigma_c) / \{4(L-d)\} \quad (1)$$

$$\tau_{f2} = d_b \cdot 2 \sigma_y / \{4(L-d)\} \quad (2)$$

ただし、 $d_b$ ：主筋径(cm)、 $\sigma_y$ ：主筋降伏応力度(kgf/cm<sup>2</sup>)、 $\sigma_c$ ：上限強度のときの圧縮主筋応力度(kgf/cm<sup>2</sup>)、 $L$ ：内法スパン長さ(cm)、 $d$ ：有効せい(cm)

$$\tau_t = b p_{wt} \sigma_{wy} \cot \phi / \Sigma \phi \quad (3)$$

ただし、 $b$ ：部材幅(cm)、 $p_{wt}$ ：設計せん断力に対して必要とされる横補強筋比、 $\sigma_{wy}$ ：横補強筋の降伏強度(kgf/cm<sup>2</sup>)、 $\cot \phi$ ：せん断強度式のトラス機構におけるトラス傾斜角、 $\Sigma \phi$ ：引張主筋周長の合計(cm)

\*1 横浜国立大学助手 工学部建設学科、博士（工学）（正会員）

付着割裂破壊を防ぐための設計条件は以下とされている。

(a)一端のみに降伏ヒンジを計画する部材および降伏ヒンジを計画しない部材

$\tau_{f1}$  または  $\tau_t$  が、付着強度  $\tau_{bu}$  を下回る。

(b)両端に降伏ヒンジを計画する部材

以下の(b-1)または(b-2)を満たすこと。

(b-1)  $\tau_{f2}$  が、付着強度  $\tau_{bu}$  を下回る。

(b-2)  $\tau_{f1}$  または  $\tau_t$  が、最終付着強度  $\tau_{bus}$  を下回る。

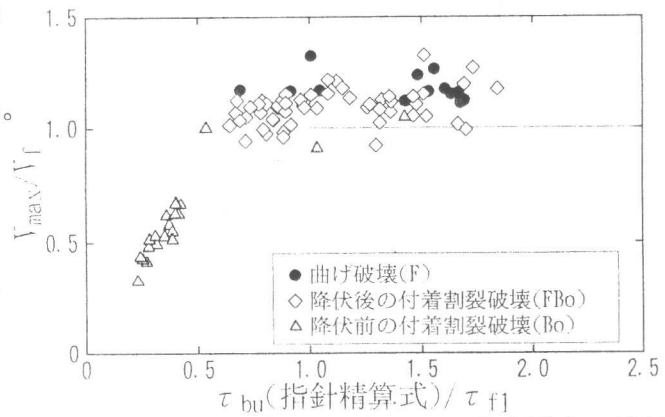


図1 付着余裕度 ( $\tau_{bu}/\tau_{f1}$ ) と最大耐力の比較

## 2.2 既往の部材実験結果に対する適合性

2.1 で整理した指針の付着に対する設計法の

適合性について、既往の梁・柱部材の実験における破壊モード、最大耐力、限界変形角などの結果を用いて検討した。検討に用いたのは、近年行われた部材実験で、逆対称くり返し荷重を受け付着割裂破壊した試験体を含む実験シリーズ[3]~[15]とした。検討では、材料試験により得られた材料強度を用いて諸強度の計算を行い、曲げ耐力  $V_f$  および圧縮鉄筋応力度  $\sigma_c$  は平面保持を仮定した曲げ解析により求めた。付着強度  $\tau_{bus}$  の算定には、指針の解説に示されている精算式を用いた。

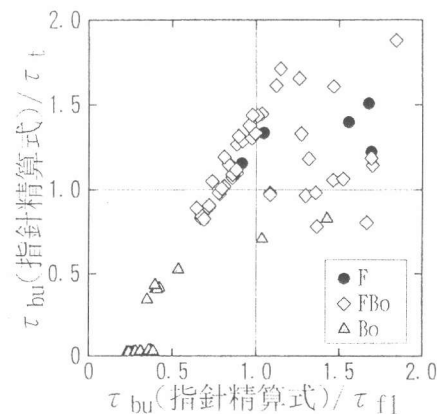


図2  $\tau_{bu}/\tau_{f1}$  と  $\tau_{bu}/\tau_t$  の比較

降伏ヒンジを計画しない部材の設計条件のひとつである、曲げ付着応力度  $\tau_{f1}$  に対する精算式による付着割裂強度  $\tau_{bu}$  の比である付着余裕度 ( $\tau_{bu}/\tau_{f1}$ ) と実験による最大耐力  $V_{max}$  の関係を、破壊モードにより曲げ破壊 (F:●)、降伏後の付着破壊 (FBo:◇) および降伏前の付着割裂破壊 (Bo:△) に分類して図1に示す。図1で破壊モード Bo の試験体 21 体のうち 2 体が  $\tau_{bu}/\tau_{f1} > 1$  の範囲にあり危険側の判定となっている。一方、破壊モード F (16 体) および FBo (56 体)

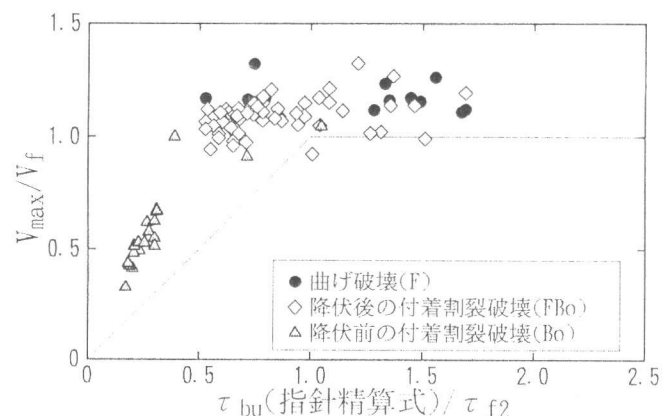


図3 付着余裕度 ( $\tau_{bu}/\tau_{f2}$ ) と最大耐力の比較

のうち 29 体は  $\tau_{bu}/\tau_{f1} < 1$  の範囲の範囲にあるために、降伏前に付着割裂破壊が生じるとの判定となり、設計法としてはやや厳しい結果となる。これは、後述するように、指針の付着強度精算式は、副補強筋がある場合付着強度を過小評価する傾向があるためであると考えられる。図2に  $\tau_{bu}/\tau_{f1}$  と  $\tau_{bu}/\tau_t$  の関係を示す。曲げ降伏した試験体 (F 及び Fbo) で、 $\tau_{bu}/\tau_{f1} < 1$  の 29 体のうち 20 体は  $\tau_{bu}/\tau_t > 1$  を満たすので、降伏したにも拘らず降伏前に付着割裂破壊すると判定される試験体は 72 体中 9 体である。従って、指針の降伏ヒンジを計画しない部材の設計条件(a)は、降伏前に付着割裂破壊した試験体 21 体のうち 19 体について安全側の評価となるが、曲げ降伏した試験体 72 体中 9 体を降伏前の付着破壊と判定し強度を過小評価する場合がある。

両端に降伏ヒンジを計画する部材の設計条件のひとつ (上記(b-1)) である、付着余裕度  $\tau_{bu}/\tau_{f2}$