

論文

[2049] 一般化されたRC接合要素の検証

正会員○三島 徹也 (前田建設工業技術研究所)

正会員 Buja BUJADHAM (東京大学大学院)

正会員 前川 宏一 (東京大学工学部)

1. はじめに

RC部材の復元力特性の解析精度向上を図る目的で、著者らは、繰り返し荷重を受けるRC接合要素の開発を行っており、ひびわれと鉄筋が直交する場合の基本モデルについて報告を行った[1], [2]。さらに、梁・柱のせん断ひびわれのように、部材中に発生するひびわれにも適用可能な接合要素を、①ひびわれと鉄筋の交差角の影響、②隣接ひびわれの影響を考慮して一般化しており、材料モデルを中心にその詳細を報告した[2], [3]。しかし、モデル精度の詳細な検討が不十分であった。

本論文は、RC板の1軸交番載荷試験およびプッシュオフ試験を対象とした解析を行い、ひびわれ面の変形を解析と比較する事により、一般化RC接合要素モデルの検証を行うものである。

2. RC接合要素モデル

2.1 RC接合要素の定式化

接合要素の概要を図-1に示す。この接合要素の接合面はコンクリートのひびわれを模擬したものであり、鉄筋と接合面のなす角度は θ である。鉄筋は接合要素内に様に分布していることを前提としている。また、図-1および本節の定式化は1方向配筋に限られているが、多方向配筋されている場合にも、各鉄筋の応力を要素応力に加算することによって、容易に拡張することが可能である。

(1) 要素応力

接合要素の応力 $\{\sigma_j\}$ は、コンクリート応力 $\{\sigma_{jc}\}$ と鉄筋応力 $\{\sigma_{js}\}$ の和で表され、鉄筋とコンクリートの応力は互いに独立な構成則で記述されることを仮定する。すなわち、

$$\begin{aligned} \{\sigma_j\} &= \{\sigma_{jc}\} + \{\sigma_{js}\} \\ &= [\sigma_c + p^* \sigma_s \cdot \sin \theta, \tau_c + p^* \sigma_s \cdot \cos \theta]^T \quad (1) \end{aligned}$$

ここに、 σ_c 、 τ_c はそれぞれコンクリートの直応力、せん断応力であり、 σ_s は鉄筋応力、 p^* は鉄筋比(接合面を通る鉄筋の総断面積/接合面の面積)である。より一般的な、鉄筋と直交する断面での鉄筋比を p とすると、このふたつの鉄筋比の間に次式の関係がある。

$$p^* = p \sin \theta \quad (2)$$

(2) 要素変位

ジョイント要素の変形を接合面のせん断変位 δ と平均開口変位 ω で代表させ、接合要素変位 $\{u\}$ を次式で表すものとする。

$$\{u\} = [\omega, \delta]^T \quad (3)$$

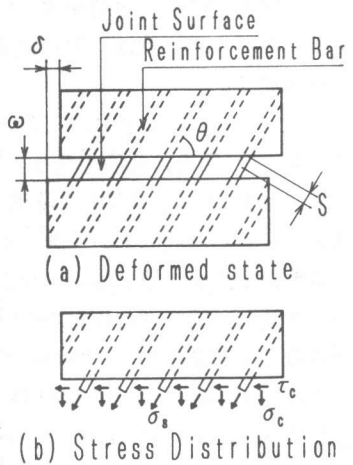


図-1 接合要素図

コンクリート応力 $\{\sigma_c\}$ は接合要素変位 $\{u\}$ から直接算定することが可能であるが、鉄筋応力 σ_s は鉄筋抜け出し量 S の関数で与えられる。ここで、鉄筋応力 σ_s を算定するためには、接合変位 $\{u\}$ と鉄筋抜け出し量 S との関係の導く必要がある。斜め配筋された鉄筋について、鉄筋応力方向は鉄筋軸方向角 θ に常に等しい（微小変位）と仮定し、さらにコンクリートのひびわれ平行方向の圧縮変形を無視することによって、以下に示す接合要素変位 $\{u\}$ と鉄筋抜け出し量 S に対する変形の適合条件が得られる。

$$S = (\delta \cos \theta + \omega \sin \theta) / 2 \quad (4)$$

本解析では、接合面直交方向の物理的な要素長を 0 としているため、分散ひびわれ有限要素と組み合わせて用いる場合、接合面の変形を 2 重に見積もらないよう注意する必要がある。すなわち、接合要素に隣接する要素を弾性要素とする等の工夫が必要である。

2. 2 材料モデル

(1) 鉄筋モデル

本要素の鉄筋モデルは、島らの鉄筋ひずみ-すべりモデル[4] に基づいている。(4)式から得られる鉄筋抜け出し量 S に対する鉄筋ひずみ ε_s を、この鉄筋ひずみ-すべりモデルより算定し、さらに鉄筋応力 σ_s を、鉄筋ひずみ ε_s から、加藤モデルによる鉄筋の応力-ひずみ関係を用いて算定した。

本モデルは除荷、再載荷時についても適用が可能であり、任意の応力履歴を考慮したモデルである。モデルの詳細は、参考文献[2] に詳しいので、ここでは、鉄筋降伏までの単調載荷モデルのみを記す。

$$s = \varepsilon_s \cdot (6 + 3500 \cdot \varepsilon_s) \quad (5)$$

ここに、 s : 無次元鉄筋すべり ($= S/D * (f_c/200)^{2/3}$)、 ε_s : 鉄筋ひずみ、 D : 鉄筋径、 f_c : コンクリート強度 (kgf/cm^2)

(2) ひびわれ面の応力伝達モデル

本要素モデルで用いているコンクリートのひびわれ面での応力伝達モデルは、李・前川モデル[5] を基に、①ひびわれ面での摩擦、②接触面の破壊、③モルタル内での骨材の支持状態の影響を考慮して拡張された、Bujaモデル[3]である。

このモデルは、原モデルと同様に接触密度関数に基づくものであり、ひびわれ閉合とすべりの混在する変形モードへの対応性をさらに向上させたものである。傾斜角 θ を持つ単位ひびわれ要素の接触力密度を Z とすると、コンクリート応力 σ_c 、 τ_c は次式で与えられる。

$$\sigma_c = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} Z \cdot \sin(\theta \pm \mu) d\theta, \quad \tau_c = \int_{-\pi/2}^{\pi/2} Z \cdot \cos(\theta \pm \mu) d\theta \quad (6)$$

ここに、 μ は接触摩擦角である。

3. RC板試験

接合要素の応力状態は直応力とせん断応力が同時に作用する場合が一般的であるが、本章では、直応力のみが作用する場合を対象として、著者らが行ったRC板の1軸正負交番載荷試験結果と解析結果を比較する。検証用試験体は、各試験体とも加力軸に対して左右非対称であるため、ひびわれ発生後、せん断変位(ズレ)が発生すると考えられる。したがって、この試験結果と解析を比較する事によって、鉄筋モデルとコンクリートの応力伝達モデルを同時に検証することが可能である。