

モーメントシフトを考慮した軸方向鉄筋引張力算出手法の検討

学生氏名 福岡 聖一
指導教員 吉川 弘道

1. はじめに

鉄筋コンクリート(RC)部材に荷重が作用すると、軸方向鉄筋は、引張力を負担し曲げひび割れを分散させ、安定した破壊(延性破壊)を生じさせる役割を持つ。この引張力は、曲げ理論より算出するのが一般的手法である。しかし、せん断力が作用する部材では、新たな引張力(モーメントシフト)が生じるため付加引張力を考慮した算出手法が求められる。そこで、曲げひび割れ発生から軸方向鉄筋降伏時までの軸方向鉄筋引張力の算出手法の検討を行い、2002、2003年度の破壊形式の異なるRC単純梁の実験結果と比較した。

2. 実験概要

実験値は、RC単純梁の荷重実験における軸方向鉄筋のひずみデータを用い、計測位置は支点から0.1875、0.3625mとし、それぞれT1(せん断スパン支点部)、T2(せん断中央部)とした(参照:図-1)。実験結果は2002年度(せん断補強筋間隔 $s=175\text{mm}$)でせん断破壊、2003年度($s=125\text{mm}$)で曲げ破壊を生じた。また試験体諸元、材料試験結果を表-1に示す。

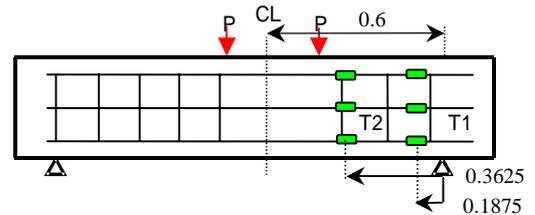


図-1 ひずみゲージ貼り付け位置(m)

表-1 試験体諸元及び材料試験結果

試験体諸元			
断面形状 mm	有効高さ mm	コンクリート強度	
		2002($s=175$) N/mm ²	2003($s=125$) N/mm ²
200 × 150	172.95	33.1	32.1

3. 軸方向鉄筋引張力算出手法の検討

曲げ理論の算出手法

曲げ理論は、圧縮破壊を仮定しコンクリート圧縮合力と軸方向鉄筋引張力の釣り合い式(式(1))から引張力 T_{CL} を算出する。せん断補強筋負担分 V_s 、コンクリート負担分 V_c は土木学会示方書¹⁾に準じた。

土木学会の算出手法

土木学会が定めるモーメントシフトは、トラス機構による力の釣り合い式で表され、式(2)から軸方向鉄筋引張力 T が算出される。また、圧縮ストラット角度 θ は鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針²⁾が定める式(3)を使用し、せん断応力が最大値となる場合の角度と仮定して扱った。

曲げひび割れ発生モーメント M_{cr} および

曲げひび割れ発生ひずみ ϵ_{cr} の検討

RC部材に曲げひび割れが発生するまでコンクリートが引張力を受け持つ。この挙動を的確に表すため、曲げひび割れ発生モーメント M_{cr} を全断面を有効とした断面解析(式(4))より算出した。また曲げひび割れ発生ひずみ ϵ_{cr} は、曲げひび割れ発生モーメントを用い、式(5)より算出した。

鉄筋降伏時の作用曲げモーメント M_y および

鉄筋降伏時のひずみ ϵ_y の検討

鉄筋降伏時の作用曲げモーメント M_y は、式(1)、(2)から求めた引張力を用い、式(6)から算出した。また、鉄筋降伏時のひずみ ϵ_y は、表-1に示す材料試験結果の降伏ひずみ(0.00215)として扱った。

軸方向鉄筋(D16, SD345)		せん断補強筋(D6, SD235)					
降伏強度 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	鉄筋比 %	降伏ひずみ -	降伏強度 N/mm ²	弾性係数 N/mm ²	鉄筋比($s=175$) %	鉄筋比($s=125$) %
401	1.86×10^5	4.99	0.00215	3257	2.01×10^5	0.241	0.338

$$T_{CL} = \frac{M}{jd} = \frac{a}{jd}(V_s + V_c) = \frac{a \cdot V}{jd} \quad (1)$$

M : 曲げモーメント, j : 0.875, d : 有効高さ
 a : 支点からの距離, V_s : せん断補強筋負担分
 V_c : コンクリート負担分, V : 全せん断力

$$T = \left[\frac{a}{jd} + \cot \theta - \frac{\sin(\theta + \alpha)}{2 \sin \theta \sin \alpha} \right] V_s + \frac{a}{jd} V_c \quad (2)$$

θ : 圧縮ストラット角度, α : せん断補強筋角度

- $\cot \theta = 2.0$
- $\cot \theta = \frac{j_t}{H \tan \theta} \cdot \tan \theta = \sqrt{(a/H)^2 + 1} - a/H$
- $\cot \theta = \sqrt{\frac{v_f' c}{p_w f_{wy}}} - 1.0$

H : 断面の全高さ, j_t : 主筋中心間距離

p_w : せん断補強筋比, f_{wy} : せん断補強筋降伏強度
: 有効係数, f'_c : コンクリート圧縮強度

$$M_{cr} = \frac{I_g}{H - x_g} f_t \quad (4)$$

$$\epsilon_{cr} = \frac{\sigma_{s1}}{E_s} = \frac{n M_{cr} (d - x_g)}{I_g} \quad (5)$$

I_g : 断面2次モーメント, x_g : 中立軸位置

f_t : コンクリートの引張強度, σ_{s1} : 軸方向鉄筋応力

E_s : 軸方向鉄筋弾性係数, n : 弾性係数比

$$M_y = T \cdot jd \quad (6)$$

Key words: 軸方向鉄筋引張力, モーメントシフト, 曲げ理論, 土木学会式

4. 解析結果および考察

上記に示す軸方向鉄筋引張力算出手法を用いた解析結果と実験結果との比較を図-2に示した。

1) せん断スパン中央部(T2)

実験値は、約 $5\text{kN}\cdot\text{m}$ で曲げひび割れが発生し、 $s=175$ および $s=125$ ともに約 $25\text{kN}\cdot\text{m}$ で最大作用曲げモーメントとなり、その後、ほぼ一定値を示した。各算定式との比較は、曲げひび割れ発生モーメントに関して $s=175$ 、 $s=125$ ともに実験値とほぼ同じ値となり、破壊形式に関わらず算出することができた。弾性域の勾配は、 $s=175$ において曲げ理論が実験値を下回ったのに対し、モーメントシフトを考慮した土木学会式ではほぼ同じ勾配を示した。これは $s=125$ でも同様のことが言え、土木学会式とほぼ一致する勾配となった。鉄筋降伏時の作用曲げモーメントは、 $s=175$ 、 $s=125$ ともに土木学会式が実験値とほぼ一致し、曲げ理論は下回る結果となった。このことから、せん断力が生じる区間では、曲げ理論による手法を用いると実験値の挙動を下回り、軸方向鉄筋引張力が小さく算出する結果となる。そこで、付加引張力を加える必要があり、モーメントシフトを考慮した土木学会式を用いることで、実験値とほぼ追従した挙動を示すことができた。これにより、今回検討したモーメントシフトを考慮した算出手法の妥当性が示された。

2) せん断スパン支点部(T1)

実験値は、約 $5\text{kN}\cdot\text{m}$ で曲げひび割れが発生し、 $s=175$ で約 $15\text{kN}\cdot\text{m}$ で最大作用曲げモーメントとなり、その後、微小ながら作用曲げモーメントの減少が見られる。 $s=125$ では、鉄筋降伏時に作用曲げモーメントが上昇し、約 $15\text{kN}\cdot\text{m}$ で最大値を示した後、ひずみゲージの破断が生じた。各算定式との比較は、曲げひび割れ発生モーメントに関して、 $s=175$ 、 $s=125$ ともにほぼ実験値と同じ値を示した。弾性域の勾配は破壊形式に関わらず、曲げ理論が実験値を下回る勾配を示したが、モーメントシフトを考慮した土木学会式ではほぼ同じとなった。また、鉄筋降伏時の作用曲げモーメントにおいても、 $s=175$ および $s=125$ ともに土木学会式が実験値とほぼ一致し、曲げ理論では下回る結果となった。このことから、モーメントシフトを考慮することで、軸方向鉄筋引張力を的確に表すことができ、今回検討した算出手法の妥当性が示された。また、T2と同様の結果であることから曲げモーメントが異なる区間および曲げ破壊、せん断破壊と異なる破壊形式においてもモーメントシフトを考慮した解析が行えた。

5. 結論

せん断力が作用する区間での軸方向鉄筋引張力算出手法の検討を行った結果、以下の知見が得られた。

- (1) 曲げ理論による算出手法では弾性域の勾配および鉄筋降伏時の作用曲げモーメントが実験値を下回ることから、引張力を低く算出していることがわかる。そこで、モーメントシフトを考慮した算出手法を提案した。
- (2) 曲げモーメントが異なる位置および異なる破壊形式における実験値においても、今回検討したモーメントシフトを考慮した算出手法を用いることでほぼ一致する挙動が得られた。

「参考文献」

- 1) 土木学会, コンクリート標準示方書[構造性能照査編], 丸善株式会社 2002, P-113
- 2) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート造建物の終局強度型耐震設計指針, 丸善株式会社, 1990, P-106

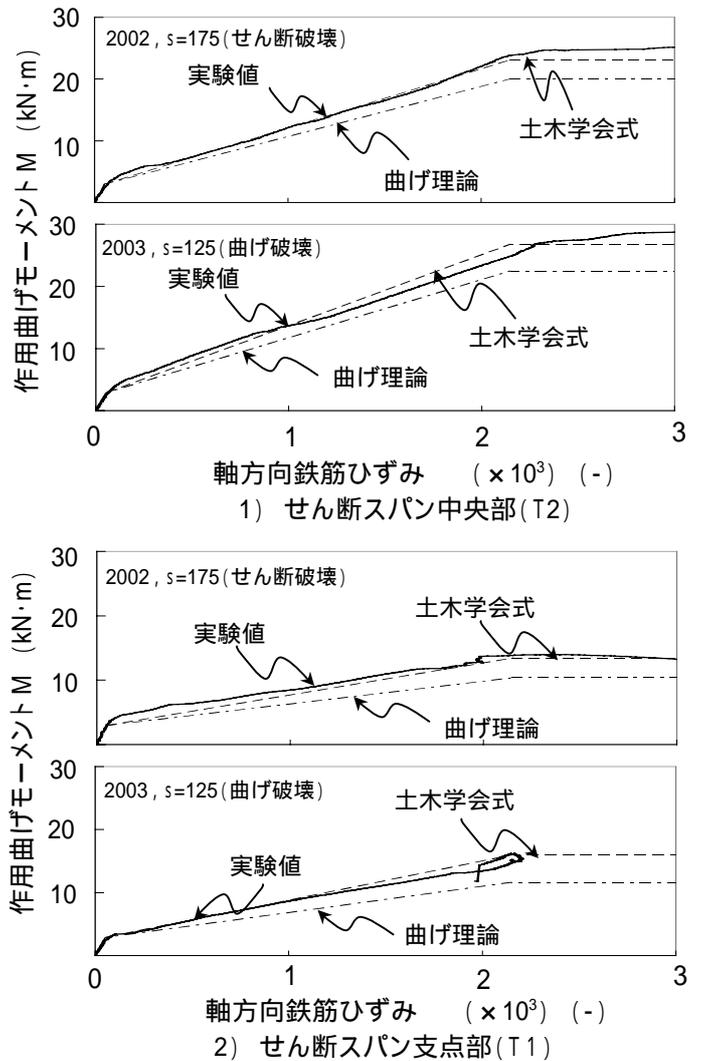


図-2 作用曲げモーメント M - 軸方向鉄筋ひずみ 関係