

北海道大学 学生員 志村 和紀
 北海道大学 正 員 佐伯 昇
 北海道大学 正 員 藤田 嘉夫

1. まえがき

鉄筋コンクリート桁は、終局時に大きな曲げ変形能力を期待することができ、不静定構造物とした場合に塑性ヒンジの生成に伴うモーメントの再分配が生じ、構造物の終局時において余裕を持たせることができる。これを合理的に利用することもできる。各国の規定では、主に線形解析の中でモーメントの再分配が採り入れられているが、近似的な簡便法であるため再分配量の上限を設けている。さらに、断面の塑性回転を有効に利用するためには非線形解析を行うことが望ましく、塑性回転能力を評価する簡便な方法が必要となる。本報告は鉄筋コンクリート単純桁および2径間連続桁の載荷実験の結果ならびに既往の研究資料を整理し、断面の塑性回転能力の評価方法およびその挙動についての基礎資料を得ることを目的とした。

2. 使用材料および実験方法

実験に用いたセメントは早強ポルトランドセメントであり、細骨材として錦固海岸砂(比重2.77, 吸水率0.94%)を、粗骨材として静内川産川砂利(比重2.75, 吸水率1.04%)を用いた。コンクリートはAEコンクリートとし、試験柱令を14日、目標圧縮強度を280 kg/cm²とした。鉄筋の材質はSD35とし、主鉄筋にD10およびD13異形棒鋼を用いた。

試験桁の断面は図-1(a)および表-1に示した。スターアップとしてはD10異形棒鋼を8cm間隔で配置した。載荷方法については図-1(b)に示すように、S桁(単純桁)については支間 $l=80$ cmとして支間中央に載荷し、C桁(連続桁)については $l=160$ cmとして各支間中央に載荷した。載荷の際には、S桁についてはB'点のみずみ、B-B面のたわみおよびA, B点の反力を測定した。またC桁についてはC点のみずみ、B-B面のたわみおよびA, B点の反力を測定した。

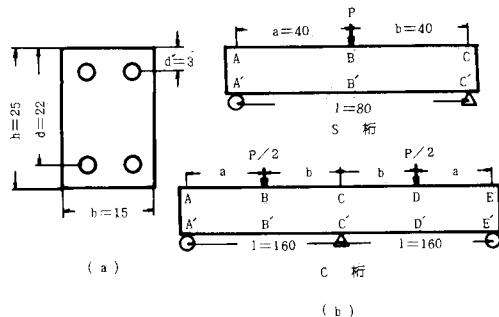


図-1 試験桁の断面寸法・載荷方法 単位: cm

3. 実験結果および考察

反力の測定より算出した曲げモーメントと計算値の比較を行った。降伏モーメントの実測値と計算値の比 M_{uact}/M_{ucalc} (M_{ucalc} : 慣用理論による) は0.91~1.09であり、実測値と計算値が比較的良く一致することが認められた。一方、終局モーメント M_u については M_{uact}/M_{ucalc} (M_{ucalc} : 鉄筋のみずみ硬化を考慮した) は1.23~1.45であり、実測値が計算値より相当に大きい。これはコンクリートの終局圧縮のみずみが計算に用いた値(試験桁のみずみ測定結果の平均値: 5800×10^{-6})より実際には大きいためと考えられる。

塑性回転角 θ_p については、たわみ-モーメント図より塑性たわみ θ_p

表-1 試験桁の配筋

試験桁	断面	配筋	
		正鉄筋比 p	負鉄筋比 p'
S-1	B-B'	0.01152	0.00768
S-2	B-B'	0.01152	0.00768
S-3	B-B'	0.00768	0.00768
S-4	B-B'	0.00768	0.00768
C-1	B-B'	0.01152	0.00768
	C-C'	0.00768	0.00768
C-2	B-B'	0.00768	0.00768
	C-C'	0.00768	0.00768

を分離し、単純桁の場合 $\theta_p = 2\delta p/l$ 、連続桁の場合 $\theta_p = 3\delta p/l$ より算出した¹⁾。その結果、終局塑性回転角 θ_{pu} の値は S2, S4, C1, C2 桁それぞれ 0.0326, 0.0325, 0.0634 および 0.0627 であり、単純桁とした場合より連続桁とした方が大きな塑性回転能力を持つことが示された。これは、連続桁とした場合には塑性ヒンジ部以外の断面の塑性回転の影響が θ_{pu} に含まれるためと考えられる。

本実験の結果ならびに既往の研究成果²⁾³⁾⁴⁾を整理し、 θ_{pu} と終局中立軸比 k_u の関係を表したものを図-2に示す。これによれば、 θ_{pu} と $1/k_u$ の間にはおおむね直線の関係があり、CEB-FIPの規定は θ_{pu} の最小値に対応していることが認められる。

次に、 θ_p と塑性ヒンジ断面の正鉄筋のひずみ（降伏ひずみに対する比 ϵ_s/ϵ_{sy} ）の関係を表したものを図-3に示す。これによれば、いずれも $\epsilon_s/\epsilon_{sy} = 10$ 付近で傾きが大きく変化する曲線を示している。折曲点は、鉄筋の応力-ひずみ曲線のひずみ硬化の開始点であり、 $\theta_p/\theta_{pu} = 1/6 \sim 1/7$ であることから、鉄筋が降伏踊り場にある間は θ_p は比較的小さく、ひずみ硬化域で大きな回転を生ずることが示された。

図-4に θ_p とモーメント（降伏モーメントに対する比 M/M_y ）の関係を示した。理想的な塑性ヒンジの場合、原点を起点とする θ_p 軸上の直線となるが、実験値は θ_p 軸からかなりの勾配を持って離れており、塑性ヒンジ部において断面の回転に伴う相当量のモーメント増が認められた。

次に、モーメント再分配率 γ （連続桁の中央支点上のモーメント-荷重図における弾性理論によるモーメント M_e と実測モーメント M から $\gamma = \frac{M_e - M}{M_e}$ とした）と M/M_y の関係を整理したものを図-5に示した。これによれば、正鉄筋の降伏後には最大値を示すが、その後は再分配量が減少し、鉄筋のひずみ硬化、塑性ヒンジ以外の断面の剛性の低下などによる影響が認められた。

4. むすび

- (1) 鉄筋コンクリート桁の塑性回転能力は終局中立軸比の逆数との間に直線関係があり、簡便な式によって求めることができる。
- (2) 断面の塑性回転の大部分は正鉄筋のひずみ硬化開始後に生じ、相当量のモーメント増、再分配量の減少を伴い、理想的な塑性ヒンジとは異った挙動を示す。

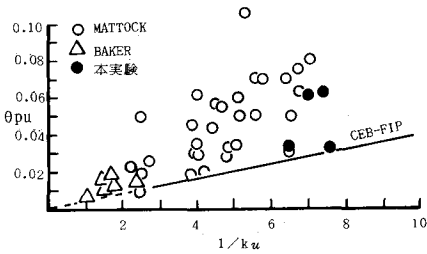


図-2 θ_{pu} と終局中立軸比の関係

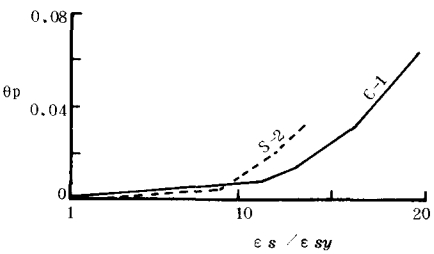


図-3 θ_p と正鉄筋ひずみの関係

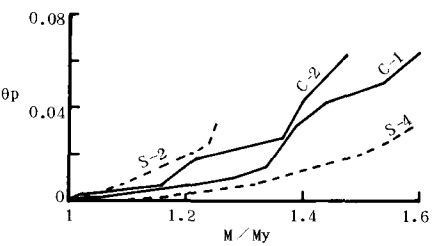


図-4 θ_p とモーメントの関係

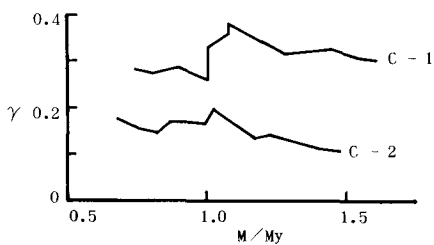


図-5 γ とモーメントの関係

参考文献 1) 藤田, 佐伯, 志村 “鉄筋コンクリート連続桁の曲げモーメント再分配挙動”, 昭和58年度北海道支部論文報告集 2) A.H. Mattock “ROTATIONAL CAPACITY OF HINGING REGIONS IN REINFORCED CONCRETE BEAMS”, FLEXURAL MECHANICS OF REINFORCED CONCRETE, PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL SYMPOSIUM 1964, ASCE-ACI 3) A.L.L. Baker, A.M.N. Amarakone “INELASTIC HYPERSTATIC FRAMES ANALYSIS”, 2) 図に 4) CEB-FIP MODEL CODE FOR CONCRETE STRUCTURES 1978