

北海学園大学 正員 高橋 義裕
 北海道大学 正員 角田 与史雄
 北海道大学 正員 能町 純雄

1. まえがき

終局限界状態に対する設計に塑性理論を用いる実用的方法にモーメント再分配法がある。それは弾性解も塑性解の一つである性質を利用し、弾性解による断面力分布に強制的に再分配を施すものであるが、所定の再分配が機能するためには塑性ヒンジの回転能が不可欠であり、そのような観点からの研究が種々行われている。一方、モーメント再分配法を積極的に利用しようとする場合には、終局限界状態における再分配が他の限界状態における断面力にどのような影響を及ぼすかについて明らかにしておく必要がある。本文はこのような目的から、RC連続桁を例にとり、数値的に検討した結果を示したものである。

2. 計算方法

ここでは等径間の二径間連続桁および径間比0.8:1:0.8の三径間連続桁が等分布永久荷重 w_D および等分布変動荷重 w_L を受ける場合をとり上げ、断面は長方形とした。材料強度は $f_{ck}=240\text{MPa}$, $f_{yk}=3500\text{MPa}$ とし、その他の材料諸元値および部分安全係数値は限界状態設計指針案に準じた。まず w_D および w_L の特性値を与え、弾性解による曲げモーメントを求めた後、種々の再分配率を与えて再分配し、終局強度理論により断面設計を行う。次に w_D および種々の大きさの w_L を載荷し、非線形解析により断面力を求めた。その際、 w_L は全長に載荷する場合(A)と影響線を用いて最も不利な載荷を行う場合(B)の両者について計算した。また、非線形解析には、ここでは元来たわみの計算用に提案されている Branson の有効断面二次モーメントを用いた。

3. 計算結果および考察

図-1は二径間連続桁の載荷様式Aにおける支点曲げモーメント M_{min} と荷重($w=w_D+w_L$)との関係の例を示したもので、図中の M_u は支点の終局曲げモーメント、 w_u は崩壊荷重、 μ_u は終局限界状態における再分配率を支点曲げモーメントの弾性解からの増減率で表わしたものである。この桁では、まず支点の負曲げモーメントによりひびわれが入り、 M_{min} の増加がやや緩やかになった後、支間の正曲げモーメントによりひびわれが入り、 M_{min} は弾性解に比べてかなり高い増加を示し、その後支間の正曲げモーメントによる鉄筋降伏が生じている。このように非線形性はひびわれが生ずる順序や鉄筋降伏の順序により複雑な様相を示す。図-2は、その状態を各荷重段階における M_{min} の再分配率(弾性解からの増減率) μ により示したもので、終局限界状態に対する再分配率 μ_u による正鉄筋と負鉄筋の比率の相違が、ひびわれ発生後の μ の変化に明瞭に現れており、 μ_u が大きい程支点曲げモーメントが大きくなっている。また、この図は $\mu_u=0$ の場合でもある程度の再分配は避けられないことをも示している。

ところで一般に、 μ の値は μ_u に近い方が作用曲げモーメン

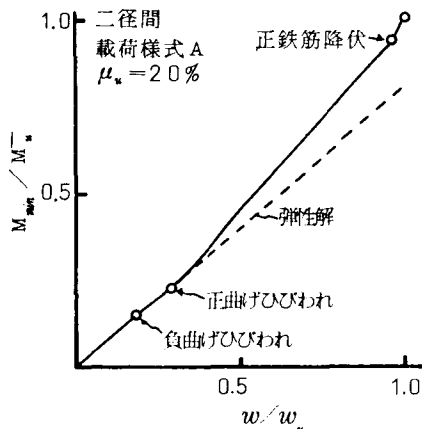


図-1

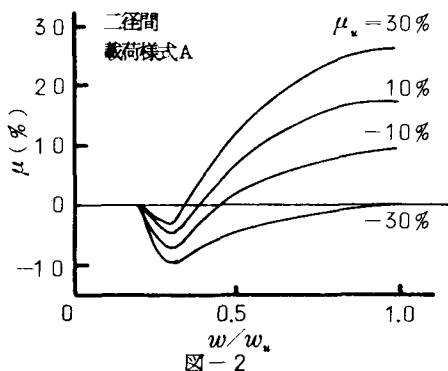


図-2

トと実際の鉄筋量とのバランスがよく、使用限界状態における性状にとって好ましいと言える。それに対して上図は、 μ は μ_u に比べて小さく、不利になり易いことを示しており、とくに $\mu_u < 0$ で荷重段階の高い範囲で両者の差が著しくなっている。図-3は、 $w_p + w_L$ の特性値を荷重したときの支点上の負鉄筋および支間最大曲げモーメント断面の正鉄筋の応力を示したもので、再分配することによって鉄筋応力が減少する範囲もわずかに存在するが、一般には $\mu_u > 0$ の場合は正鉄筋、 $\mu_u < 0$ の場合に負鉄筋の負担が高まることが示されている。

図-4も同様に鉄筋応力を示しているが、ここでは影響線を用いて設計している点がさきと異なる。影響線を用いる場合は正曲げモーメントと負曲げモーメントとでは荷重状態が異なるので、それぞれ独自に再分配率 μ_u^+ 、 μ_u^- を選ぶことができる。従って μ_u^+ と μ_u^- の組合せは無限にあるが、ここでは、 $\mu_u^- = 0$ として μ_u^+ を正方向に変化させた場合と、 $\mu_u^+ = 0$ として μ_u^- を負方向に変化させた場合の結果のみを示してある。この図に見られるように、 μ_u^+ の変化は主として正鉄筋の応力、 μ_u^- の変化は主として負鉄筋の応力に大きな影響を及ぼす。これは、正鉄筋と負鉄筋とでは不利になる荷重状態は異なっても、それらにおける使用限界状態での再分配率が、終局限界状態に対して施した再分配率に比べて小さいことが、その主因となっている。

図-5は、上記の場合について崩壊荷重 w_u 、正鉄筋の降伏荷重 w_p^+ 、負鉄筋の降伏荷重 w_p^- を示したものである。なおこれらの荷重は、同じ設計荷重で設計した単純桁の崩壊荷重 w_{u0} で除してある。この図に見られるように、影響線を用いて設計する場合、崩壊荷重は一般に単純ばりに比べて大きくなるが、再分配を施すことによって単純ばりの崩壊荷重に近づけることができる。その点で再分配法を用いる経済的効果が大いと言えるが、逆にそれだけ鉄筋の降伏荷重が低下し、鉄筋の降伏に対する余裕の少ない設計となる。図-6は、三径連続桁についての計算結果を示したものであり、ここでは支点負曲げモーメント、側径間正曲げモーメント、中央径間正曲げモーメントでそれぞれ w_L の荷重状態が異なるので、前述の場合に比べてやや複雑であるが、傾向としては同様な性状が示されている。ここで、 μ_{u1}^+ は側径間、 μ_{u2}^+ は中央径間に關しての再分配率をそれぞれ示している。また、 μ_u^+ の範囲の実線は $\mu_{u2}^+ = 0$ で μ_{u1}^+ のみを正方向に変化させた場合で、点線は $\mu_{u1}^+ = 0$ で μ_{u2}^+ のみを正方向に変化させた場合の値を示している。

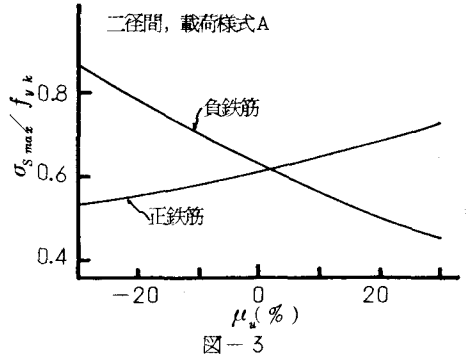


図-3

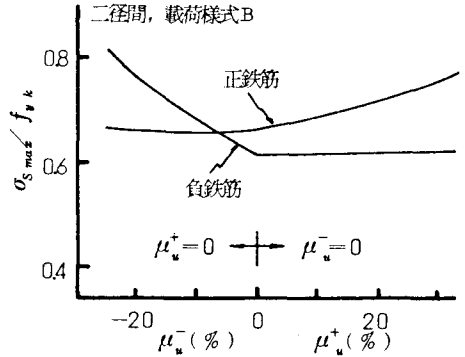


図-4

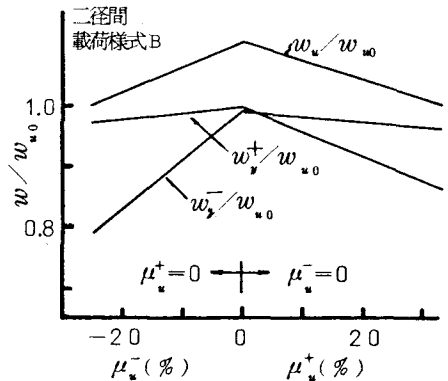


図-5

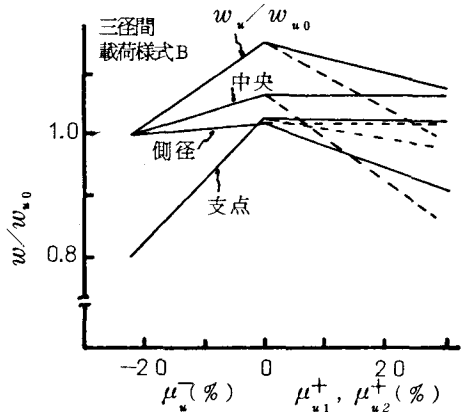


図-6