

室蘭工業大学 正員 岸 徳 光

名古屋工業大学 正員 後 藤 芳 顯

室蘭工業大学 正員 松 岡 健 一

日大生産工学部 正員 能 町 純 雄

1. はじめに

著者等はこれまで鋼梁-柱接合部の $M-\theta_r$ 関係に関するデータベースの作成¹⁾やアングル接合の初期剛性や限界曲げ耐力の定式化²⁾およびそれらを基本にした $M-\theta_r$ 評価モデルの作成を試み、データベースを用いた平面骨組構造解析システムの開発を行った³⁾。本解析システムを用いることにより実際の $M-\theta_r$ 特性を用いた場合の構造物としての変形能や梁、柱の部材力の算定が可能となり、AISC-LRFD で規定されている B_1 、 B_2 法⁴⁾等の方法を用いることなく直接的に各部材の最大モーメントを求めることができるようになった。しかしながら、上記解析システムは接合部 $M-\theta_r$ 特性を与えたときの梁、柱あるいは構造全体の挙動について解析することを主な目的としており、与えられた接合部構成部材や梁の形状寸法から $M-\theta_r$ 特性を算定したり構造解析を行うルーチンは含まれていない。

本論文では、鋼骨組構造物の断面設計のための構造解析をより効率的に行うことを可能にするために、半剛結骨組構造の接合部構成部材の主形状寸法決定のためのノモグラフの作成を試みた。ここでは、アングル接合形式に限定して初期剛性 R_{ki} と限界曲げ耐力 M_u が与えられた場合のアングル材主形状寸法算定のためのノモグラフ作成を行った。

著者等は既にアングル接合に関して三要素パワーモデルを実構造解析に適用するために、接合部 $M-\theta_r$ 特性に関するデータベースを用いて各接合タイプに対する形状指数 n 決定のための略算式を示している。⁵⁾ 上記ノモグラフとこの略算式を用いることにより、仮定された梁、柱断面に対応した接合部のアングル材主寸法を決定することができ、かつより現実的な $M-\theta_r$ 特性の算出と設計のための構造解析を行うことができるものと考えられる。

2. アングル接合に関するアングル材の形状寸法算定

本論文では図-1～3に示される各アングル接合タイプについての検討を行った。接合部 $M-\theta_r$ 特性の基本パラメータである初期剛性 R_{ki} 、極限曲げ耐力 M_u を基にしてアングル材の主形状寸法に関するノモグラフ作成を試みることにした。ここでノモグラフ作成

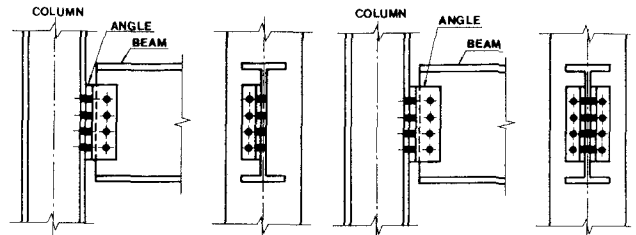


Fig. 1 Typical Web-Angle Connections: (a) Single Web-Angle Connection; (b) Double Web-Angle Connection

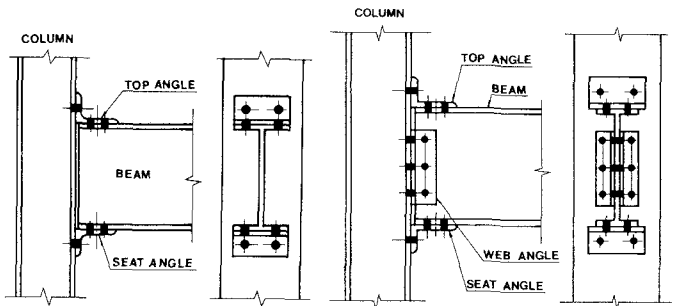


Fig. 2 Typical Top- and Seat-Angle Connection

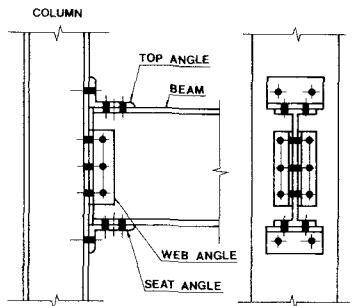


Fig. 3 Typical Top- and Seat-Angle Connection with Double-Web Angle

を容易にするために、上記アングル材の主形状変数の定義と無次元パラメータの導入を行う。

図-4に示すようなアングル材において、

t : アングル材板厚

k : アングル材かかと部から隅肉部上端までの距離

l : アングル材の長さ

g_c : 柱に接合されているアングル材において、かかと部から梁ウェブに近接する締結孔中心点までの距離

W : ナット幅

とする。ここでは top angle と seat angle は同一形状寸法であるものと仮定する。

さらに上記変数を用いて次のような無次元パラメータを導入する。

$$\beta = \frac{g_c}{l}, \quad \gamma = \frac{l}{t}, \quad \delta = \frac{d}{t}, \quad \kappa = \frac{k}{t}, \quad \omega = \frac{W}{t}, \quad \rho = \frac{t_w}{t_t}$$

ただし、 d は梁の高さである。top-angle 部、web-angle 部に関するパラメータはそれぞれ subscript t, w を付記することとする。また、アングル材板要素の単位幅あたりの断面係数および断面力等を次のように仮定する。

$$I_0 = \frac{t^3}{12}, \quad \text{断面2次モーメント}$$

$$M_0 = \frac{\sigma_y t^2}{4}, \quad \text{純塑性曲げモーメント}$$

$$V_0 = \frac{\sigma_y t}{2}, \quad \text{純塑性せん断力}$$

V : 曲げとせん断が連成している場合の塑性せん断力

$$\xi = \frac{V}{V_0}$$

とする。但し、 σ_y は鋼材の降伏点応力である。

各接合タイプに関するノモグラフ作成の基本である初期剛性 R_{ki} 、極限曲げ耐力 M_u の定式化は全て文献2)に従うものとし、ここでは結果のみを示すこととする。また、ノモグラフは与えられた初期剛性 R_{ki} 、極限曲げ耐力 M_u に対して、アングル材の基本断面寸法や物性値を仮定し、アングル材長 l や g_c を求めることあるいはその逆を基本として作成することとした。

2.1. Single-Web Angle 接合および Double-Web Angle 接合

double-web angle 接合は R_{ki} 、 M_u も single-web angle 接合の2倍の値を示すものと仮定されているのでここでは single-web angle 接合に限定して整理するものとする。

R_{kiw} 、 M_u は $\alpha = 4.2967$ として

$$\frac{R_{kiw}}{EI_{0w}} = \frac{12\alpha \cosh(\alpha\beta_w')}{7.8 \{ (\alpha\beta_w') \cosh(\alpha\beta_w') - \sinh(\alpha\beta_w') \}} \quad \dots(1)$$

$$\frac{M_{uw}}{M_{0w}t_w} = \frac{(2\xi_w + 1)}{3} \gamma_w^2 \quad \dots(2)$$

ただし、

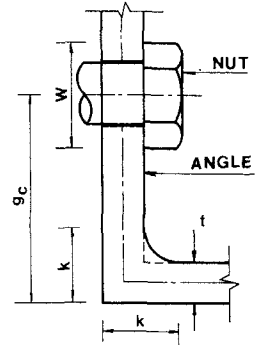


Fig. 4 Angle and Fastener's Nut

$$\beta_w' = \beta_w - \frac{1}{\gamma_w} \left(\kappa_w + \frac{\omega_w}{2} \right) \quad \dots(3)$$

また、Druckerの降伏基準とTrescaの降伏条件式を用いると、 ξ_w は、

$$\xi_w^4 + \left(\beta_w' \gamma_w + \frac{\omega_w}{2} \right) \xi_w - 1 = 0 \quad \dots(4)$$

である。

図-5には β_w' を横軸にとり(1)式を示しており、図-6には(2)式を β_w を横軸にとり、 $\kappa_w = 1.50, 2.00$ に対し γ_w を3.0から15.0まで変化させて示してある。

なお、header-plate 接合形式は double-web angle 接合形式と同様の挙動を示すことが明らかになっているので、本ノモグラフを header-plate 接合形式に対しても適用可能であるものと考えられる。

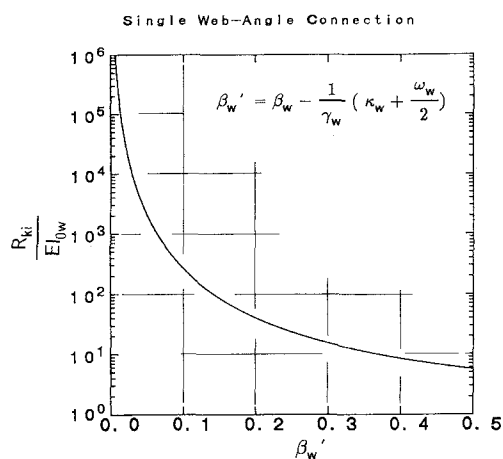


Fig. 5

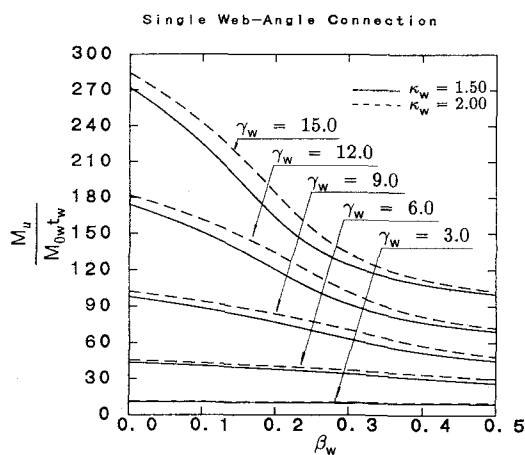


Fig. 6

2.2. Top- and Seat-Angle 接合

R_{ki} は次式のように示される。すなわち、

$$D = \frac{3}{\beta_t (\gamma_t^2 \beta_t'^2 + 0.78)} = \frac{R_{kit}}{EI_{ot}} \frac{1}{(1 + \delta_t)^2} \quad \dots(5)$$

ただし、

$$\beta_t' = \beta_t - \frac{1}{2\gamma_t} (1 + \omega_t) \quad \dots(6)$$

また、 M_u は、

$$\frac{M_{ut}}{M_{0t} t_t} = \gamma_t \{ 1 + \xi_t (1 + \beta_t^* + 2(\kappa_t + \delta_t)) \} \quad \dots(7)$$

ここで、 ξ_t は式(4)と同様にして求めることができ、

$$\xi_t^4 + \beta_t^* \xi_t - 1 = 0 \quad \dots(8)$$

である。ただし、

$$\beta_t^* = \beta_t \gamma_t - \kappa_t \quad \dots(9)$$

図-7には(5)式の右辺について β_w' を横軸にとり γ_t を3.0から15.0まで変化させて示しており、図-8には(7)式について β_t^* を横軸にとって図-6と同様にして図化している。

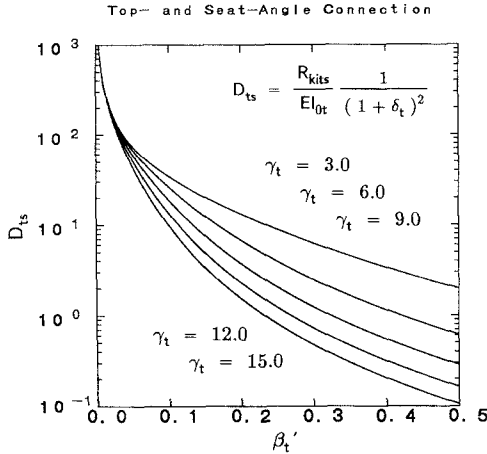


Fig. 7

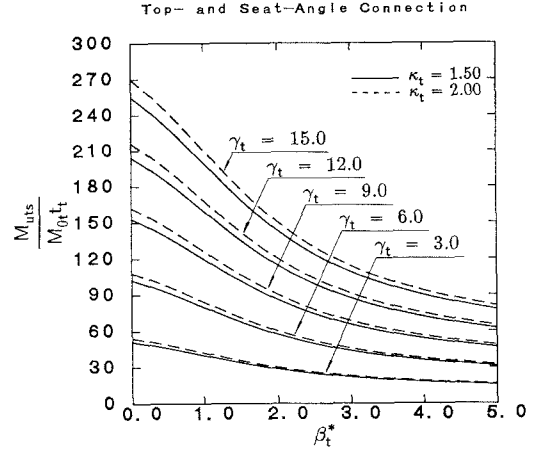


Fig. 8

2.3. Top- and Seat-Angle with Double Web-Angle 接合

本接合タイプの R_{ki} および M_u はいずれも top- and seat- angle 接合部分と double web-angle 接合部分に分離して整理するものとし、それぞれ subscript ts, w を用いることとする。 R_{ki} に関しては、

$$\frac{R_{ki}}{EI_{ot}} = \frac{R_{kits}}{EI_{ot}} + \frac{R_{kiw}}{EI_{ot}} \quad \dots(10)$$

上式において、右辺第一項は式(5)において subscript t を ts とおくことによって求めることが可能であるためここでは省略することとする。一方右辺第二項は

$$D_w = \frac{3}{2\beta_w' (\gamma_w^2 \beta_w'^2 + 0.78)} = \frac{R_{ki}}{EI_{ot}} \frac{1}{(1 + \delta_t)^2 \rho} \quad \dots(11)$$

ただし、 β_w' は β_t' に準ずるものとする。

また、 M_u に関しては次式のように示すことができ、

$$\frac{M_u}{M_{ot} t_t} = \frac{M_{uts}}{M_{ot} t_t} + \frac{M_{uw}}{M_{ot} t_t} \quad \dots(12)$$

右辺第一項目は R_{kits} と同様に式(8)において subscript t を ts と変えることによって求めることができる。第二項目に関しては、

$$\frac{M_{uw}}{M_{ot} t_t} = \gamma_w (1 + \xi_w) \left\{ \frac{7\xi_w + 5}{3(\xi_w + 1)} \gamma_w + \delta_w + \frac{1}{\rho} \right\} \rho^3 \quad \dots(13)$$

ただし、 ξ_w は式(9)と同一の式より求めるものとする。

図-9, 10には初期剛性 R_{ki} に関するノモグラフを top- and seat-angle 部と web angle 部に分け、それぞれ β_t', β_w' を横軸に取って γ を 3.0 から 15.0 まで変化させて示している。また、図-11, 12には曲げ耐力 M_u に関するノモグラフを R_{ki} と同様に top- and seat-angle 部に分けて示している。ここでは、いずれも全て top angle 部の単位の曲げ剛性、曲げモーメント、板厚を基準にし、 $\rho = 1$ に限定して示している。

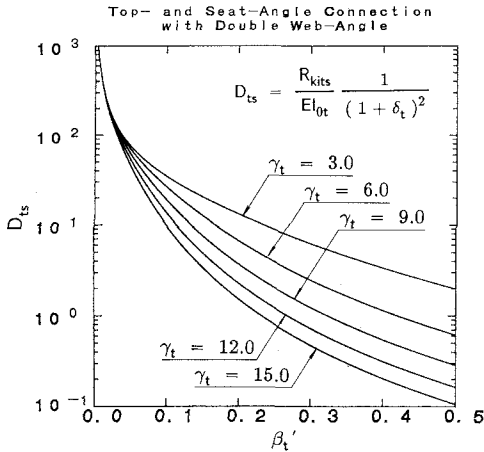


Fig. 9

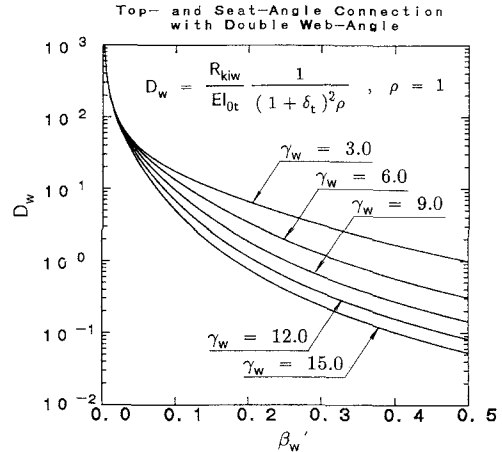


Fig. 10

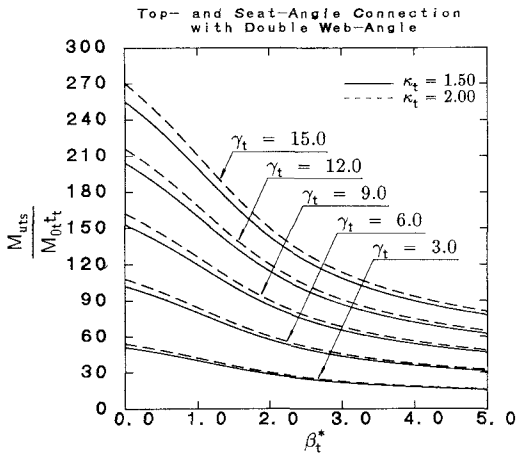


Fig. 11

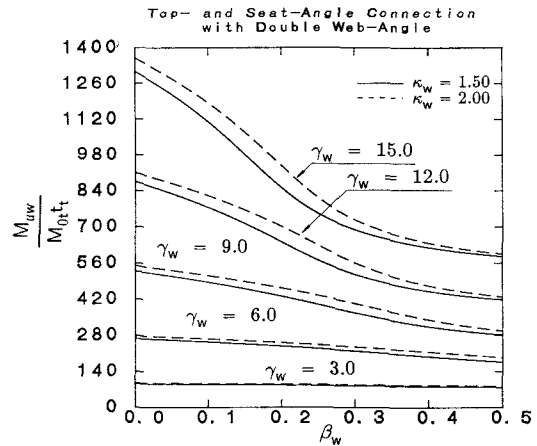


Fig. 12

3. 接合部の非線形 $M-\theta_r$ 特性の決定

2.においてアングル接合形式における接合部アングル材の主寸法と初期剛性 R_{ki} 、限界曲げ耐力 M_u に関するノモグラフを作成することが出来た。本ノモグラフを利用することにより R_{ki} あるいは M_u が与えられた場合のアングル材主寸法、アングル材や梁の断面寸法が与えられた場合の R_{ki} 、 M_u を容易に求めることが可能になった。

一方、骨組構造解析プログラムに接合部 $M-\theta_r$ 分布を組み込むためにはその非線形な特性も決定しなければならない。ここではその評価モデルとして無次元化された三要素パワーモデルの利用を提案する。この評価式は次式のよ

うに示される。⁵⁾ すなわち、 $m = M / M_u$ ， $\theta = \theta_r / \theta_0$ ， $\theta_0 = M_u / R_{ki}$ として、

$$m = \frac{\theta}{(1 + \theta^n)^{1/n}} \quad \dots(14)$$

上式において R_{ki} ， M_u は2.で決定された値を用いることが可能であり、形状指数 n に関しては文献 5) に示されている算定式を用いることによって決定することが出来る。その算定式を一覧にして示すと表-1 のようである。

以上より、(14)式の各パラメータは全て決定することが出来、実験データに基づいたより信頼性の高い接合部 $M-\theta_r$ 特性を用いた構造解析が可能になるものと考えられる。

Table-1 Prediction equation of the shape parameter n

接合タイプ	形状指数 n	No. of data
single web-angle 接合	$-0.520 \log_{10}(R_{ki}/M_u) + 2.291$	16
double web-angle 接合	$-1.332 \log_{10}(R_{ki}/M_u) + 3.952$	14
top- and seat-angle 接合 (double web-angle 付設)	$-3.716 \log_{10}(R_{ki}/M_u) + 10.39$	22
top- and seat-angle 接合	$-2.003 \log_{10}(R_{ki}/M_u) + 6.070$	15
header-plate 接合	$-0.512 \log_{10}(R_{ki}/M_u) + 2.264$	15
上記全接合タイプ	$-1.053 \log_{10}(R_{ki}/M_u) + 3.684$	82

4. まとめ

半剛結接合を有する骨組構造において、実挙動により近い接合部 $M-\theta_r$ 特性を用いた構造解析を行うことを目的として、接合部剛性特性の主パラメータと考えられる初期剛性 R_{ki} ，限界曲げ耐力 M_u とアングル接合の主形状寸法に関するノモグラフの作成を試みた。

ここで作成されたノモグラフと $M-\theta_r$ の非線形特性を決定するための形状指数算定式を用いることにより三要素パワーモデルを設計レベルの構造解析に適用することが可能になるものと考えられる。

参考文献

- 1) Chen, W.F. and Kishi, N. (1989). "Semirigid steel beam-to-column connections: Data base and modeling." J. Struct. Div., ASCE, 115(ST1), 105-119.
岸徳光, Chen, W.F., 松岡健一, 能町純雄 (1989). "鋼梁-柱接合部の曲げ剛性評価実験に関するデータベース作成とその応用." 構造工学論文集, 土木学会, 35A(3月), 75-82.
- 2) 岸徳光, Chen, W.F., 松岡健一, 能町純雄 (1989). "アングル材を用いた鋼梁-柱接合部の初期剛性と極限曲げ耐力の定式化." 構造工学論文集, 土木学会, 35A(3月), 97-105.
Kishi, N. and Chen, W.F. (1990). "Moment-Rotation Relations of Semirigid Connections with Angles." J. Struct. Div., ASCE, 116(ST7), 1813-1834.
- 3) 岸徳光, 後藤芳顕, 松岡健一 (1990). "半剛結接合に関するデータベースを用いた平面骨組構造解析システムの開発." 構造工学論文集, 土木学会, 36A(3月), 1065-1072.
- 4) Load and resistance factor design manual of steel construction. (1986). American Institute of Steel Construction, Chicago, Ill.
- 5) 岸徳光, 後藤芳顕, 松岡健一, 小泉正樹 (1991). "三要素パワーモデルの形状指数算定式とその評価" 土木学会北海道支部論文報告集, 第47号(2月) 掲載予定