

## I-26 三要素パワーモデルを用いた鋼梁-柱接合部 M- $\theta$ r評価式の決定

|         |     |       |
|---------|-----|-------|
| 室 蘭 工 大 | 正 員 | 岸 徳光  |
| 室 蘭 工 大 | 正 員 | 松岡 健一 |
| 日大生産工学部 | 正 員 | 能町 純雄 |
| 室 蘭 工 大 | 学生員 | 米田 均  |

### 1. まえがき

最近、米国で発行されたAISC-LRFD示方書では鋼梁-柱の接合タイプとして次の2つを設定している。FR(fully restrained)接合構造とPR(partially restrained)接合構造である。前者はいわゆる剛接合構造あるいはラーメン構造と呼ばれるものであり、後者は半剛性接合構造と呼ばれるものである。後者の半剛性接合構造は接合部の端モーメントによって非線形な相対回転角が発生すると仮定するものであるため、このような接合構造を有する骨組構造物の設計あるいは解析を行なう場合は、その非線形なM- $\theta$ r特性を考慮した変形、耐荷力等の検討を行なわなければならない。

非線形な半剛性接合を有する骨組構造物の解析に関しては、後藤-Chen<sup>1)</sup>の研究成果に代表されるように実務的な評価計算の段階まで研究が行なわれてきているようである。一方これら構造解析に必要な接合部の半剛性特性に関する研究は1930年代から継続的に実験あるいは理論的に行なわれ、線形モデル、バイリニアモデル、ピースワイズモデルや、三次のBスプラインモデル<sup>2)</sup>、指数型モデル<sup>3)</sup>など曲線近似式を求めるためのモデル、Sommer<sup>4)</sup>やFrye-Morris<sup>5)</sup>の多項式モデルのように接合部パラメータを用いて定式化を行なっているものなどもあるが、それぞれに一長一短があり未だ合理的な評価式が示されていない。そのため、現在実験データに基づいた信頼度の高い評価式の確立あるいは直接実験データを実務に応用可能にするために、データベース作成の必要性が叫ばれている。このような背景のもとに著者等も数年来実験データの収集整理を行ないデータベースの作成とこれを効率的に運用するための支援応用プログラムを作成し、さらに実験データを内挿するための曲線近似式を提案している。<sup>6)</sup>また、これらの研究と平行して接合部の設計を行なうことを目的として構造物の安定性に大きく影響を与えと考えられる接合部の初期剛性と限界曲げ耐力に関する定式化を、特に半剛性の程度が大きいと思われる接合タイプについて試みRichard-Abbott<sup>7)</sup>が応力歪関係に用いた三要素パワーモデルの利用を提案している。

しかしながら、著者等が提案した曲線近似のための修正exponentialモデルは、M- $\theta$ r曲線に関しては実験データを最もよく回帰するモデルであるものと確信しているが、接線剛性算定時に高次の周期関数の特性が強調されるため特に接線剛性を用いる非線形解析には不向きであることが明らかとなり、また三要素パワーモデルに関しても合理的な形状指数の決定法に関する検討が欠落していた。

本論文では、非線形構造解析において用いられる接線剛性及び割線剛性のいずれに関しても繰り返し計算なしに算定可能である三要素パワーモデルをより完全なものにするために、データベース支援応用プログラムを改良し二、三検討を行なった。すなわち、これまでの支援応用プログラムにおいては三要素パワーモデルの初期剛性と限界曲げ耐力算定の機能のみが組み込まれていたが、形状指数に関しては人為的な試行錯誤方法において求めようと作成されていた。ここでは、実験より求められたM- $\theta$ rあるいは、実験データをもとに差分法を用いて求められた接線剛性- $\theta$ r曲線との最小二乗近似によって最適な形状指数を決定し、接線剛性- $\theta$ r曲線やM- $\theta$ r曲線に関する実験結果と各評価モデルによる比較検討が容易に可能な機能を組み込んでいる。

### 2. 三要素パワーモデルを用いたM- $\theta$ r特性のモデル化

本論文では、Richard-Abbottが応力歪関係のモデルに用いた四要素パワーモデルを、三要素型に縮小して応用することを試みている。このモデルの最大の利点は、各要素を力学的に定数を決定することが可能であ

れば設計への対応が容易であると考えられることや、モーメントM、相対回転角 $\theta_r$ や任意点の接合部接線剛性を繰り返し計算を用いずに直接的に算出可能で計算時間の短縮を図ることができることなどである。以下にそのモデルの概要を示す。いま、接合部の初期剛性 $R_{ki}$ と極限曲げ耐力 $M_u$ 、および形状指数 $n$ を用いると $M-\theta_r$ 関係は次のように表すことができる。すなわち、

$$M = \frac{R_{ki} \cdot \theta_r}{\{1 + (\theta_r/\theta_0)^n\}^{1/n}} \quad \dots(1)$$

であり、上式より $\theta_r$ および $dM/d\theta_r$ は次のような形に示すことができる。

$$\theta_r = \frac{M}{R_{ki} \{1 - (M/M_u)^n\}^{1/n}} \quad \dots(2)$$

$$R_k = \frac{dM}{d\theta_r} = \frac{R_{ki}}{\{1 + (\theta_r/\theta_0)^n\}^{(n+1)/n}} \quad \dots(3)$$

ただし、 $\theta_0 = M_u/R_{ki}$ である。

図-1には一般的な三要素パワーモデルの概形図を示している。

End plateを除いた各接合タイプを初期剛性、極限曲げ耐力の定式化に関しては文献 8~10に詳細に論じているのでここでは省略することとする。一方、形状指数 $n$ の決定を力学的モデルを用いて行なうことは困難であるものと考えられるため、ここでは実験の $M-\theta_r$ あるいは接線剛性 $-\theta_r$ に関する最小二乗法によって決定することとした。このようにして決定された三要素パワーモデルの妥当性や他評価モデルとの比較に関しては後述するSCDB II (Steel Connection Data Bank II) プログラムを用いて機能的に行なうことができる。

### 3. データベース支援応用プログラム (SCDB II)

#### 3.1 プログラム機能の概要

著者等はこれまで303の世界の鋼梁-柱接合部曲げ剛性評価に関する実験データを蓄積し、さらにこれらのデータベースをユーザーの利用目的に容易に対応できるように7つの主な機能を持つプログラムSCDB (Steel Connection Data Bank)を作成している。ここでは、2.において示したように三要素パワーモデルの形状指数 $n$ 決定のためのルーチンを検討することを機会に $M-\theta_r$ 曲線のみならず、接線剛性 $-\theta_r$ 曲線に関する実験結果と諸評価モデルによる解析結果の比較検討をも可能なようにSCDBプログラムを修正強化した。図-2に概略的なデータベース応用プログラムの流れ図を示している。

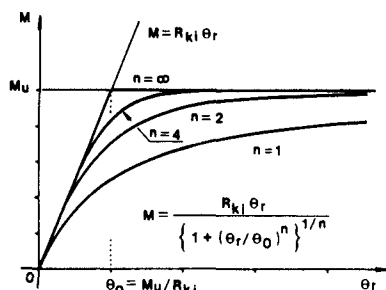


図-1. 三要素パワーモデルの概形図

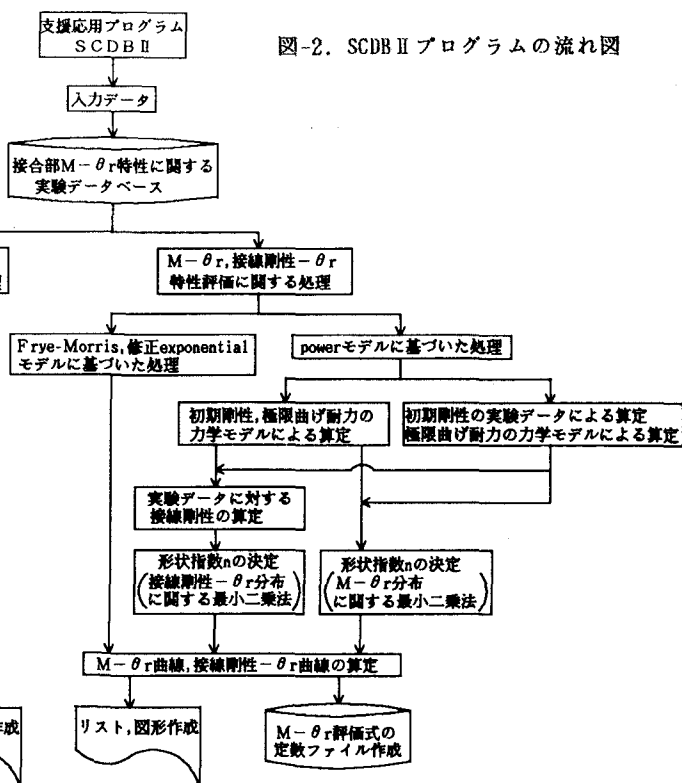


図-2. SCDB II プログラムの流れ図

### 3.2 SCDBⅡプログラムの実行例

これまで三要素パワーモデルに関しては形状指数 $n$ を試行錯誤的に決定していたが、プログラムの改良によってより合理的な形で決定することができるようになった。ここにプログラムの実行例を示す。

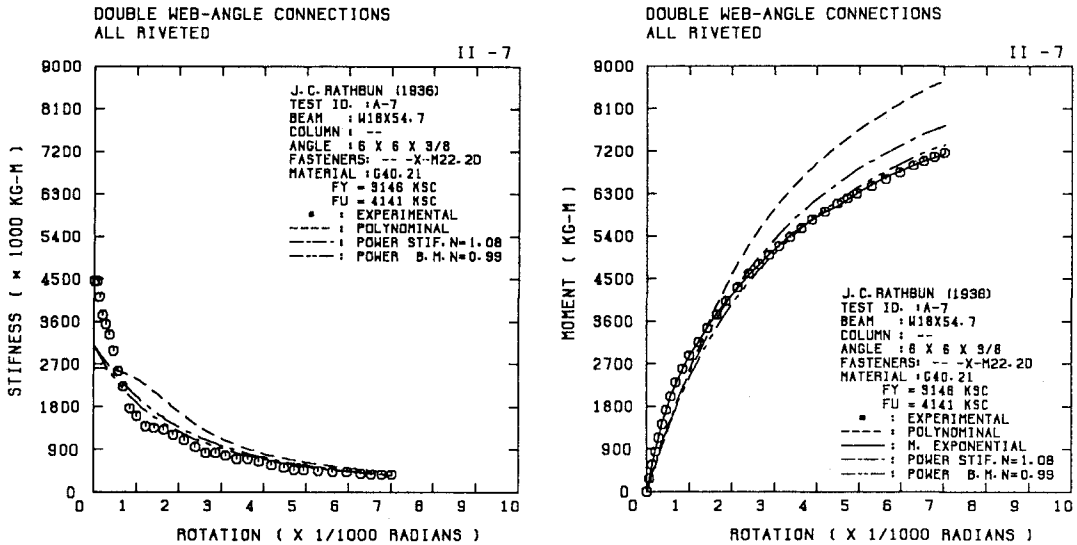


図-3.  $R_{ki}$ を力学モデルから決定した場合の各分布の比較図

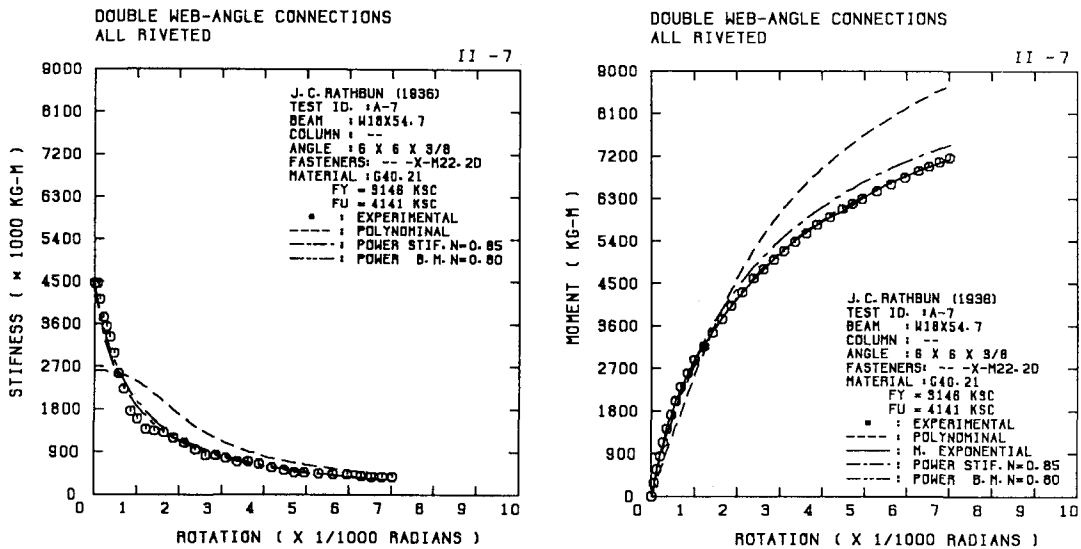


図-4.  $R_{ki}$ を実験データから決定した場合の各分布の比較図

図-3には初期剛性 $R_{ki}$ 、限界曲げ耐力 $M_u$ を力学モデルより決定した場合、図-4には初期剛性 $R_{ki}$ は実験結果を限界曲げ耐力 $M_u$ は力学モデルを用いて決定した場合について示している。いずれも、接線剛性 $\theta_r$ と $M-\theta_r$ の両方について最小二乗法を適用した場合について示している。図中、STIF.は接線剛性 $\theta_r$ 分布にまたB.M.は $M-\theta_r$ 分布について最小二乗法を適用した場合である。また、接線剛性に関する比較図には修正exponentialモデルによる結果を示していない。それはまえがきでも示しているように、接線剛性は高周波項が強調され適用不可能な場合が発生するためである。

両図より接線剛性- $\theta$  r分布を用いて最小二乗法をするよりも、 $M$ - $\theta$  r分布を用いて最小二乗法を施した結果の方が接線剛性- $\theta$  r、 $M$ - $\theta$  r分布とも実験結果をより回帰しているようである。初期剛性  $R_{ki}$ の決定に関しては実験結果に基づいて決定する場合の方が、力学モデルを用いて決定する場合よりも良い結果を与えている。Frye-Morris の多項式モデルは両図いずれの場合も三要素パワーモデルを用いた結果よりも実験結果に対する精度が落ちているようである。ここでは、1 実験データに対する結果のみ示しているが他の実験データに関してもほぼ同様の傾向があることを確認している。

#### 4. まとめ

鋼梁-柱接合部 $M$ - $\theta$  r曲線評価に関して三要素パワーモデルの形状指数 $n$ を実験データの $M$ - $\theta$  r分布あるいは接線剛性- $\theta$  r分布に対して最小二乗法を用いることにより、より合理的な形で決定することができた。そして、このルーチンをSCDBプログラムに組み込みSCDB IIプログラムとして機能強化を図ることができた。

今後は、全実験データに関する初期剛性  $R_{ki}$ と形状指数 $n$ 、あるいは限界曲げ耐力 $M_u$ に関する相関関係について検討を行ない非線形構造解析も併用して設計に供するような三要素決定のためのノモグラフを作成する予定である。

#### 参考文献

1. Goto, Y. and Chen, W.F.: Second-Order Elastic Analysis for Frame Design, J. Struct. Div., ASCE, Vol.113, No.7, July 1987, pp.1501-1519.
2. Jones, S.W., Kirby, P.A., and Nethercot, D.A.: Columns with Semi-Rigid Joints, J. Struct. Div., ASCE, Vol.108, No.2, February 1982, pp.361-372.
3. Lui, E.M. and Chen, W.F.: Analysis and Behavior of Flexibly Jointed Frames, Engineering Structures, Butterworth, U.K., Vol.8, No.2, April 1986, pp.107-118.
4. Sommer, W.H.: Behavior of Welded-header-plate Connections, Thesis Presented to University of Tronto in Partial Fulfillment of the Requirments for the Degree of Master of Applied Science, Tronto, Canada, 1969.
5. Frye, M.J. and Morris, G.A: Analysis of Flexibly Connected Steel Frames, Can. J. Civ. Eng., Vol.2, No.3, September 1975, pp.280-291.
6. Kisi, N. and Chen, W.F.: Data Base of Steel Beam-to-Column Connections, CE-STR-86-26, School of Civil Engineering, Purdue University, West Lafayette, IN. 1986.
7. Richard, R.M. and Abbott, B.J.: Versatile Elastic-Plastic Stress-Strain Formula, J. Eng. Mech. Div., ASCE, Vol.101, No.EM4, New York, 1975, pp.511-515.
8. Kishi, N., and Chen, W.F. (1987). "Moment-rotation relation of top-and seat-angle connections." CE-STR-87-4, School of Civ. Engrg., Purdue Univ., W.Lafayette, Ind.
9. Kishi, N., et al. (1987). "Moment-rotation relation of top-and seat-angle with double web-angle connections." CE-STR-87-16, School of Civ. Engrg., Purdue Univ., W.Lafayette, Ind.
10. Kishi, N., et al. (1987). "Moment-rotation relation of single/double web-angle connections." CE-STR-87-18, School of Civ. Engrg., Purdue Univ., W.Lafayette, Ind.