

I-2 半剛結接合平面骨組構造物の変形性状について

室蘭工業大学 正員 岸 徳光
 名古屋工業大学 正員 後藤 芳顕
 室蘭工業大学 正員 松岡 健一
 室蘭工業大学 学生員 小泉 正樹

1. はじめに

鋼骨組構造物の設計計算は、これまで梁と柱の接合部をラーメン構造のような完全剛結接合あるいはトラス構造のようなピン接合とし理想化して行われてきた。しかしながら、直接梁を柱に十分補剛して溶接接合する場合を除いて実際の接合部は剛結接合とピン接合の中間的で、しかも非線形な剛性特性を有することが実験結果より明らかになっている。一般的に single/double web-angle接合、header plate接合は比較的剛性が小さく、end-plate系の接合形式は剛性も大きく剛結接合に近い接合形式と言われ、top- and seat-angle系の接合は上記の中間的性状を示す接合形式であると言われている。

耐力限界や使用性限界の状態を基本として構造物の設計を行う限界状態設計法を適用する場合は、これら接合部の剛性特性を考慮した、より厳密な解析手法を用いて変形性能や断面力の算定、あるいは有効座屈長の算定が必要不可欠なものとなっている。このため限界状態設計法に移行している欧米各国では接合部剛性評価に関する研究や、非線形な接合部剛性特性を考慮した骨組構造解析法に関する研究が行われている。前者に関しては、過去に行われた実験データの整理、データベース作成、構造解析プログラムに組み込むための接合部剛性評価モデルの作成等が行われている。また後者に関しては、接合部の剛性特性のみを考慮した解析手法や部材の材料非線形性まで考慮した解析手法等種々発表されているが、いずれも所定の精度を得るためには多大の数値計算を必要とするようである。

先に、後藤とChen^{1),2)}は幾何学的非線形のみを考慮し比較の変形が小さい場合に対して十分な精度を有する梁-柱の式を定式化し、さらに非線形な半剛結接合特性を組み合わせた非線形構造解析のアルゴリズムを示している。このアルゴリズムの確立によって最小の要素分割が可能となり、また非線形解析の処理の効率化が計られているため半剛結接合を有する平面鋼骨組構造の解析は、実務設計計算に利用可能な EWS(エンジニアリングワークステーション)程度の小型計算機を用いたリアルタイム処理が可能になった。

本論文では、これらのプログラムをより完成されたものにするため半剛結接合に関するデータベースを利用して求められる $M-\theta_r$ 特性評価式の算定ルーチンと、解析結果の評価や比較検討を容易にするための図化ルーチンを有機的に結合させ平面骨組構造解析システム³⁾を作成し、接合部の半剛結特性の構造物の変形性状や部材断面力への影響、各種履歴特性等について検討を行ったので報告する。

2. 平面骨組構造解析システムの概要

本システムは図-1に示すような三つのルーチンから成り立っている。以下にその概略を説明すると、

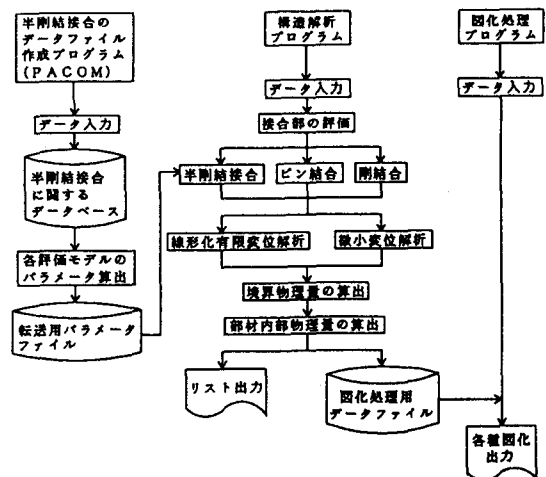


図-1 解析システムの流れ図

Behavior of Plane frame with Semi-Rigid Connections
 by Norimitsu KISHI, Yoshiaki GOTO, Ken-ichi MATSUOKA and Masaki KOIZUMI

- 1) 前処理プログラムとしての半剛結接合部の剛性評価のためのパラメーターから成るデータファイルの作成プログラム。
- 2) 主プログラムとしての剛結接合、非線形な半剛結接合、ピン接合を有する平面骨組構造の非線形構造解析のためのプログラム。
- 3) 後処理プログラムとして、主プログラムで求められた断面力、変形等の図化処理プログラムである。ここでは、各載荷ステップごとの断面力分布図、変形状態図、初期状態から最終載荷状態までの変形あるいは断面力の履歴曲線図の処理が可能であり、また入力パラメーターの違いによる解析結果を比較することができるようにするため、3 ケースまでを同時に図化可能にしている。

3. 数値解析

上述の半剛結接合平面骨組構造解析システムを用いて数値解析を試み、接合部剛性の程度や解析仮定の差が変形状態に及ぼす影響について検討を行った。解析は図-2に示すような二層一径間骨組構造物について行った。図中、螺旋で示されている部分が半剛結されている接合部を示す。載荷荷重は、図-3に示すように死荷重として $g=27.68 \text{ kg/cm}$ を仮定し、活荷重は増幅繰り返し荷重として壁部に作用する風荷重 w_1 、 w_2 を想定した。ただし、 w_1 は節点3、 w_2 は節点5にそれぞれ作用している。

解析は次の3 ケースについて比較検討を行った。

3.1 接合部剛性による影響

ここでは、接合部剛性程度の異なる3 ケースについて比較検討を行っている。

すなわち、

- 1) 接合部を全て剛結接合にする場合
- 2) 比較的剛性の大きい extended end-plate 接合を用いる場合(データベース内ファイリング番号5-5)

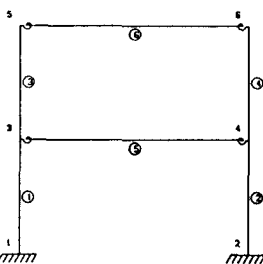
- 3) 一般的な半剛結接合タイプとしての top- and seat-angle 接合を用いる場合(データベース内ファイリング番号3-17) 以上である。

なお、ここでは $M-\theta_p$ 評価式として実験データを忠実に再現可能である修正exponentialモデル⁴⁾を用いて解析を行っている。図-4はここで用いられている半剛結接合の $M-\theta_p$ 特性を示している。図-5には載荷ステップ14における変形状態、断面力図を示している。荷重強度が比較的大きい状態であるため、剛結接合に近い5-5の接合を用いる場合でも剛結接合の約2倍程度の変形が生じている。また、3-17の接合を用いる場合は約2.5倍程度の変形を示しているようである。

一方、断面力において特にモーメントに関しては節点4において、半剛結接合を仮定する場合が剛結接合に対し約1/2程度の値になっている。これ以外、それほど大きな差異は示していないようである。

2 STORY - 1 BAY FRAME

SCALE - 1 : 60.92
LENGTH.....CM



***** ELEMENT PROPERTY *****					
YOUNG'S MODULUS..... 0.2100E+7					
EL.NO.	NODE.NO.				
1	1	3	365.76	62.64	7075.90
2	2	4	365.76	62.64	7075.90
3	3	5	365.76	62.64	7075.90
4	4	6	365.76	62.64	7075.90
5	5	6	731.52	63.87	35088.00
6	6	6	731.52	58.83	15809.00

図-2 二層一径間骨組と部材断面諸量

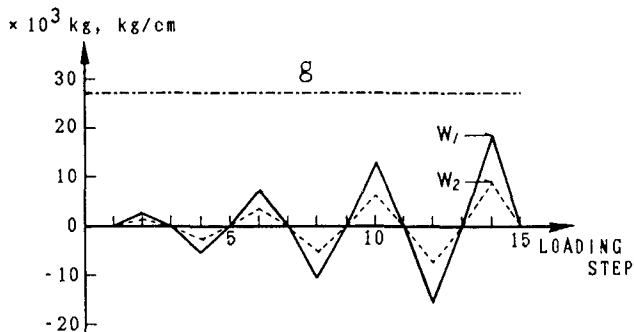
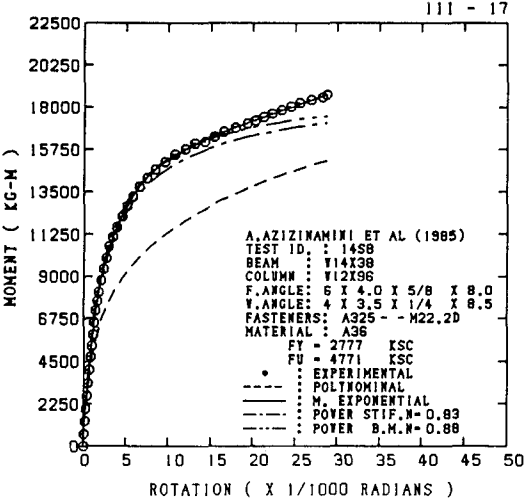


図-3 載荷荷重ステップ図

TOP-AND SEAT-ANGLE CONNECTIONS WITH DOUBLE WEB ANGLE
ALL BOLTED



EXTENDED END-PLATE CONNECTIONS
ALL BOLTED WITHOUT COLUMN STIFFENER

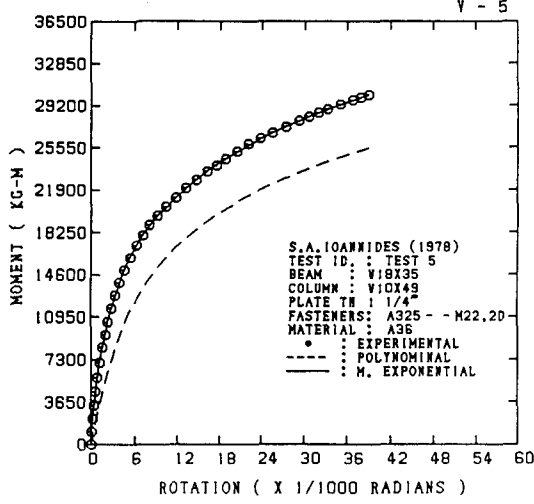
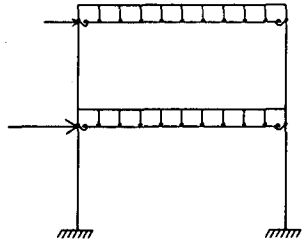


図-4 解析に用いられたM- θ_r 曲線

2 STORY - 1 BAY FRAME

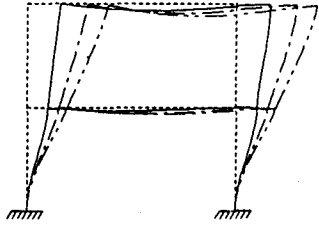
SCALE = 1 : 121.83
LENGTH.....CM
WEIGHT.....K8
SEQUENCE - RATIO
14 1.000

18289.200 27.680

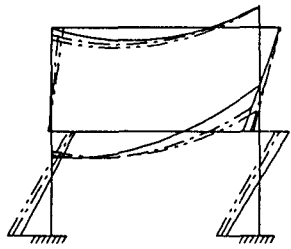


RIGID
5-5 M.EXP
3-17 M.EXP

DISPLACEMENT 8.000



M-DIAGRAM 3000000.0



Q-DIAGRAM 19000.0

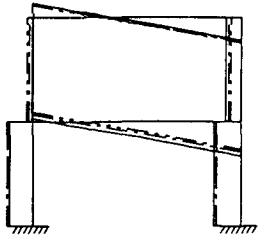


図-5 載荷ステップ14における骨組の変形および断面力の比較図

3.2 除荷経路仮定による影響

図-6には5-5の接合を用いた場合の部材5の節点3における $M-\theta_r$ に関する履歴曲線において接合部 $M-\theta_r$ 特性における除荷経路処理の違いによる影響について検討を行った。

すなわち、

- 1) モーメント零までは初期剛性で除荷し、その後残留変形点より符号反対で載荷状態の経路をとるとする仮定の場合(ELA.-PLA.)
- 2) 除荷経路は載荷経路と同一とする場合(ELA.)である。

ここで想定した荷重レベルにおいて正方向に載荷している場合は、両者ともほぼ同様の $M-\theta_r$ 特性を示しているが、負方向に載荷する場合は、両者同様のモーメント値を示しているものの相対回転角 θ_r に関しては残留成分によって大きく異なった値となっている。

図-7には節点5における水平方向変位と節点3に作用する水平方向荷重に関する履歴曲線を示している。ELA.の場合がELA.-PLA.の場合より若干大きい変形量を示すようである。

図-8には載荷ステップ15における解析結果を示している。図よりELA.-PLA.の場合は右方向にスウェイしているが、ELA.を仮定する場合はスウェイが生じず、また曲げモーメントに関しては、部材5の節点4において符号が異なっていること等がわかる。

3.3 $M-\theta_r$ 評価式による影響

ここでは、 $M-\theta_r$ 評価式の応答特性への影響を検討するために実験データをより忠実に再現可能とされる修正exponentialモデル⁴⁾を用いる場合と初期剛性 R_{ki} 、極限曲げ耐力 M_u 、形状指数 n を用いる三要素powerモデル⁵⁾を用いた場合について検討を行った。ここで用いられるpowerモデルは R_{ki} 、 M_u を力学モデルから算出し、 n を実験データとの最小自乗法によって決定するものである。対象とする実験データは3-17の接合である。

図-9に部材5の節点3における $M-\theta_r$ 履歴を示している。荷重レベルの小さい領域では両者はほぼ同じ挙動を示しているが、載荷ステップ12～15では若干の差がでてくるようである。これは、算定された M_u が実験結果より若干小さいために評価されたものと考えられる。しかしながら、載荷ステップ14の応答解析結果(図-10)より、変位には多少の差があるものの断面力は両者ほとんど類似の値を示していることが分かる。

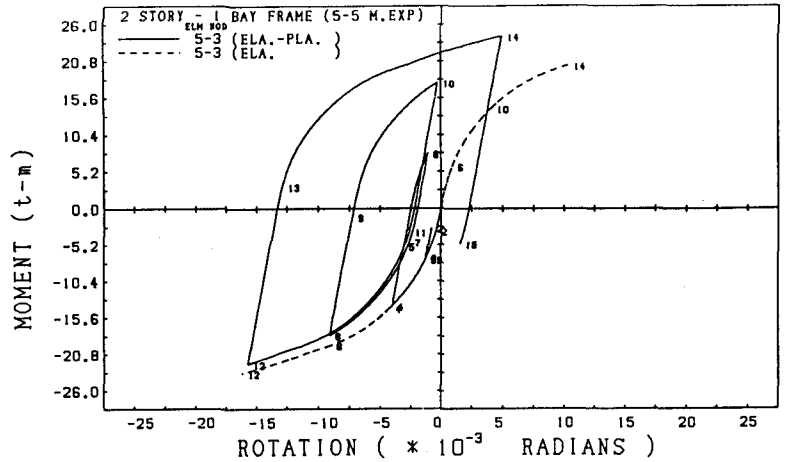


図-6 除荷経路仮定が違う場合における $M-\theta_r$ に関する履歴曲線の比較図

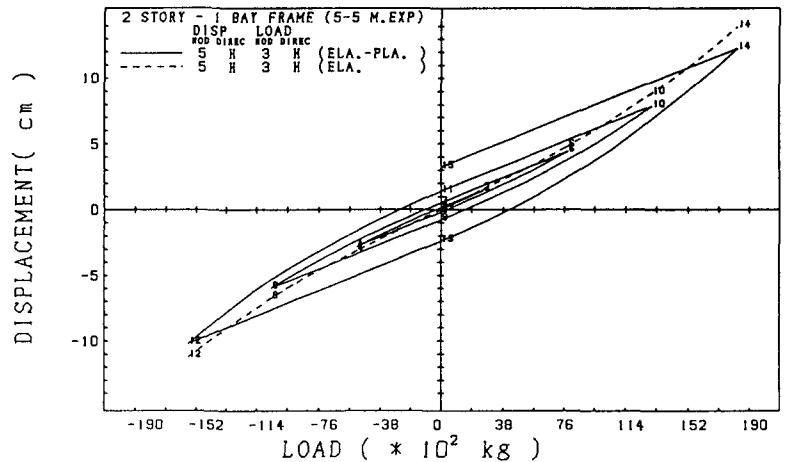


図-7 水平方向変位と水平方向荷重に関する履歴曲線の比較図

2 STORY - 1 BAY FRAME (5-5 M.EXP)

SCALE = 1 : 121.93
 LENGTH.....cm
 WEIGHT.....kg
 SEQUENCE - RATIO
 15 1.000

18289.200 27.680

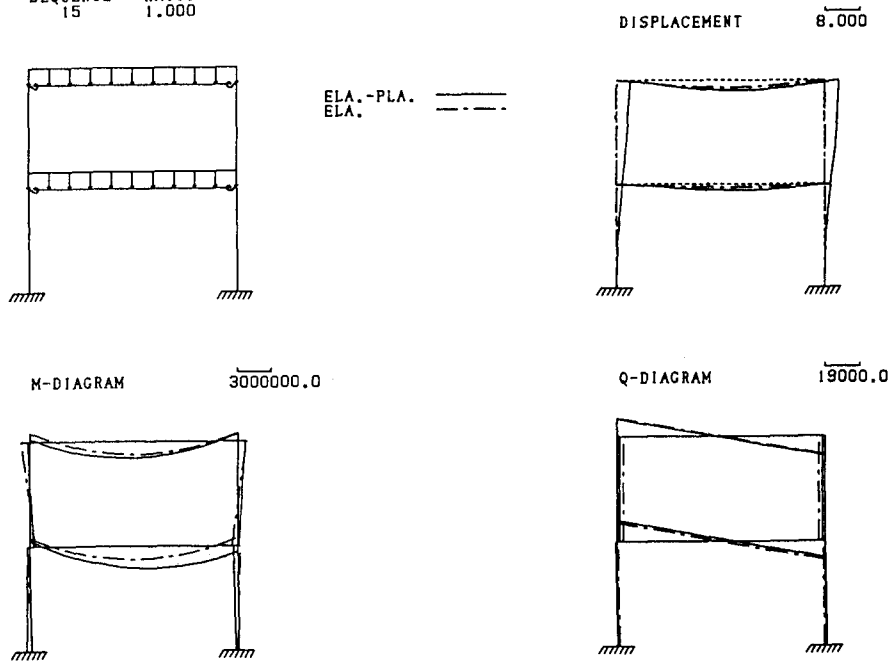


図-8 荷重ステップ15における骨組の変形および断面力の比較図

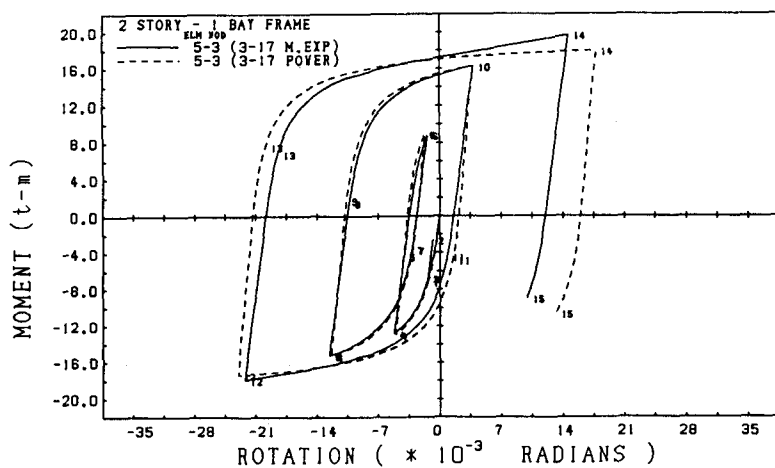


図-9 評価式が違う場合におけるM- θ_r に関する履歴曲線の比較図

2 STORY - 1 BAY FRAME

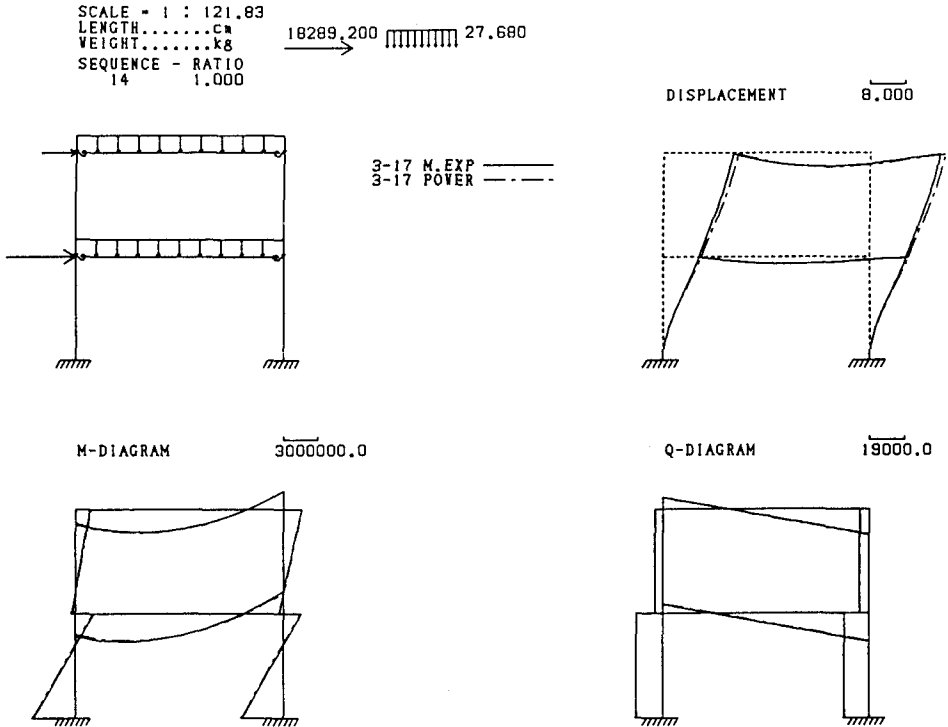


図-10 荷重ステップ14における骨組の変形および断面力の比較図

4. まとめ

接合部の半剛結特性や幾何学的非線形を考慮した平面鋼骨組構造物の解析を限界状態設計法等に則した実用設計計算に応用可能にするために、後藤-Chenによって定式化された梁-柱の式から求められる剛性方程式と非線形半剛結接合特性を組み合わせた解析アルゴリズムに、接合部 $M-\theta_r$ 特性評価の算定ルーチンや後処理としての図化ルーチンを有機的に結合した解析システムを作成した。

今回、二層一径間の骨組構造物を取り上げ、剛性の程度、除荷経路仮定、 $M-\theta_r$ 特性評価モデルの構造物の変形性状や各種履歴特性への影響について検討を行った。以上より EWS程度的小型コンピュータを用いて、実状に即した平面骨組の解析計算が十分可能になったものと考えられる。

参考文献

1. Goto, Y. and Chen, W.F. (1987). "Second-order elastic analysis for frame design." J. Struct. Div., ASCE, 113(ST7), 1501-1519.
2. Goto, Y. and Chen, W.F. (1988). "On the computer-based design analysis for the flexibly jointed frames." J. Construction Steel Research, 8, Elsevier, 203-231.
3. 岸徳光, 後藤芳顯, 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) (掲載予定)
4. Kishi, N. and Chen, W.F. (1986). "Steel connection data bank program." CE-STR-86-18, School of Civ. Engrg., Purdue Univ., W. Lafayette, IN.
5. たとえば, 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.