

I-102

半剛結鋼骨組の動的挙動特性に関する一検討

室蘭工業大学 ○正 員 小室 雅人

室蘭工業大学 正 員 岸 徳光

室蘭工業大学 フェロー 松岡 健一

1. はじめに

一般に鋼骨組の梁-柱の接合部は剛結接合もしくはピン接合と仮定して設計が行われている。しかしながら、実際の接合部は、溶接接合を除いて両者の中間的かつ非線形な剛性特性を有することが明らかになっている。そのため、実状に即した鋼骨組の限界状態設計法を確立するため、諸外国では接合部の非線形な剛性特性やその特性を考慮した構造解析法等に関する実験的・解析的研究が盛んに行われている。

このような背景より、著者等は半剛結接合を用いた鋼骨組に関する種々の検討を行ってきた。また、非線形な剛性特性を有する半剛結鋼骨組に関する解析的な研究も行ってきた^{1),2)}。その結果、著者等はこれらの研究成果を有機的に組み合わせることにより、限界状態設計法に基づいた半剛結鋼骨組の静荷重に対する断面設計システムを構築している³⁾。

一方、地震多発国である我が国においては、静荷重時の他、地震等の動荷重に対する構造物の挙動特性の把握は非常に重要なものと考えられる。本研究では、半剛結鋼骨組の耐震設計手法確立のための基礎資料を得ることを目的として、非線形な剛性特性を有する半剛結接合部を簡易的に線形モデル化した場合の動的解析を試み、その挙動特性に関する検討を行った。具体的には、一層一径間骨組を用いた周波数応答解析および地震波入力による動的解析を行い、バネ剛性の違いによる骨組全体の挙動特性に関する検討を行った。なお、本解析では構造解析汎用プログラムである ABAQUS⁴⁾を使用している。

2. 数値解析仮定

2.1. 骨組のモデル化

図-1 に本解析で対象とした一層一径間骨組を示す。図中に節点番号、部材番号、使用形鋼を付記している。使用形鋼に関しては、AISC-LRFD の設計基準⁵⁾に準拠している。なお、骨組の奥行き中心間隔は 762 cm である。載荷荷重は Lindsey の論文⁶⁾を参考に死荷重として $W = 14.88 \text{ kgf/cm}$ を設定している。

解析精度を確保するために柱材を 8 分割、梁材を 16 分割し、梁材に作用する死荷重 W に関しては、図-2 に示すように等価な集中質量として梁材節点に付加することとした。また、梁および柱材は全て弾性体とし、その物性値を弾性係数 $E = 2.1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ とした。なお、接合部に導入する線形バネモデルに関しては、ABAQUS に予め組み込まれているものを使用した。数値解析は幾何学的非線形を考慮し、減衰定数として 10 % を設定した。また、全ての動的解析には自重が考慮されている。

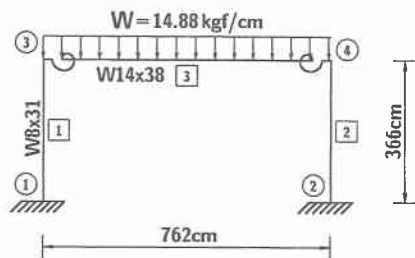


図-1 解析に用いた骨組



図-2 集中質量の定義

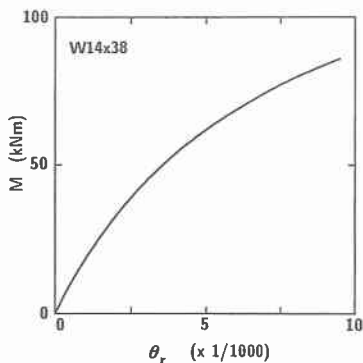


図-3 $M - \theta_r$ 曲線

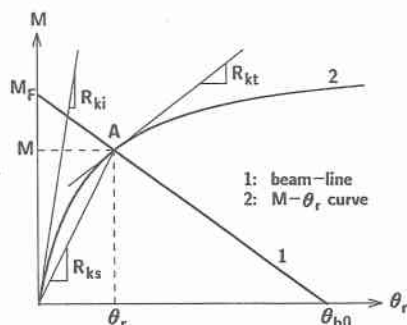


図-4 線形バネへのモデル化

2.2. 接合部剛性評価

接合部剛性評価モデルは、著者らによって提案されている三要素パワーモデル²⁾を用いることとした。このモデルは3つのパラメータから構成されており、本数値解析では、それぞれのパラメータを以下のように設定した。すなわち、形状指数 $n=1$ 、限界曲げ耐力 $M_u=0.6 M_p$ (M_p : 梁材の塑性曲げモーメント) とし、初期剛性 R_{ki} は梁の曲げ剛性 EI_b と部材長 L_b を用いて無次元化し、 $\rho^*(=EI_b/R_{ki}L_b) = 0.2$ と設定した。

本研究では図-3に示す非線形な $M - \theta_r$ 曲線を線形バネにモデル化している。図-4に線形バネモデル化の概念を示す。すなわち、線形バネとして、接合部初期剛性 R_{ki} を用いた場合(ケース1)、beam-line 法により得られる割線剛性 R_{ks} (ケース2)および接線剛性 R_{kt} (ケース3)を用いた場合の3種類である。図より、各接合部剛性の大小関係はケース1>ケース2>ケース3となる。なお、本研究では比較対象として接合部を剛結接合とした場合についても解析を行っている。

3. 解析結果および考察

本研究では、より詳細な挙動特性に関する検討を行うため、

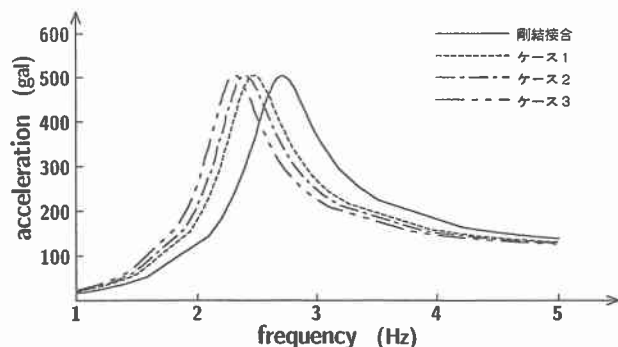
- 1) 定常調和加振解析による加速度共振曲線の推定
 - 2) 実際の地震波入力による動的応答解析
- の2種類について解析を行った。以下、それぞれについて考察する。

3.1. 定常加振解析

表-1に各解析ケースにおける固有振動数とモード次数を一覧にして示している。表より、最低時固有振動数に着目すると、剛結接合の場合が最も大きく、接合部剛性が小さくなるにしたがい固有振動数も小さくなっている。しかしながら、第4次モード以降にはいずれのケースにおいてもほぼ同様な値を示して

表-1 固有振動数一覧

モード	固有振動数 (Hz)			
	剛結接合	ケース 1	ケース 2	ケース 3
1	2.68	2.44	2.37	2.29
2	5.04	4.78	4.69	4.60
3	15.91	16.67	15.59	15.49
4	31.75	31.68	31.62	31.55
5	50.72	50.82	50.80	50.78
6	63.14	63.13	63.12	63.11
7	71.12	71.31	71.31	71.31
8	91.76	91.88	91.04	88.96
9	101.12	93.03	91.90	89.84
10	102.19	93.98	91.96	91.89



図－5 加速度応答スペクトル（入力加速度 100 gal）

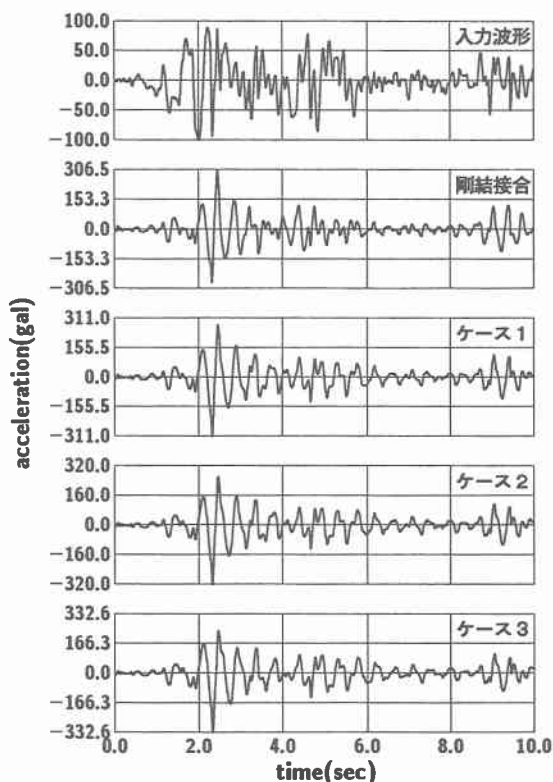
いる。また、図－5に入力加速度を 100 gal とした場合の最低次モードに関する加速度応答スペクトルを示す。図より、接合部剛性が小さいほど、共振周波数も小さくなる傾向があることがわかる。

3.2. 動的応答解析

前項では定常加振状態に関する検討を行ったが、ここでは、地震動等の不規則波が骨組に作用した場合の挙動特性について検討を行う。入力地震波としてエルセントロ NS 成分波形および阪神大震災で観測された神戸大学 EW 成分波形の2つを用いた。両波形とも 100 gal に正規化し解析を行っている。解析は加速度波形を物体力として骨組要素および集中質量に作用させることにより行った。なお、全解析時間は主要動を含む 10 秒とした。

図－6にエルセントロ NS 成分波形における入力加速度波形と各解析ケースにおける応答加速度波形を示す。各波形の着目点は節点3である。図より、接合部の剛性が小さいほど、最大加速度が大きくなっていることがわかる。しかしながら、最大応答値以外にはそれほど顕著な差異はみられないようである。

表－2には、二つの入力加速度波形に対する各解析ケースの絶対最大応答値を示している。表より、加速度応答倍率はエルセントロ NS 成分波形で約 3 倍強であるのに対し、神戸大学 EW 成分波形では約 1.6 倍であり、地震波の卓越振動数に大きく影響を受けるものと考えられる。また、いずれの波形においても各解



図－6 応答加速度波形（節点3）

表－2 絶対最大応答値一覧

	エルセントロ NS 成分波形			神戸大学 EW 成分波形		
	最大応答変位 (cm)	最大応答速度 (cm/s)	最大応答加速度 (gal)	最大応答変位 (cm)	最大応答速度 (cm/s)	最大応答加速度 (gal)
剛結接合	0.9	15.7	306.5	0.7	10.3	190.4
ケース 1	1.1	16.7	311.0	0.7	9.8	166.8
ケース 2	1.1	16.9	321.4	0.8	9.6	167.2
ケース 3	1.2	16.9	332.6	0.8	9.4	154.3

表－3 絶対最大反力一覧

	エルセントロ NS 成分波形			神戸大学 EW 成分波形		
	水平力 (kgf)	鉛直力 (kgf)	曲げモーメント (kgf-cm)	水平力 (kgf)	鉛直力 (kgf)	曲げモーメント (kgf-cm)
剛結接合	1,519	4,512	302,640	1,519	4,521	250,770
ケース 1	1,559	4,410	334,790	1,249	4,404	218,660
ケース 2	1,557	4,355	344,470	1,162	4,361	228,110
ケース 3	1,580	4,277	360,570	1,058	4,283	227,740

析ケースにそれほど顕著な差はみられないことがわかる。

表－3 には、各解析ケースの絶対最大反力の一覧を示している。この場合も表－2 の場合と同様、地震波の卓越振動周期による影響を大きく受けているものの、接合部剛性が小さくなると曲げモーメントが大きくなり、逆に鉛直力が減少する傾向がみられる。

4. まとめ

本研究では、半剛結鋼骨組の耐震設計手法確立のための基礎資料を得ることを目的として、梁－柱接合部に線形パネを導入した骨組を用いて定常調和加振および動的応答解析を行い、接合部剛性の違いによる影響について検討を行った。

本数値解析より得られた結果を整理すると、

- 1) 定常加振解析より、接合部剛性が小さいほど最低時固有振動数も小さくなる。
- 2) 地震波形を用いた動的応答解析より、接合部剛性が小さいほど、加速度応答倍率は大きくなる。しかしながら、変位、速度等に関しては接合部剛性の影響は小さいようである。

参考文献

- 1) 岸 徳光，後藤芳顕，松岡健一：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，Vol.36A，1065-1072，1990.
- 2) Chen, W.F. and Kishi, N. : Semi-rigid steel beam-to-column connections: Data base and modeling, Journal of Struct. Engrg., ASCE, 115(ST1), 105-119, 1989.
- 3) 岸 徳光，後藤芳顕，小室雅人：半剛結鋼骨組構造の断面設計システムの開発，土木学会北海道支部論文報告集，Vol. 52A，56-61，1996.
- 4) ABAQUS/Standard, User's Manual, Version 5.7, HKS, Inc., 1997.
- 5) AISC : Load and Resistance Factor Design Specification for Structural Buildings 2nd Edition, 1993.
- 6) S.D. Linsey : Design of frames with PR connections, Journal of Construction Steel Research, Special Issue on Joint Flexibility in Steel Frames (W.F. Chen Ed.), 8, 251-260, 1987.