

半剛結鋼骨組の動的応答特性におよぼす接合部 M- θ_r 曲線の影響

室蘭工業大学 正 員 小室 雅人 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 フェロー 松岡 健一

1. はじめに

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、接合部の非線形な剛性特性を有する半剛結鋼骨組の動的応答解析を試み、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定常加振解析、自由振動解析を行い、鋼骨組の動的応答特性におよぼす接合部 M- θ_r 特性の影響について検討を行った。なお、本解析では構造解析用汎用プログラムである LS-DYNA¹⁾を使用している。また、接合部履歴挙動特性が骨組全体の応答特性に与える影響について着目していることより、自重の影響は無視している。

2. 数値解析仮定

図 - 1 に本解析で対象とした一層一径間骨組を示す。梁および柱材は全て弾性体とし、その物性値は弾性係数 $E = 206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu = 0.3$ としている。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 に相当する質量は、梁材節点に等価な節点質量として付加することとした。

柱 - 梁接合部は、曲げモーメントに関する非線形な回転バネのみが存在するとし、構成則のモデル化を行っている。また、履歴挙動特性に関しては、単純で比較的履歴挙動特性を表現していると考えられている Independent Hardening Model²⁾を用いることとした。図 - 2 にその挙動特性の概略を示す。なお、接合部の非線形な M- θ_r 特性評価モデルとして、三要素パワーモデルを採用した。図 - 3 に本解析で仮定した M- θ_r 曲線を示す。これらの M- θ_r 曲線は、LS-DYNA にあらかじめ組み込まれている離散要素を用いて定義した。

3. 解析結果および考察

3.1 定常加振解析

表 - 1 に各 ρ^* における初期剛性 R_{ki} を線形剛性として用いた場合に得られる最低次固有振動数を示している。表より、最低次固有振動数は剛結接合の場合が最も大きく、接合部剛性が小さく (ρ^* が大きく) なるにしたがい固有振動数も小さくなっている。本解析では、接合部に非線形な剛性特性を設定していることより、入力加速度の大きさによって、固有振動数や応答スペクトル値などが変化する。ここでは、入力加速度 α_i を 50, 100, 200gal と変化させた場合の定常加振解析を行い、骨組の応答特性について検討を行っている。なお、減衰定数 h は、表 - 1 に示す各 ρ^* の最低次固有振動数に対して質量比例型減衰を採用し、 $h = 5\%$ と設定している。

図 - 4 に入力加速度と加速度応答倍率の関係を示す。図の縦軸は加速度応答倍率 α/α_i で、また横軸は加振周波数 f_i を剛結接合の固有振動数 f_{rigid} で無次元化している。図より、入力加速度振幅が小さい $\alpha_i = 50, 100\text{gal}$ の場合には、接合部剛性が小さい (ρ^* が大きい) ほど、加速度応答倍率は小さくなる傾向がみられる。これは、質量比例型減衰の係数が一定であることより、接合部剛性が小さいほど履歴減衰が大きいことを暗示している。しかしながら、 $\alpha_i = 100\text{gal}$ の場合では、 $\rho^* = 0.5$ および 2.0 における加速度応答倍率は、ほぼ同程度の値となって

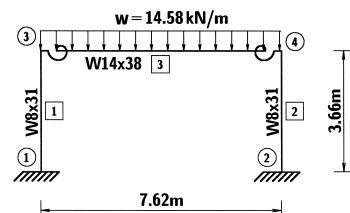


図 - 1 解析対象骨組

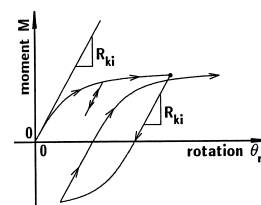


図 - 2 接合部履歴挙動

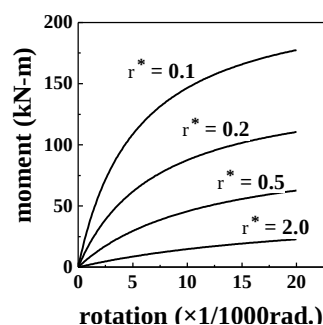


図 - 3 M- θ_r 曲線

表 - 1 固有振動数一覧 (線形剛性を仮定)

ρ^*	固有振動数 (Hz)
剛結接合	2.693
0.1	2.562
0.2	2.459
0.5	2.249
2.0	1.877

キーワード：半剛結鋼骨組、接合部剛性、定常加振解析、自由振動解析、動的応答特性

連絡先：〒050-8585 室蘭市水元町 27-1 室蘭工業大学建設システム工学科 TEL 0143-46-5228, FAX 0143-46-5227

いる．また，
入力加速度振
幅が大きい α_i
= 200gal の場
合には， ρ^* =
0.5 の場合で
最も小さな応
答値を示して

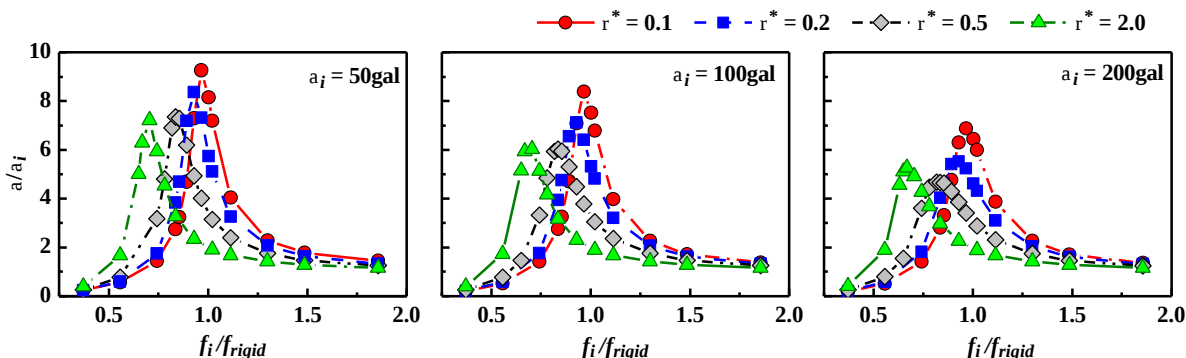


図 - 4 入力加速度と加速度応答倍率の関係

いる．なお，

接合部に各 ρ^* の初期剛性を線形剛性として用
いる場合の加速度応答倍率は，解析条件によ
らず 10 程度であることが明らかになってい
る．これより，接合部が非線形剛性特性を有
する場合には，加速度応答倍率が低減するこ
とがわかる．

3.2 自由振動解析

接合部の非線形剛性特性と接合部の履歴挙

動に伴う減衰作用との関係について検討を行うため自由振動解析を行った．加振周波数 f_i は前項の定常加振解析の結果を参考に最大応答値を示した周波数と設定した．なお，接合部の履歴挙動に伴う減衰効果に着目していることより，質量に比例する減衰定数 h は $h = 0$ とした．各入力加速度における接合部の履歴挙動に伴う減衰効果を定量的に把握するために，1)応答変位波形を粘性減衰振動にモデル化した場合の換算減衰定数 h ，および

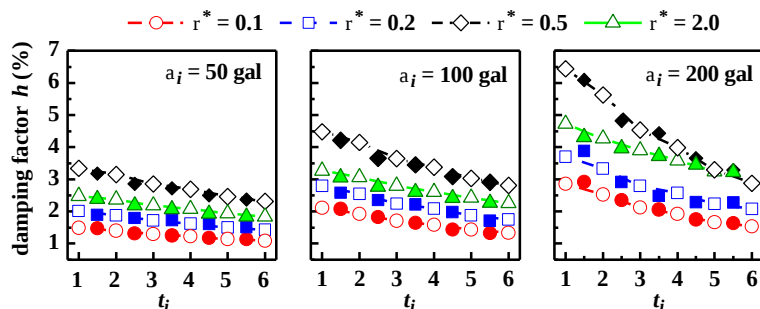


図 - 5 入力加速度と減衰定数の関係（自由振動状態）

2)応答加速度 - 応答変位履歴曲線を利用した等価減衰定数 h_e を算定することとした．図 - 5 に各入力加速度における自由振動状態の換算粘性減衰定数 h と等価減衰定数 h_e を示す．図の横軸には振動周期で除した無次元時間 t_i を取って整理している．また，図中の白抜き記号は換算粘性減衰定数 h を，黒塗り記号は等価減衰定数 h_e を意味している．図より，換算粘性減衰定数 h と等価減衰定数 h_e はほぼ等しいことがわかる．また，減衰定数は， ρ^* にかかわらず時間の進行とともに線形的に減少する傾向がみられる．なお，減衰定数は入力加速度にかかわらず $\rho^* = 0.5$ の場合が最も大きく， $\rho^* = 0.1$ が小さい．しかしながら，減衰効果の小さな $\rho^* = 0.1$ の場合でも，入力加速度 $\alpha_i = 50\text{gal}$ で $h = 1\%$ 程度， $\alpha_i = 200\text{gal}$ では $h = 1.5 \sim 3\%$ 程度の減衰作用が期待できる．また，入力加速度が大きいほど減衰定数 h は大きくなり， $\alpha_i = 200\text{gal}$ で $\rho^* = 0.5$ の場合において最大6%強となっている．この減衰効果は，図 - 6 の応答加速度波形からも確認できるように非常に大きいことがわかる．

4. まとめ

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，接合部に非線形な剛性特性を導入することにより，線形剛性特性を用いた場合に比べて応答加速度を低減できること，また，その低減効果は接合部剛性が小さいほど大きくなる傾向があること，
- 2) 自由振動解析より，接合部に非線形な剛性特性を導入することにより，接合部の履歴挙動による減衰効果が期待できること，などが明らかになった．

参考文献：1)LS-DYNA Users Manual (Ver.940), Livermore Software Technology Corporation, 1997., 2)W.F. Chen, Y. Goto and J.Y.R. Liew: Stability Design of Semi-Rigid Frames, pp.38-44, John Wiley & Sons, Inc., 1996.

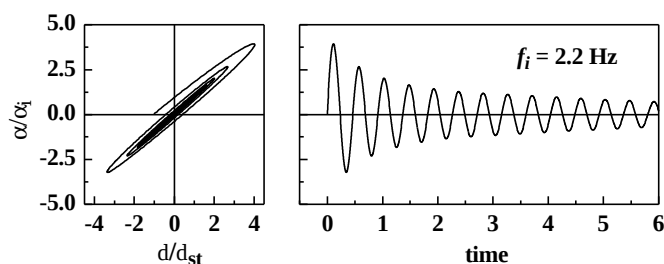


図 - 6 応答加速度 - 応答変位履歴曲線および
応答加速度波形の一例 ($\alpha_i = 200\text{gal}$ ， $\rho^* = 0.5$)