

正弦波加振を受ける半剛結門型骨組の動的応答解析

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 正 員 矢吹 信喜 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、正弦波加振を受ける半剛結門型鋼骨組の動的応答解析を行った。ここでは、接合部の履歴挙動に伴う減衰効果や応答特性におよぼす入力加速度振幅および加振振動数の影響について検討を行っている。なお、本解析では構造解析用汎用プログラム LS-DYNA¹⁾を使用している。

2. 数値解析仮定

図1に解析の対象とした門型骨組を示している。図中に荷重荷重および使用形鋼を示している。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 は、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（弾性係数 $E=206\text{GPa}$ 、ポアソン比 $\nu=0.3$ ）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ものとして構成則のモデル化を行っている。接合部の非線形な $M-q_r$ 特性評価モデルとして三要素パワーモデルを採用し、同モデルを構成する初期剛性 R_{ki} および形状指数 n を一定と仮定し、限界曲げ耐力 M_u を変化させている。初期剛性 R_{ki} は EC3²⁾ に規定されている接合部分類法を参考に、 $R_{ki}=8EI/L_b$ (EI : 梁材の曲げ剛性、 L_b : 部材長)、形状指数 n は $n=1$ と設定した。一方、限界曲げ耐力 M_u に関しては、梁材の塑性曲げモーメント M_p を基準として、 $M_u=0.25, 0.50, 0.75, 1.00M_p$ の4種類に変化させている。図2に接合部 $M-q_r$ 曲線を示している。なお、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できる Independent Hardening Model³⁾を用いることとした。

本研究では、接合部の履歴挙動に伴う減衰特性に関する詳細な検討を行うため、システムダンピングとしての減衰定数 h を $h=0$ と設定し、入力加速度振幅 a_i および加振振動数 f_i を変化させている。動的応答解析は、正弦加速度波形を物体力として骨組に作用させ、各応答値が定常状態に至るまで計算を行っている。解析条件は、全ての接合部剛性に対して入力加速度振幅 a_i を $a_i=25 \sim 300\text{gal}$ 、加振振動数 f_i を $f_i=1.5 \sim 4.0\text{Hz}$ まで変化させている。ただし、 $M_u=0.50M_p$ の場合に関しては、巨大地震時の半剛結鋼骨組の応答特性を検討するため、入力加速度振幅 a_i の最大値を $a_i=1,000\text{gal}$ と設定した。なお、接合部を剛結接合あるいはピン接合と仮定した場合の固有振動数は、それぞれ $2.69, 1.55\text{Hz}$ である。また、接合部剛性として図2に示した $M-q_r$ 曲線の初期剛性を線形剛性として与えた場合の固有振動数 f_0 は $f_0=2.53\text{Hz}$ である。

3. 解析結果および考察

3.1 入力加速度振幅と減衰定数の関係

図3には、 $M_u=0.75M_p$ における変位応答スペクトルを示している。図は縦軸に無次元相対応答変位 d/d_{st} を、横軸に無次元加振振動数 f_i/f_0 を取って整理している。なお、 d_{st} は入力加速度振幅 a_i を震度法的に作用させた時の水平変位である。図より、 a_i の増大とともに接合部の履歴減衰効果も増大し、応答値が減少していることがわかる。また、最大応答値を示す加振振動数(以後、共振振動数)に着目すると、 a_i の増大とともに共振振動数は低下し、 $a_i=300\text{gal}$ 入力時では $f_i/f_0 \approx 0.90$ となっており、接合部に線形剛性を仮定した場合と比較して約10%程度低下している。この共振振動数の低下は、接合部の非線形な履歴挙動に伴う接合部剛性の低下によるもの

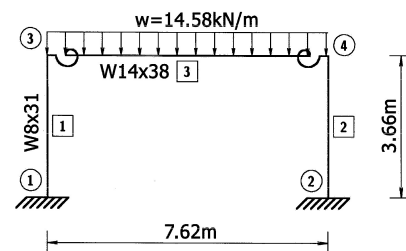


図1 解析に用いた門型骨組

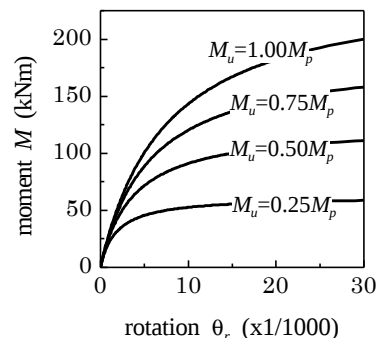


図2 接合部 $M-q_r$ 曲線

キーワード：半剛結接合、鋼骨組、履歴減衰、正弦波加振、応答スペクトル

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

と考えられる．

ここでは，接合部の履歴挙動に伴う減衰効果を定量的に評価するために，1)門型骨組を1質点系モデルに置換し，共振振動数における応答値 d/d_{st} から減衰定数 h_l を算出する方法と，2)図3に示した応答変位曲線にハーフパワー法を適用して減衰定数 h_h の算定を試みた．

図4には入力加速度振幅と減衰定数 h の関係を示している．図より，両者の減衰定数を比較すると，ハーフパワー法を用いる算定法は，1質点系モデルを用いる方法よりも大きな減衰定数を示すことがわかる．また，両者とも1)入力加速度振幅 a_i が増加するほど，2)接合部剛性が小さいほど，減衰定数は増加する傾向がみられる．しかしながら，接合部剛性の小さい $M_u=0.25M_p$ の場合には， $a_i=200\text{gal}$ と 300gal 入力時における減衰定数 h はほぼ一定となっている．

3.2 半剛結門型骨組の激震時挙動特性

ここでは，巨大地震時における半剛結鋼骨組の応答特性に関する検討を行うため， $M_u=0.50M_p$ に限定して，最大入力加速度振幅 a_i を $a_i=1,000\text{gal}$ まで増加させた場合の解析を行った．図5には， $M_u=0.50M_p$ における変位応答スペクトルを比較して示している．図より，入力加速度振幅 a_i が $a_i \leq 500\text{gal}$ 程度では， a_i の増大とともに無次元応答変位 d/d_{st} は減少する傾向が見られるものの， $a_i > 500\text{gal}$ の場合には，逆に増加傾向にあることがわかる．これは，接合部の履歴挙動に伴う減衰作用には限界があり，過大な入力加速度振幅 a_i を受ける場合には，その減衰効果が期待できないことを示唆している．一方，共振振動数は a_i の増大とともに減少し， $a_i=1,000\text{gal}$ 入力時の共振振動数は $f_i/f_0=0.64(1.625\text{Hz})$ となっている．また，この分布性状は完全弾塑性復元力モデルを有する1質点系モデルの共振曲線と良く類似している．図6には共振振動数における一周期の接合部 $M-q_r$ 履歴曲線を示している．図より，加速度振幅の小さな $a_i=25\text{gal}$ 入力時においても接合部 $M-q_r$ 履歴曲線は小さなループを描いており，履歴減衰効果の存在を確認できる．一方， $a_i=1,000\text{gal}$ における接合部 $M-q_r$ 曲線は，完全弾塑性モデルに近い分布となっており，接合部はピン接合に近い挙動を示すことがわかる．すなわち，ある程度以上の振幅を有する入力加速度が作用する場合には，接合部の変形が急激に増大し，図5に示した応答値 d/d_{st} が増大することとなる．

4. まとめ

- 1) 動的応答解析により，接合部の履歴減衰効果を定量的に把握した．この減衰効果は i) 入力加速度振幅が大きいほど，ii) 接合部剛性が小さいほど，大きくなる傾向にある．
- 2) しかしながら，この減衰効果には限界があり，限界値を超えるような過大な入力加速度を受ける場合には，その応答値は増大する傾向がある．また，このような特性は完全弾塑性復元力モデルを有する1質点系モデルの応答特性と類似している．

参考文献：1) LS-DYNA Users Manual (Ver.950), Livermore Software Technology Corporation, 1999., 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. 3) EC3: *Design of Steel Structures, Part 1.1*, European Committee for Standardization, CEN, Brussels, 1992.

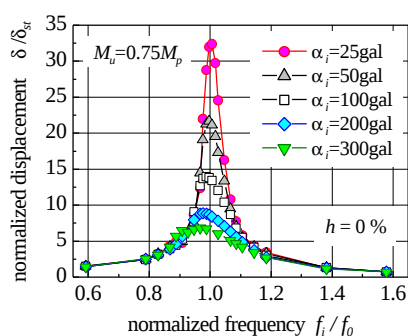
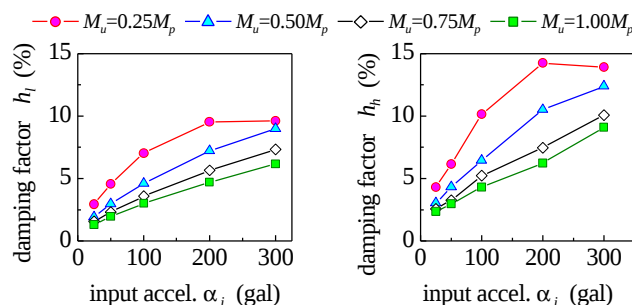


図3 変位応答スペクトル



(a) 1質点系モデル

(b) ハーフパワー法

図4 加速度振幅と減衰定数の関係($a_i \leq 300\text{gal}$)

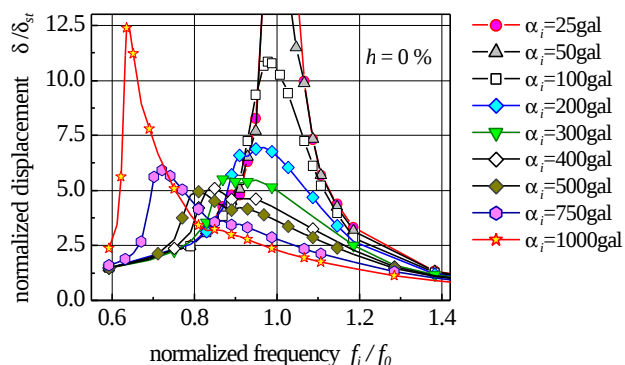


図5 変位応答スペクトル

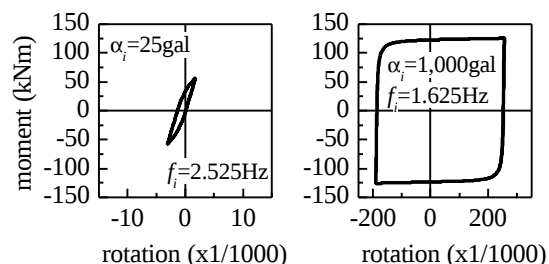


図6 $M-q_r$ 履歴曲線