

三層一径間半剛結鋼骨組の動的応答特性に関する一考察

室蘭工業大学 学生員 ○菅野 昌生 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

1. はじめに

本研究では半剛結鋼骨組の合理的な耐震設計法確立のための基礎資料を得ることを目的として、接合部に非線形な剛性特性を有する3層1径間骨組を対象に基部定常加振時の応答解析を試みた。ここでは、特に接合部の履歴減衰効果に及ぼす入力加速度振幅の影響について検討を行った。また、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、等価減衰定数の算定を行った。なお、本解析では動的構造解析用汎用プログラム LS-DYNA を用いている。

2. 数値解析仮定

図-1に本解析で対象とした3層1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_R 、 W_F 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。なお、構造安全性を考慮し、1層目の柱-梁接合部を剛結接合と仮定している。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仮定して、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 Model を用いることとした。図-2にその履歴挙動の概略を示す。また、図-3には本解析で用いた M - q_r 曲線を示している。なお、これらの接合部評価は、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

本研究では、半剛結鋼骨組の動的応答特性に及ぼす接合部履歴減衰効果の影響を詳細に検討するため、減衰定数を $h = 0, 2, 5\%$ と設定し、入力加速度振幅 a_i ($a_i = 100 \sim 400 \text{ gal}$) および加振振動数 f_i ($f_i = 0.1 \sim 5.0 \text{ Hz}$) を変化させている。定常加振解析は、所定の加速度振幅および加振振動数を有する加速度波形を骨組に物体力として作用させ、各応答値が定常状態に至るまで解析を行っている。表-1には、接合部に線形剛性として初期剛性 R_{ki} を仮定した場合の1次振動モードに対する固有振動数を示している。また、表中には剛結接合およびピン接合の場合についても示している。なお、減衰定数 h は表-1に示す固有振動数 (1.021 Hz) に対して質量比例型減衰を採用している。

図-4に $h = 0\%$ における変位応答スペクトルを示している。なお、図には1次振動モード近傍の拡大図も併せて示している。図は縦軸に無次元応答変位 d/d_{st} 、横軸に加振振動数 f_i を取って整理している。なお、応答変位 d 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 d_{st} で無次元化している。図より、入力加速度 a_i が増大するとともに変位応答倍率 d/d_{st} および共振振動数 f_n が低下することがわかる。入力加速度 $a_i = 100 \text{ gal}$ と 300 gal の応答値を比較す

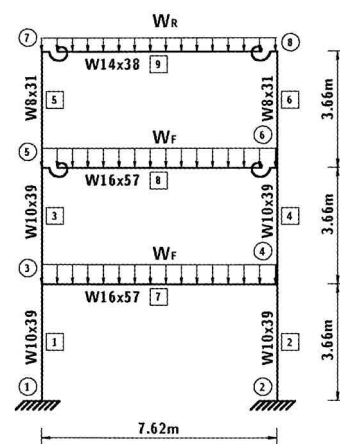


図-1 解析に用いた骨組

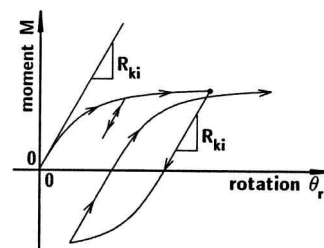


図-2 接合部履歴挙動

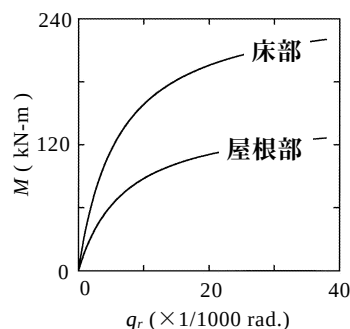


図-3 M - q_r 曲線

表-1 固有振動数一覧
(1次モード)

接合部	固有振動数 (Hz)
剛結	1.091
半剛結	1.021
ピン	0.552

キーワード：半剛結鋼骨組、接合部剛性、定常加振解析、動的応答特性、等価減衰定数

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

ると、変位応答倍率 d/d_{st} は 60 % 程度、共振振動数 f_n においても 0.13 Hz 程度低下していることがわかる。しかしながら、入力加速度 $a_i = 400$ gal の場合には変位応答倍率 d/d_{st} が入力加速度 $a_i = 200$ gal の場合よりも若干大きな値を示している。

図-5は、1次モード共振時における接合部 M - q_r 履歴曲線を各入力加速度振幅 a_i ごとに示したものである。着目節点は節点番号7である。図の縦軸は接合部曲げモーメント M 、横軸は相対回転角 q_r である。図より、入力加速度 a_i の増大に伴い、履歴ループで囲まれる面積は増加し減衰作用が大きくなることがわかる。しかしながら、入力加速度 $a_i = 400$ gal の場合には相対回転角 q_r が 0.1 rad. 以上となり、接合部接線剛性が 0 に近づくため、ピン接合に近い応答特性を示すことがわかる。これより、入力加速度 $a_i = 400$ gal の場合には接合部の変形が増大し、それに伴い上述の応答変位も増大するものと推察される。

図-6には、減衰定数を $h = 0, 2, 5$ % と変化させた場合について、入力加速度振幅 a_i と 1次モード共振時の変位応答倍率 d/d_{st} の関係を示している。図より、減衰定数 $h = 0$ % の場合には、入力加速度 $a_i = 400$ gal において変位応答倍率 d/d_{st} が増加しているのに対し、 $h = 2, 5$ % の場合には、このような現象は見られない。これは、質量比例型減衰を導入することにより、接合部の変形が抑制されるためと考えられる。また、全体的には入力加速度 a_i の増加とともに、変位応答倍率 d/d_{st} は緩やかに減少していることがわかる。

3.2. 等価減衰定数の算定

ここでは前述した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、以下の方法により等価減衰定数 h_l の算定を試みた。すなわち、1) 接合部線形剛性として初期剛性 R_{ki} を仮定し、等価減衰定数 h_l をパラメータとした定常加振解析を行う、2) 得られた共振振動数における応答倍率 d_l/d_{lst} と等価減衰定数 h_l の関係を整理する、3) 図-4に示す曲線から各入力加速度 a_i に対応する応答倍率 d/d_{st} と 2) より得られる応答倍率 d_l/d_{lst} が一致する等価減衰定数 h_l を算出する、である。図-7に減衰定数を $h = 0, 2, 5$ % と変化させた場合の入力加速度振幅 α_i と等価減衰定数 h_l の関係を示す。図より、減衰定数 $h = 0$ % の場合においても等価減衰定数 h_l は 7 % 以上の値を示し、履歴挙動に伴う減衰効果は非常に大きいことがわかる。また、入力加速度 a_i および減衰定数 h の増大とともに等価減衰定数 h_l も増加している。しかしながら、減衰定数を $h = 0, 2, 5$ % と増加させても、等価減衰定数 h_l は同程度の割合では増大しないことがわかる。このことは接合部が非線形な剛性特性を有する減衰定数 h と線形剛性を有する等価減衰定数 h_l の間には加算則が成立しないことを意味している。なお、通常応答解析に採用される $h = 2 \sim 5$ % の場合には、接合部剛性を初期剛性 R_{ki} とする線形バネに仮定し、 $h = 8$ % とすることにより、骨組の応答値を安全側で評価可能であることがわかる。

4. まとめ

1) 接合部の履歴挙動に伴う減衰効果は、入力加速度振幅に依存する。また、その効果は入力加速度振幅が大きいほど大きくなる傾向がある。2) 等価減衰定数の算定により、履歴挙動に伴う減衰効果は非常に大きいこと、などが明らかとなった。

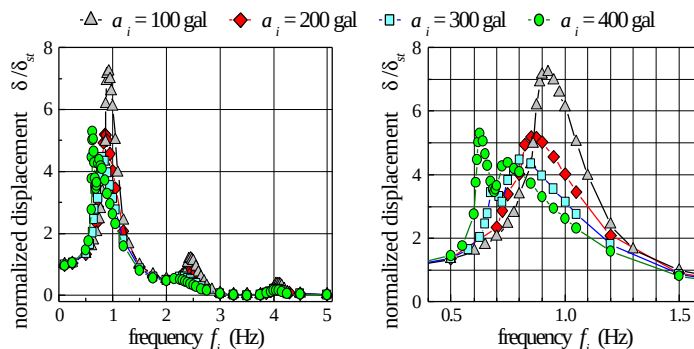


図-4 変位共振曲線 ($h = 0$ %)

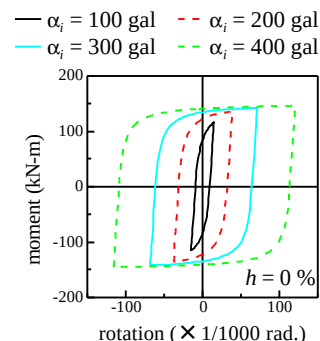


図-5 共振時における接合部 M - θ_r 履歴曲線

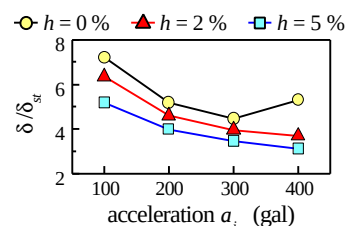


図-6 入力加速度振幅と変位応答倍率の関係

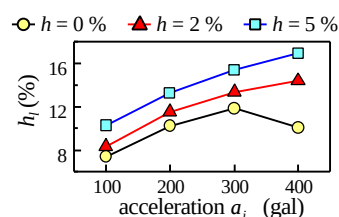


図-7 入力加速度振幅と等価減衰定数の関係