

# 接合部に非線形な剛性特性を有する三層一径間半剛結鋼骨組の地震応答解析

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 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径間骨組を対象に地震応答解析を行った。ここでは、卓越振動数の異なる4種類の実地震動を取り上げ、半剛結鋼骨組の断面力（基部曲げモーメント、層せん断力）および変形量に着目し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-DYNA を使用している。

## 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  $E_s = 206 \text{ GPa}$ 、ポアソン比  $\nu_s = 0.3$  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できる 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。

表-1には、本解析で用いた地震波およびその卓越振動数  $f_p$  を示している。解析は、100～300 gal に正規化した地震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。表-2には、接合部に線形剛性として初期剛性を仮定した場合の各振動モードにおける固有振動数を剛結接合の場合と比較して示している。なお、減衰定数  $h$  は表-2に示す最低次固有振動数 (0.99 Hz) に対して質量比例型減衰を採用し、 $h = 2\%$  と設定している。

## 3. 解析結果および考察

図-4には、応答値に顕著な差が見られたエルセントロ NS 成分波形および JR 鷹取駅 EW 成分波形を入力した場合の基部曲げモーメント波形を入力加速度波形と併せて示している。着目点は節点番号1である。(a) 図より、エルセントロ NS 成分波形に着目すると、半剛結骨組の応答値は剛結骨組の場合に比較して入力加速度の大きさにかわらず減少していることがわかる。また、その減少傾向は 100 gal 入力時よりも 300 gal 入力時の方が大きい。300 gal 入力時における剛結骨組の最大応答値は、約 400 kN-m を示しているのに対し、半剛結骨組の場合には約 250 kN-m と 60% 程度となっている。これは、入力加速度が大きいほど半剛結接合部の履歴挙動に伴う減衰効果が大きくなるためと考えられる。また、半剛結骨組の応答波形は、剛結骨組の場合と比較して波形の周期が長くなる傾向を示しており、波形の性状も複雑になっている。これは、半剛結骨組の剛性が時刻とともに変化し、それに伴い鋼骨組の固有振動数も変化することに関連しているものと考えられる。一方、(b) 図に示す JR 鷹取駅

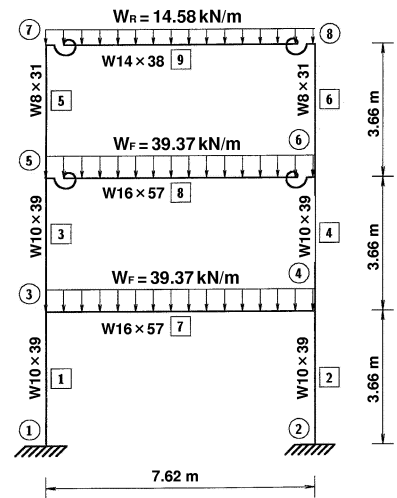


図-1 解析に用いた骨組

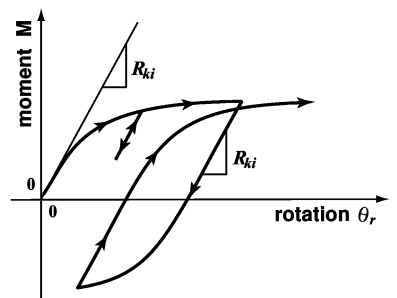


図-2 接合部履歴挙動

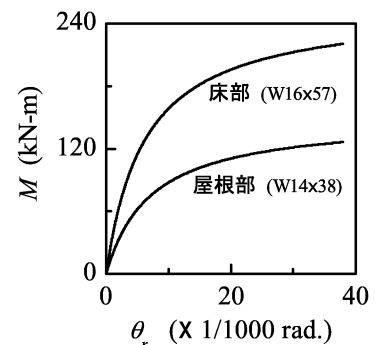


図-3  $M-q_r$  曲線

表-1 解析に用いた地震波

入力地震波形	卓越振動数 $f_p$ (Hz)
エルセントロ NS	2.1
JR 鷹取 EW	0.9
ゴールドンゲート EW	9.3
タフト NS	1.5

キーワード：半剛結鋼骨組、接合部剛性、地震応答解析、履歴減衰効果

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 0143-46-5230 FAX 0143-46-5227

EW 成分波形を入力した場合に着目すると、(a) 図に示すエルセントロ NS 成分波形入力時と同様の傾向を示していることがわかる。しかしながら、JR 鷹取駅 EW 成分波形入力時における応答値の減少量はエルセントロ NS 成分波形入力時よりも小さいことがわかる。これは、接合部剛性として初期剛性を仮定した場合の最低次固有振動数 ( $f_0 = 0.99 \text{ Hz}$ ) が JR 鷹取駅 EW 成分波形の卓越振動数 ( $f_p \approx 0.9 \text{ Hz}$ ) に接近しているため、共振に近い振動状態が励起されたためと考えられる。

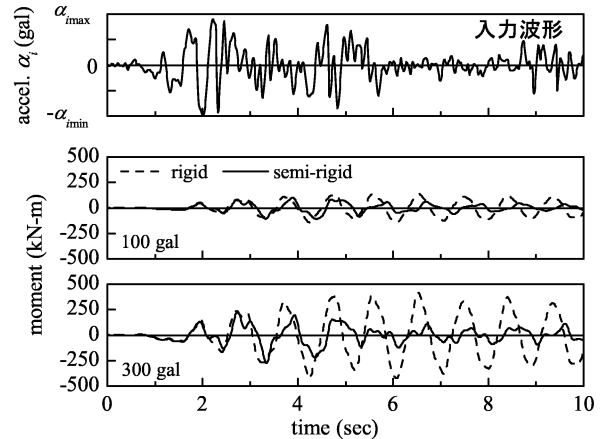
図 - 5 には、各地震波を入力した場合の各最大応答値と入力加速度の関係を示している。(a), (b) 図より、卓越振動数が高いゴールデンゲート EW 成分波形 ( $f_p \approx 9.3 \text{ Hz}$ ) を除いて、剛結骨組の場合における基部曲げモーメントおよび層せん断力の最大応答値は、入力加速度に比例して線形的に増大していることがわかる。一方、半剛結骨組の場合には、剛結骨組の場合と同様、入力加速度の増大とともに各断面力値も増大するものの、その増加率は剛結骨組と比較して小さい。これは、前述のように半剛結接合部の履歴減衰効果によるものと考えられる。また、(c) 図に示す最大応答変位に関して、基部曲げモーメント、層せん断力と同様に入力加速度の増大とともに増加する傾向がみられる。しかしながら、半剛結骨組の最大応答変位は、断面力の場合と異なり、剛結骨組のそれよりも大きくなる場合が存在する。特に入力地震波の卓越振動数と骨組の最低次固有振動数が接近している JR 鷹取駅 EW 成分波形入力時（印）では、両者ほぼ等しい値を示している。これより、半剛結骨組における最大応答変位は、入力地震波の卓越振動数に大きな影響を受け、共振に近い場合には剛結骨組と同程度の応答を示す可能性があることがわかる。以上より、地震波を受ける半剛結骨組の各断面力（基部曲げモーメント、層せん断力）は減少するものの、最大変形量に関しては、必ずしも減少しない場合があることが明らかになった。

4. まとめ

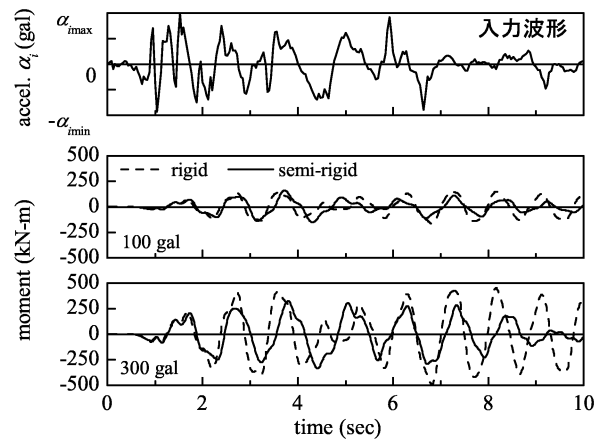
- 1) 地震波を受ける半剛結骨組の基部曲げモーメントおよび層せん断力における最大応答値は、共振に近い状態においても剛結骨組と比較して大きな断面力の減少が期待できる。
- 2) 一方、最大応答変位は、入力地震波の卓越振動数と骨組の固有振動数の関係に大きな影響を受け、特に共振に近い場合には剛結骨組のそれと同程度の応答を示す可能性がある。

表 - 2 モード別固有振動数一覧

接合部	固有振動数 (Hz)		
	1次	2次	3次
線形剛性	0.99	2.51	4.02
剛結接合	1.05	2.78	4.15

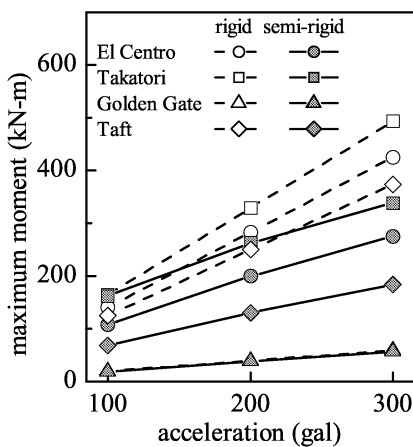


(a) エルセントロ NS 成分波形

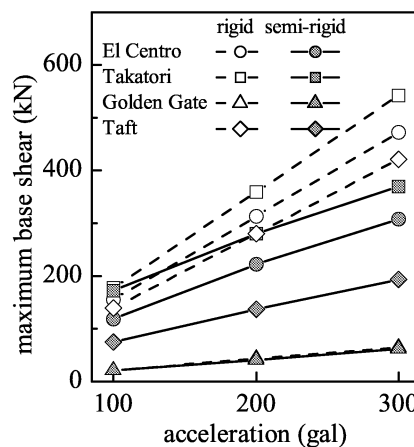


(b) JR 鷹取駅 EW 成分波形

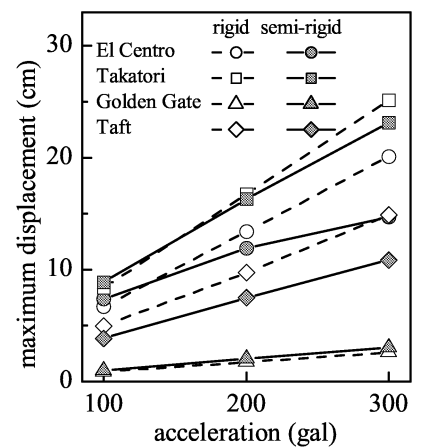
図 - 4 曲げモーメント波形（節点番号 1）



(a) 基部曲げモーメント（節点番号 1）



(b) 層せん断力（1層目）



(c) 応答変位（節点番号 7）

図 - 5 最大応答値と入力加速度の関係