

鋼構造平面骨組における弱パネル型柱はり接合部の 骨組全体に与える影響に関する研究

高松 隆夫*・松尾 彰**・橋本 智和***

(平成12年 9 月30日受理)

A Study on Effect of Weak Panel Type Beam-to-Column Connections on Structural Behavior in Steel Plane Framed Structures

Takao TAKAMATSU, Akira MATSUO and Tomokazu HASHIMOTO

(Received Sep. 30, 2000)

Abstract

The governing equations for the plane framed structures considering deformation of joint panels based on principle of hybrid potential energy can be applied to the earthquake response analysis. The plane frames with four types of beam-to-column connections were selected as the analytical models. From the results of the response analysis, the following conclusions were obtained.

- 1) In the case of the weak panel type, the maximum story deformation angles of first story have decreased, and absorbed energy of column have decreased.
- 2) The weak panels have energy absorption capacity of the structure and structural damping capacity.

Key Words: Plane Frame, Beam-to-Column Connection, Weak Panel, Panel Strength Ratio, Energy Absorption Capacity

1. 序 文

筆者等は、ハイブリッド型ポテンシャルエネルギーの原理を適用して、柱はり接合部の変形を考慮できる骨組解析法を提案し^{1),2)}、地震応答解析より鋼構造骨組の弾塑性変形性状、および塑性化状況等を検討してきた³⁾。近年では、耐震設計に先立ち崩壊荷重や限界変形量を予測するとともに、構造物および各部材のエネルギー吸収能力も注目されてきており、鋼構造骨組のエネルギー吸収能力においてもいくつか研究され報告されてきている。本研究では、鋼構造純ラーメン骨組において接合部の性状の違うモデルを用いて、エネルギー吸収能力や塑性化の状況を地震応答解析より比較し、柱はり接合部パネル（以下パネル）を弱パネル型柱はり接合部（以下弱パネル）とした弱パネルモデル

における構造物の応答変形性状、エネルギー吸収能力について述べる。

2. 解 析 骨 組

2.1 骨組概要

採用した解析用骨組は、「既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説（1996）」⁴⁾の適用例2に取り上げられている4層4スパンの純鉄骨ラーメン構造を参考にして設計する。骨組の軸組図を図1に示す。

ここに、柱に冷間成形角形鋼管 (BCR295, $F=3.0\text{tf}/\text{cm}^2$) を、はりに H 形鋼 (SN400, $F=2.4\text{tf}/\text{cm}^2$) を使用する。解析モデルの名称、部材断面、パネル厚、全塑性パネルモーメントを表1に示す。

柱はり接合部の性状の違いとして次の4種類のモデルを

* 広島工業大学工学部建設工学科

** 広島大学工学部第四類

*** 広島工業大学大学院工学研究科土木工学専攻

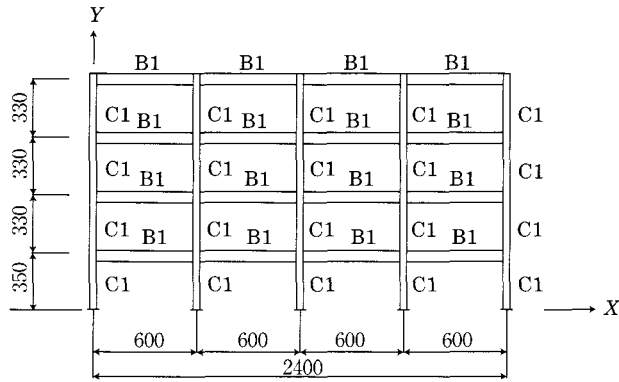


図1 軸組図

表1 解析モデル

モデル名	柱断面	はり断面	パネル厚 (cm)		μM_p (tf·m)
M1K	400×400×16 400×400×12 FCR295, $F = 3.0tf/cm^2$	606×201×12×20 606×200×11×17 SN400, $F = 2.4tf/cm^2$	—		—
M2K			—		—
M3K			柱厚と同じ		102.3
M4aK			1,2層	1.06	83.6
M4bK	3,4層	0.91	71.8		
	2層	1.06	83.6		
		3,4層	0.91	71.8	

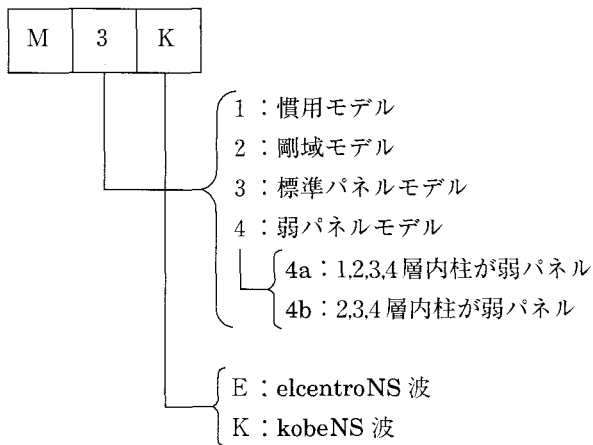


図2 モデル名の説明

採用する。

- (1) 慣用モデル：接合部を剛な点としたモデル
- (2) 剛域モデル：接合部をパネルとし、パネルのせん断変形は生じないとしたモデル
- (3) 標準パネルモデル：接合部をパネルとし、パネル板厚を各層の柱板厚と同一として、パネルのせん断変形を考慮したモデル
- (4) 弱パネルモデル：(3)と同様であるが、内柱の特定層を弱パネルとしたモデル

2.2 骨組の設計

以下の仮定に従って骨組の設計を行う。

- (1) まず、1次設計を行う。次に、層間変形角を1/200以下になることを確認する。
- (2) 鉄骨はりおよび柱はり接合部と床スラブとの合成効果は考慮しない。
- (3) 柱はり接合部は通しダイヤフラム形式の溶接接合組立とする。
- (4) 柱脚は固定支持とする。

2.3 全塑性曲げ耐力

柱およびはりの全塑性曲げモーメントは、塑性断面係数を設計基準強度に乘じるにより求め、柱はり接合部の全塑性パネルモーメントは、接合部まわりの各部材の材端モーメントと材端せん断力より求める。

2.4 弱パネル

解析モデルの降伏機構は柱はり耐力比、およびパネル耐力比によって決定づけられるものとし、パネル厚はパネル耐力比より設定する。今回用いる弱パネルのパネル耐力比はすべて0.5とする。

2.5 降伏耐力比

柱はり耐力比は、接合部まわりの上下柱、左右はりのそれぞれの全塑性モーメントを比較して求め、パネル耐力比はさらに全塑性パネルモーメントを比較して求める。

解析骨組の降伏耐力比を図3に示す。

内柱の最上層を除けば、はり降伏型節点である。また、

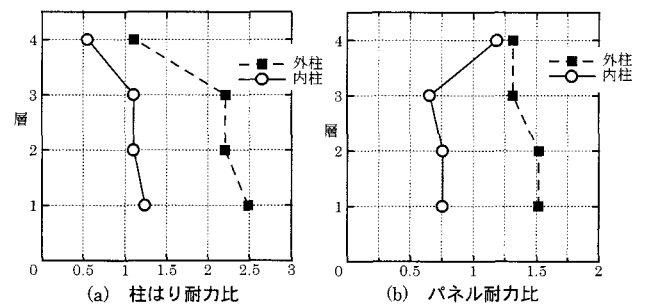


図3 降伏耐力比

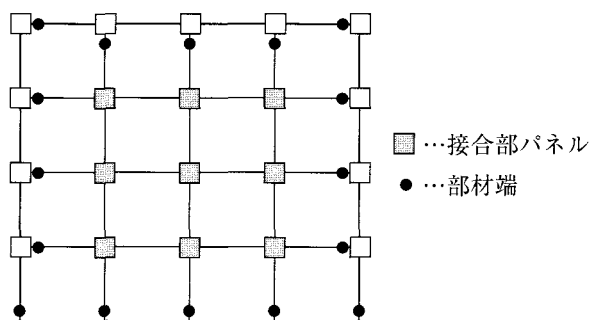


図4 塑性化箇所

パネル耐力比より標準パネルモデルにおいては、内柱は最上層を除けばパネル降伏を含む複合降伏型節点となり、外柱はすべての層において部材端（はり）降伏型節点となる。また、弱パネルモデルに期待する降伏機構を図4に示す。

3. 地震応答解析

今回、2種類の地震波を用いて解析を行う。各地震波の詳細を表2に示す。

表2 地震波

地震波	最大加速度 (gal)	継続時間 (sec)	時間間隔 (sec)	調整後最大加速度 (gal)
elcentroNS	351.10	6	1/1000	604.89
kobeNS	812.02	20	1/1000	994.72

3.1 解析条件

動的解析における諸条件は以下の通りである。

- (1) 通しダイアフラム形式柱はり接合部なので、柱板要素の局部変形は生じない。接合部パネルの軸縮みも無視する。また、はり、柱および柱はり接合部における板要素局部座屈は生じないとする。
- (2) 各節点の重量は、各階の全重量を床面積の割合で分配することにより定められる。なお、全重量は設計用地震時荷重を用いる。
- (3) 減衰行列には、一次減衰定数を、0.02とする剛性比例型行列を用いる。
- (4) 入力した地震波は、最大速度を 100kine に調整して入力する。
- (5) 柱、はり、およびパネルの復元力特性は、Bi-linear型モデルとし、パネルについてはひずみ硬化を考慮し、塑性化後も耐力上昇するものとする。

4. エネルギー

地震時に構造物に入力されたエネルギーとして、振動エネルギー、減衰によって消費（吸収）されるエネルギー、および塑性化によるひずみエネルギーが考えられる。これらのエネルギーは、力の釣合式に相対変位増分 (ydt) を乗じることで得られるエネルギー釣合式によって表現できる。

力の釣合式

$$M\ddot{y} + C\dot{y} + F(y) = F_e \quad (1)$$

ここで、

M : 質点の質量
 $C\dot{y}$: 減衰力
 $F(y)$: 復元力

F_e : 地震力

y : 地震応答変位

エネルギーの釣合式

$$M \int_0^t \dot{y} \dot{y} dt + C \int_0^t \dot{y}^2 dt + \int_0^t F(y) \dot{y} dt = \int_0^t F_e \dot{y} dt \quad (2)$$

(1)式が力の釣合状態を表現するのに対して、(2)式は振動状態を集積した積分情報である。

式の構成を以下のように定める。

$$E(t) = \int_0^t F_e \dot{y} dt$$

$$W_e(t) + W_p(t) = M \int_0^t \dot{y} \dot{y} dt + \int_0^t F(y) \dot{y} dt$$

$$W_h(t) = C \int_0^t \dot{y}^2 dt$$

ここで、

E : エネルギー入力

W_e : 弾性振動エネルギー

W_p : 累積塑性ひずみエネルギー

W_h : 減衰により吸収されるエネルギー

(2)式は次のように表現できる。

$$W_e + W_p + W_h = E$$

釣合式の有効性は、総エネルギーの安定性によって裏づけられる⁵⁾。

本研究で注目するのはエネルギー入力のうち、塑性ひずみエネルギーと構造物の挙動との関係である。(しかし振動エネルギー、減衰により吸収されるエネルギーも考慮しなければ解明できない応答もある。)以下、塑性ひずみエネルギーを吸収エネルギーとして扱う。

吸収エネルギーの定義を定める。

- (1) 各材端の塑性ヒンジにおける吸収エネルギーは、曲げモーメント増分と、それに対応する回転角増分との積を累加したものとする。
- (2) 各パネルの塑性変形における吸収エネルギーは、パネルモーメント増分とせん断変形角増分との積を累加したものとする。

5. 解析結果および考察

5.1 最大層間変形角

図5に各層の最大層間変形角を示す。

elcentroNS, kobeNS 両波共通として

- ・ M4a, M4b が1層において小さい値となっている。
 - ・ M2 は全体的に他のモデルより小さい値となっている。
 - ・ M1 は全体的に他のモデルより大きい値となっている。
- kobeNS について
- ・ M1 の1層の値が大きくなっており、すべてのモデルで

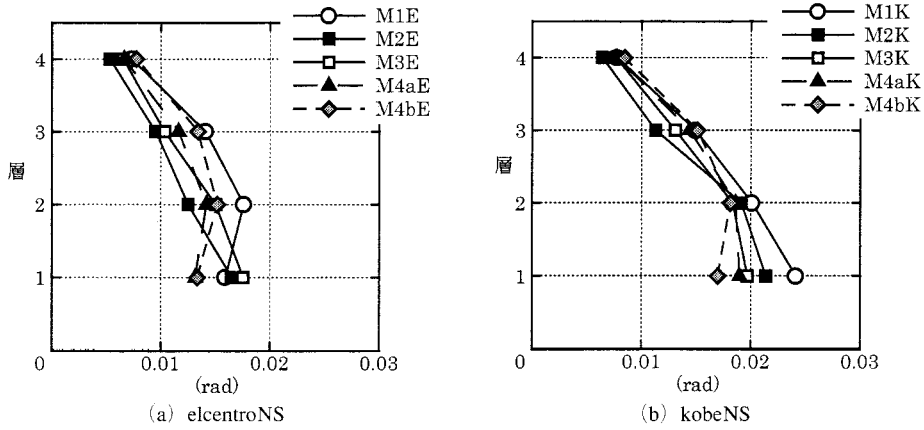


図5 最大層間変形角

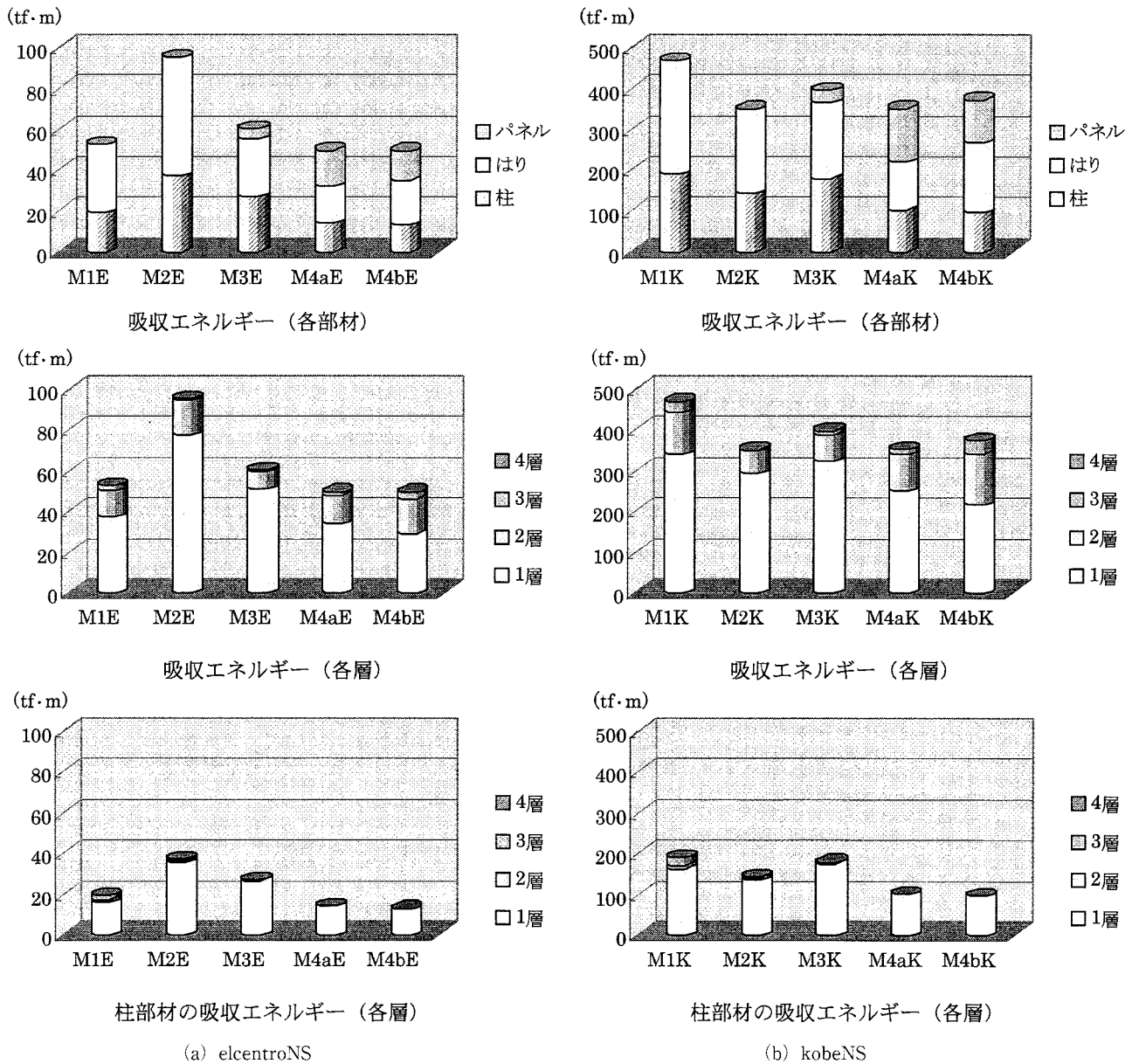


図6 吸収エネルギー

2, 3層間の差が大きくなっている。これは, 2, 3層間で柱断面が変わるため, より強い地震波である kobeNS で影響がでたと考えられる。

5.2 吸収エネルギー

図6に吸収エネルギーを示す。ここで, 柱脚, 柱頭, 柱頭のパネルおよびはりを各層の構成部材とする。

elcentroNS, kobeNS 両波共通として

- ・M4a および M4b は, 柱の吸収エネルギーが小さくなっており, パネルの塑性化に伴い2, 3層の吸収エネルギーが大きくなっている。また, 1層の吸収エネルギーが若干小さくなっている。

elcentroNS について

- ・M1 は, 柱の吸収エネルギーは小さくなっている。
- ・M2 は, 柱, はりともに吸収エネルギーが大きくなっており, 全体の吸収エネルギーも他のモデルよりかなり大きくなっている。また1層の吸収エネルギーを比較すると, 他のモデルよりかなり大きくなっており, M1, M4a, M4b の約2倍となっている。

kobeNS について

- ・M1 は, 柱, はり各部材の吸収エネルギーが大きくなっており, 全体も他のモデルより大きくなっている。
- ・M2 は, 全体的に他のモデルより小さくなっている。

一般に柱部材の吸収エネルギーが大きくなれば, 層間変形角は大きくなると考えられている。しかし今回の解析では, elcentroNS においては M2 が, kobeNS においては M3 が異なる解析結果となった。この原因は, 図7に示す地震応答変位のグラフから読みとれる。

このグラフは各モデルの1層部分の応答変位を表したものである。これより, elcentroNS では2.3秒頃, kobeNS では6秒頃に最大変位を決定づける大きな振動を受けている事が分かる。(kobeNS, M1 ではその後に変位の偏りにより最大変位が生じている。) ここで, 吸収エネルギーに

直接結びつくのは継続時間内での総合的な振幅であるので, 各モデルについて比較すると, elcentroNS では M2 が大きくなっており, kobeNS では M1, M3 が大きくなっている。これは柱部材の吸収エネルギーとよく対応している。

すなわち, 最大層間変形角について検討する場合においては, 上に述べた吸収エネルギーとの関係はそれほど重要ではないと言える。

吸収エネルギーを総じて見ると, 2種の地震波でも, M1, M2 は地震によって大きく吸収エネルギーは変化する。しかし, 弱パネルモデルの M4a, M4b は同じ傾向を示した。すなわち, 弱パネルモデルでは安定した地震応答解析結果を得ることができると考えられる。

6. 結 論

鋼構造平面骨組の地震応答解析を2種類の地震波を用いて行い, 以下の結論を得た。

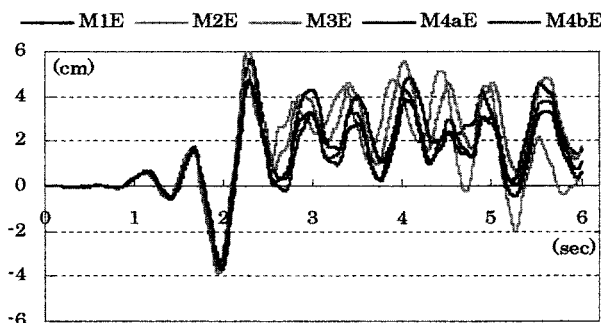
- ・弱パネルモデルでは, 1層における最大層間変形角は小さくなる。
- ・弱パネルモデルは, パネルの塑性化により柱部材の塑性ひずみエネルギーが減少する。
- ・弱パネルモデルでは, 各部材の塑性化による吸収エネルギーの総和は小さくなる傾向がある。

今後は, 今回確認できなかった振動および減衰により吸収されるエネルギーを計算しエネルギー入力の安定性を確認する。

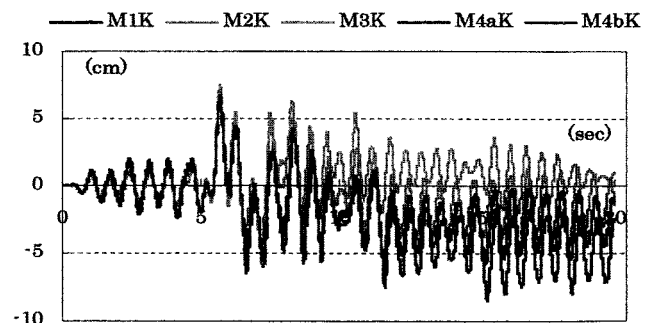
そして, 材端の塑性ヒンジ, パネルの塑性変形の許容範囲あるいは限界値を設定し, 地震応答解析より耐震設計および性能設計の指標を定めていく予定である。

謝 辞

本研究は, 文部省私立大学ハイテク・リサーチ・センター整備事業の一環として実施されたものである。ここに記して深謝致します。



(a) elcentroNS



(b) kobeNS

図7 地震応答変位

文 献

- 1) 高松隆夫, 松尾 彰, 椋代仁朗, ラフィーク W.サリブ: 弱パネル型H形鋼柱・はり接合部を有する平面骨組の構造解析, 構造工学論文集, Vol. 37B, pp. 295-302, 1991年3月.
- 2) 高松隆夫, 松尾 彰, 椋代仁朗, ラフィーク W.サリブ: 柱はり接合部変形を考慮した平面骨組の構造解析, 構造工学論文集, Vol. 38B, pp. 521-530, 1992年3月.
- 3) 高松隆夫, 松尾 彰, 橋本智和: 柱はり接合部の変形を考慮した鋼構造平面骨組の地震応答解析, 日本建築学会中国支部研究報告集, 第23巻, pp. 221-224, 2000年3月.
- 4) 財団法人日本建築防災協会: 耐震改修促進法のための既存鉄骨造建築物の耐震診断および耐震改修指針・同解説, 1996年9月.
- 5) 秋山 宏: エネルギーの釣合に基づく建築物の耐震設計, 1999年11月.