

半剛接合鋼重層骨組の柱梁仕口の塑性変形性能に関する研究

正会員 ○ 大塚智子 *1 同 隋偉寧 *2 同 山成實 *3

2. 構造 - 10. 鉄骨構造 建築構造

鋼骨組, 柱梁接合部, 半剛接合, 累積塑性変形倍率, 最大塑性率

1. はじめに

本報告は, 円形鋼管柱・H形鋼梁を用いた外ダイアフラム柱梁接合部を耐震用エネルギー吸収要素として捉え, その柱梁接合部における変形性能について動的応答解析結果から得た知見を報告する。

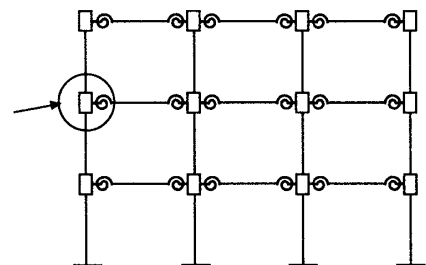
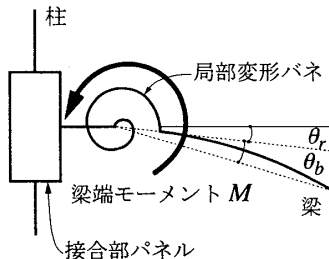


図 2 局部変形パネモデル

2. 外ダイアフラム接合部

著者等は円形鋼管柱・H形鋼梁をもつ外ダイアフラム形式の半剛接合柱梁接合部に関する研究を行ってきた。この接合部は柱梁仕口(柱部材と梁部材の境界部)に図 1 に見られるような局部変形が生じることが知られている。剛接合に近い半剛接合は降伏後の耐力上昇によるエネルギー吸収要素として期待ができ, 著者等はその柱梁仕口における地震エネルギー吸収の効果を示している^[1]。しかし文献[1]における仕口のエネルギー吸収能力について仕口の塑性変形能力は考慮されていない。降伏後早期にダイアフラム等が破断してしまえばエネルギー吸収能力は期待できないため, 仕口の破断状況を判断する要素として累積塑性変形倍率および最大塑性率について検討した。

3. 解析骨組と設計パラメータ

図 2 は, 鋼重層平面剛接合骨組に接合部パネルおよび外ダイアフラム仕口の局部変形を代表させた回転パネ(局部変形パネと呼ぶ)を組み入れた解析モデルである。柱梁仕口の回転パネは, 文献[2]で誘導した耐力を剛性に関する弾塑性力学特性に基づくトリリニア型(最後の分枝の剛性はゼロ)とした移動硬化モデルの履歴特性をもつとした。

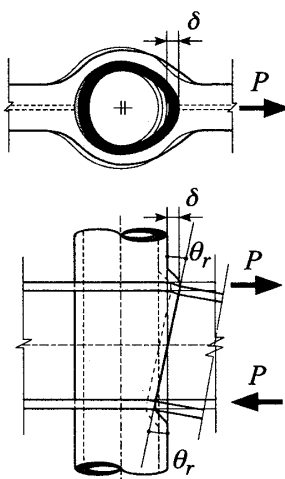


図 1 局部変形

解析骨組の柱や梁部材および接合部パネルは, 全て SS400 クラスの鋼種であり, ひずみ硬化係数を 0.02 とするバイリニア形の履歴特性をもつものとし, 柱および接合部パネルは等方硬化モデル, 梁は移動硬化モデルとした。解析骨組は計 12 個であり, いずれも現行耐震規定^[1]を満たすように柱および梁部材が設計されている。

鋼構造の耐震規定で記されている接合部係数は, 柱梁仕口の最大耐力 $M_{r \max}$ と梁部材の全塑性耐力 M_{pb} の比で与えられている。本研究では, 柱梁仕口のパラメータとして, 柱梁仕口の最大耐力を変化させた式(1)で表す r を用いた。

$$r = \frac{M_{r \max}}{M_{pb}} \dots \dots \dots (1)$$

4. 地震応答解析

骨組の地震応答解析は小川が開発した任意形平面骨組の非線形解析プログラム club.f^[4]を用いた。地震応答解析における数値積分には Newmark-β 法(β = 1/4)によるとし, 時間増分は 0.002 s とした。また, 骨組

表 1 入力地震波

入力地震波	最大加速度 m/s ²	最大速度 m/s	継続時間 s
El Centro NS	5.11	0.5	30.0
NTT Kobe NS	1.90	0.5	20.0
Taft EW	4.97	0.5	30.0
Hachinohe NS	3.41	0.5	30.0
JMA Kobe NS	4.92	0.5	30.0
Tohoku Univ. EW	3.67	0.5	30.0

の減衰特性は Rayleigh 型とし, 減衰定数を 2% とした。入力地震波のデータは表 1 に示す 6 種類

である。柱梁部材の弾塑性応答には部材端のみが塑性化する一般化ヒンジ法を用いた。なお、梁部材と局部変形バネは直列バネとして扱った。

5. 柱梁仕口の塑性変形性能の評価指標

柱梁仕口の塑性変形性能の評価指標として、各骨組の仕口における累積塑性回転角および最大塑性回転角のそれぞれの最大値について検討する。

5.1 仕口の累積塑性変形倍率 η_r

柱梁仕口の累積塑性変形倍率 η_r を式(2)のように定義する。

$$\eta_r = \frac{\max(\Sigma \Delta \theta_{rp})}{\theta_{ry}} \dots \dots \dots (2)$$

ただし、 $\max(\Sigma \Delta \theta_{rp})$ は骨組内の全仕口の累積塑性回転角の正負関係なく最大の値であり、 θ_{ry} は仕口の弾性限回転角である。

5.2 仕口の最大塑性率 μ_r

柱梁仕口の最大塑性率 μ_r を式(3)のように定義する。

$$\mu_r = \frac{\max(\Delta \theta_{rp \max})}{\theta_{ry}} \dots \dots \dots (3)$$

ただし、 $\max(\Delta \theta_{rp \max})$ は骨組内の全仕口の最大塑性回転角の正負関係なく最大の値であり、 θ_{ry} は仕口の弾性限回転角である。

5.3 梁の累積塑性変形倍率 η_b

梁の累積塑性変形倍率 η_b を式(4)のように定義する。

$$\eta_b = \frac{\max(\Sigma \Delta \theta_{bp})}{\theta_{by}} \dots \dots \dots (4)$$

ただし、 $\max(\Sigma \Delta \theta_{bp})$ は骨組内の梁の累積塑性回転角の正負関係なく最大の値であり、 θ_{by} は梁の弾性限回転角である。

6. 仕口の塑性変形能力の検討

接合部係数 r の変化に伴う6種の地震波に対する12個の骨組の η_r と μ_r を図3に示す。柱梁仕口が塑性化しないものは控除した。生データは○印でプロットし、それらのデータが対数正規分布に従うとして、データの自然対数を取った値の平均値および標準偏差を上側の値だけ実線および点線で結んでいる。

r が減少、すなわち柱梁仕口が弱くなるにつれて η_r と μ_r の平均値はともに

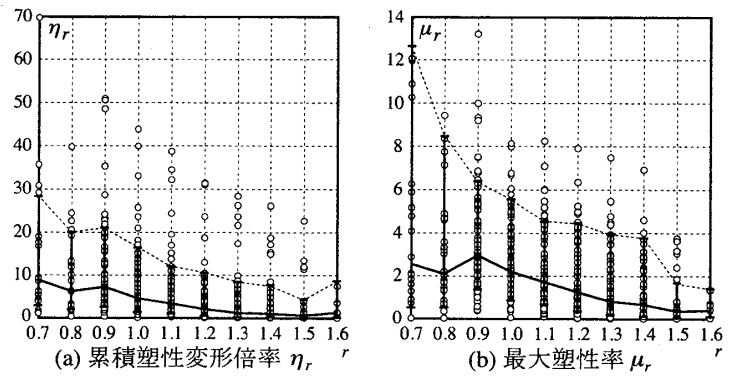


図3 12個の骨組の6種の地震波に対する仕口の塑性変形

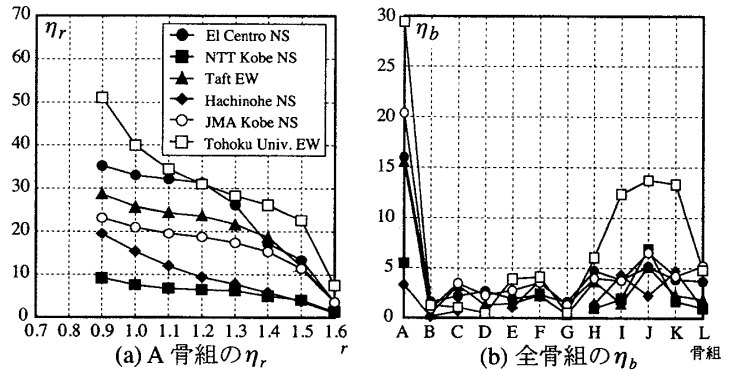


図4 A骨組の η_r と全骨組の梁の η_b

増加する傾向にある。 r の値が減少すると仕口の耐力、剛性は低下するため θ_{ry} の値は低下し、さらに $\Sigma \Delta \theta_{rp}$ や $\Delta \theta_{rp \max}$ の値は大きくなるためである。 r が0.7や0.8のときに平均値が低下しているが、これは $r \leq 0.8$ のときに実際に外ダイアフラム接合部の設計が不可能な骨組が多くなり、データの数が少なくなってしまうためである。本論文では、 $r \leq 0.8$ の骨組データは参考程度にしかならない。また、 $r = 1.6$ のときも仕口が塑性化しない骨組が多く、仕口が降伏する骨組では r に関わらず大きな値となるため、平均値は増加する。

図3から、対数の平均値として r に関わらず η_r は10、 μ_r は3を下回る。ばらつきを考えると η_r は20、 μ_r は6程度に収まることが分かる。

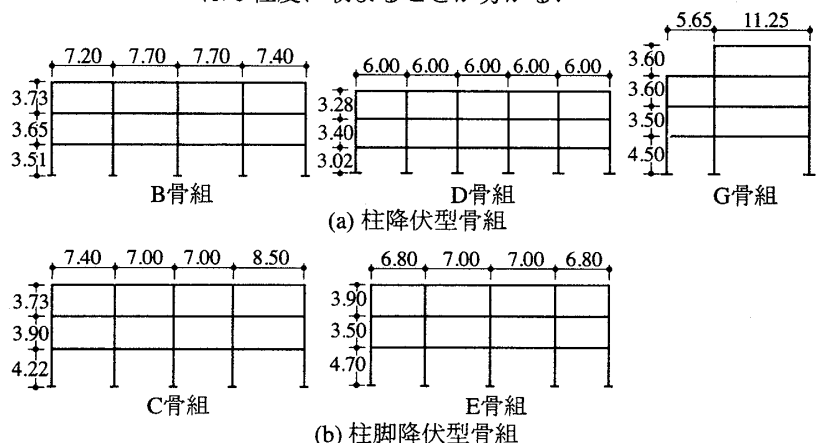


図5 エネルギー改善骨組の形状

7. 梁の変形能力の検討

図4にA骨組の η_r とすべての骨組の梁の塑性変形倍率である η_b を示す。A骨組はスパンが短く梁が弱い骨組であり、他の骨組よりも η_b の値が大きくなる。この骨組にさらに回転バネを組み込んでも梁の代わりに仕口の塑性変形が大きくなるだけであり、結局梁端部における破断の危険性は回避できず骨組の崩壊機構の改善にはならない。

しかし、実際の設計骨組の η_b がこのように大きくなるということは、累積塑性変形倍率の上限を引き上げられるものとも考えられる。

8. エネルギー吸収分担率が改善する骨組

図3において、極端に大きくなるデータ見られた。

これは7. で述べたA骨組や、地震波の固有周期別による速度応答値が過度に出る骨組によるものである。

文献[1]では、骨組を4つの構造要素のエネルギー吸収分担率によって5つのタイプに分類している。これらの中で梁降伏タイプ(A, K, L骨組), 元々バランスのよい降伏タイプ(F, H骨組), 接合部パネル降伏

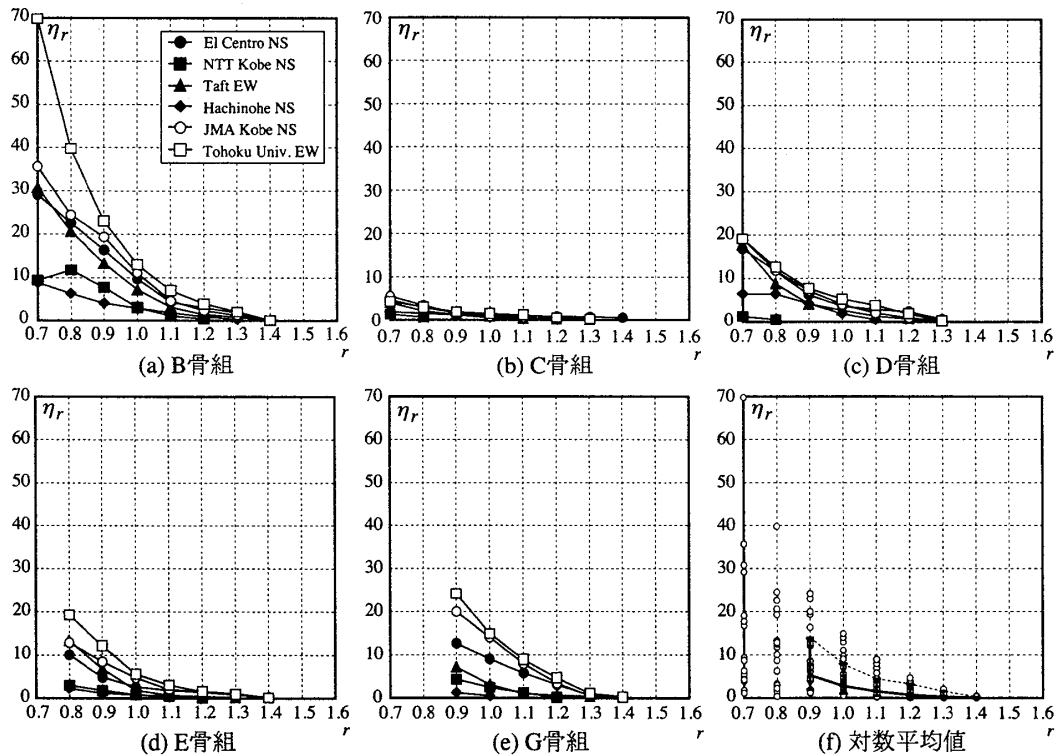


図6 エネルギー改善骨組の累積塑性変形倍率 η_r

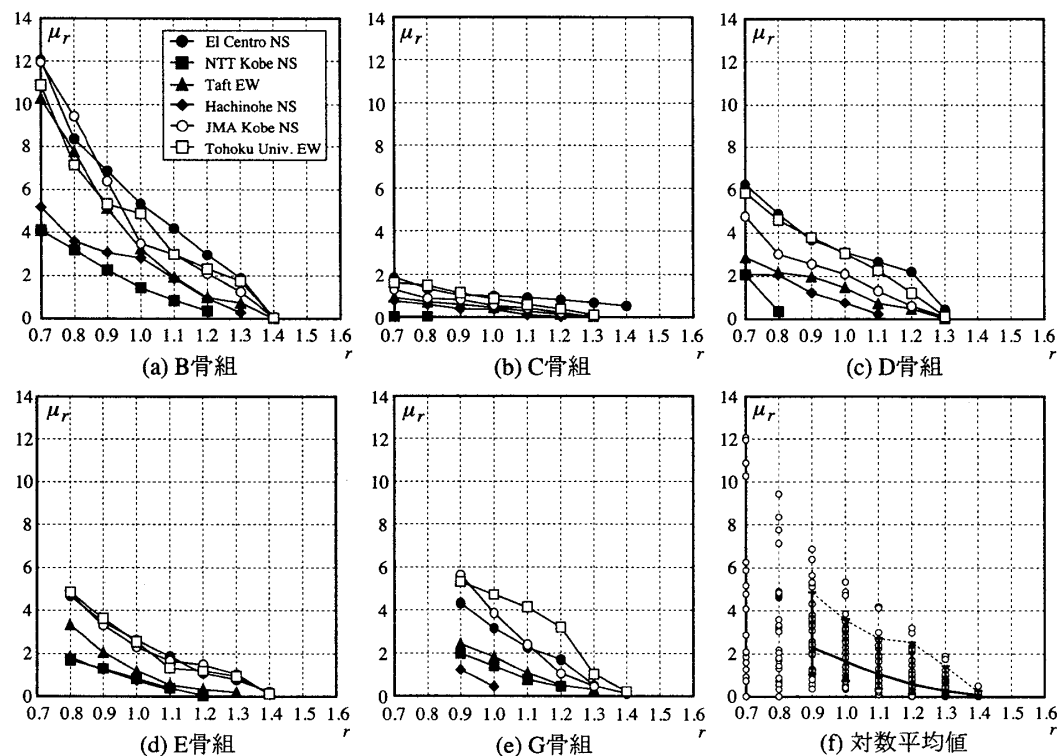


図7 エネルギー改善骨組の最大塑性率 μ_r

タイプ(I, J骨組)は回転バネを組み込むことによるエネルギー吸収分担率の改善は見られない。そのため、これらの骨組に回転バネを組み込む利点は低くなる。柱降伏タイプ(B, D, G骨組)や柱脚降伏タイプ(C, E骨組)は剛接合の場合、柱や1層柱脚に塑性化が集中する。回転バネを組み込むことで仕口の塑性化が先

行し柱の塑性化を遅延させるため、梁先行降伏型の骨組と同じ崩壊機構となりエネルギーの吸収率の改善が確認されている。

これらのことから、エネルギー吸収分担率の改善が見られた5つの骨組をエネルギー改善骨組とし、柱梁仕口の塑性変形能力について考察した。

図5は、エネルギー改善骨組の形状を表している。その骨組ごとに6つの各地震波に対する η_r および μ_r をまとめたものを図6および図7に記載する。 $r \leq 0.8$ の骨組を除いて、 η_r は20以内に、 μ_r は6以内に収まる骨組が多くなっている。

9. 地震波ごとの速度応答値

図8にエネルギー改善骨組の、すべての r と、剛接合のものを含めて地震波ごとの速度応答値を示す。これらの骨組は固有周期が0.40~0.75sである。 r が小さくなると骨組全体の剛性も低下し、固有周期が長くなる。骨組および地震波ごとにその速度応答値の変化は異なる。ここでは、各地震波ごとの応答値の違いを確認する。同図(e), (f)の地震波は全体的に速度応答が大きくなるため、それに伴って η_r や μ_r も大きくなる。逆に、同図(b), (d)の地震波は全体的に速度応答が小さくなり、それに伴って η_r や μ_r も小さくなっている。

10. おわりに

外ダイアフラム接合部をもつ半剛接合骨組の柱梁仕口を耐震用エネルギー吸収要素として捉えたとき、柱梁接合部の塑性変形性能に関する知見をまとめる。

- 1) 梁が弱く、剛接合の骨組のときに梁の塑性変形が大きい骨組は、柱梁仕口を弱くしたとき、その仕口の塑性変形も梁と同様に大きくなり、骨組の改善にはならない。
- 2) 4つの構造要素におけるエネルギー吸収分担率の改善が見られる骨組について、累積塑性変形倍率および最大塑性率の値は他のタイプの骨組に比べて過度に大きくなるものは少なく、それぞれ20および6程度に収まる。

謝辞 本研究は、(社)日本鋼構造協会より平成19年度鋼構造研究助成を受けた。ここに謝意を表す。

参考文献

[1] 隋偉寧, 大塚智子, 山成實: 外ダイアフラム接合部をもつ実際骨組の耐震設計に関する研究, 鋼構造年次論文報告集, 第16巻, pp.87-94, 2008.11
 [2] 隋偉寧, 山成實: 軸圧縮力と水平力を受ける外ダイアフラム仕口の力学的特性評価, 鋼構造論文集, 第54号, pp.17-25, 2007.6

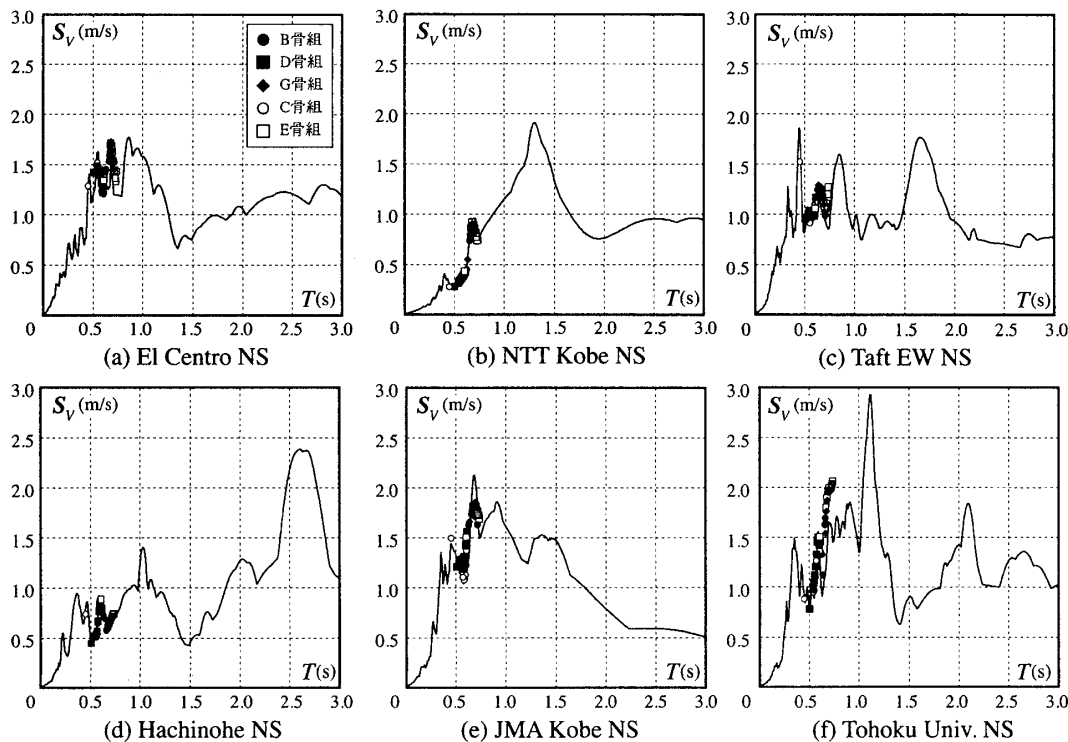


図8 エネルギー改善骨組の各地震波の速度応答値

[3] 2007年度版建築物の構造関係技術基準解説書, 国土交省他監修, 2007.8
 [4] 小川厚治: 梁降伏先行鋼構造ラーメン骨組の地震応答性状の解明に関する基礎的研究, 平成17年度~平成18年度科学研究費補助金(基盤研究(C))研究成報告書, 2007.3

*1 熊本大学大学院 博士前期課程
 *2 熊本大学大学院 博士後期課程・工修
 *3 熊本大学大学院 准教授・工博

Graduate Student, Kumamoto University.
 Graduate Student, Kumamoto University, M. of Eng.
 Assoc. Prof., Kumamoto University, Dr. of Eng.