

## 外ダイアフラム形式柱梁接合部を有する鋼構造骨組の耐震設計手法の提案

## その1 設計手法の概要

平面骨組      半剛接合      外ダイアフラム  
層剛性      設計手法      部分骨組

正会員○木下智裕<sup>\*1</sup> 同 藤根和弘<sup>\*2</sup>  
同 聲高裕治<sup>\*2</sup> 同 森岡宙光<sup>\*1</sup>

## 1. はじめに

著者らの一連の研究<sup>1), 2)</sup>では、図1のように厚鋼板を用いて従来よりも突出せいを抑えた外ダイアフラム形式柱梁接合部の開発を目指している。図1の柱梁接合部は、(1)式を満たすことで梁端接合部の塑性化を抑えて梁の塑性化を生じさせ、高い変形性能を確保できることを確認している<sup>1), 2)</sup>。

$$jM_y / bM_p \geq 1 \quad (1)$$

ここで、 $jM_y$ は梁端接合部の降伏耐力、 $bM_p$ は梁の全塑性耐力である。しかし、図1の外ダイアフラム形式では梁端接合部に局部変形が生じるため、梁端接合部を剛とみなすことができる通しダイアフラム形式に比べて骨組の層剛性が低下する。したがって、外ダイアフラム形式を有する骨組（以下、半剛接合骨組）を設計するには、この局部変形による梁端接合部の剛性低下を考慮する必要がある。本報では、図1の外ダイアフラムを適用した骨組を対象として、現行の設計基準<sup>3)</sup>の下で効率よく柱、梁、外ダイアフラムの断面寸法を決定し、(1)式を満足して梁崩壊型を実現できる設計手法を提案する。

## 2. 設計の概要

半剛接合骨組は、現行の設計基準<sup>3)</sup>に従って、1次設計で層間変形角と許容応力度、2次設計で保有水平耐力の規定を満たすように設計する。さらに、1章で述べたように、すべての梁端接合部で(1)式を満たす必要がある。

上記の設計には、図1の外ダイアフラムを適用した梁端接合部の剛性と耐力を考慮する必要がある。梁端接合部の剛性と耐力は、柱と梁の断面寸法の他に、外ダイアフラムの寸法によって変化する<sup>2)</sup>。そのため、半剛接合骨組の設計では柱、梁、外ダイアフラムの断面寸法を決めた上で、設計条件を満足しているかを確認する。設計条件のうち、1次設計用地震荷重時の層間変形角の制限を満たさない可

能性が高く、このような場合には柱、梁、外ダイアフラムの断面寸法を再検討する必要がある。従って、半剛接合骨組の設計では、手順が煩雑になりがちである。

このような問題点を解消するため、本報では上述の柱、梁、外ダイアフラムの決定手続を何度も繰返す必要がない簡便な設計手法を提案する。具体的には、外ダイアフラムを適用したときの層剛性の低下量に着目し、以下の①～③を図2の手順でおこなうことで半剛接合骨組を設計する。

- ① 半剛接合骨組の層剛性を剛接合骨組の層剛性で除した値を層剛性比 $\kappa$ と定義し、 $\kappa$ の設計目標 $\kappa_0$  ( $\leq 1$ )を定める。
- ② 剛接合骨組に対して2章冒頭に示した設計条件を満足するよう、柱と梁の断面寸法を決定する。このとき外ダイアフラムを適用したときの層剛性の低下を考慮し、剛接合骨組の1次設計用地震荷重時の層間変形角の制限値を、上記で定めた $\kappa_0$ に従い厳しくした $\kappa_0 R_0$ と定める。ただし、 $R_0$ は半剛接合骨組の1次設計用地震荷重時の層間変形角の制限値である。
- ③ 上記②の剛接合骨組の柱梁接合部に外ダイアフラムを適用することで半剛接合骨組にする。このとき、外ダイアフラムの寸法は以下のルールに従い決める。まず、反曲点が階とスパンの中央に位置すると仮定し、②の剛接合骨組を柱と梁の反曲点位置（図3の破線）で分割する。次に、分割した骨組の層剛性を求める。ただし、分割した骨組を剛接合部分骨組、外ダイアフラム形式を適用した骨組を半剛接合部分骨組と呼び、それぞれの層剛性を $K'_R$ 、 $K_R$ とする。最終的に、すべての部分骨組が(2)式を満たすように外ダイアフラムの寸法（突出せい $h_d$ と板厚 $t_d$ ）を定める。

$$K_R / K'_R \geq \kappa_0 \quad (2)$$

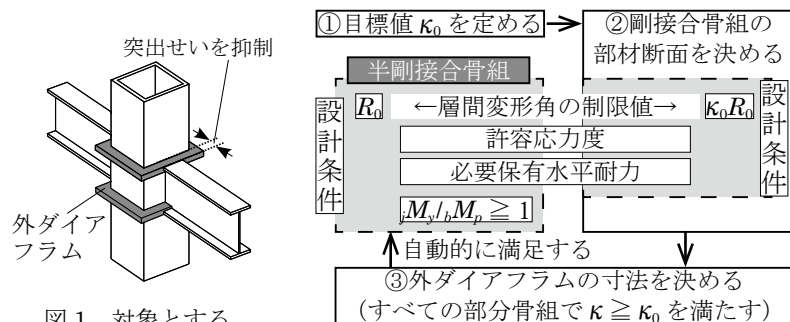
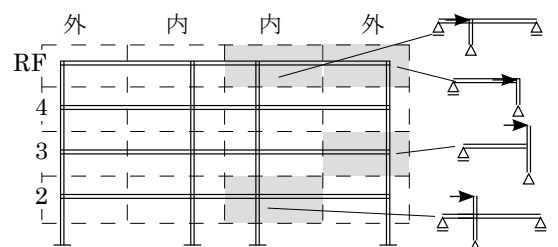


図2 半剛接合骨組の設計手順



(a) 骨組 (b) 部分骨組の例

図3 全体骨組と部分骨組

Proposal of seismic design method of steel moment frame with exterior diaphragm type beam-to-column connections  
Part1 Outline of design method

KINOSHITA Tomohiro, TONE Kazuhiro, KOETAKA Yuji and MORIOKA Hiromitsu

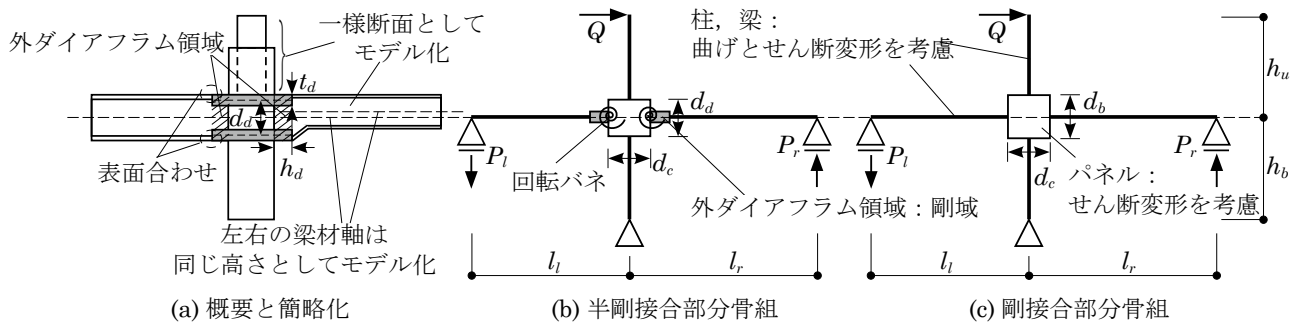


図4 部分骨組のモデル化

ただし目標値  $\kappa_0$  はすべての部分骨組で共通とする。また、 $K_R$ 、 $K'_R$  の算定法は3章に示す。

上述した方法で設計した結果、骨組の層剛性比  $\kappa$  が目標値  $\kappa_0$  を超えるならば、半剛接合骨組は1次設計用地震荷重時の層間変形角が制限値  $R_0$  を下回る。しかし、このままでは③の半剛接合骨組が許容応力度と保有水平耐力の規定、ならびに(1)式を満足しているどうかかわらない。そのため、すべての設計条件を満たすことのできる  $\kappa_0$  については、その2で検討する。

### 3. 部分骨組の層剛性の算定法

#### 3.1 部分骨組の概要と簡略化

図4に示す力学モデルを用い、(2)式で必要となる部分骨組の層剛性  $K_R$ 、 $K'_R$  の算定法を構築する。図4(a)に対象とする部分骨組を例示する。左右の梁せいが異なる場合には梁せいが小さい側の梁に鉛直ハンチを設ける場合を対象とする。このとき、パネルせいは、梁せいが大きい側の梁により定まる。半剛接合骨組における外ダイアフラムの突出せ  $h_d$  と板厚  $t_d$  は柱外周にわたって等しく、外ダイアフラムの取合い位置は梁せいが大きい側の梁フランジ表面合わせとする。ただし、部分骨組の層剛性  $K_R$ 、 $K'_R$  を算定する際、梁の変形に鉛直ハンチは考慮せず一様な断面とし、せいの小さい梁の材軸がせいの大きい梁の材軸と同じ高さにあるとみなす。また、上下層で柱の断面寸法が異なる場合は柱継ぎ手で断面を切り替えることが想定されるが、柱継ぎ手の上下で柱は全長にわたって一様な断面とする。

#### 3.2 部分骨組のモデル化と層剛性

図4(b)、(c)に、部分骨組の層剛性  $K_R$ 、 $K'_R$  を算定するためのモデルを示す。図4(b)は半剛接合部分骨組、図4(c)は剛接合部分骨組のモデルである。図4(b)の半剛接合部分骨組の層剛性  $K_R$  は、柱、梁、パネル、梁端接合部の各部の変形による層剛性  $K_{Rc}$ 、 $K_{Rb}$ 、 $K_{Rp}$ 、 $K_{Rj}$  を用いて次式で求める。

$$K_R = (1/K_{Rc} + 1/K_{Rb} + 1/K_{Rp} + 1/K_{Rj})^{-1} \quad (3)$$

剛接合部分骨組の層剛性  $K'_R$  は、(3)式において  $K_{Rj}$  を無限大にして求めることができる。

(3)式の各成分のうち  $K_{Rc}$ 、 $K_{Rb}$  は、柱、梁を部材の材軸

に位置する線材に置換し、曲げ変形とせん断変形を考慮することで算定する。また  $K_{Rp}$  は、パネルにせん断変形のみを考慮することで算定する。

梁端接合部の局所変形を図4(b)に示す回転バネで表すことで、 $K_{Rj}$  を算定する。回転バネの弾性剛性は文献2)に従い求める。図4(a)に斜線で示す、上下の外ダイアフラムとその間に挟まれた梁ウェブで構成される領域（以下、外ダイアフラム領域）は梁から伝わる曲げとせん断により変形する。ただし別途検討により、以下の条件を満たす場合、骨組の変形に占める外ダイアフラム領域の変形割合が微小であるとみなすことができる。

$$0.06 \leq h_d/D_c \leq 0.38 \text{ かつ } 1.0 \leq h_d/t_d \leq 3.0 \quad (4)$$

本報では、上式に示す範囲内の外ダイアフラムを用いることとし、図4(b)のように外ダイアフラム領域は剛域として取扱う。

### 4. まとめ

本報その1では、図1の外ダイアフラムを適用した半剛接合骨組の層剛性に着目し、現行の設計基準<sup>3)</sup>の下で効率よく柱、梁の部材断面を決定する設計手法を提案した。図2に示す半剛接合骨組のすべての設計条件を自動的に満たすことのできる  $\kappa_0$  の値については、その2で検討する。

#### 参考文献

- 1) 大庭諒介, 森岡宙光, 木下智裕, 聲高裕治, 吹田啓一郎, 村上行夫: 高強度鋼箱形断面柱を用いた外ダイアフラム形式柱梁接合部を有する十字骨組の繰返し載荷実験, 日本建築学会構造系論文集, 第85巻, 第767号, pp.123-139, 2020.1
- 2) 森岡宙光, 木下智裕, 大庭諒介, 中野達也, 聲高裕治: 2方向載荷を受ける外ダイアフラム形式高強度鋼箱形断面柱-梁フランジ接合部の弾性剛性と降伏耐力の評価, 日本建築学会構造系論文集, 第85巻, 第770号, pp.606-617, 2020.4
- 3) 国土交通省国土技術政策総合研究所 他監修: 2015年版建築物の構造関係技術基準解説書, 2015.6
- 4) 建設省建築研究所: 数値解析研究会研究報告書 地震応答解析による角形鋼管柱・H形鋼梁ラーメン構造部材の塑性変形応答の評価, 1997.7
- 5) 小川厚治, 多田元英: 柱・梁接合部パネルの変形を考慮した静的・動的応答解析プログラムの開発, 第17回情報・システム・利用・技術シンポジウム論文集, pp.79-84, 1994.12
- 6) 小川厚治: 半サイクルの地震入力エネルギーとバイリニア系の最大地震応答, 日本建築学会構造系論文集, 第532号, pp.185-192, 2000.6

\*1 JFE スチール

\*2 京都大学

\*1 JFE Steel Corporation

\*2 Kyoto University