

外ダイヤ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2 平面骨組解析

平面骨組	半剛接合	外ダイアフラム
層剛性	静的増分解析	時刻歴応答解析

正会員○藤根和弘^{*1} 同 聲高裕治^{*1}
同 森岡宙光^{*2} 同 木下智裕^{*2}

1. はじめに

本報その 2 では、その 1 に従い半剛接合骨組を設計した上で、静的増分解析と時刻歴応答解析によって以下の事項を確認する。

- ・ 層剛性比 κ が目標値 κ_0 を上まわっている（層間変形角の規定を満たす）こと
 - ・ 許容応力度や保有水平耐力の規定を満たし、その 1 の (1) 式を満たすこと
 - ・ 目標値 κ_0 の違いによる骨組の塑性化部位の差異
- その上で、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 κ_0 について検討する。

2. 平面骨組の検討

2.1 設計骨組

図1に対象骨組⁴⁾の軸組を示す. この骨組は文献4)で試設計されたAR04であり, 本報ではこれを剛接合骨組と定義する. その1の設計手法では, 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 R_0 を特定の値に定めたとき, その基になる剛接合骨組の部材の断面は κ_0 によって異なる. その結果, 半剛接合接合骨組の部材断面も κ_0 によって異なる. しかし本報その2では, 半剛接合骨組の部材断面を κ_0 によらず図1の剛接合骨組⁴⁾と同じとして, κ_0 に応じて外ダイアフラムの寸法だけが異なる半剛接合骨組の解析結果の差異を確認する.

剛接合骨組は保有水平耐力と許容応力度の規定を満足するように柱と梁の断面寸法を定めた骨組であり、設計法は文献 4) に詳しい。ただし、本報では梁の曲げ剛性に寄

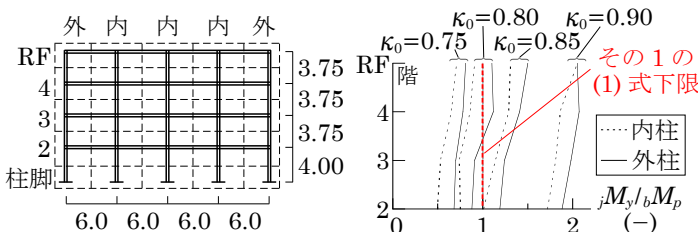


図 1 対象骨組の軸組³⁾ (単位: m)

表1 外ダイアフラム寸法

(a)AR04-90 ($\kappa_0=0.90$)

階	鋼種	$h_d \times t_d(\text{mm})$		$K_R/K'_R(-)$	
		外柱	内柱	外柱	内柱
RF	400N	130×70	130×70	0.904	0.903
4	490N 級鋼材	150×80	150×70	0.910	0.906
3		140×90	140×80	0.908	0.904
2		150×90	150×80	0.906	0.904
		$h_d/t_d=1.56\sim 2.14$		Ave.=0.905	

(b)AR04-80 ($\kappa_0=0.80$)

階	鋼種	$h_d \times t_d(\text{mm})$		$K_R/K'_R(-)$	
		外柱	内柱	外柱	内柱
RF	400N	110×40	100×36	0.817	0.808
4	490N 級鋼材	120×50	110×40	0.822	0.810
3		100×50	80×50	0.806	0.803
2		110×50	80×60	0.809	0.807
		$h_d/t_d=1.33\sim 2.78$		Ave.=0.810	

とする床スラブの合成効果は考慮していない。また、半剛接合骨組はその 1 に従い、上述した剛接合骨組の各柱梁接合部に外ダイアフラムを適用することで実現させる。このとき目標値 κ_0 を 0.9, 0.85, 0.8, 0.75 とし外ダイアフラムの寸法を定める。例えば、目標値 κ_0 を 0.9 と定めて設計した半剛接合骨組を AR04-90 骨組と呼ぶ。

表 1 に剛接合骨組に適用した外ダイアフラムの寸法を例示する. 表 1 より, その 1 の (2) 式に従い算定した部分骨組の層剛性比 K_R/K'_R が, 目標値 κ_0 を超えていることを確認できる. 図 2 に, 梁と梁端接合部の耐力比 ${}_jM_y/{}_bM_p$ の算定値を示す.

2.2 解析概要

解析には、任意形平面骨組の複合非線形解析プログラム CLAP.f⁵⁾を用いる。図3に解析モデルの概要を示す。柱、梁、パネル、梁端接合部の力学的特性は移動硬化則に基づく Bilinear 型で与え、折れ点の耐力は、柱、梁、パネルでは全塑性耐力、梁端接合部は降伏耐力で定義する。梁端接合部の弾性剛性と降伏耐力は文献2)に従い算定する。折れ点後の剛性は柱、梁、パネルで弾性剛性の0.02倍、梁端接合部で弾性剛性の0.2倍と定める。

静的増分解析では文献 4) に従い、鉛直下向きの一定荷重を与えた上で、 A_i 分布に基づく水平比例荷重を一方方向に作用させる。

時刻歴応答解析では、地震動を水平方向にのみ与え、地震動は El Centro NS と JMA Kobe NS を採用する。慣性質量は支配床面積に応じて柱梁節点に分配している。減衰は剛性比例型とし、1 次減衰定数を 2% とする。また、すべての骨組で時間刻みは 1/200 秒とし、損傷に寄与する地震入力エネルギー⁶⁾の速度換算値 V_{dm} が 1.5m/s となるように、入力地震動の加速度を比例的に増減している。

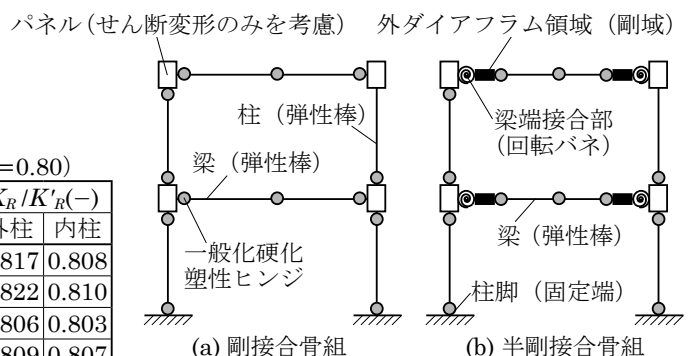
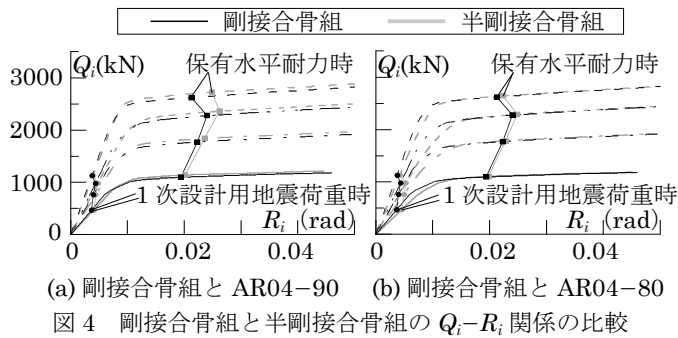


図3 解析モデルの概要

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

TONE Kazuhiro, KOETAKA Yuji, MORIOKA Hiromitsu and KINOSHITA Tomohiro



3. 静的増分解析結果

図 4 に、層せん断力 Q_i -層間変形角 R_i 関係の比較を例示する。図 4 より、 κ_0 が小さくなるに連れて半剛接合骨組の層剛性が小さくなっている。

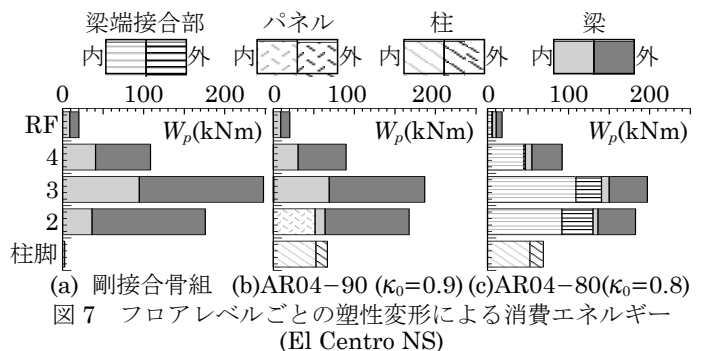
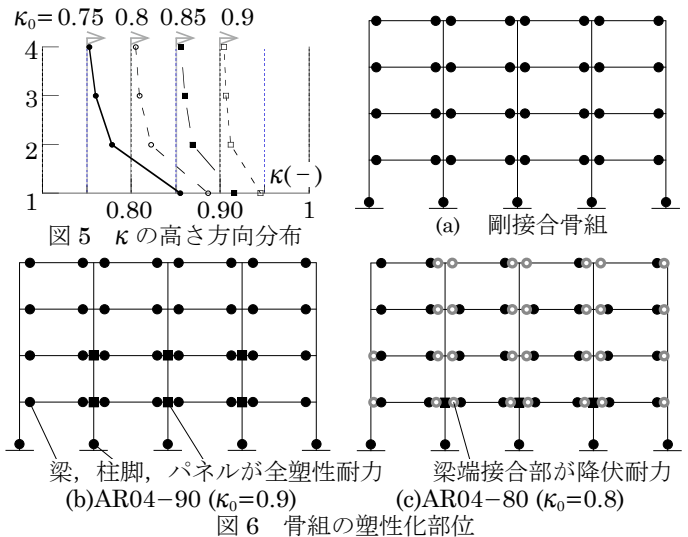
この層剛性の低下率を定量的に確認するため図 5 に、層せん断力 Q_i -層間変形角 R_i 関係より得た層剛性比 κ の高さ方向分布を示す。図 5 より、設計時に定めた目標値 κ_0 にかかわらず、すべての半剛接合骨組において κ が目標値 κ_0 を超えている。

剛接合骨組、およびその 1 の (1) 式を満足する半剛接合骨組 AR04-90, 85 は、1 次設計用地震荷重時に許容応力度の規定を満足することを別途確認している。一方で、その 1 の (1) 式を満たしていない骨組のうち、 κ_0 が小さい半剛接合骨組 AR04-75 では、1 次設計用地震荷重時に梁端接合部が降伏耐力に到達しており、許容応力度の規定を満足しない。

2 次設計用地震荷重時に、すべての骨組で保有水平耐力の規定を満足することを別途確認している。また、図 6 に保有水平耐力時の各部の塑性化状況を示す。図 4(a) では、剛接合骨組よりも半剛接合骨組の方が保有水平耐力が大きくなっている。これは、外ダイアフラムを適用したことで梁の長さが短くなり、梁が全塑性耐力に到達するときの節点モーメント（梁の節点塑性モーメント）が増加したためである。梁の節点塑性モーメントの増大により、図 6(a) の剛接合骨組とは異なり、図 6(b) ではパネルの塑性化がみられる。また、図 6(c) の AR04-80 のように目標値 κ_0 が小さくなるほど梁端接合部の塑性化が顕著となることが確認できる。

4. 時刻歴応答解析結果

図 7 に El Centro NS を入力したときの、フロアレベルごとの各部の塑性変形による消費エネルギー W_p を示す。図 7 より、半剛接合骨組は剛接合骨組と比べて梁の消費エネルギーが減少する。しかし、その 1 の (1) 式を満足する半剛接合骨組 AR04-90, 85 では剛接合骨組と比べてパネルの塑性化が見られる。また、外側柱よりも内側柱のパネルの方が取り付く梁の本数が多く、パネルモーメントが大きくなるため、内側柱のパネルが塑性化している。一方で、その 1 の (1) 式を満足しない半剛接合骨組



AR04-80, 75 では梁端接合部の消費エネルギーが増加する。JMA Kobe NS を入力した場合でも、 κ_0 の違いによる骨組の塑性化部位の差異は同様の傾向を示すことを別途確認している。さらに、図 7 の κ_0 による塑性化部位の違いは、図 6 の静的増分解析による保有水平耐力時の各部の塑性化状況と対応する。

以上の検討より、AR04 の場合には、 κ_0 を 0.85 以上としてその 1 の設計手法に従って半剛接合骨組を設計することでその 1 の (1) 式、および許容応力度と保有水平耐力の規定を満足する。

5. まとめ

本報では、前報その 1 に従い半剛接合骨組を設計した上で、平面骨組の解析をおこない以下の知見を得た。

- すべての半剛接合骨組で層剛性比 κ が目標値 κ_0 を超える（層間変形角の制限を満たす）。
- κ_0 が 0.85 以上の半剛接合骨組 AR04 は、すべての設計条件を満足する。
- κ_0 が 0.85 以上の半剛接合骨組 AR04 ではパネルの塑性化が生じる。

これは剛接合骨組に AR04⁴⁾ を用いたときの結果である。そのため、その他の軸組や層数を対象とした同種の検討をおこない、それらの結果をふまえて κ_0 の最適値を提示することは今後の課題とする。

参考文献 その 1 にまとめて示す。

*1 京都大学
*2 JFE スチール

*1 Kyoto University
*2 JFE Steel Corporation