

実大5層RC造壁付き架構試験体を対象とした静的非線形増分解析

その2 解析結果と実験結果の比較

壁付き架構	モデル化	スラブ有効幅
危険断面位置	剛域	耐力低下

正会員	○川越 悠馬*1	正会員	向井 智久*2
同	衣笠 秀行*1	同	河野 進*3
同	前田 匡樹*4	同	谷 昌典*5
同	渡邊 秀和*2	同	坂下 雅信*6

1. はじめに

本稿では、その1で示した解析概要に基づく静的非線形増分解析結果と実験結果の比較について報告する。

2. 建物レベルの挙動に関する解析結果と実験値の比較

ベースシア代表変形角関係の実験値と解析値の比較を図9に示す。2014年試験体は、 $R_r=0.5\%$ 時点では、スラブ有効幅を1mとしたモデルa1が比較的精度よく実験値を評価できる。その1に示したスラブ筋降伏分布より、本試験体は $R_r=0.5\%$ 時点で梁端から1.2mまでのスラブ筋が降伏しており、このことから同変形角時点で梁の曲げ耐力に寄与したスラブ長さも1m程度と推測され、上記の解析結果と整合する。また実験で最大耐力が発揮された $R_r=1\%$ 時点では、実験値がモデルa1の解析結果をやや上回る。これはその1に示したように、実験では $R_r=0.5\sim 1\%$ の間でスラブ全幅に相当する位置までスラブ筋降伏が進展し、その分の耐力上昇が生じたためと考えられるが、解析値が大きいことからその原因については更なる検討が必要である。

2015年試験体は、モデルb1~b4を比較すると、危険断面位置を壁フェイス位置としたモデルb1・b2は、実験の最大耐力および降伏後剛性を大きく上回る。一方で危険断面位置を剛域端としたモデルb3・b4は前者と比べ、耐力・降伏後剛性ともに小さく、比較的実験値と近い結果を示している。危険断面を剛域端に設けたモデルがそうでないモデルより実験値との整合がよいのは、その1に示したように、本試験体は最大耐力付近の変形で、壁端部座屈に伴う開口隅角部の激しい損傷が生じており、それに伴い危険断面が壁フェイス位置よりも接合部側へと移動したためと考えられる。続いてモデルb3・b4を比較すると、スラブ有効幅を全幅としたモデルb4が比較的精度よく最大耐力を評価できている。その1に示したように、本試験体は最大耐力に到達する $R_r=0.5\%$ 時点でスラブ中央付近のスラブ筋が降伏しており、スラブ全幅が梁の曲げ耐力に寄与した可能性が高く、解析結果と整合したものと思われる。さらにモデルb4に耐力低下を考慮したモデルb5では、実験より小さい変形レベルにおいて耐力低下が発生しているものの、耐力低下後のベースシアは概ね適切に評価できている。耐力低下が実験より小さい変形角から発生する理由としては、本研究で用いた耐力低下率³⁾が、スラブの付帯していない壁付き梁を対象とした値であり、本試験体の壁付き梁においてはスラブが付帯したことで、設定した耐力低下がある程度抑制されたものと推察される。

両試験体の最も精度のよいモデル(a1・b5)の、層間変形角分布の実験値と解析値の比較を図10に示す。図より、両試験体とも概ね実験値と整合しており、建物全体の挙動に関して概ね評価できたと言える。

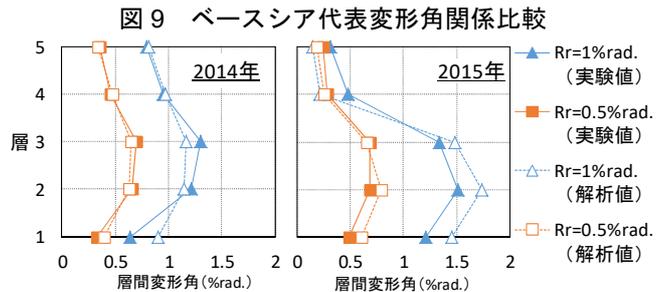
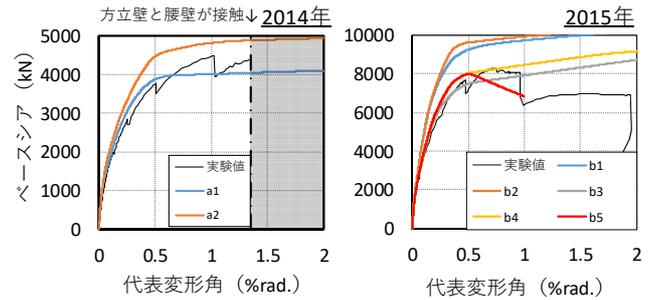


図9 ベースシア代表変形角関係比較
図10 層間変形角分布比較

3. 部材レベルの挙動に関する解析結果と実験値の比較

部材の損傷・変形状について解析値(モデルa1・b5)と実験値の比較を行う。塑性ヒンジ形成位置の比較を図11に示す。図より、両試験体とも概ね実験の傾向を捉えている。2015年試験体の4層北側(紙面左側)の梁については実験のみ降伏しているが、これは解析における荷重方法が影響していると思われる。解析では北(紙面右方向)を正とする1方向荷重としており、その際4層梁の曲げ応力負担は南側が北側より大きいため、南側の梁のみ降伏する。一方実験では、正負交番繰り返し荷重により南北の梁に生じる応力差が荷重方向で逆転するため、南北両方の梁に降伏が生じたものと考えられる。

続いて実験で局部変形を計測することで部材角が算定できる部材(1層柱と2層梁)について、部材角を実験値と解析値で比較する。表2より、両試験体とも中央柱の解析値がやや大きいものの、概ね実験値を捉えている。

3.1 2015年試験体の最大ひび割れ幅の推定

2015年試験体において、実験で局部変形が計測されていない部材を対象に、解析で得られた当該部材の部材角を用

いて $R_r=1\%$ 時の各部材の最大ひび割れ幅を推定し、実験値と比較する。その結果、実験で局部変形が計測されていない部材について、解析で得られた部材角の妥当性を検証する。

3.1.1 解析に基づく最大ひび割れ幅の評価手法

最大ひび割れ幅の評価は以下の手法で行う。①実験で局部変形が計測された部材（1層柱および2層梁）について、あるサイクルの最大残留ひび割れ幅を縦軸に、同サイクルの最大部材角を横軸に各点をプロットする。②損傷計測した全サイクルについて上記の各点を多折れ線で表す。③解析にて、最大ひび割れ幅を評価する部材の任意のstepにおける部材角を算出する。④③で求めた部材角が、対応する部材における②で作成したグラフと交わる点を求め、そのときの縦軸の値を予想される最大ひび割れ幅とする。

上記の手法は、本試験体の最大ひび割れ幅一部材角関係が、実験で局部変形が計測された部材（1層柱および2層梁）と他の部材とで、概ね近い傾向が得られるという仮定に基づいている。しかし一般に、加力時の反曲点高さ比が大きく異なる部材では、同等の変形角でも損傷の生じ方にはばらつきがある。従って本研究では、実験で局部変形が計測された部材（1層柱および2層梁）と反曲点位置が近い部材のみを対象に検討を行う。具体的には、柱については解析で概ね1層と逆対称の反曲点位置となる3層のみ、梁は反曲点位置に差が生じにくいいため全部材を対象とする。

3.1.2 最大ひび割れ幅評価結果と実験値の比較

最大ひび割れ幅の評価結果と実験値の比較を表3に示す。表より、4層の梁を除き比較的实验値を捉えており、これらの部材については解析で得られた部材角が概ね妥当な範囲に収まっていることがわかる。4層の梁の算定精度が悪い原因としては、北側の梁については前述のとおり、解析で当該部材にヒンジが生じず、部材角が実験よりも小さく算定されたためである。南側の梁は、北側の梁にヒンジが生じなかったことで中央節点の回転が抑制され、その影響で部材角が小さく抑えられたためと思われる。

4. まとめ

実大5層RC造壁付き架構試験体2体に対して静的非線形増分解析を行い、建物レベルの挙動と部材レベルの挙動について解析値と実験値の比較を行い、以下の知見を得た。

- ・2014年試験体は梁の曲げ耐力算定時のスラブ有効幅を1mとすることで、建物レベルの挙動および部材レベル

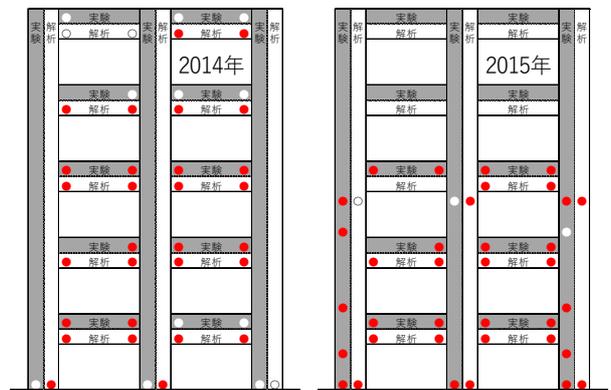
の挙動が概ね適切に評価できた。

- ・2015年試験体は梁の曲げ耐力算定時のスラブ有効幅を全幅としたうえで、危険断面位置を剛域端とし、さらに壁付き梁の骨格曲線に耐力低下を考慮することで、建物レベルの挙動および部材レベルの挙動が概ね適切に評価できた。また、解析で得られた部材角から各部材の最大ひび割れ幅を推定し、その値を実験値と比較することで、解析で得られた部材角が概ね妥当な範囲に収まっていることを確認した。

【謝辞】本実験は国総研総プロ「災害拠点建築物の機能継続技術の開発」として実施され、建築研究所指定研究課題「既存建築物の地震後継続使用のための耐震性評価技術の開発」により実施しました。関係各位に謝意を表します。

【参考文献】

- 1) 福山洋ほか：損傷低減のために袖壁を活用した実大5層鉄筋コンクリート造建築物の静的載荷実験（その1~13）、日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.361-386，2015.9
- 2) 福山洋ほか：損傷低減のために袖壁・腰壁・垂れ壁を活用した実大5層鉄筋コンクリート造建築物の静的載荷実験（その1~19）、日本建築学会大会学術講演梗概集，pp.209-246，2016.8
- 3) 川越悠馬ほか：静的非線形増分解析に基づく壁付き架構のモデル化手法の検討、コンクリート工学年次論文集，pp.79-84，2017.8
- 4) 日本建築学会：鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説，2010
- 5) 国土政策技術総合研究所ほか監修：2015年版構造物の構造関係技術基準解説書，2015
- 6) 日本建築学会：鉄筋コンクリート造建築物の靱性保証型耐震設計指針・同解説，1999



● $R_r=0.5\%$ rad. で降伏 ○ $R_r=1\%$ rad. で降伏

図 11 塑性ヒンジ分布比較

表 3 2015年試験体の最大ひび割れ幅比較

試験体	部材	層	部材の位置	部材角		最大残留ひび割れ幅[mm]	
				解析値	実験値	解析値	実験値
2015	柱	3	中央	0.023		2.5~*	2
			南	0.024		2.5~*	5
			北	0.023		3~*	7
	梁	R	南	0.002		0.32	0.3
			北	0.003		0.42	0.1
		5	南	0.002		0.35	0.6
北			0.003		0.44	0	
4		南	0.003		0.49	3	
		北	0.003		0.60	2	
3	南	0.016		2.69	3		
	北	0.016		2.76	3.5		

※3層柱の部材角($R_r=1\%$: 解析値)が1層柱の部材角($R_r=1\%$: 実験値)を超過したため

表 2 部材角比較

試験体	部材	層	部材の位置	部材角 $R_r=1\%$ [rad]		解析値/実験値
				解析値	実験値	
2014	柱	1	中央	0.014	0.007	1.9
			南	0.014	0.010	1.3
			北	0.014	0.011	1.2
	梁	2	南	0.009	0.010	0.9
			北	0.010	0.014	0.7
			北	0.010	0.014	0.7
2015	柱	1	中央	0.022	0.014	1.5
			南	0.022	0.019	1.2
			北	0.021	0.020	1.0
	梁	2	南	0.015	0.014	1.1
			北	0.016	0.018	0.9
			北	0.016	0.018	0.9

*1 東京理科大学, *2 建築研究所

*3 東京工業大学, *4 東北大学

*5 京都大学, *6 国土技術政策総合研究所

*1 Tokyo University of Science, *2 Building Research Institute

*3 Tokyo Institute of Technology, *4 Tohoku University

*5 Kyoto University, *6 National Institute for Land and Infrastructure Management