

下階壁抜け柱の挙動に注目した  
連層鉄骨ブレース補強 RC 建物の立体弾塑性解析

鉄筋コンクリート 連層鉄骨ブレース 下階壁抜け柱  
基礎浮き上がり 立体解析

正会員 ○舩田 尚之\*1  
同 北山 和宏\*2  
同 李 康寧\*3

1. はじめに

RC学校建物の耐震補強を実施する際、図1(a)のように張り間方向の下階壁抜け柱の軸耐力補強を兼ねて桁行方向に連層鉄骨ブレースを配置することが多い。しかし桁行方向の地震入力によって連層鉄骨ブレースの浮き上がり回転破壊を生じる場合、鉄骨ブレース脇の圧縮を受けるRC柱には大きな軸力が作用するため、2方向地震動の組み合わせによっては下階壁抜け柱の圧縮軸力がさらに増大する危惧がある。そこで本研究では、基礎浮き上がりを生じる連層ブレースを含む立体多層建物を対象に地震応答解析を実施して、建物全体の挙動及び下階壁抜け柱の軸力変動を検討した。

2. 解析モデル

部材は剛域を有する線材に置換し、材のねじり剛性は無視した。床は剛と仮定し重量は床位置に集中させた。解析には非線形骨組解析プログラム「CANNY-E」を用い、解析骨組の基本モデルは、図-1に示すような桁行方向(連層ブレース方向)5スパン、張り間方向(直交方向)2スパンの3層鉄筋コンクリート造骨組とした。壁は厚さ150mm、配筋縦横 $9\phi@200$ のダブルとし、X4 通りの2、3層に配置した。この解析建物の部材の寸法および配筋を表-1に示す。材料強度は、コンクリート圧縮強度 $\sigma_B=20.6\text{ N/mm}^2$ 、鉄筋および鉄骨材の降伏強度 $\sigma_Y=235\text{ N/mm}^2$ とした。なお、基準座標系として、図-1に示すようにX、Y座標を定義した。

表1 部材の断面と配筋

階数	基礎	2				3				R			
		上	4-25 $\phi$	5-22 $\phi$	4-22 $\phi$	3-19 $\phi$	柱	断面	450×500	主筋	14-25 $\phi$	帯筋	9 $\phi@250$
下	4-25 $\phi$	4-22 $\phi$	3-22 $\phi$	2-19 $\phi$	梁	断面	300×1100	H×B	200×200	断面積	6353		
直交方向	上	4-25 $\phi$	5-22 $\phi$	4-22 $\phi$	4-22 $\phi$	ブレース	t1	8					
	下	4-25 $\phi$	2-22 $\phi$	2-22 $\phi$	2-22 $\phi$		t2	12					
	断面	300×1100	300×800										

(単位 mm)

3. 部材モデル

柱、梁および鉄骨ブレースを含むフレームのモデルは、参考文献[1]より定めた。壁は壁谷澤モデルを用い、壁の面内方向は、両側の軸パネを有するトラス材と、中央の曲げ・せん断・軸剛性を有するビーム材にモデル化した。トラス材には側柱の軸剛性を持たせ、ビーム材には側柱を除いた壁パネル部分の曲げ・軸剛性を持たせた。ただし、トラス材のせん断剛性は、側柱のせん断剛性を付加して計算した。また、耐震壁による連層ブレース浮き上がりの抑制を考慮に入れて、上下の壁の間の梁

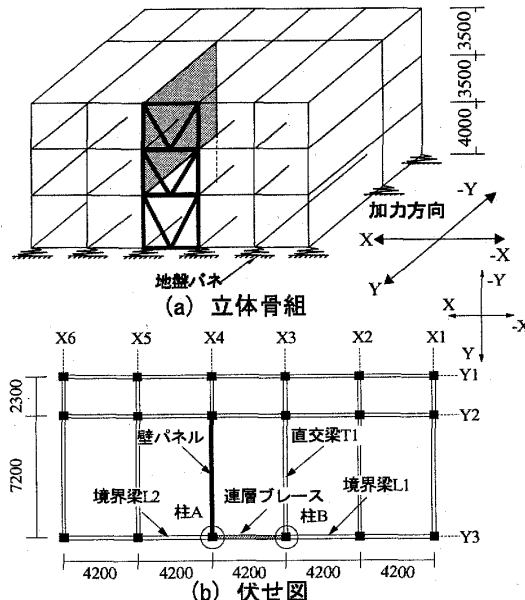


図1 解析モデル

鉛直せん断パネに壁2枚と梁1本分のせん断強度を与えた。各部材のひび割れモーメント、ひび割れせん断力、曲げ耐力およびせん断耐力は、日本建築学会の鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説[2]により求めた。なお、柱梁接合部は剛域としてモデル化し、ブレースを含むフレームでは剛域の長さをモルタルが充填された間接接合部までとした。また、地盤パネの履歴特性は、引張りには抵抗しないものとして連層ブレースの浮き上がり回転を考慮した(詳細は参考文献[1])。

4. 地震応答解析

4.1 荷重方法

入力地震動には兵庫県南部地震の神戸海洋気象台で観測された地震動(略称Kobe)を用いた。解析ケースを表2に示す。数値積分にはNewmark- $\beta$ 法( $\beta=0.25$ )を用い、0.001秒刻みで計算した。減衰は瞬間剛性比例型で、初期弾性時の1次モードの減衰定数を5%とした。

表2 解析ケース

1方向加力	X方向にKobeEWを入力
2方向加力	X方向にKobeEW、Y方向にKobeNSを入力

4.2 解析結果

(1) 桁行方向の1層層間変位

図2に桁行方向の1層層間変位の時刻歴を示す。灰破線が1方向加力、黒線が2方向加力地震応答解析の結果である。1方向加力では時刻2.6秒付近で境界梁L1、L2(図1参照)の基礎梁がほぼ

同時に降伏したことから剛性が低下し、柱 A の基礎が浮き上がった。その後柱 B の基礎の浮き上がりと同時に直交梁 T1 の基礎梁が降伏した。2 方向加力では、時刻 2.6 秒で梁 L1, T1 の基礎梁が降伏、基礎浮き上がり後の時刻 3.6 秒で梁 L2, T2 の基礎梁が降伏した。その後両加力共に、基礎の浮き上がりからブレース周辺の基礎梁が全て降伏し、剛性が低下したことから急激に変形が進んだ。また、2 方向加力時残留変形が大きくなった。

(2) 1 層の層せん断力-層間変形角関係

図 3 に桁行方向の 1 層部分の層せん断力-層間変形角の関係を示す。2 方向加力では、張り間方向にも地震動が作用することから、直交梁 T1 が降伏したことで剛性が低下し、基礎の浮き上がりや梁 L1, T2 の降伏によってさらに剛性が低下したことで 1 層の層間変形角は 2.6% にまで達した。1 方向加力では、直交梁に作用するせん断力は全て基礎の浮き上がりの拘束に寄与するので、基礎の浮き上がりに対して安定した抑え込み効果を発揮し、1 層の層間変形角は 1.29% 程度であった。

(3) 1 層のブレース脇の既存柱 A に作用する軸力

図 4 に RC 柱 A の 1 層部分での軸力変動の時刻歴を示す。1 方向加力では最大引張軸力が軸引張耐力の 29% (479kN) に達し、最大圧縮軸力は軸力比 0.21 (1319kN) であった。2 方向加力では 1 方向加力に比べて引張軸力は小さく、軸引張り耐力の 7% (114kN) に対し、圧縮軸力比は最大で 0.34 (2060kN) と 1 方向加力時の 1.6 倍に達した。これは 2 方向加力では、張り間方向に入力した地震動の影響により、柱 A が圧縮される側に大きく変形するためである。

(4) 1 層の柱 A 脇の鉄骨縦枠に作用する軸力

図 5 に柱 A 脇の鉄骨縦枠の 1 層部分での軸力変動の時刻歴を示す。鉄骨ブレースは変形が進むことで耐力が発現するが、1 方向加力の場合、それほど変形が進まないため最大で 194kN、2 方向加力の場合には前述の理由から 1170kN まで軸力を負担した。RC 柱 A とその脇の鉄骨縦枠が、同時に負担する軸力の和の最大は 2873kN となり、これは RC 柱のみの断面を考慮した軸力比では 0.47 となる。

5. まとめ

2 方向地震応答解析では、直交梁 T1 が降伏するため連層鉄骨ブレースの浮き上がりに対する拘束作用が減少し、1 層の層間変形角が 1 方向加力時の 2 倍に達した。また 2 方向加力の場合、鉄骨ブレースの側柱に作用する軸力は 1 方向加力に比べて圧縮側に片寄るため、鉄骨縦枠が多くを負担しているにもかかわらず最大で軸力比 0.34 の圧縮軸力が作用した。

参考文献

[1] 加藤弘行, 北山和宏, 李康寧: 連層鉄骨ブレースの浮き上がりを生じる鉄筋コンクリート立体建物の一方向静的漸増載荷解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp821-822, 2001.  
 [2] 日本建築学会: 鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説1991.

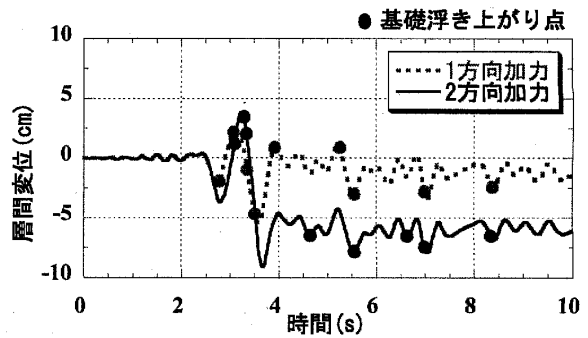


図2 X方向の1層の変位の時刻歴

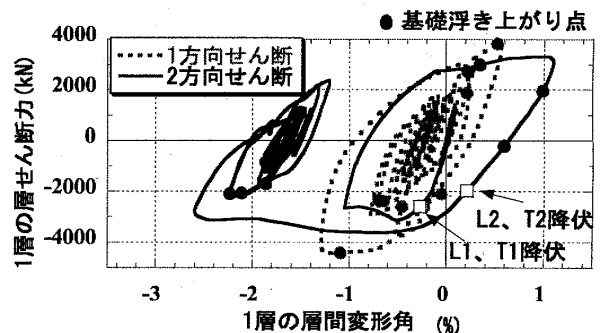


図3 1層の層せん断力-層間変形角関係

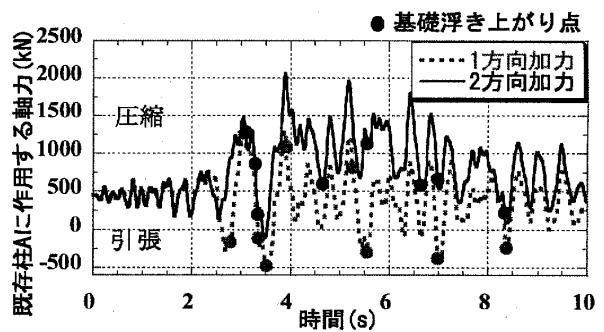


図4 柱Aの1層部分に作用する軸力

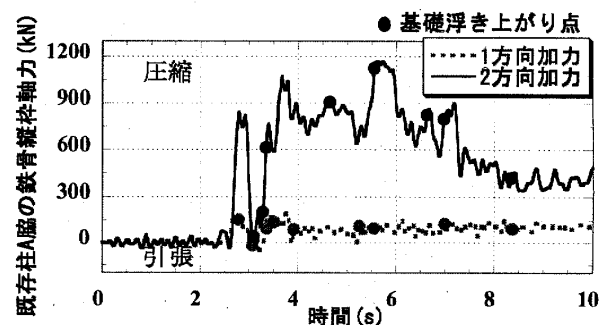


図5 柱A脇の鉄骨縦枠の1層部分に作用する軸力

[3] 森山健作, 北山和宏, 李康寧: 連層鉄骨ブレースで補強された下階壁抜け柱を含む鉄筋コンクリート立体建物の静的載荷解析, 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp617-618, 2003.

\*1 東京都立大学大学院工学研究科  
 \*2 東京都立大学大学院工学研究科助教授 工博  
 \*3 CANNY コンサルタント 工博

\*1 Graduate School of Engineering, Tokyo Metropolitan University  
 \*2 Associate Professor, Tokyo Metropolitan University, Dr. Eng  
 \*3 CANNY Consultants, Dr. Eng