

せん断破壊を伴う単層鉄筋コンクリート造建物のねじれ地震応答性状

(その1. 構面の耐力低下がねじれ応答に与える影響)

正会員 藤井 賢志*1 ○上田 芳郎*2 楠 浩一*3 中埜 良昭*4

1. はじめに

現在、旧基準で建てられた建物など耐震性能の劣る鉄筋コンクリート造建物に、鉄筋コンクリート造耐震壁や鉄骨ブレース等の増設による耐震補強が行われている。しかし、これら補強計画において、機能上の要求等により壁が偏心配置される場合あり、耐震補強を行った建物においてもねじれ振動が生じる可能性は否定できない。ねじれ応答が生じる場合、片側の構面において大きな応答変形が生じるが、補強計画においては既存柱の靱性改善が行われない場合も多い。せん断破壊を生じる部材を含む鉄筋コンクリート造建物にねじれ応答が生じた場合、変形の増大する構面にある部材から順次せん断破壊が生じる事によりねじれ応答がさらに増大し、大きな被害に至る事が予想される。しかしながら現在までに建物のねじれ応答性状に関する研究は多数発表されているものの、柱のせん断破壊がねじれ応答に及ぼす影響について検討した例は少ない。そこで本研究では、せん断破壊が生じる部材（以下、せん断部材と略記）と曲げ破壊が生じる部材（以下、曲げ部材と略記）が混在した単層建物を対象に、せん断破壊による構面の耐力低下が建物全体のねじれ振動におよぼす影響について検討を行った。

2. 解析建物のモデル化および解析手法

2.1 解析対象建物 解析対象建物は図1に示すようにX方向 4.5m×3スパン、Y方向6m×2スパンの1層の建物であり、階高は3.75m、床重量は1.20tonf/m²と仮定した。地震動の入力方向はX方向とし、建物はX方向のみ弾塑性挙動、Y方向は弾性挙動と仮定した。建物のベースシア係数は、補強前で0.45程度を想定し、補強後で0.75とした。本研究では補強後の建物のみを解析対象とした。補強構面は構面②と構面③とし、補強構面は既存部材（せん断部材と曲げ部材）と補強部材が混在しているものとした。

2.2 建物のモデル化 建物は剛床仮定を用い、1質点3自由度系（建物の重心位置での水平X、Y2方向および回転方向）にモデル化した。X方向各構面は、せん断部材、曲げ部材および補強部材を表す弾塑性バネが並列に配されているものとしてモデル化した（図2）。Y方向各構面は弾性バネで構成されるものとした。部材のねじれ剛性および柱の2軸曲げによる耐力および剛性の相関

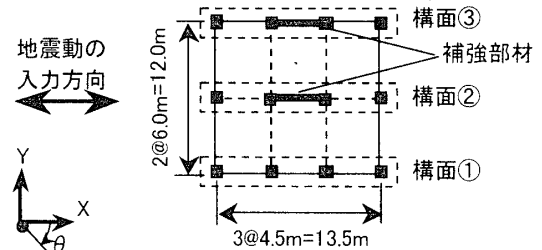


図1 解析対象建物の平面図

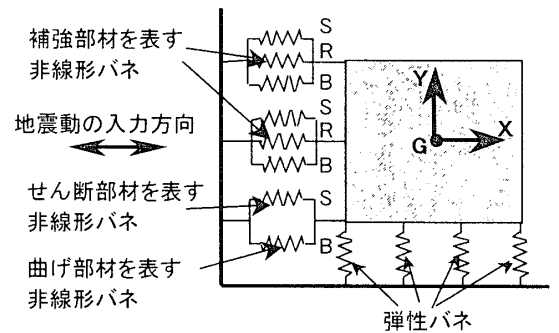


図2 解析モデル

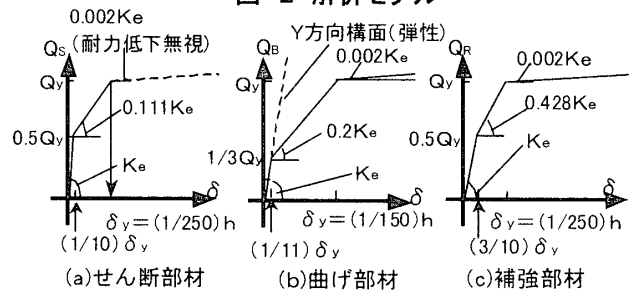


図3 部材の復元力特性

は無視した。各部材の復元力特性は、せん断部材を原点指向型モデル、曲げ部材と補強部材を Takeda モデル²⁾にモデル化した。各部材の復元力特性を図3に示す。ここでせん断部材は、耐力低下を考慮する場合には層間変形角が 1/250 に達するとせん断破壊を生じる事により全耐力を消失し、その後耐力を全く負担しないものとした。せん断部材の復元力特性は、せん断耐力に達した後の耐力低下を考慮する場合に加え、耐力低下を無視する場合の2種類を想定した。

2.3 解析のパラメータ 解析のパラメータは、①耐力偏心の程度、②各構面の既存部分におけるせん断部材の耐力の比率、③せん断部材のせん断破壊後における耐力低下の考慮の有無とした。

①耐力偏心の程度を示すパラメータとして、文献[3]で日野等が提案する耐力偏心率 R_{EQ} (式1) を用いた。

$$R_{EQ} = C_B \cdot e_Q / \sqrt{B^2 + L^2} \quad \text{式 1}$$

$$e_Q = \sum_i i Q_{yX} \cdot i l_Y / \sum_i i Q_{yX} \quad \text{式 2}$$

ここで、 C_B : 建物のベースシアー係数

e_Q : 耐力偏心距離

$i Q_{yX} = i Q_{ySB} + i Q_{yR}$: X方向構面 i の降伏耐力

$i Q_{ySB}$: X方向構面 i の既存部材の降伏耐力

$i Q_{yR}$: X方向構面 i の補強部材の降伏耐力

$i l_Y$: 重心から構面 i までの距離

ベースシアー係数 C_B を 0.75 として R_{EQ} の値が 0.000, 0.033, 0.067, 0.100 となるように各構面の部材耐力を決定した。各構面の耐力を表1に示す。

②各構面の既存部分におけるせん断部材の耐力の比率 α_i を (式3) で定義する。

$$\alpha_i = i Q_{yS} / i Q_{ySB} = i Q_{yS} / (i Q_{yS} + i Q_{yR}) \quad \text{式 3}$$

ここで、 $i Q_{yS}$ は構面 i のせん断部材の耐力、 $i Q_{ySB}$ は構面 i の曲げ部材の耐力である。本解析ではせん断部材の比率 α の値は各構面で等しいものとし、 $\alpha=0.1, 0.3, 0.5, 0.7, 0.9$ の5種類とした。従って解析ケースは計40通り ($4 \times 5 \times 2$) となる。Y方向は部材の復元力特性を弾性とし、各構面の剛性は図3(b)の曲げ部材の復元力特性をを参考に $\frac{1}{4} \cdot \left\{ \frac{1}{3} \cdot 0.45W \right\} / \left\{ \frac{1}{11} \cdot \frac{1}{150} \cdot h \right\}$ と仮定した。各モデルにおける弾性1次ならびに弾性2次固有周期の一覧を表2に示す。固有モードはすべてのケースにおいて弾性1次が並進卓越型、弾性2次がねじれ卓越型となった。減衰は瞬間剛性比例型とし、弾性1次モードに対

表1 解析モデルの耐力偏心率と各構面の部材耐力

解析ケース	Case 1	Case 2	Case 3	Case 4	
耐力偏心率 R_{EQ}	0.000	0.033	0.067	0.100	
構面③	既存部材 $3 Q_{ySB}$	0.15W	0.10W	0.05W	0.00W
	補強部材 $3 Q_{yR}$	0.00W	0.15W	0.30W	0.45W
構面②	既存部材 $2 Q_{ySB}$	0.00W	0.05W	0.10W	0.15W
	補強部材 $2 Q_{yR}$	0.45W	0.30W	0.15W	0.00W
構面①	既存部材 $1 Q_{ySB}$	0.150W			

ここで、W : 建物の重量

表2 各モデルにおける固有周期一覧 (sec)

せん断部材の比率	$\alpha=0.1$	$\alpha=0.3$	$\alpha=0.5$	$\alpha=0.7$	$\alpha=0.9$
Case 1 ($R_{EQ}=0.000$)	0.201	0.191	0.182	0.174	0.167
Case 2 ($R_{EQ}=0.033$)	0.203	0.192	0.182	0.174	0.167
Case 3 ($R_{EQ}=0.067$)	0.169	0.163	0.157	0.151	0.146
Case 4 ($R_{EQ}=0.100$)	0.208	0.194	0.183	0.174	0.167
	0.161	0.157	0.153	0.150	0.146
	0.214	0.198	0.185	0.175	0.167
	0.153	0.151	0.150	0.148	0.145

注) 上段は弾性1次固有周期、下段は弾性2次固有周期

して臨界減衰の3%とした。

2.4 入力地震動と数値積分法 地震動はX方向1方向入力とした。入力地震波として1978年宮城県沖地震の際に東北大学で観測された記録のNS成分⁶⁾を用い、継続時間は25秒間とした。入力地震動の大きさは、せん断部材のみで構成されているベースシアー係数 $C_B=0.75$ の無偏心建物の最大層間変形角が1/250となるように、最大加速度を0.42Gに拡大した。数値積分法はNewmark- β 法 ($\beta=0.25$) を用い、積分時間刻み $\Delta t=0.002$ secとした。剛性の変化および耐力低下による不釣合い力は次ステップで解除するものとした。

3. 解析結果

図4および図5に、せん断部材の比率 α と重心位置での最大回転角 θ_{MAX} およびねじれ応答により変形が増大した構面①における曲げ部材の最大塑性率 μ_{MAX} の関係を示す。図4において、耐力低下を考慮した場合には無偏心の場合を除いて α が増加するに従い重心位置での最大回転角 θ_{MAX} も増加する傾向があるのに対し、耐力低下を無視した場合には θ_{MAX} の値は α の値の影響をほとんど受けていない事がわかる。

一方図5において耐力低下を考慮した場合、耐力偏心の大きいケースではせん断部材の比率 α が増加するに従い曲げ部材の最大塑性率 μ_{MAX} が急激に増加しているのに対し、耐力低下を無視した場合には μ_{MAX} はせん断部材の比率 α の影響をほとんど受けていない事がわかる。

4. まとめ

せん断破壊を生じる部材と曲げ破壊を生じる部材が混在した単層1軸偏心建物を対象に、せん断部材の耐力低下がねじれ地震応答性状に及ぼす影響について解析的検討を行った。その結果、せん断破壊による耐力低下は重心位置での回転角ならびに曲げ部材の最大塑性率を増大させる傾向があり、それはせん断部材の比率が大きいほど顕著となることがわかった。

注) 参考文献は(その2)にまとめて記す。

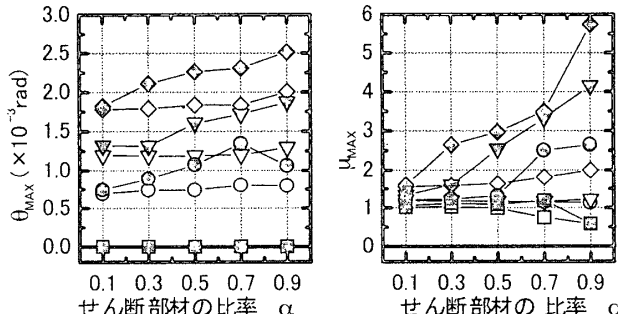


図4 α と θ_{MAX} の関係 図5 α と μ_{MAX} の関係

—□—, —○— Case1, —●—, —○— Case2
—▽—, —▽— Case3, —◇—, —◇— Case4
黒塗り: 耐力低下を考慮 白抜き: 耐力低下を無視

*1. 東京大学大学院工学系研究科 博士課程
*2. 東京大学大学院工学系研究科 修士課程
*3. 東京大学生産技術研究所 助手・博士(工)
*4. 東京大学生産技術研究所 助教授・工博

Graduate student, Graduate School of Engineering, The Univ. of Tokyo, M. Eng.
Graduate student, Graduate School of Engineering, The Univ. of Tokyo
Research Associate, Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr.Eng.
Associate Professor, Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr.Eng.