

単層偏心建物の Pushover 解析

偏心建物, Pushover 解析, 1 次モード

正会員 ○藤井 賢志*1 中埜 良昭*2

1. はじめに

近年, 性能評価型の建物の耐震設計法および既存建物の耐震診断手法の開発が進んでいる。これらの手法では建物の耐震性能の評価方法として Pushover 解析を取り入れているものが多い[1][2]。しかし Pushover 解析は従来平面的に比較的整形な骨組を対象として検討されてきたものであり[3], 偏心建物を対象とした検討例は必ずしも多いとはいえない。そこで本研究では, 単層 1 軸偏心建物を対象にして Pushover 解析の適用性に関して検討を行なった。

2. 解析モデル

解析建物モデルは, 単層で X 方向 6 スパン, Y 方向 1 スパンの建物モデルである (図 1)。床の単位面積あたり重量は 11.8kN/m^2 (1.2tonf/m^2) と仮定し, 階高を 3.75m と仮定した。Y 方向各構面は, 構面(2)~(7)では図 2 (A)に示す純ラーメン要素が, 構面(1)には純ラーメン要素と図 2 (B)に示す耐震壁要素が配置されているものと仮定した。各構面の耐力は, 構面(2)~(7)についてはそれぞれ $0.05W$ (W : 建物総重量), 構面(1)については耐震壁要素を $0.15W$ と仮定し, 純ラーメン要素の耐力の $0.05W$ を加えた $0.20W$ とした。各構面の復元力モデルは Takeda モデル[4]を用いた。X 方向構面は弾性挙動とし, その剛性は層全体の X 方向の剛性が層全体の Y 方向の弾性剛性と等しいものとした。

偏心建物のモード形の違いによる差を見るため, 上記のモデル (Model-1) の他に解析モデル上建物重量および構面配置は変更せずに回転慣性を 4 倍にしたモデル (Model-2) の 2 つのモデルを設定した。Model-1, Model-2 における諸元を表 1 に, 弾性モード形を図 3 に示す。弾性 1 次モード形は, Model-1 では並進卓越型, Model-2 ではねじれ卓越型である。

3. 弾塑性地震応答解析

弾塑性地震応答解析において, 地震波は Y 方向からの一方向入力とした。入力地震波は, El Centro 1940NS, Taft 1952EW, Tohoku Univ. 1978NS, Hachinohe 1968EW, JMA Kobe 1995NS の 5 波の最初の 25 秒間を用いた。地震波の大きさは, 各モデルの重心位置での Y 方向並進変位の最大値が階高の $1/75$ となるように設定した。各モデルの減衰は Model-1, 2 とともに瞬間剛性比例型とし, 減衰定数は 1 次モードに対して臨界減衰定数の 3% と仮定した。数値積分方法は Newmark- β 法 ($\beta = 1/4$) を用い, 積分刻み時間は

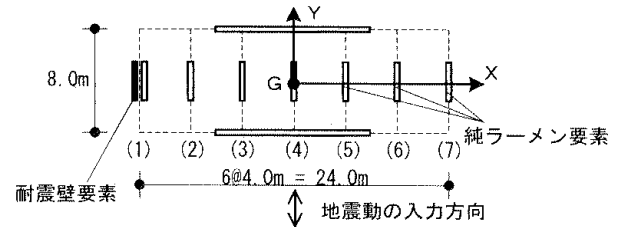


図 1 解析モデル

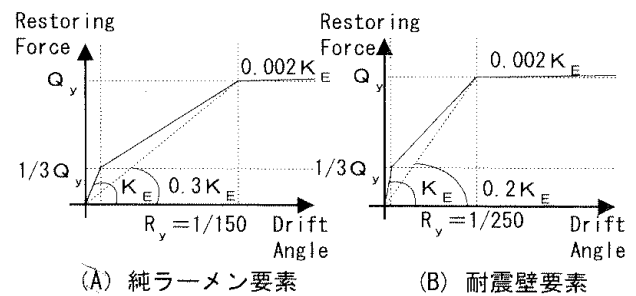


図 2 各要素の復元力特性

表 1 解析モデルの諸元

解析モデル	Model-1	Model-2
質量 m (ton)	230.4	
回転慣性 I ($\text{ton}\cdot\text{m}^2$)	12290	49150
剛性偏心距離 e (m)	6.205	
重心における弾力半径 j (m)	11.02	
回転半径 $i = \sqrt{I/m}$ (m)	7.303	14.61
偏心比 e/i	0.850	0.425
弾力半径比 j/i	1.509	0.755
偏心率 R_E	0.682	
1 次固有周期 T_1 (s)	0.269	0.368
2 次固有周期 T_2 (s)	0.124	0.182

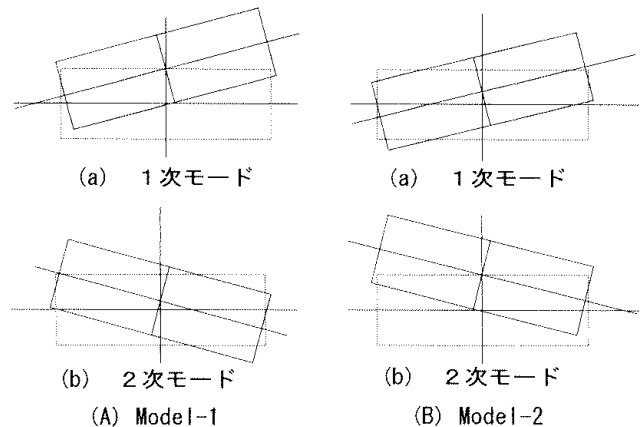


図 3 弾性モード形

0.001 秒とした。

4. 偏心建物の Pushover 解析

建物の Pushover 解析を行うためには外力分布もしくは変形分布を仮定する必要がある。これらの分布形状は、多層平面骨組の場合には弾性 1 次モードに対応する分布などの一定の分布が仮定されることが多い。本研究では多層平面骨組と同様に一定の外力分布を仮定した場合の 2 Case の Pushover 解析に加えて、要素の塑性化の進展によるモード形の変化を考慮した Pushover 解析を行った。すなわち 1) 水平力のみを重心に作用させた場合 (Case 1, 外力分布を仮定), 2) 弾性 1 次モードに対応する外力分布 (水平力およびねじりモーメント) を重心に作用させた場合 (Case 2, 外力分布を仮定), 3) 要素の塑性化による 1 次モード形の変化を考慮して解析した場合 (Case 3, 変形分布を仮定) である。いずれの Case においても、Pushover 解析は重心における Y 方向の並進変位が階高の 1/75 に達するまで行った。

Case 3 の解析で用いた仮定は以下の(1)~(3)である。すなわち(1)建物の各ステップにおける 1 次モード形は、各々のステップにおける各要素の等価剛性により定める。(2)各要素の等価剛性は当該ステップまでの最大変形 (正負両領域における絶対値の大きい方の変形) に対する割線剛性で定義する。(3)各ステップにおける建物の変形分布は当該ステップにおいて等価剛性により定まる 1 次モード形と相似形とする。

5. 解析結果の比較

図 4 に Model-1 および Model-2 の各構面における最大層間変形を示す。なお、弾塑性地震応答解析結果は 5 波の平均値および最大値、最小値を示した。

図 4 (A)より Model-1 に関しては Case 1 の結果は応答解析結果に対して構面(1)では大きめの値を、構面(7)では小さめの値を与えている事がわかる。これは、Case 1 では重心位置に水平力のみを外力として作用させているために床の回転慣性の影響が Pushover 解析に反映されず、結果としてねじれの影響が小さめに反映されるためである。Case 2 の結果は構面(1)では小さめの値を、構面(7)では大きめの値を与えている。これは、Case 2 では重心位置に水平力のほかにねじれモーメントを外力として作用させているため床の回転慣性の影響が Pushover 解析に反映されているものの、外力分布は弾性域・塑性域を問わず一定であるために塑性化が進展してモード形が変化した段階ではねじれの影響が Model-1 においては応答解析結果と比べて大きめに反映されているためである。塑性化の進展に伴うモード形の変化を考慮した Case 3 の結果は、Case 1 の結果と Case 2 の結果の中間値を与えており、応答解析結果との対応関係は最も良くなっている。これは、Model-1 では 1 次モード

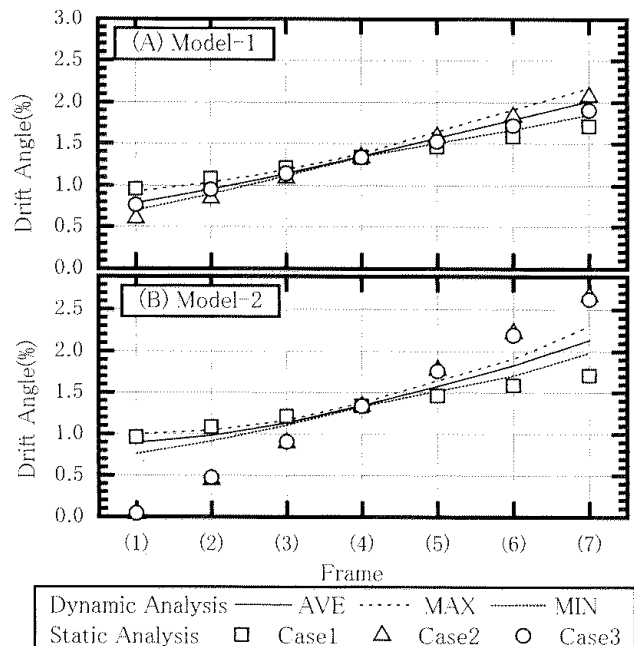


図 4 各構面における最大層間変形

が支配的な応答であるためと推測される。

一方、図 4(B)より Model-2 に関しては、Case 1 の結果は、構面(1)では応答解析結果と良好な対応を示したものの構面(7)では小さめの値を与えている事がわかる。Case 2 および Case 3 では応答解析結果との対応はきわめて悪く、構面(1)では著しく過小な値、構面(7)では著しく過大な値を与えている。これは、Model-2 では応答において高次モードの影響が大きいためであると推測される。Model-2 のような場合、本研究で試行したような特定の外力および変形分布による単一の Pushover 解析による各構面の応答変位の推定は困難である。

6. まとめ

偏心建物の耐震性能評価を目的として単層偏心建物の Pushover 解析を行い、弾塑性地震応答解析結果との比較を行った。結論を以下に示す。(1)弾性 1 次モードが並進卓越型である単層偏心建物の場合、弾塑性挙動におけるモード系の変化を考慮することによって Pushover 解析による構面変位の推定が可能である可能性がある。(2)弾性 1 次モードがねじれ卓越型である単層偏心建物の場合、Pushover 解析による各構面の応答変位の推定は困難である。

参考文献[1]NHERP Guideline for the Seismic Rehabilitation of Buildings(FEMA 273). Federal Emergency Management Agency. Oct. 1997 [2]Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings. ATC-40, Report No. SSC96-01, Applied Technology Council, Nov. 1996 [3]例えば 鉄筋コンクリート造 1 2階建て平面骨組の地震応答変形分布, 松森泰造, 壁谷澤寿海, 小谷俊介, 塩原 等, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 20, No. 3, pp.13-18, 1998 [4]Reinforced Concrete Response to Simulated Earthquakes, T.Takeda, M.A.Sozen, N.N.Nielsen, Journal of ASCE, pp.2557-2573. Dec. 1970

*1. 東京大学大学院工学系研究科 博士課程

*2. 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.

Associate Professor, Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo, Dr.Eng.