

建物内のドア枠を対象とした地震時挙動解析

Motion Analysis on Seismic Behaviors of Door Frame in Buildings

片桐雅人¹⁾, 磯部大吾郎²⁾

Masato Katagiri and Daigoro Isobe

1) 筑波大学大学院 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1, E-mail: s1420877@u.tsukuba.ac.jp)

2) 博(工) 筑波大学 教授 (〒305-8573 茨城県つくば市天王台1-1-1, E-mail: isobe@kz.tsukuba.ac.jp)

Opening and closing of doors in buildings likely to become difficult under earthquakes due to deformation of the door frames. Although it may delay evacuation, there are no anti-seismic standards of doors defined in the Building Standards Act amended in 1981. In this study, a seismic response analysis of a building model with indoor frames is performed using the ASI-Gauss code. It is confirmed from the numerical results that the in-plane angles of the door frames due to plastic deformation tend to remain after the excitation even though the story drift angle of the building remains unaffected. The in-plane angles even went above the angles that may cause the doors difficult to open.

Key Words : Door Frame, Partition Wall, ASI-Gauss Code, Seismic Response Analysis

1. 緒言

今日における建物の地震被害は倒壊現象が注目されがちであるが、倒壊を免れても非構造物が被害を受けた建物は多数存在する。中でも、ドア枠が変形することによりドアの開閉が不可能になると避難経路の妨げとなる。避難が遅れると地震によって発生する火災や津波等から逃れることは困難となる。このため、ドアの耐震化は重要な課題であるが、以下の問題点が挙げられる。1 つは、1981 年に改正された建築基準法ではドアの耐震基準が具体的に定められていないことである。次に、現在の対策として耐震ドアが製造されているが、既存の耐震ドアはドアとドア枠の隙間であるクリアランスを大きく設けることで耐震化している。しかし、隙間が大きいと、居住性が悪化するという問題がある。そこで本研究では、ドア枠の変形量を低減する方法を提案するために、ドア枠の変形について数値解析により検証することを目的とする。ドア枠の変形量を抑えることができればクリアランスを大きく設けない、居住性を悪化させない耐震ドアが製作できるものとする。

本研究では、学校、病院、事務所等の建物内に数多く存在する間仕切り壁内のドア枠に着目し、ドア枠と間仕切り壁を含む 3 層事務所モデルを作成し、地震動下での変形挙動解析を行った。変形量の評価には、地震で生じるドア枠の面内変形角を用いる。面内変形角と建物に生じる層間変形角の比較、階ごとの変形量の比較、部材の塑性化状況からドア枠変形について考察した。解析コードには地震動、弾塑性などを含む非線形性が高い解析でも安定して行える ASI-Gauss 法[1]を用いる。

2. ドア枠の変形量の評価方法

地震動によりドアが開閉不能になる原因は、枠や扉、

錠前、蝶番の変形である。ただし、開閉不能となる原因の約 70%が枠や扉の変形によるものである。これは床面と天井面の間の層間変形に起因する。層間変形によってドア枠が面内変形すると、ドアとドア枠が接触する。さらに変形が進むと、ドア枠の破損、ドア本体の変形・座屈が生じる。この状態に至ると、地震動が収まった後もドアの開閉に支障が生じたり、開閉不能となる。

本研究ではドア枠の変形量を定量的に扱うために面内変形角を用いる。面内変形角とは、ドア枠の上端・下端の水平方向移動量の差を枠の高さ寸法で除したものであり、式(1)[2]に示す通りである。ここで、 $\delta_1 \sim \delta_4$: 図-1 に示すドア枠の変位[mm], h : ドアの縦枠の長さ[mm], b : ドアの横枠の長さ[mm]である。

$$R[rad] = \frac{\delta_1 - \delta_2}{h} - \frac{\delta_3 - \delta_4}{b} \quad (1)$$

一般的にドア枠変形時におけるドアの開閉に必要な力は面内変形角 1/200rad で 100kg 以上となり、1/120rad では 200kg 以上になる[3]。よって本研究では地震動下でのドア枠の面内変形角がこの 2 つの角度に達しているか調べる。

本研究では、面内変形角と層間変形角の比較を行う。層間変形角とは地震時に各階に生ずる水平方向の層間変位を当該各階の高さで割った値であり、式(2)に示す通りである。ここで δ : 層間変位, L : 階高である。

$$\theta[rad] = \frac{\delta}{L} \quad (2)$$

3. 解析モデルおよび解析条件

(1) 間仕切り壁モデル

本研究では図-1 に示すようなドア枠を含む間仕切り壁[4]を解析対象とした。間仕切り壁とは室内空間を分ける事を目的としている壁である。枠を骨組みとした構造で、柱や梁の構造部材にアンカー金物等に取り付けられ、隙間はモルタルで充てんされている。解析対象は、両引き戸であるドアと、窓および壁によって構成される。本研究では図-2 に示すように枠、モルタル、壁をモデル化した。枠の材料はアルミ（下枠のみスチール）とし、枠の断面は構造物に取付けられる部材を C 型に、それ以外は角型とした。材料の物性値は表-1 に示す通りである。モルタルはコンクリートに似た性質を持つため、圧縮力を加えた際、応力が圧縮強度に近づくといび割れが著しく発生する。解析では圧縮強度を降伏応力とし、降伏応力に達するまでは弾性体として扱う。弾性域での軸剛性はコンクリートの応力-歪曲線と合うように設定し、圧縮降伏時の剛性低下は考慮していない（図-3）。また、せん断強度は圧縮強度の 0.1 倍とした。

(2) 3層鋼構造事務所モデル

日本建築防災協会の発行する事例集[5]を基に3層鋼構造事務所モデルを作成した。モデル化した部材は柱、大梁、小梁、基礎梁、床である。建物の階高は3.5m、スパン数は桁行方向に3スパン、張間方向に2スパンである。荷重増分解析により求めた保有水平耐力を図-4に示す。図-4より、両方向で必要保有水平耐力を大きく上回り、設計例とも近い値を持つため現実性のあるモデルである。

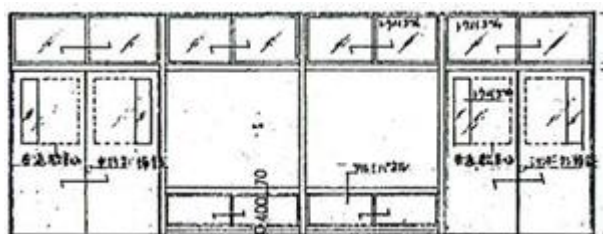


図- 1 間仕切り壁設計図

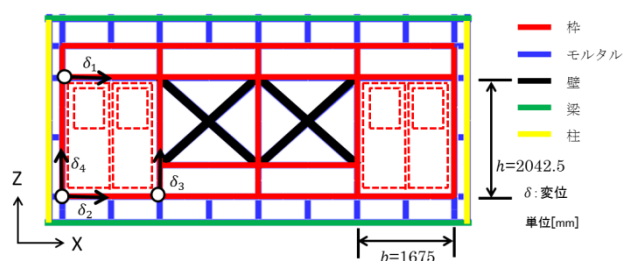


図- 2 間仕切り壁モデル

表- 1 材料の物性値

	ヤング率 [GPa]	ポアソン比	降伏応力 [MPa]	密度 [kg/mm ³]
枠(アルミ)	70	0.3	245	2.7×10^{-6}
枠(スチール)	206	0.3	325	7.9×10^{-6}
モルタル	20	0.2	40	2.1×10^{-6}
柱、梁	206	0.3	325	7.9×10^{-6}

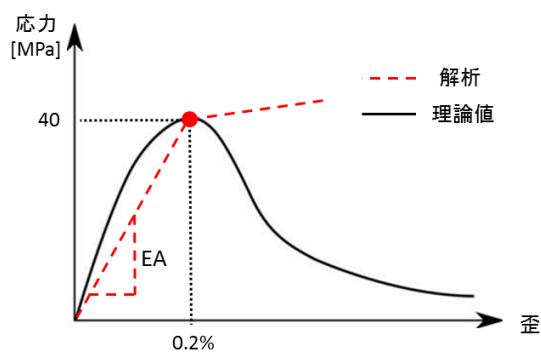
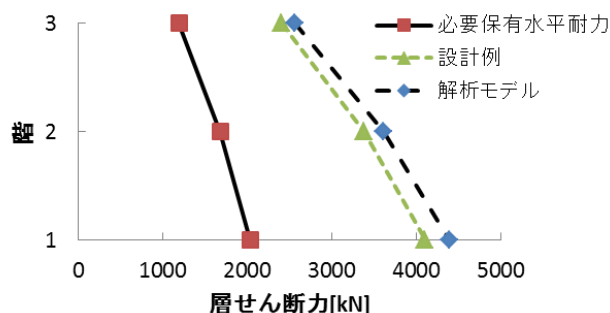
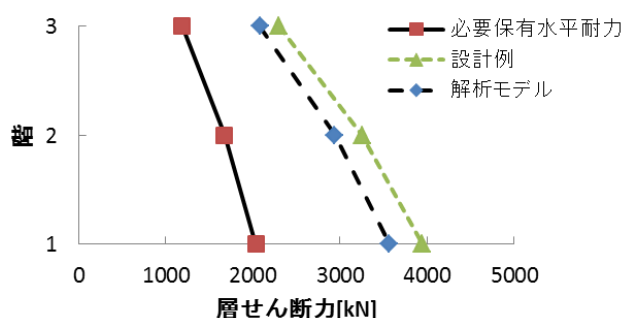


図- 3 モルタルの圧縮時の応力-歪曲線



(a) X軸方向



(b) Y軸方向

図- 4 保有水平耐力の比較

(3) 全体解析モデルおよび解析条件

全体の解析モデルを図-5 に示す。表-2 に示すように床荷重を設定した。外壁の重量は屋外に面している大梁に加え、内壁の重量は間仕切り壁がない大梁上加えた。また、地震波は 1995 年兵庫県南部地震で観測された JR 鷹取波 100%(図-6)を用い、40 秒間 3 軸方向に入力した。

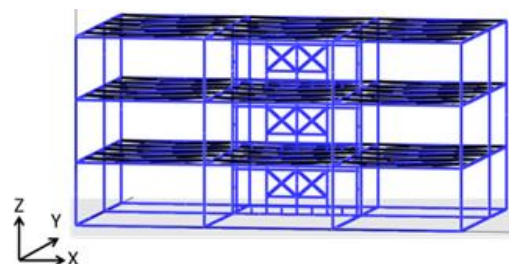


図- 5 解析モデル

表- 2 床荷重

	固定荷重[N/m ²]	積載荷重[N/m ²]
2, 3 階床	2,100	2,900
屋根	3,500	900

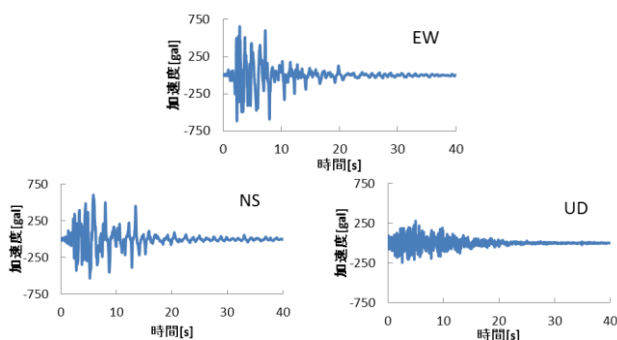


図- 6 入力地震波 (JR 鷹取波 100%)

4. 解析結果

図-7 に各階における層間変形角と面内変形角の時刻歴応答を、図-8 に 6.0 秒時における 1 階間仕切り壁の塑性化状況を示す。図-7 に示すように約 7s 時までは面内変形角は層間変形角に追従しているが、前者は後者よりも小さい。これは図-8 に示すように建物の層間変形を間仕切り壁の枠が吸収し、結果的にドア枠の変形量が抑えられたことに起因する。しかし、7s 以降は 1 階と 2 階において残留変形が生じ、層間変形角よりも面内変形角が大きくなった。枠は柱よりも強度が小さく塑性変形しやすいため、残留変形が生じたものと思われる。

次に階ごとの層間変形角を比較する。最大層間変形角は 1, 2 階では 0.0140rad, 3 階では 0.0080rad であった。ドア枠の最大面内変形角は 1 階で 0.0120rad, 2 階で 0.0094rad, 3 階で 0.0062rad であり、1, 2, 3 階の順に小さくなった。また、1, 2 階では面内変形角は 1/120rad に達し、3 階でも 1/200rad に達した。本研究ではドア本体をモデル化していないため、ドアとの接触状態を表現できてはいない。そのため、過大評価となっている可能性があるが、瞬間的であっても面内変形角 1/120rad を超えているため、ドア枠の破損等によりドアが開閉不能となることは十分に考えられる。

5. 結言

本研究ではドア枠と間仕切り壁を含む 3 層事務所モデルを作成し、ASI-Gauss 法を用いて地震応答解析を行った。その結果として以下に示す知見が得られた。

- ・建物の層間変形を一部の枠が吸収することで、ドア枠の面内変形が抑えられる。
- ・層間変形角が大きいと追従するように面内変形角も大きくなる。
- ・残留変形が建物に発生せずドア枠のみに発生する場合がある。

・解析結果では、瞬間的にドアが開閉不能となる基準の面内変形角 1/200rad や 1/120rad に達した。

今後は避難所として指定されている学校に注目し、鉄筋コンクリート造建物を扱う。さらにドア本体をモデル化しドア枠との接触を考慮した解析を行い、ドア枠の変形量を低減する方法について検討する。

参考文献

- [1] Daigoro Isobe, Le Thi Thai Thanh, Zion Sasaki : Numerical Simulations on the Collapse Behaviors of High-Rise Towers, International Journal of Protective Structures, Vol.3, No.1, pp.1-19, 2012.
- [2] JIS A 1521, 1996.
- [3] 株式会社中井製作所：対震蝶番面内変形追従性試験結果報告書, 2013.
- [4] 株式会社久米建設事務所：手代木南小学校設計図, 1979.
- [5] 日本建築防災協会：構造設計・部材断面事例集, 2007.

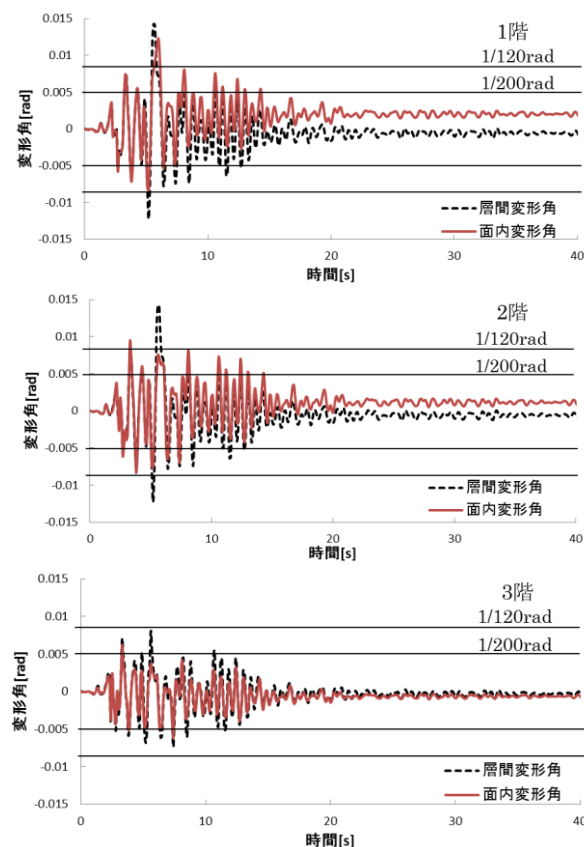


図- 7 各階における変形角の時刻歴応答

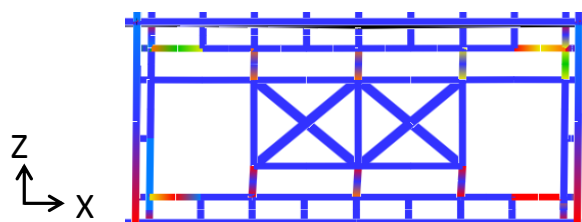


図- 8 1 階間仕切り壁の塑性化状況 (6.0 秒時)