

建築物の時刻歴応答解析による地震時における鋼製ドアの損傷予測

正会員 ○前田華伊*1 同 大谷英之*2 同 永野康行*3

2. 構造—2. 振動—k. 被害予測・地震防災

鋼製ドア, 損傷予測, S造建物, 地震応答解析, 都市モデル

1. はじめに

地震時において, 安全性を確保するため建物が崩壊しないように設計されるのは重要なことである. しかし, 建物が崩壊に至らないまでも屋根やドアといった非構造部材の損傷により人命が損なわれる事例や, 避難が不可能となるといった事例が 2011 年 (平成 23 年) 東北地方太平洋沖地震や 2016 年 (平成 28 年) 熊本地震では見られた. 特に, 天井の安全性については過去の地震により, 体育館の吊り天井を取り除くことによる天井の落下防止対策や天井にクリアランスを設けるなどといった規定の変更などにより, 天井の安全性は見直されつつある. 片桐らが行った研究¹⁾は, 鋼構造建物、RC 造の建物を詳細にモデル化し, ドアの面内変形角でドア枠の変形量を数値解析により明らかにした. 建物 1 棟を対象とした地震時のドアの損傷の評価は実施されてきたが, 詳細モデルを用いた解析は多大な時間を要するため都市を対象としたドアの損傷の検討は実施されていない

そこで, 本研究では, 神戸市中央区の 1892 棟の鋼構造建物を対象に地震応答解析を実施し, その解析結果からドアの損傷判定を行う簡易な手法を用いる. 本研究では, 質点系モデルを対象に解析を行うためドアの変形は建物の変形に追従するものとして考えるため, ドアの損傷を建物の最大層間変形角からドアの安全性の検討をする. 既往の研究や実験から地震によりドアの開閉に影響する損傷を受けた際の最大層間変形角の値を調べ, 閾値の仮定を行う.

次に, ドアの開閉に影響する最大層間変形角の閾値を用いて南海トラフ巨大地震が発生した際の神戸市中央区におけるドアの損傷状況の分布図を統合地

震シミュレーションにより例示する. また, 南海トラフ巨大地震が発生した場合の各階におけるドアの損傷を予測することにより, ドアの損傷の傾向を調べる.

2. 地震時におけるドアの損傷に影響する閾値

JIS 規格²⁾では, ドアセット (戸, 枠, 丁番, 錠前など) に油圧ジョッキにより静的な力を与えることによって生じるドアの面内変形角を用いて等級を表 1 のように決定している.

表 1 JIS 規格 ドアセット²⁾

等級	面内変形角	等級に対応する面内変形角まで、ドアが開なければならない
D-1	1/300rad	
D-2	1/150rad	
D-3	1/120rad	

ドアの面内変形角からドアの等級を決定している JIS 規格の内容を受けて, 本研究では, 建物の最大層間変形角でドアの損傷判定を実施する.

本研究では, ドアの開閉とドアの変形角との関係の閾値を既往の研究や実験から算出する. 関らの研究³⁾では, 弾性範囲内での鋼構造建物の最大層間変形角とドアの損傷過程を示した. 一方で加登らの研究⁴⁾では, 弾性範囲, 弾塑性範囲における鋼構造建物のとある層間変形角でのドアの損傷過程を調べ, ドアが開閉可能かどうかを調べた. これらの実験, 研究では, 建物の層間変形角が 1/200 でドアの開閉が不可となったが, 除荷後はドアのたてつけが悪くなったもののドアの開閉に支障はきたさなかった. また, 建物の層間変形角が 1/67 になれば, 開閉不可となる被害やドアのぶが回転不可となる被害が見られた.

そして、層間変形角が 1/50 に達するとドア枠が塑性変形し、除荷後であってもドアの開閉が困難となった。

これらの実験、研究から鋼構造建物の最大層間変形角とドアの損傷についての閾値の仮定を表 2 のように実施した。

表 2 最大層間変形角によるドアの損傷の閾値

最大層間変形角	損傷判定
$\sim \frac{1}{200} \text{rad}$	○ 開閉可能
$\frac{1}{200} \sim \frac{1}{50} \text{rad}$	△ 開閉困難
$\frac{1}{50} \text{rad} \sim$	× 開閉不可

3. 鋼構造建物 1 棟のドアの損傷判定

本研究では、鋼構造建物のドアの損傷判定を建物の最大層間変形角から行う。いま、2 章で求めたドアの損傷に影響する最大層間変形角の閾値を基に構造解析ソフト DynamicPRO(Ver6.25)⁷⁾を用いて、構造設計・部材断面事例集に記載されている図 1 の 5 階建ての鋼構造建物⁸⁾をサンプルモデルとし、El Centro1940 NS 地震波⁹⁾を中地震および大地震波に基準化した地震波で地震応答解析を実施し、解析結果を基にドアの損傷判定を行う。

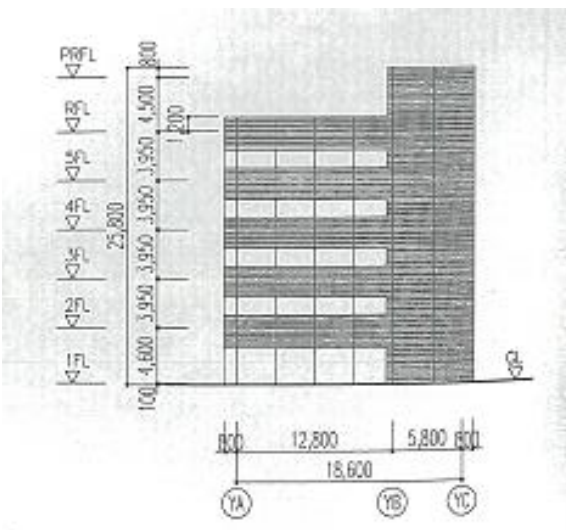


図 1 建物立面図⁸⁾

本解析では、建物の種別、階数、面積、階高、剛性、質量、減衰定数を用いて地震応答解析を実施する。

図 2 に地震応答解析結果およびドアの損傷判定の結果を示す。

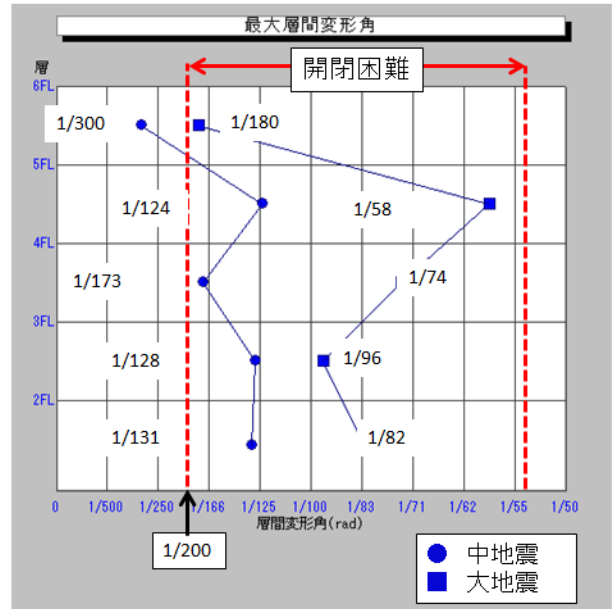


図 2 ドアの損傷判定の結果

結果として、今回サンプルとしてドアの損傷判定の解析を行った 5 階建て鋼構造建物では、中地震が起きた際、1~4 階はドアの開閉が困難となると判定され、5 階はドアの損傷が生じないと判定された。また、大地震においては、中地震と同じく 1~4 階においては、ドアの開閉が困難と判定され、5 階はドアの開閉が可能と判定された。

4. 神戸市中央区のドアの損傷予測

神戸市中央区の鋼構造建物を対象に地震応答解析を実施し、解析から得られた最大層間変形角を基にドアの損傷予測を実施する。また、ある地域の各階の最大層間変形角に着目することでどの建物のどの階数が被害を受けるかを調べる。

4.1 建物モデル

本研究では、株式会社ゼンリンの Zmap-TOWN II¹⁰⁾を使用し床形状のデータから建物をモデル化する。建物のモデル化に際し、図 3 のように床形状からモデル化を実施しているため各階の高さや各階の耐

力といった情報はあたり平均的な数値を使用している。また、表 3 に建物のモデル化に際し使用した建物個別の情報および平均的な情報を示す。

表 3 使用データ



床形状データ	質点系モデル	建物	
		個別の情報	建物の種別 建物の階数 建物の面積
		平均的な情報	各階の高さ 減衰定数 各階の耐力 1m ² あたりの重量

図 3 建物モデル 1)

4.2 入力地震動

本研究では、30 年以内に 90% の確率で発生するとされており、神戸市に最も大きな被害を与えると想定される南海トラフ巨大地震（陸側ケース）を対象に神戸市中央区のドアの損傷判定を実施する。また、図 4 に震度分布図を示す。

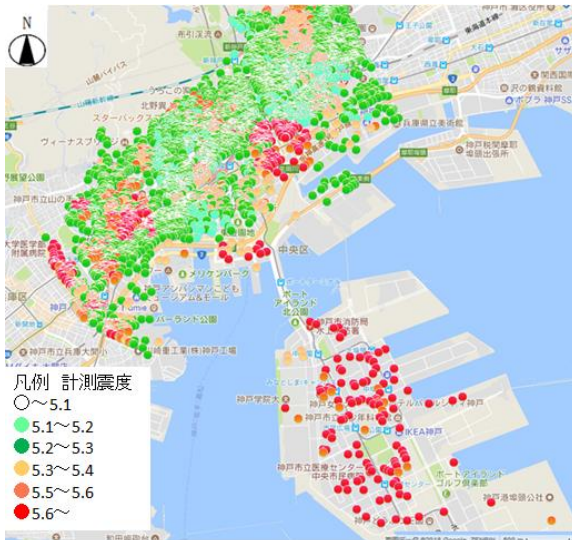


図 4 神戸市中央区震度分布図

4.3 神戸市中央区のドアの損傷予測

神戸市中央区の 1892 棟の鋼構造建物の最大層間変形角を算出し、解析結果を基にドアの損傷判定を実施する。図 5 にドアの損傷分布図を例示する。



図 5 ドアの損傷分布図

南海トラフ巨大地震（陸側ケース）が起きた際のドアが損傷した鋼構造建物数を算出した結果、ドアが開閉できなくなるほどの被害を受ける鋼構造建物は 1892 棟中 0 棟だった。また、開閉が困難となる鋼構造建物数は 1892 棟中 319 棟となり、神戸市中央区にある鋼構造建物の 16.9% を占めていた。

4.4 各階のドアの損傷予測

ドアの損傷が大きかった地域 A(みなと元町駅付近)の鋼構造建物 5 棟、地域 B(中公園駅付近)の鋼構造建物 5 棟の各階の最大層間変形角に着目し、各階のドアの損傷具合を調べる。(図 6, 図 7)

結果として、5, 6 階といった低層の鋼構造建物は最大層間変形角が小さく、10 階といった高層の鋼構造建物では、最大層間変形角が大きくなる傾向が見られた。また、8 階や 10 階建てといった高層の建物では、半分より下の階層でドアの開閉が困難になると判定された。一方で 5 階、6 階といった低層の建物ではドアの開閉が可能と判定されており、南海トラフ地震（陸側ケース）が起きた際には地震の揺れのみでは避難に支障をきたさないことが想定される。

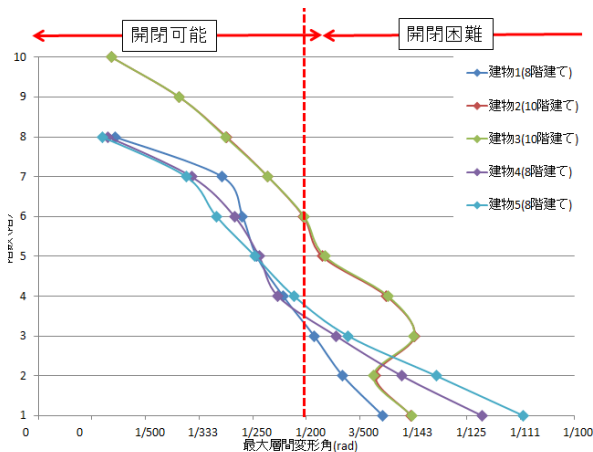


図6 地域A ドアの損傷判定

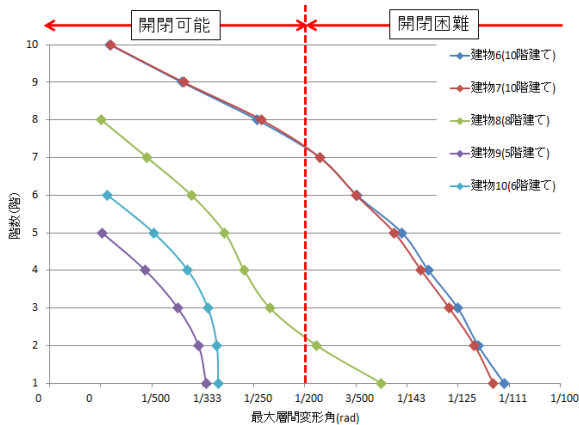


図7 地域B ドアの損傷判定

5. おわりに

本研究では、既往の論文、実験等から地震によって建物のドアの損傷の最大層間変形角の閾値を基に鋼構造建物1棟および神戸市中央区の鋼構造建物のドアの損傷予測を実施した。本研究により、南海トラフ巨大地震によって被害を受ける建物を例示することができ、南海トラフ巨大地震が起きた際ドアの開閉が困難となる建物を算出した。今後の課題は、本研究ではドアの損傷の閾値に最大層間変形角のみを用いたが、ドアの損傷に影響する残留変形角や加速度といった他の要因を調べることでドアの損傷判定をより正確に実施する。

謝辞

本研究は、平成29年度理化学研究所計算科学研究機構総合防災・減災ユニットとの共同研究「神戸市等を対象とした自然災害シミュレ

ーションとハザードマップ作成」における成果の一部である。

参考文献

- 1)片桐雅人, 磯部大吾郎(2015). 地震動下における鋼構造建物内のドア枠変形挙動解析
日本建築学会大会学術講演梗概集(関東) 2015年9月.
- 2)磯部大吾郎, 片桐雅人(2016). 地震動下におけるRC造建物内のドア枠変形挙動解析
日本建築学会大会学術講演梗概集(九州) 2016年8月.
- 3)日本工業規格 JIS A1521:1996 片開きドアセットの面内変形追従性試験方法 2017/10/24 アクセス
(<http://www.jisc.go.jp/pdfb9/PDFView/ShowPDF/kAAAAD8ZAc7eVZkHP2Uy>).
- 4)日本工業規格 JIS A4702:2012 日本工業規格の簡易閲覧 2017/10/24 アクセス
(http://www.jisc.go.jp/pdfb7/PDFView/ShowPDF/LwMAAFpWRCymnJ54Y6_d).
- 5)関松太郎, 長江拓也, 鍾育霖, 福山関夫, 梶原浩一, 井上貴仁, 中島正愛, 齊藤大樹: 非構造間仕切り壁の損傷過程 高層建物の耐震性評価に関するE-ディフェンス実験その7, 日本建築学会大会学術講演梗概集, C-1, pp.875-876 2008.
- 6)加藤美喜子・松宮智央・吹田啓一郎・松岡祐一・中島正愛: 軽量鉄骨下地間仕切り壁の性能検証実験 実験結果(E-ディフェンス鋼構造建物実験研究 その7), 日本建築学会大会学術講演梗概集, pp.709-710, 2006年9月.
- 7)SS21/DynamicPRO, Ver6 対応 解説書
- 8)構造設計・部材断面事例集 pp.496-511
財団法人日本建築防災協会 日本建築防災協会 2007年6月27日.
- 9)一般社団法人 建築性能基準推進協会 代表的な観測地震波(加速度データ) 2017/6/13 アクセス.
(<https://www.seinokyo.jp/jsh/top/>).
- 10)株式会社ゼンリン, 住宅地図データベース ZMAP-TOWN
<http://www.zenrin.co.jp/product/gis/zmap/zmaptown.html>
- 11)大谷英之, 陳健, 堀宗朗, “地震応答解析モデルの堅牢な自動構築のための床形状判読手法の開発”,
土木学会論文集A1(構造・地震工学), Vol.70, No.4(地震工学論文集第33巻), I_1124-I_1131, 2014

*1 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 博士前期課程 院生
*2 理化学研究所計算科学研究機構 研究員・博士(工学)
*3 兵庫県立大学大学院シミュレーション学研究科 教授・博士(工学)

Graduate Student, Grad. Sch. Sim. Studies, Univ. Hyogo
Researcher, RIKEN AICS, Dr. Eng.
Prof., Grad. Sch. Sim. Studies, Univ. Hyogo, Dr. Eng