

棟間衝突をモデル化した 1985 年メキシコ地震被災 RC 建物の地震応答
その 3 積載荷重を変数とした解析

正会員 ○吉門大志*¹ 同 中条貴大*²
同 佐藤裕一*³ 同 金子佳生*⁴

棟間衝突 長周期地震 地震応答
RC 建物 FEM TRIP 鋼

1. はじめに

1985 年に起きたメキシコ地震では、震源地から 400km も離れたメキシコシティにおいて、特定の固有周期をもつ中高層建物が長周期地震動により多数崩壊した¹⁾。メキシコシティでは地震動の長周期成分が卓越していたが、震源地においてはそのような特徴は見られなかった。この原因はメキシコシティの軟弱地盤による長周期成分の増幅が挙げられている。日本の都市部が集中する地域などで軟弱地盤がいくつか見られ、長周期地震動による被害の可能性が指摘されている。また、固有周期の長い中高層建物は、長周期地震動下では長時間、大きく振動するため、棟間衝突が起こる可能性がある。都市部では高層建物が近接している箇所が多くあり、対策が必要である。本研究では、棟間衝突が発生する原因を検討するため隣棟の積載荷重をパラメータとして動的解析を行う。

2. 対象建物概要とモデル化について

本研究で対象とする建物はメキシコ市内に位置する住宅棟の 1 つである Nuevo Leon 棟とする。同棟の構造形式は RC 造ワッフルスラブ構造 14 階建であり、エキスパンション・ジョイント 0.1m により 3 棟が連結されている。当建物はメキシコ地震により棟間衝突が発生し、倒壊している。本研究では棟間衝突を再現するためにリンク要素を用いる。実際の建物では、隣接棟とのエキスパンション・ジョイントの幅が 100mm と設計されていたため、リンク要素により接続した節点距離が初期の節点距離より 100mm 以上小さくなる場合において、リンク要素に応力が働くように定義した。リンク要素の引張及び圧縮特性を図 1 に示す。原点を初期距離 100mm として横軸正側を引張変位、負側を圧縮変位とする。縦軸には引張及び圧縮応力を示す。リンク要素に働く応力は衝突するコンクリート強度程度とし、1~6 階では 27.4 N/mm² を、7 階~14 階では 20.6 N/mm² を与える。また引張側及び圧縮側の未衝突域において、建物の挙動へ影響を与えない程度として応力 0.001N/mm² を与えている。なお上記の応力はリンク要素の材軸方向に与えるものであり、リンク要素と直交する方向には建物の挙動へ影響を与えない程度として応力 0.01N/mm² を与

える。解析の不安定を回避するため初期剛性は衝突時に応力増加する際の剛性に一致させた。建物の諸元については表 1 の通りとする。

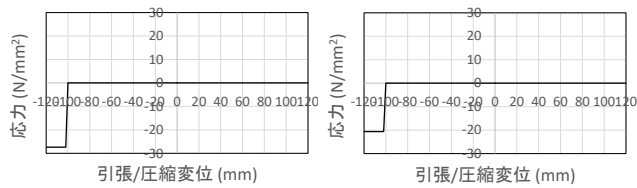


図 1 リンク要素の引張および圧縮特性

表 1 建物諸元		
コンクリート圧縮強度 [N/mm ²] (柱・壁)	1~6 階	27.4
	7 階以上	20.6
コンクリート圧縮強度 [N/mm ²] (スラブ)	1~3 階	27.4
	4 階以上	20.6
鉄筋降伏応力 [N/mm ²]	主筋	392
	せん断補強筋	230

3. Nuevo Leon 半棟連結モデルにおける有限要素解析

メキシコ地震により被害の大きかった Nuevo Leon 棟の北棟の南側半棟と中央棟の北側半棟をリンク要素により連結させた半棟連結モデル(図 2)を使用する。本節では、北棟と中央棟の積載荷重差を表 2 のように変更し、積載荷重差による棟間衝突発生可能性の検証を行った。FEM 解析ソフト (FINAL)²⁾を用いて、動的解析を行った。入力地震波はメキシコ運輸省において記録された SCT1 波³⁾を用いた。総解析ステップ数を 6011 として、11 ステップまで全節点へ自重を作用させた後 1 ステップあたりの時間増分を 0.01 とした。時間増分は Newmark の β 法により係数 $\beta=0.25$ 、 $\gamma=0.5$ とした。解析結果を図 3 に示す。NS 方向について、CASE1、CASE2 では北向きに変形しているのに対して、CASE3、CASE4 では南向きに変形している。それぞれの CASE の解析終了時の西立面の変形図を図 4 に示す。図 4 より 1 階の損傷、変形が大きいことが分かる。また、CASE2 では北棟の方が中央棟よりも 1 階の損傷が大きいのに対して、CASE3、4 では中央棟の方が北棟よりも損傷が大きい。この損傷程度の違いにより建物の変形す

る向きが決まるのではないかと考えられる。CASE1 では棟間衝突は発生したが、倒壊までには至っていない。したがって、棟間衝突だけが倒壊の原因と断定することはできないことが明らかとなった。

北棟 中央棟

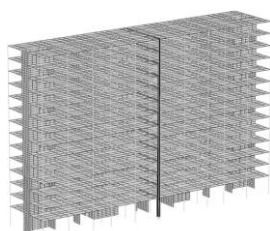


図2 半棟連結モデル

表2 積載荷重差

	北棟	中央棟
CASE1	0%	0%
CASE2	-10%	+10%
CASE3	-10%	+20%
CASE4	-20%	+20%

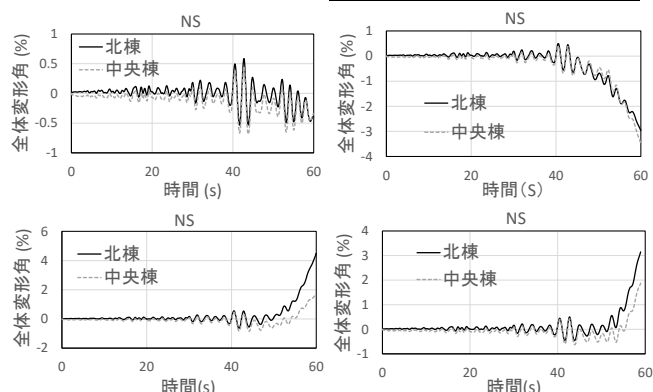


図3 全体変形角—時間関係 (NS 方向)

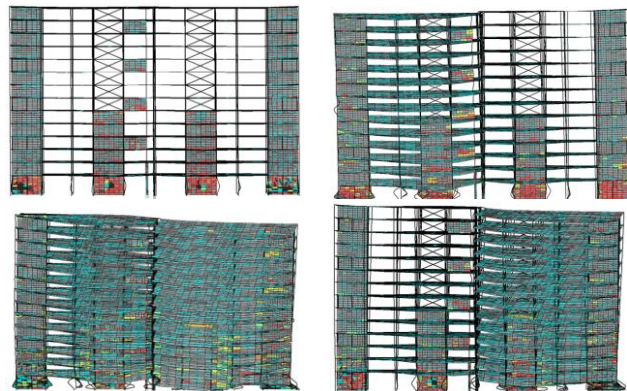


図4 西立面の変形図

4. エキスパンション・ジョイント部に TRIP 鋼装置を挿入した際の地震応答

3 節より隣棟の積載荷重の差が大きくなるほど棟間衝突を起こす可能性が大きくなる傾向があることが明らかとなった。本節では棟間衝突を防ぐための対策としてエキスパンション・ジョイント部に TRIP 鋼装置を挿入することを提案する。TRIP 鋼とは変態誘起塑性鋼のことで、ひ

ずみがある大きになると準安定で非磁性のオーステナイトから安定で強磁性のマartenサイトに変態する。この変態は不可逆であり、また変態することで強度・靱性が増大する。TRIP 鋼の磁性変化を計測することで、鋼材の塑性量が測定でき、建物の構造ヘルスマonitoringに利用することができる。これらの特徴を持つ TRIP 鋼を制振部材に使用することで、地震等の振動エネルギーをより吸収することができ、また建物にヘルスマonitoring機能を付加することができる。TRIP 鋼装置を挿入した際の地震応答を図5に示す。なお、この時の積載荷重差はCASE1と同じとする。図5より TRIP 鋼装置を挿入することで、西側への残留変形が低減されていることが分かる。

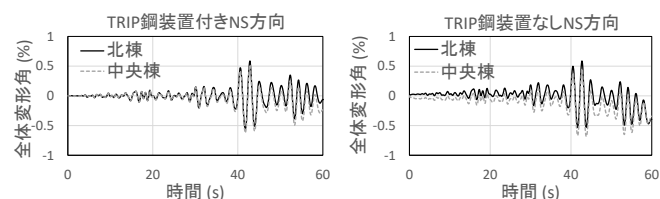


図5 TRIP 鋼装置を挿入した際の地震応答

5. 結論

本研究で得られた知見を以下に示す。

- (1) 半棟連結モデルで隣棟の積載荷重差をパラメータとして有限要素解析を行った。これにより積載荷重差が大きいほど棟間衝突を起こす可能性が高く、また衝突時の建物への影響が大きいことが明らかとなった。しかし、棟間衝突が発生しても倒壊に至っていないケースがあり、棟間衝突だけが倒壊の原因とは断定できないことが明らかとなった。
- (2) 棟間衝突を防ぐ対策の一つとしてエキスパンション・ジョイント部に TRIP 鋼装置を挿入することを提案した。TRIP 鋼装置を挿入することで NS 方向では西側への残留変形がほとんど無くなり、低減効果が見られた。TRIP 鋼装置を挿入することで、棟間衝突を防ぐことが可能であることを明らかにした。

【参考文献】

- 1) 日本建築学会：1985年メキシコ地震災害調査報告書、1987.2
- 2) Naganuma, K., Yonezawa, K., Kurimoto, O. and Eto, H. Simulation of nonlinear dynamic response of reinforced concrete scaled model using three-dimensional finite element method., 13th World Conference on Earthquake Engineering, Paper No.586, August., 2004.

*1 長谷工コーポレーション 工修
*2 竹中工務店 工修
*3 京都大学工学研究科 助教・工博
*4 京都大学工学研究科 教授・Ph.D.

*1 Engineer, Haseko Corp., M.Eng
*2 Engineer, Takenaka Corp., M.Eng.
*3 Assistant Professor, Kyoto University, Graduate School of Engineering, Dr.Eng.
*4 Professor, Kyoto University, Graduate School of Engineering, Ph.D.