

長周期地震動に伴う棟間衝突に関する一考察

その2 : 14 階建て 3 連棟建物の棟間衝突・崩壊解析

正会員 ○磯部 大吾郎*¹ 正会員 太田 外氣晴*²
同 井上 智広*³ 同 松枝 富士雄*⁴

やや長周期地震動 棟間衝突 1985 年メキシコ地震
崩壊解析 ASI-Gauss 法

1. 緒言

1985 年に起きたメキシコ地震では、震源地から 400km も離れたメキシコ市において、多数の建築物が倒壊した。被害を受けた建物には 14 階建て近傍のものが多く(最高階数の倒壊建物は 21 階)、2 秒前後の周期を持つやや長周期地震動への共振現象が倒壊を招いたものと考えられた¹⁾。特に、設計値 10cm の棟間距離で 3 棟の同型建物が隣接して建てられていた Nuevo Leon 棟では、共振による振れ現象が発生して 3 棟が激しく衝突し合い、北棟と中央棟の 2 棟が完全に倒壊してしまうという悲劇が起きた(図 1 参照)。このように、長周期地震動下では高層建築物が共振して振幅の大きな揺れを生じやすく、場合によっては隣接した建物間で衝突が生じ、被害が拡大する可能性も出てくる。当然、我が国でも、中高層建築物が近接する都市部では長周期地震動に伴う棟間衝突問題は憂々しき問題であり、その対策が急務とされている。

本稿では、数値シミュレーションにより長周期地震動に伴う棟間衝突現象を再現することで、その構造因子について検証することを目的とする。解析には、ASI-Gauss 法²⁾を用いた地震崩壊解析システムに接触・接触解除・再接触アルゴリズムを導入したものをを用いた。1985 年以前の地震で被災し、同型建築物であるにも関わらず固有周期が異なっている調査事例³⁾が散見されたため、これを考慮して 14 階建て 3 連棟モデルの解析を実施した。

2. 部材破断と接触

部材破断判定には、要素毎に計算された曲率 κ_x 、 κ_y 、引張軸ひずみ ε_z およびせん断ひずみ γ_{xz} 、 γ_{yz} のいずれかが臨

界値を超えた場合に破断とみなす、次式を用いた。

$$\left| \frac{\kappa_x}{\kappa_{x0}} \right| = 1 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\kappa_y}{\kappa_{y0}} \right| = 1 \quad \text{or} \quad \left(\frac{\varepsilon_z}{\varepsilon_{z0}} \right) = 1 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\gamma_{xz}}{\gamma_{xz0}} \right| = 1 \quad \text{or} \quad \left| \frac{\gamma_{yz}}{\gamma_{yz0}} \right| = 1 \quad (1)$$

ここで、添え字“0”が付いた値はその臨界値を示す。破断臨界値には、継手の静的加力試験結果⁴⁾を用いている。要素の接触については、各々の要素の幾何学的な位置関係に基づいて内分ベクトル型アルゴリズムで判定し、接触する 2 要素の 4 節点を 4 つのギャップ要素で拘束し、表現する。また、ギャップ要素に発生する変形量が最大値のある割合(接触解除判定比)まで下がった際に、接触を解除する。この機能を導入することで、棟間で繰り返す衝突し合う現象が再現可能となった。

3. 入力地震波と解析モデル

入力地震波には、メキシコ市で観測された SCT 波に対し、地震波の震央から建物への到来方向を考慮した波形(NS 最大 122.1 gal, EW 最大 147.4 gal, UD 最大 35.8 gal, 図 2 参照)を使用した。建物の支持部に到達する表面波には一般的に位相遅れが生じるが、今回は簡単のために全ての支持点に同時に波形を入力した。

1985 年当時のメキシコにおける設計基準を参考にし、ベースシヤ係数を 0.06、床荷重を 400 kg/m²、軸力比を 0.5 と高めの値に設定して解析モデル(図 3 参照)を作成した。部材の断面形状を表 1 に示す。ここでは簡単のために RC 造を S 造に置き換え、部材性状として SM490(柱)、SS400(はり)のものを使用し、レンガ壁は鋼材の 10⁻³ 倍の剛性を有するトラス構造、床の剛性は鋼材の 100 倍とした。また、減衰率は 5%とした。調査事例より 3 連棟間で最大 25%程度の固有周期の相違が確認された³⁾ため、北棟のみ長辺方向の固有周期が 25%増しになるよ



図 1 メキシコ地震で倒壊した建物
(写真: Marco Antonio Cruz)

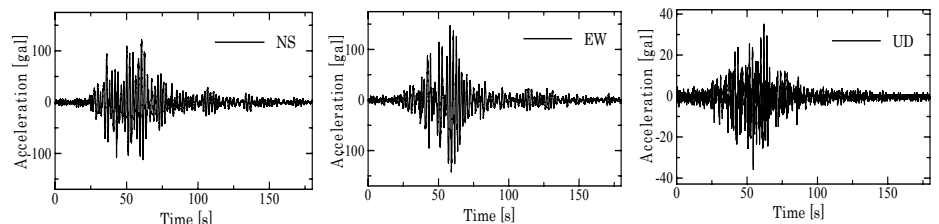


図 2 入力地震波

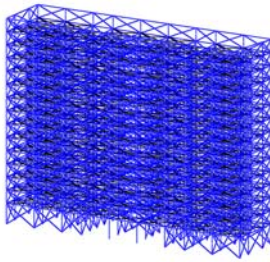


図3 解析モデル (1棟)

表1 部材の断面形状

	柱(1~5階)	柱(6~10階)	柱(11~14階)
断面	□330×330×10	□280×280×9	□230×230×7
	梁	床スラブ	
断面	H292×730.0× 16.2×11.6	□230×230×7	

表2 各棟モデルの固有周期

	NS (長辺) 方向	EW (短辺) 方向
北棟	1.5[s]	1.72[s]
中央棟	1.2[s]	1.65[s]
南棟	1.2[s]	1.65[s]

うに柱の強度を設定した。各棟モデルの固有周期を表2に示す。

解析上、棟間では比較的穏やかな接触が長く続く傾向があり、接触が解除されにくい状況となったため、接触解除判定比を95%とし、接触解除後すぐに接触してしまうことを回避するための接触回避時間を500msとした。ソルバーとして用いたCG法の収束ノルムは 1.0×10^{-6} 、時間増分は1ms、総解析ステップ数は90000stepである。(1)式に用いた破断臨界値は、曲率 $\kappa_0: 3.333 \times 10^{-4}$ 、引張り軸ひずみ $\epsilon_{z0}: 0.17$ 、せん断ひずみ $\gamma_0: 3.380 \times 10^{-4}$ とした。

4. 解析結果

図4に3連棟モデルの挙動を示す。40秒過ぎから2.2秒ほどの周期の揺れを伴いながら大きな揺れが生じ、主

に北棟と中央棟が衝突し合う様子が観察された後、70秒付近で中央棟が倒壊し始め、次いで北棟が倒壊した。一方、単体の1棟モデルによる同様条件下での解析では、破断箇所は見られたが崩壊には至らなかった。このことから、棟間衝突現象が建物の被害を拡大する恐れがあることが示唆されたものと言える。

5. 結言

本稿では、過去の地震で被災した際に耐力が低下し、固有周期が変化してしまったものと想定した3連棟モデルを対象に議論をした。メキシコ地震の場合には、他にも地盤の不同沈下に伴う棟間距離の変化、軟弱地盤が引き起こす地盤の塑性化や地震波の伝播位相差などについても議論する必要がある。一方、我が国の都市部では高さの異なる中高層建築物が近接している箇所が多く、単に隣接する建物の固有周期が異なる場合についてのみでも、急いで議論を交わすべき問題であると思われる。

今後は、高層ビル間の適正な棟間距離に対する指標を定める上で、数々の定量的検証を行う必要があると考えている。

謝辞

筑波大学 計算・構造工学研究室の久永 哲也氏、勝 拓也氏、レティタイ タン氏、新垣 裕太氏には、モデル作成および解析実施上で多大なる貢献を受けた。ここに謝意を表したい。

参考文献

- 1) 和泉 他：1985年メキシコ地震に関する調査研究，文部省科学研究費 (No.60020049) 成果報告書，1986.
- 2) 磯部，リン：飛行機の衝突に伴う骨組鋼構造の崩壊解析，建論，第579号，2004，pp.39-46.
- 3) 太田，磯部，井上，松枝：長周期地震動に伴う棟間衝突に関する一考察 (その1)，2010.
- 4) 平島 他：高温時における高力ボルトの剪断変形状態に関する実験的研究，建論，第621号，2007，pp.175-180.

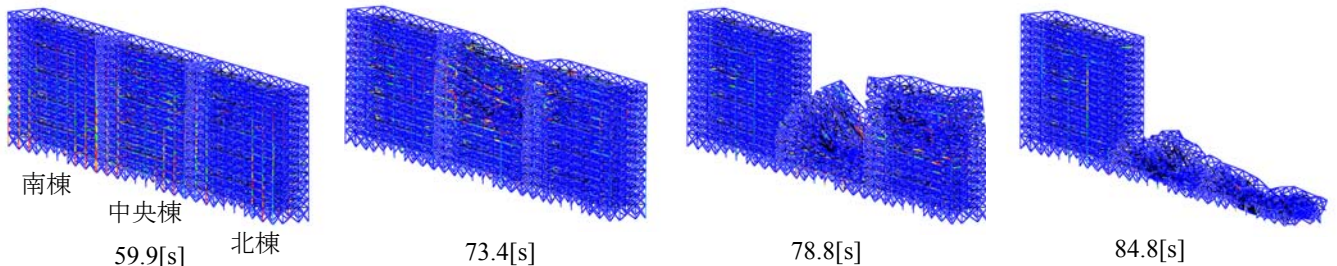


図4 3連棟モデルの棟間衝突・崩壊挙動

*1:筑波大学大学院准教授 博 (工)
*2:足利工業大学総合研究センター 工博
*3:NHK制作局 科学環境番組部
*4:(株) 橋梁コンサルタント

*1: Dept. of Eng. Mech. and Energy, Univ. of Tsukuba, Dr. Eng.
*2: Collaborative Research Center, Ashikaga Inst. of Tech., Dr. Eng.
*3: Science Programs Division, Japan Broadcasting Corporation
*4: Kyoryo Consultants Ltd.