

近接建物と衝突する建物の地震応答解析

正会員 高橋 愛*¹ 中埜 良昭*²

キーワード：衝突・地震応答解析・エキスパンションジョイント

1. はじめに

都市部の密集地域では、建物同士の間隔は狭く、地震時に衝突する可能性が高い。また、単一建物内でもエキスパンションジョイント部を持つ建物は、一般に平面形状がL型、T型、コ型、口型の建物、低層棟と高層棟に分かれる建物などであり、振動性状が異なる建物が隣接することになる。過去の地震においても、エキスパンションジョイント部での衝突による建物の被害が報告されている¹⁾。そこで、本研究では、近接した建物間の衝突を考慮した地震応答解析を行い、地震時に起こる衝突が建物の挙動にどのような影響を及ぼすかを検討した。

2. 建物のモデル化及び解析手法

ここでは、最も単純な弾性一質点せん断系モデルを用いた地震応答解析を行い、いくつかのパラメータを設定し、それらの違いが地震時に衝突する二つの建物の応答性状に及ぼす影響について検討を行った。

2.1 衝突する建物のモデル化

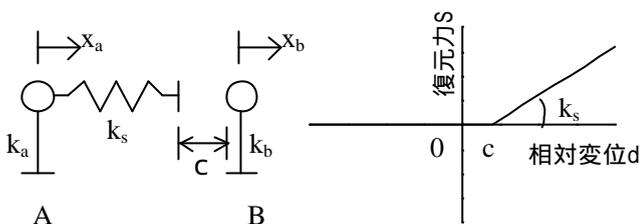


図1 衝突のモデル化 図2 衝突ばねの復元力特性

建物は固有周期の異なる二つの一質点せん断系にモデル化した。衝突現象については、既往の研究²⁾³⁾と同様のように、建物間に衝突ばねを挿入し、そのばねの復元力を外力としてそれぞれの建物に作用させることによって近似した(図1)。二つの建物の相対変位を d とし、建物の間隔を c とすると、(式1)のとき建物が接触し衝突が生じる。

$$x_a - x_b = d \geq c \quad (\text{式1})$$

衝突ばねの復元力特性を図2に示す。衝突ばねは相対変位 d が建物の間隔 c を超え、衝突が生じる間だけ衝突ばねが作動するものとした。衝突による衝撃力は(式2)で定義し、各系に作用する力はそれぞれ(式3)で定義する。

$$S = k_s \cdot (d - c) \quad (\text{式2})$$

$$F_a = -S, \quad F_b = S \quad (\text{式3})$$

これらを運動方程式(式4)に代入することにより、各構造物の応答を求める。

$$\begin{aligned} m_a \ddot{x} + c_a \dot{x} + k_a x - F_a &= -m_a \ddot{y}_0 \\ m_b \ddot{x} + c_b \dot{x} + k_b x - F_b &= -m_b \ddot{y}_0 \end{aligned} \quad (\text{式4})$$

2.2 解析パラメータ

解析パラメータは、建物の間隔、衝突ばねの剛性、質量比とした。

建物の間隔 c を、(式5)で定義される d_0 を基準に、 $d_0 \cdot 0.75$ 、 d_0 、 $0.5 d_0$ 、 $0.25 d_0$ とした。衝突ばねの剛性 k_s は系Aの剛性 k_a と等しくした。また、固有周期比 T_b/T_a は $1/2$ 、質量比 m_b/m_a は 1 に固定した。また、建物同士をつないだ場合との比較も行った。

$$d_0 = \sqrt{x_{amax}^2 + x_{bmax}^2} \quad (\text{式5})$$

質量比 m_b/m_a を、 $1 \cdot 1/2$ 、 $1/4$ 、 $1/8$ 、 $1/16$ とした。衝突ばねの剛性 k_s は系Aの剛性 k_a と等しくし、建物の間隔は $0.50 d_0$ 、固有周期比 T_b/T_a は $1/2$ に固定した。

衝突ばねの剛性 k_s を、系Aの剛性 k_a を基準に $0.01 k_a$ 、 $0.1 k_a$ 、 k_a 、 $10 k_a$ 、 $100 k_a$ とした。系の剛性は弾性とした。また、建物の間隔は $0.50 d_0$ 、固有周期比 T_b/T_a は $1/2$ 、質量比 m_b/m_a は 1 に固定した。

2.3 入力地震波と数値積分法

入力地震波として、1940年 El Centro NS 成分を原記録のまま用いた。地震波の継続時間は25秒間とした。数値積分法はNewmark-法($\alpha=1/6$)、積分時間刻みは0.002秒とした。また、系Aの周期 T_a は $0.1 \sim 3$ 秒とし、系Aおよび系Bの減衰は 5% とした。

3. 解析結果

図3~6に、応答スペクトルを示す。ここでは、衝突の影響を検討するため、系Aについては負の応答変位、系Bについては正の応答変位(いずれも右方向を正とする)を示す。 x 軸は系Aの周期 T_a または系Bの周期 T_b 、 y 軸は系の独立振動の最大応答変位 X_{0max} に対する衝突を考慮したときの系Aの最大応答 X_{amax} または系Bの最大応答 X_{bmax} の割合である。

建物の間隔の影響：図3および図4に、建物間隔をパラメータにとり、系A、系Bの変位応答スペクトルを示す。隣接建物との間隔が狭くなるに従い、応答が変動する傾向が見られることがわかる。これは、相対変位と建物の間隔の差($d - c$)に応じた衝撃力が作用するた

めに、建物の間隔 c が小さくなるほど作用力が大きくなるためである。また、衝突を起こさないよう系 A と系 B をつなぐと、周期の長い系 A の応答変位を減少する一方で、周期の短い系 B の応答変位が増加する結果となった。

質量比の影響：図 5 に系 A, 系 B の質量比 m_b/m_a をパラメータにとり、系 B の変位応答スペクトルを示す。固有周期の短い系 B の質量の減少に伴い、応答変位が著しく増大している。なお、質量の大きい系 A については、系 B に比べると、応答に大きな変動が生じないことを確認している。

衝突ばねの影響：図 6 に衝突ばねの剛性 k_s をパラメータにとり、系 B の変位応答スペクトルを示す。また、比較のため弾性体の完全衝突に関する反発係数 $e = 1$ を用いた応答も示す。衝突ばねの剛性増加に伴う変位応答の違いは、特に周期 0.5 秒以下で顕著である。

なお、～ のいずれのケースにも応答の比が 1 を下回る場合があり、衝突により常に応答が増大するとは限らない。

4. まとめ

(1) 隣接建物との距離が近いほど、衝突しないときに比べ

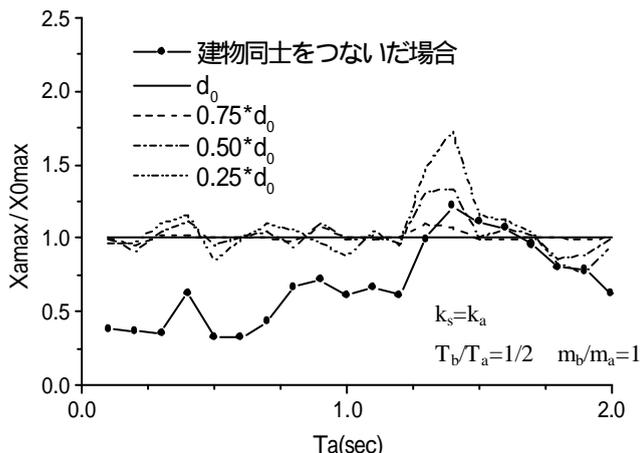


図 3 建物の間隔の影響 (変位応答スペクトル 系 A)

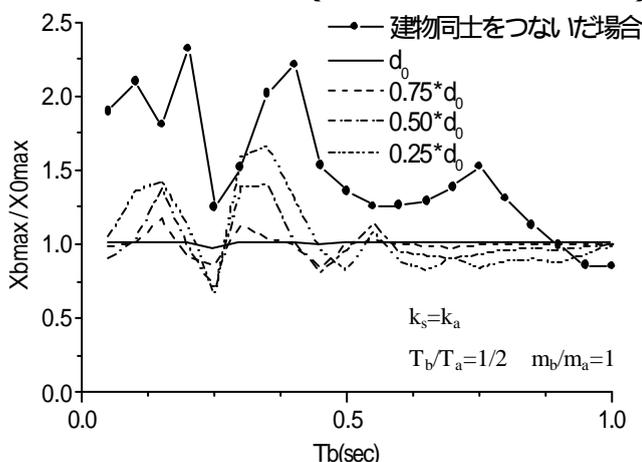


図 4 建物の間隔の影響 (変位応答スペクトル 系 B)

て衝突時の建物の変位応答が大きく変動する傾向がある。また、建物同士をつなぐと、一方の応答変位を減らすことができるが他方の応答変位の増加を起こす。さらに、固有周期の異なる建物が衝突すると、固有周期の短い建物の方が衝突の影響をより大きく受ける。

(2) 質量および固有周期の異なる建物同士が衝突すると、固有周期が短く、質量が小さい建物の応答が衝突しないときに比べて著しく増大する。

(3) 衝突ばねの剛性の違いによる衝突時の変位応答の違いは短周期で顕著である。

[参考文献]

- 1) 阪神・淡路大震災調査報告(鉄筋コンクリート建造物), 阪神・淡路大震災調査報告編集委員会
- 2) 川島一彦, 土木学会論文報告集第 308号, pp.123-126, 1981年4月
- 3) S. A. Anagnostopoulos (1988), Pounding of buildings in series during earthquake, *Earthq. eng. struct. dyn.*, 16, 443-456

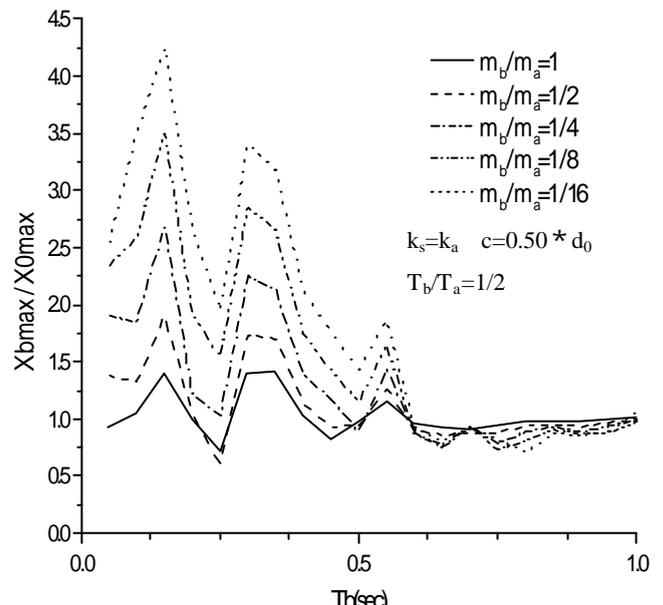


図 5 質量比の影響 (変位応答スペクトル 系 B)

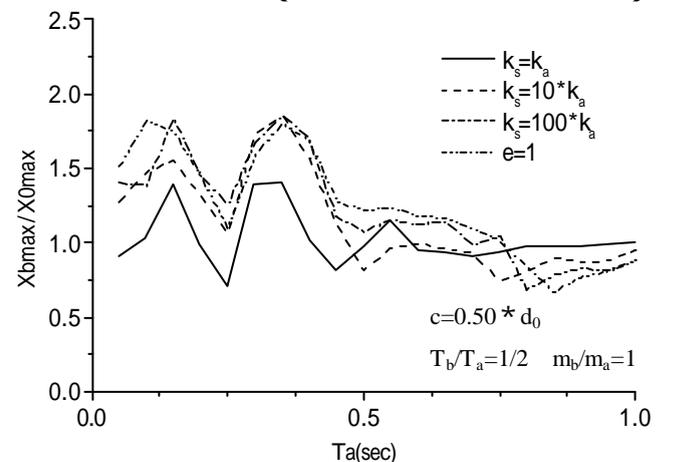


図 6 衝突ばねの影響 (変位応答スペクトル 系 B)

*1. 東京大学大学院工学系研究科 修士課程
*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
Associate Professor, Institute of Industrial Science, Univ. of Tokyo Dr.Eng