## 強震観測・強制振動実験・常時微動計測に基づく 中低層建物の隣接建物間相互作用に関する研究

名古屋大学大学院工学研究科建築学専攻 博士課程前期課程2年 構造設計工学講座 福和研究室 松山 智惠

1.はじめに

都市域には軟弱地盤上に立地した中低層RC造建物が多数 あり,建物と地盤との動的相互作用の影響が大きいことが 指摘されている。これらの建物の多くは隣接して建てられ ており,隣接する建物同士が地震時に地盤を介して相互に 影響し合い,単独建物とは異なった挙動をすることが考え られる。強震観測は,原子力関連施設や超高層建物・免震 建物で数多く行われているが,多数存在する一般の中低層 建物の観測事例は少ない。さらに,隣接する中低層建物に ついての詳細な計測事例は殆どなく,隣接建物が振動特性 に与える影響についての定量的な資料は十分ではない<sup>1)</sup>。

兵庫県南部地震の被害分析では,入力損失による地震力 低減効果が指摘された<sup>2)</sup>。中低層建物を対象に,動的相互 作用による地震力低減効果を実証的に検討することは,動 的相互作用効果が導入された限界耐力計算法の実証的裏付 けや,地震力設定の妥当性の検証のために必要度が高い。

本論では,名古屋大学内の中低層建物を対象に,複数の 強震記録に基づき,建物と地盤との動的相互作用効果が中 低層建物に及ぼす影響の実証的な検討を行う。さらに,東 西に隣接する3階建RC造(3F建物)と6階建SRC造(6F建 物)を対象に,強震観測・強制振動実験・常時微動計測記 録に基づいて,隣接する建物同士が地盤を介して相互に影 響を及ぼす隣接建物間相互作用について検討する。

2.対象建物と計測概要

## (1) 対象建物と強震観測

対象建物は名古屋大学東山キャンパス内で強震観測を 行っている中低層建物8棟で,各建物は洪積丘陵地に立地 する。建物概要を表1に示す。表中の平均VsはPS検層結果 又は地盤のN値から推定した深さ10mまでの平均値であ る。図1に6F建物と3F建物の断面・平面図を示す。両棟は 構造的に独立し,通路部分のExpansion Jointを介して3mの 距離で長辺方向に隣接している。これらは,尾根筋に立地 し,その南側は約10m,西側は約3mの崖となっている。

強震観測は,地表面(GL-1m),1階,屋上(10F・4F・6F・ 3F建物のみ)で同時観測を行っている。現在までに各建物で は,約15から30の地震動が観測されており,最大の地震は GL-1mで約50から70Gal(3F建物のみ25Gal)である。ま た,各建物では常時微動も計測している。

(2) 隣接建物の強制振動実験と常時微動計測 6F建物が3F建物に及ぼす影響を詳細に検討するために,

表1 建物概要							
建物略称	基礎形式	埋込深さ(m	構造種別	階数	高さ(m)	建築面積(m²)	平均Vs(m/s)
10F建物	杭基礎	7.8	SRC	10	39.3	1502.0	216
4F建物	杭基礎	1.3	RC	4	17.9	1155.0	244
6F建物	杭基礎	2.2	SRC	6	22.3	603.9	245
3F建物	杭基礎	2.2	RC	3	11.4	374.4	289
2F建物	杭基礎	4.0	RC	2	9.0	262.6	270
1F建物A	杭基礎	1.5	RC	1	14.0	189.0	230
1F建物B	直接基礎	1.7	S	1	6.5	466.1	330
3F建物B	杭基礎	1.1	RC	3	12.2	1649.3	(315)

6F建物1階に設置されている振動台を隣接方向に加振する 強制振動実験を深夜静寂時に行った。低振動数から大きな 加振力を得るため,可動部質量約600kgの振動台に質量約 1tonのおもりを積載し,定加速度約600Gal(加振力1tonf) 一定で2Hzから15Hzの振動数を時間と共に掃引する正弦波 スウィープ加振を行った。合わせて,深夜静寂時に常時微 動計測も行った。

計測点位置を図1中に , で示す。建物内20地点(27 成分)及び地盤4地点(10成分)で同時計測を行い,原則 として変位成分を200Hzサンプリングで収録した。

3. 中低層建物の地震時挙動に及ぼす動的相互作用効果

(1) 有効入力動

図2にGL-1mで1Gal以上の強震記録と常時微動記録につ いて,地盤と建物基礎の平均フーリエスペクトル比を示 す。フーリエスペクトル比は各々アンサンプル平均して求 めた。全体的に高振動数で基礎応答が低減しており,規模 が大きく地盤が軟弱な10F建物でその低減が顕著である。 各記録とも建物-地盤連成系固有振動数(図中,)付 近で増幅しており,特に,隣接建物での増幅が大きい。

地表面の観測最大加速度PGA・最大速度PGV・最大変位 PGDを用いて入力地震動の等価卓越振動数PGA/PGV/2π, PGV/PGD/2πを求め,入力地震動の周期特性と有効入力動 の関係を考察する。但し,PGA,PGV,PGDは主要動部か ら抽出し,最大値の時間差は前後2秒以内を対象にして振 動数を決定した。図3に入力地震動の等価卓越振動数と地 表面と基礎の加速度比を示す。より規模が大きく地盤が軟 弱な10F建物では入力地震動の低減効果が大きく,その効 果は地震動の卓越振動数が高いほど顕著となる。相互に隣 接する6F建物と3F建物では結果のばらつきが大きく,有効





入力動が増幅している記録も多い。隣接建物が存在する場合には,隣接建物間で相互に影響を及ぼすために単独建物とは振動特性が異なり,安易に入力損失効果を見込むことの危険性が示唆される。また,建物基礎の面積が小さい建物では入力損失効果が見込めない結果が得られた。

図4に対象とする8建物の水平2方向の全記録から求めた,無次元振動数a。(*a*=2πfB/Vs)と地表面と基礎の最大加

速度比・速度比の関係を示す。無次元振動数は,面積等価 の正方形基礎の半幅B,表1の平均Vs,等価卓越振動数/から 求めた。無次元振動数を用いることで,建物の規模,地盤 条件の違いによる影響が除かれている。最大加速度比・速 度比共に,高振動数域で有効入力動が低減しており,同様 の低減効果が得られている。また,単独建物と比べて隣接 建物では,低振動数域での増幅が大きい結果が得られた。



## (2) 建物の応答

動的相互作用効果が固有振動数と減衰定数に及ぼす影響 を検討するために,屋上と地盤の記録から求めた連成系 (RF/GL)と屋上と1階の記録から求めたスウェイのみ固定 した系(RF/1F)の比較を行った。図5に示す10F建物と4F 建物の結果から,慣性の相互作用による振動数の低下と逸 散減衰による減衰の増大効果が確認された。

図6は,入力地震動の等価卓越振動数と建物基礎に対す る屋上の応答の関係を示している。建物階数による増幅度 合いの違いや入力地震動の振動数成分による建物応答の増 幅効果の差異が現れている。また,上部構造の卓越振動数 付近で屋上の応答が増幅している。同一の地盤・建物で あっても,入力地震動の卓越振動数により建物応答が変動 することは,建物と地盤の固有振動数の同調だけでは建物 応答の増幅特性を表せないことを示唆している。

- 4.隣接する中低層建物の振動特性
- (1) 強震記録に基づく中低層建物の振動特性

隣接建物では単独建物とは異なった地震時挙動を示し た。そこで,地盤で3Gal以上が観測された地震(6F建物16 記録,3F建物9記録)から求めた,平均的な伝達関数を図7 に示す。図中にRF/GLの卓越振動数を で,RF/1Fの卓越振 動数を で示す。RF/1Fは,両建物とも明瞭な卓越振動数 を示す。3F建物のRF/GLでは,短辺方向は5Hzと8Hz付近の 2つの卓越振動数がある。長辺方向は明瞭な卓越を示さな いが位相も考慮すると,5Hzから6Hz付近に卓越振動数があ ると考えられる。

3F建物の短辺方向の伝達関数について,地震動の周期特 性による応答の違いを考察する。長周期地震動の例として 1999年8月21日和歌山県北部地震を,短周期地震動の例と して1999年11月29日愛知県西部地震を用いる。屋上と地盤 のフーリエスペクトル振幅と3F建物短辺方向の伝達関数 (RF/GL)を図8に示す。長周期成分を多く含む和歌山県北 部地震では1つの卓越振動数を,短周期成分も含む愛知県 西部地震では2つの卓越振動数を示している。短周期地震 動のみ5Hz付近で3F建物の振動が励起される原因は,南側 の崖の存在が長辺方向の地盤の動きの差を生み出し,その



結果生じたねじれ動入力が6F建物のねじれ応答を励起し, さらにこの動きが地盤を介して3F建物短辺方向の応答に影 響を与えたと考察できる。即ち,隣接建物を介した複数入 力の結果,相互作用システムの伝達関数が地震動によって



変動したと解釈できる。

図9に, 強震記録のフーリエスペクトル振幅から求めた スウェイ・ロッキング率を示す。低層の3F建物では, 6F建 物に比べて弾性変形率が小さく, 剛体的に挙動している。

図10に強震時の時刻歴波形から求めた6F建物最大値発生 時刻の隣接方向のモード形を示す。両建物のロッキングが 逆位相で生じ,両建物がおじぎをするモードが認められ る。これらの結果は,規模の小さい3F建物が6F建物の影響 を受けていることを示している。

(2) 強震・強制振動実験・常時微動の振動特性の比較

図11,図12に2000年6月5日福井県嶺南地方地震,強制振動実験と常時微動記録から求めた長辺方向の伝達関数を示す。RF/(1F+H0)はスウェイとロッキングを拘束した基礎固定系に対応する。表面波が卓越すると考えられる常時微動でも,ロッキング動を考慮することで,強震とよく対応した基礎固定系の伝達関数が得られている。RF/GLの伝達関数は,隣接建物の卓越振動数で変動したが,3種類の記録ともスウェイとロッキングを拘束した基礎固定系の伝達関数では,隣の建物の卓越振動数で変動しておらず,上部構造間で直接的に影響を受けていないことが示唆される。

建物規模の異なる8棟の強震記録から建物と地盤との動 的相互作用効果について,有効入力動と地震時の建物応答 から検討した。隣接する中低層建物については,強震観 測・強制振動実験と常時微動から隣接建物間相互作用の検 討を行った。得られた知見を以下に示す。

・基礎有効入力動は建物規模や隣接建物の有無により異なる。規模の小さい建物や隣接する建物では入力損失効果を 見込めず,また,入力地震動の卓越振動数により異なる。

・同一の建物・地盤であっても入力地震動の振動数成分に より,建物応答は変動し,建物と地盤との固有振動数の同 調だけでは建物応答の増幅特性を表せない。

・隣接建物では,規模の小さい3F建物が6F建物の影響を 強く受けており,地盤を介したねじれ動やロッキング動に よる力の伝達が確認された。

・スウェイ・ロッキングを拘束した基礎固定系の伝達関数 を推定することで,強震・強制振動実験・常時微動記録は よく対応した結果が得られた。

参考

1)大場新太郎,矢島啓利:人力加振による隣接建物の動的相互作用,第9回日本地震工学シンポジウム,pp.1405-1410,1994 2)安井譲,井口道雄,赤木久真,林康裕,中村充:1995年兵庫県 南部地震における基礎有効入力動に関する考察,日本建築学会構 造系論文集,第512号,pp.111-118,1998

5.まとめ