

断層近傍の地震動と建物応答の方位依存性に関する基礎的研究

90068 沖原 圭佑

1. 本研究の背景と構成

兵庫県南部地震などの大地震の震源近傍では建物や墓石が特定方向に倒れる現象が観測され、地震動に方位依存性があることが指摘されている。一方現在の耐震設計では地震動の方位依存性は考慮されていないが、将来的には断層近傍に建設する建物の設計を行う上で地震動の方位依存性を考慮した耐震設計の可能性を検討する必要がある。

そこで本研究では、断層と地震動波形のシミュレーションを行い分析するとともに、在来木造2階建て住宅をモデルにして応答解析を行うことで、耐震設計における地震動の方位依存性の考慮方法に関する基礎的な考察を行う。

2. 想定する地震とその特性

2.1 想定する断層とシミュレーション方法

想定する断層は、長さ25km、幅15km、マグニチュード6.5のものとする。統計的グリーン関数法⁽¹⁾と波数積分法⁽²⁾のハイブリッド合成法により内陸地殻内地震の水平2方向(NS方向とEW方向)の地震動波形を作成した。図1にアスペリティ位置(×)と破壊開始点(☆)、図2に断層とサイトの位置関係を示す。サイトは9地点ですべて断層最短距離が5kmである。

2.2 シミュレーション波形の分析

図3にSite1における地震動の加速度波形を示し、図4にSite1,5における疑似速度応答スペクトルpSvを示す。図4では破線がNS成分、点線がEW成分、実線が距離減衰式⁽³⁾から計算されるpSvを表す。周期3秒付近のピークはディレクティブパルスによるものである。図からシミュレーション結果と距離減衰式との間に大きなずれが見られ、方位依存性があることがわかる。長周期側では、Site1のNS成分、Site5のEW成分が卓越している。

図5にSite1, 4, 5における一質点系の相対応答変位のオービットを示す。周期が長いほど地震動の方位依存性が現れやすことがわかり、高層建物や免震構造建物などの固有周期の長い建物は方位依存性に注意して耐震設計を行う必要があると言える。サイトによる違いを見ると、断層の端に近い場所(Site1)ほどNS成分が大きく、断層の中央に近い場所(Site5)ほどEW成分が大きくなっており、pSvの分析結果と一致し、サイトによって方位依存性が異なることがわかる。Site4はアスペリティの近くにあり、断層の破壊進行方向にある影響で、断層の中央に近いにも関わらずEW成分だけでなくNS成分も卓越している。このように地震動の方位依存性は断層とサイトの位置関係で一意的には決まらず、アスペリティ位置や破壊進行方向とサイトの位置関係も大きく影響することがわかる。

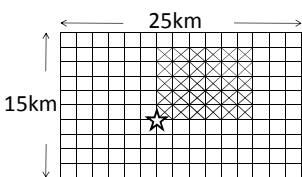


図1 断層モデルの設定

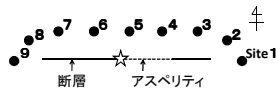


図2 断層と評価地点の位置関係

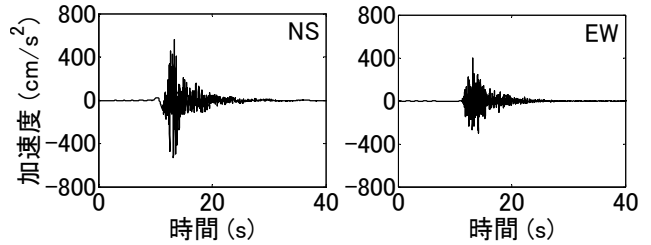


図3 地震動の加速度波形の例 (Site1)

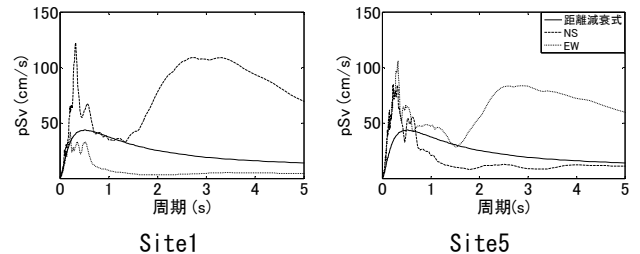


図4 各評価地点における疑似速度応答スペクトル (h=0.05)

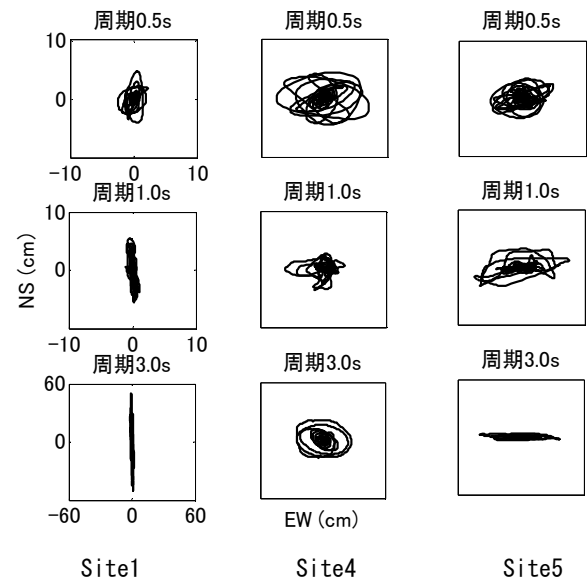


図5 各評価地点における相対応答変位のオービット

3. 在来木造2階建て住宅を用いたシミュレーション

3.1 在来木造2階建て住宅のモデル化

弾塑性応答解析プログラムSNAP⁽⁴⁾を用いて在来木造2階建て住宅のモデル化及び地震応答解析を行う。図6に在来木造2階建て住宅⁽⁶⁾の平面図を示す。太線が構造体として働く土壁、点線が小壁を表している。壁量から1Fは張間方向に強く、2Fは桁行方向に強い建物である。建物のモデル化では1Fを固定基礎とし、2Fの剛床はx、y方向の水平変位とz軸まわりの回転のみ自由とした。1Fと

2F、2FとRFをつなぐスプリングに水平剛性を入力することで土壁と小壁を構造体としてモデル化した。このモデルは弾性時の固有周期が0.68秒(桁行方向)、0.65秒(張間方向)で、塑性化後は1.22秒(桁行方向)、1.29秒(張間方向)となる。シミュレーション波形のディレクティビティパルスの周期3秒と比較して短い。

このモデルを9つのサイトに配置し、第2章で作成した模擬地震動のNS成分とEW成分を入力し、シミュレーションを行う。ただし、表層地盤による地震動の増幅を簡易的に評価するために振幅を2倍したものをを用いる。図7のように、建物配置は90°回転した2ケースを想定した。Case1は桁行方向が地震動のNS方向に重なるように建物を配置し、Case2はそれを90°回転させ張間方向がNS方向に重なるように配置したものとなっている。この2ケースのシミュレーションを行うことによって、NS方向とEW方向で剛性の異なる建物の応答が配置の仕方によってどのように変わるかを分析した。考察は中央にある部材の変位について行った。

文献⁽⁶⁾に倣い、桁行方向の剛性が低い1Fに対して桁行方向のみに荒壁と仕口ダンパーを補強材として付け足すことで方位依存性をもった耐震補強についても考察した。荒壁は土壁と同等の性能を持ち、耐震補強において使用される一般的な部材である。仕口ダンパーは軸組みの仕口部に取り付け、耐力と減衰性能を向上させることができる。

3.2 シミュレーション結果と考察

図8は9つのサイトの中で大きな方位依存性を示したSite1における木造住宅モデルの層間変形のオービットである。1Fは桁行方向、2Fは張間方向に弱い建物であるので、NS方向の地震動入力大きいSite1においては、Case1では1Fの、Case2では2FのNS方向の変形が大きくなっている。このように実際の建物に近い多質点系のモデルにおいても、第2章の一質点系モデルの場合と同じように地震動の方位依存性の影響が応答変位に現れることと、ディレクティビティパルスの周期よりも短い固有周期をもつ建物においても地震動の方位依存性の影響が現れることが分かった。

図9は耐震補強を施したモデルで応答解析を行って得られた層間変形のオービットで、表1は図8で示したCase1、Case2及び図9で示したCase1における補強後の最大層間変形角を示したものである。剛性の低い桁行方向に耐震補強を施すことによって最大応答変位が122mmから101mmに小さくなった。これを層間変形角で表すと1/23から1/30まで、約25%減少し、大破レベルであったものが中破レベルに収まったことになる⁽⁶⁾。今回は変形が大きかった1Fのみに耐震補強を施す補強案を用いたので補強前よりも2Fの変形がやや増加する傾向が見られたが、2Fにも耐震補強を施すことによって1Fと2Fの変形をより効率よく抑えられる耐震補強も考えられると思われる。

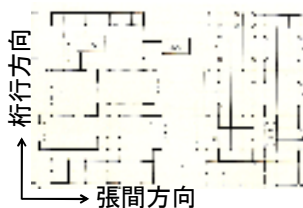


図6 在来木造2階建住宅⁽⁵⁾
(左: 1F 右: 2F)

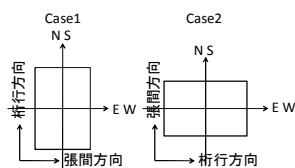
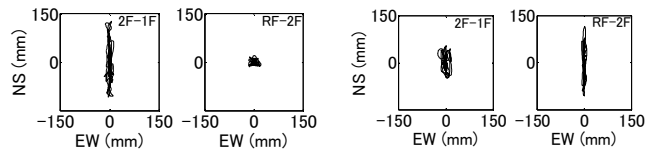


図7 建物配置のケース



Case1 Case2
図8 層間変形のオービット (Site1)

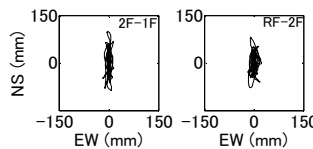


図9 補強後の層間変形のオービット

表1 最大層間変形角

	2F-1F	RF-2F
Case1	1/23	1/134
Case2	1/53	1/26
Case1 補強後	1/30	1/37

4. まとめ

以上のことから、以下の知見が得られた。

1. 距離減衰式で用いられるパラメータ(マグニチュード・震源深さ・断層最短距離)をすべて同じにしても、方位依存性を考慮した地震動強さはサイトによって大きく異なり、アスペリティ位置や破壊進行方向が大きく影響する。
2. 地震動の方位依存性は長周期側で現れやすい。これは放射特性と伝播速度に起因するDirectivity効果によるものと思われる。
3. 地震動と建物応答の方位依存性を考慮した上で耐震設計を行うことで、一方向のみの補強などによる効率的な設計を行える可能性がある。

4. 今後の展望

本研究では断層モデルのシミュレーション結果を分析し、木造2階建て住宅の地震応答解析を行うことで方位依存性を考慮した耐震設計・耐震補強の可能性を示した。

現在の耐震設計において方位依存性は直接的には考慮されていないが、地震動の方位依存性が建物の変形などに大きな影響を与えている。方位依存性を考慮した耐震設計を実現させるためには断層の調査・研究が欠かせない。現在では産総研などにより断層のデータベース⁽⁶⁾もできてきている。これからはこういった断層の研究と耐震設計を繋ぐ対断層設計法を確立し、地震動の方位依存性といった今まで考慮されていなかった地震動の特性を考慮に入れることによってより効率的な耐震設計を行っていくことが今後の一つの課題である。

参考文献

- (1) 糸井達哉他：日本地震工学会論文集、第9巻、第1号、2009
- (2) 久田嘉章：成層地盤における正規モード解及びグリーン関数の効率的な計算法、日本建築学会構造系論文集、501、pp. 49-56、1997
- (3) 内山泰生、翠川三郎：震源深さを考慮した工学的基盤におけるスペクトルの距離減衰式、日本建築学会構造系論文集 No. 606、pp81-88、2006. 8
- (4) 任意形状立体フレームの弾塑性解析 SNAP: KOZO SYSTEM, INC.
- (5) 木造軸組構法建物の耐震設計マニュアル委員会：伝統構法を生かす木造耐震設計マニュアル、p150-165、2004. 3
- (6) 産業技術総合研究所：活断層データベース、<http://riodb02.ibase.aist.go.jp/activefault/>