点推定を利用した木造建物の被害評価 実被害への適用

有限責任事業組合 震動情報研究所 東北大学 ○ 飯山かほり・盛川仁 大野晋・柴山明寛

1.はじめに

東京大学地震研究所で開発された統合地震シミュレー タ IES (例えば[1])では,都市全体の物理モデルに基づ く被害シミュレーションが可能である。この際解析対象領 域のモデル生成が必要となるが,例えば構造物応答シミュ レーション (SRA)で10~100万単位の建物を詳細にモデ ル化するのは不可能であるため,IES の SRA モジュール では地理情報システムや各種行政データを利用しモデルを 自動構築する。シミュレーションベースの広範囲の被害推 定では,必ずしも精緻なモデルを用いることなく実際の構 造物応答のオーダーを捉えられることが望ましく,その実 用性は実被害地域への適用に基づき示されるべきである。 本検討では,シミュレーションに基づく被害推定法を実被 害地域に適用することで,その実用性を検証する。 2.対象地区概要

対象とした宮城県大崎市古川地区は,東北地方太平洋

沖地震により多くの木造家屋に被害が見られた地域であ る。大崎市古川三日町では最大震度6弱を観測,同地区内 のJMA および K-NET で観測された本震記録の最大加速 度はそれぞれ 550cm/s²,571cm/s²と同程度であったが, 図1に示すように被害の分布には顕著な偏りが見られた。 K-NET 近傍(約 220棟)およびJMA 古川近傍(約 170棟) の悉皆調査に基づけば,前者では小破レベルの木造が6棟 のみであるのに対し,後者では小・中波レベル38棟,大 破以上7棟であり,図1にもその地域差が現れている。

同地区内においては震災後,後藤らにより超高密度の余 震および微動観測が実施され,これらの記録に基づき工学 基盤以浅の地盤特性が詳しく推定されている[2]。ここで はこの区域(図1点線枠内)を解析対象とした。

3. モデル化概要

(1)建物特性

木造モデルの自動構築には位置・面積・高さ(階数)と 建築年代情報を用いた。このうち位置・面積・階数は2010 年住宅地図デジタルデータから木造家屋約4200棟分を取 得し,建築年代は国土地理院空中写真(1947-2006年撮影 の5写真)の目視から推定した。ただし建替えや改修など は考慮できていない。

各層重量は, 文献 [3] 表 4.4 に示される建物の軽重3種 に対する屋根・床・外壁・内壁・積載荷重の面積あたり簡 易重量を平均的な値と見做して算定した。同表の各部材仕 様例から,非常に重い・重い・軽いをそれぞれ1959年建 築基準法(以下,基準法)以前,1981年基準法,2000年 基準法準拠建物であると仮定した。

最下層のせん断耐力係数は主に文献3を参考とし,基



正会員

正会員



図 2: 解析モデル (左)と最下層のせん断耐力係数 (右)

準となる層間変形角 せん断耐力係数の関係を図2右のように設定し,基準法の違いを反映した。上層はAi分布考慮に加え下層破壊が主たる形態となるよう係数を割り増した。ただし,このせん断耐力係数はあくまで基準法上の必要耐力である。建物の実耐力は,既往研究(例えば[4],[5])によれば雑壁や仕上げの効果により必要耐力の3倍超とも示唆される。現時点ではこのような非構造部材の効果を定量化できるだけの資料は少なく,実績や年代・構造による違い等を含め今後調整が必要ではあるが,ここでは必要耐力に対する比率(以下,耐力比γ)を平均的に3程度あると仮定し,そのばらつきを考慮した。

(2) 入力地震動の設定

対象地域内の各建物位置における地表加速度は,まず JMA 古川の本震記録を再現するような工学基盤波を盛川 らの方法[6]から推定し,これを工学基盤入力(領域内で 同一)として後藤らが同定した表層地盤構造[2]を適用し て1次元非線形応答解析(ROモデル)から算出した。同 手法による加速度時刻歴の再現性の確認として,最大パ ルスが生じた時刻近傍を図3に示す。最大値が過小推定と なってる点で課題が残るが,位相の再現性は良好である。

キーワード: 被害評価,点推定,木造家屋,地震応答解析,IES,被害関数
連絡先: 〒 226-8502 横浜市緑区長津田町 4259-G3-7,東京工業大学 環境・社会理工学院 土木・環境工学系
電話: 045-924-5607, Fax: 045-924-5601

-070

4. 被害率の推定

(1) 点推定を利用した評価法

ここでは応答への影響が大きいと考えられる耐力比 γ (平均 3.0) および減衰定数h(平均 5%) を確率変数 X_1 , X_2 とし,3点推定を利用した応答評価法[8]を適用した。確率 変数同士は無相関,変動係数 0.2 の正規分布に従うと仮定 した。評価点と重みは図4の通りとなる。この評価点 $(X_1, X_2)=(\gamma, h)$ の組合せ9点に対しそれぞれ建物応答を求め (図5左),応答の統計値を次式から求める。

$$E[Y^{k}] \approx \sum_{m=1}^{3} \sum_{n=1}^{3} P_{mn} Y_{mn}^{k}$$
(1)

ここに, $Y_{mn}(m, n = 1, 2, 3)$ は図 4 に示した確率変数の組合 せ入力 ($X_{1,m}, X_{2,n}$) に対応する応答値である。ここでは応答 対象を最大層間変形角 θ_{max} とした。式 (1) から得られた統 計値を確率密度関数 $f = f(\theta_{max})$ に適用し,その累積分布 $F = \int_0^\infty f(\theta_{max}) d\theta_{max}$ に対し $\hat{\theta} = F^{-1}(0.5)$ となる変形角を 各建物の応答の代表値とし,これがターゲットとする層間 変形角 θ_{trg} を超えるか否かで損傷判定を行った。 θ_{max} の 取る頻度分布 $f(\theta_{max})$ には対数正規分布を適用した。 (2) 被害率の推定

被害率は,対象領域を約110m×110mの小領域に分割し,各領域内の解析棟数をNとして領域ごとに下式から 算出した。

推定被害率: $P_{est}(\theta_{trg}) = N_{est}(\theta_{trg})/N$ 実被害率 : $P_{DLj} = N_{DLj}/N$ (j = 1,2,3)

ここに, $N_{est}(\theta_{trg})$ は各小領域内において $\hat{\theta}$ $\acute{n} \hat{\theta} \leq \theta_{trg}$ を満たした建物棟数, N_{DLj} (j = 1, 2, 3)はここではそれぞれ各領域内の半壊以上,大規模半壊以上,全壊以上の棟数を表す。なお,各領域のNは平均 16.4, $0 \leq N \leq 64$ の範囲であった。N = 0は検討対象外である。

 θ_{trg} と実被害レベル(半壊~全壊)との対応は必ずしも 明確でないため、ここでは $\theta_{trg} = 1/30, 1/20$ を代表として 図 6、図 7 にそれぞれ示す。 $P_{est}(\theta_{trg})$ と P_{DLj} との対応関 係は明確ではないが、全体として $P_{est}(\theta_{trg})$ の分布は被害 分布と整合性が見られ、特に被害が顕著であった西南付近 において被害率を高く推定している。これらの結果は、行 政データ等のみから自動構築した建物モデルのシミュレー ションに基づく被害推定の実用性を示唆するものである。 5. おわりに

観測記録に基づく地震動を入力として実被害地域の木 造建物応答シミュレーションを行い実被害と比較した結果 は、シミュレーションベースの被害評価の実用性を示唆す るものであった。他方、モデル化や損傷指標、応答評価の ための方法それぞれに課題があり、種々の知見の反映、他 の被害地域での手法適用に基づく検証等が今後必要と考え ている。

参考文献

- [1] Hori and Ichimura. , Journal of Seis. , 12(2) , 307-321 , 2008.
- [2] 後藤ほか,日本地球惑星科学連合 2016 年大会予稿集,SCG61-P05, 2016.



図 3: 観測記録 (JMA) と推定入力地震動



図 4: 点推定の評価点と重み



図 5: 点推定による確率密度分布(左)および累積分布(右)





図 8: 実被害率 P_{DL1}

図 9: 実被害率 P_{DL3}

- [3] 日本建築防災協会,国土交通大臣指定耐震改修支援センター,2012 年改訂版木造住宅の耐震診断と補強方法,p60,2012.
- [4] 五十田ほか,日本建築学会構造系論文集,第616号,pp.157-163, 2007.
- [5] 水谷ほか,日本建築学会東海支部研究報告書,第53号,2015.
- [6] 盛川ほか,日本地震学会 2016 年度秋季大会,2016.
- [7] 喜々津ほか, 平成 27 年度日本風工学会年次研究発表会, pp.117-118, 2015
- [8] 飯山ほか, 土木学会全国大会, 2015.