

構造物の地震被害推定方法提案

パシフィックコンサルタンツインターナショナル 総合開発事業部 開発計画部 F 会員 ○林 亜紀夫
 パシフィックコンサルタンツインターナショナル 総合開発事業部 開発計画部 正会員 小林 一郎

1. はじめに

地域の地震防災計画を策定するために基本となるのは将来発生するであろう地震によってどの程度の被害が出るかを予測することである。予測すべき被害の内訳は死傷者数など人的損失、施設の機能低下による便益の喪失および経済的損失であるが、そのいずれも家屋など建物および公共施設の構造物被害の程度と量の予測が出发点となる。

多様な構造形式が混在し、しかも非常に数が多い建物被害を評価するには、不確定性を認めた上での確率論的な評価となるが、これを精度良く行うには地域の建築の特性を十分に反映することが求められる。一般には構造形式を幾つかのタイプに分類した上で、それぞれのタイプ毎に既往の地震被害調査を参考に被害関数を構築する。しかし開発途上地域であって情報量が少なく未整理な場合には、個々の構造形式そのものが未評価であって過去の震害調査事例との相関が得難いことが多い。その場合には調査地域内の代表的建物について耐震診断を行って数量化を行い、診断の結果からモデル化と被害関数の構築を行うことが有効と考えられる。本稿では、上記地震防災計画上の目的に沿って行う建築耐震診断の結果をまとめる指標と、その指標を基に被害関数を構築する方法を提案する。

2. 耐震診断の結果をまとめる指標

建築耐震診断の結果をまとめる指標としては、米国の耐震診断耐震改修基準^{1),2)}などのように基準との合否を複数の検討項目別にデジタル標記とするものと、わが国の耐震診断基準^{3),4)}のように基準との合否を単一のアナログ量として標記するものがある。検討項目別に合否を表現した場合には耐震改修において改善すべき個所を端的に指摘すると云う利点があるが、本提案で目指すのは被害関数構築であるから連続する数値として表現することが必要であり、後者の立場を採る。また、わが国の耐震診断基準では構造を調査した結果を一旦は数値化した後に既往の震害例との相関を求めるもの⁴⁾と、構造の保有水平耐力を必要保有水平耐力で除した比を求めるもの³⁾がある。本提案では、後者の立場を採り、文献3)によって式(1)に定義される GI_S 値を耐震診断の結果をまとめる指標とする。

$$GI_S = \frac{Q_u}{I \cdot \alpha \cdot Q_{um}} \quad (1)$$

ここに、 Q_u は保有水平耐力、 I は重要度係数、 α は保有水平耐力の補正係数、 Q_{um} は必要保有水平耐力である。基本的には構造の層間せん断力と、設計条件である応答スペクトルによる層間せん断力の比として定義される。

Q_{um} は減衰定数 5%の弾性応答スペクトルによる慣性力として与えられる。被害関数を構築する際には“設計条件である応答スペクトル”を“防災目標とするシナリオ地震の応答スペクトル”に置き換えることで適用が可能である。 Q_u は層間せん断力であり、一部の脆性部材の破壊を端緒として建物の破壊が起こる場合には弾性解を適用し、ある程度の靱性が期待される場合には非線形特性を考慮した増分法解析を適用する。その場合、非線形特性を考慮した扱いが必要であり、米国の基準^{1),2)}やマニュアル⁵⁾では、等価線形法を適用するので長周期化と減衰定数の増加を反映して分母の Q_{um} を変化させる。一方、わが国の保有水平耐力法^{3),6)}ではエネルギー一定則に基づく構造特性係数 D_S を介して必要降伏震度に相当する Q_u を求め、 Q_{um} の方は変えない。何れの方法によっても適切な特性が設定されれば Q_u と Q_{um} の比である GI_S 値としては合理的な数値を得ることができる。増分法解析を適用した場合の限界状態基準は応答変位に求められるので、層間変位角に着目した評価を行う。このようにして評価された数値は、建物の層毎に得られるが、それらの内の最も小さい GI_S 値を、設定した閾値に至る限界状態を表現するものとする。

3. 被害関数

建物損壊の程度を表現する指標は被害率 P とする。地震動と建物の特性をどんなに精度良く設定したとしても建物

キーワード 地震防災、被害予測、耐震診断、耐震改修、被害関数

連絡先 〒206-8550 多摩市関戸 1-7-5 パシフィックコンサルタンツインターナショナル総合開発事業部 開発計画部 Tel. 042-372-6201

損壊の予測には不確定性が残るので確率論的な扱いが必要と考えたからである． P は建物が（大破，中破，小破と云った）被害の閾値を越えない確率として定義され，被害予測に利用する際には“同等の建物の内の何%がその被害に達するか”を示すものとして理解される．閾値に（大破，中破，小破と云った）段階を設けたのは，得られた P を基に死傷者数，緊急対応必要量，発生瓦礫量，復興に必要な費用など次に続く評価解析に結びつける際の便宜を考えたからである．大破，小破と云った各閾値に対する GI_S 値は，それぞれの状態に至る層間変位角を設定することによって求められる． P と GI_S 値の関係は，式(2)に示すように，対数正規分布の累積分布関数として与えられる．

$$P = \Phi \left[-\beta \left\{ 1 + \frac{\ln(GI_S)}{\ln(S_f)} \right\} \right] \quad (2)$$

ここに， S_f は構造設計において見込まれるべき安全率， β は信頼性指標， Φ は正規分布の累積分布関数である．

4. 適用事例

イラン国大テヘラン市圏を対象とする地震防災基本計画の策定を，独立行政法人国際協力機構およびイラン国の担当機関 TDMC の協同プロジェクトとして行った⁷⁾．地域の建物構造種別の内で最も棟数の多いのは組積造であり新しく建てられる建物は鉄骨造が多いが，日本の鉄骨造とは全く異なる構造である．いずれの構造も特異であることから代表的な事例について耐震診断による GI_S 値の算出を行い，その値を基に P 値を求め建物被害予測を行った．被害予測と，耐震改修や建替えによって改善されるべき目標を提案したものを表 1)に示す．ここでは建物の構造，用途，層数によって 54 種類の建物種別を設定し，各建物が現状のままであった場合に大破に相当する被害に至る被害率，被害建物の棟数と床面積を求め，耐震改修や建替えによって建物被害が改善される量の予測を行っている．

表－1 イラン国大テヘラン圏総合地震防災及び管理計画調査での適用事例

		ケース 1（無対策）	ケース 2	ケース 3
地震被害	建物被害	483,000	330,792	51,058
	人的被害	383,000	265,572	57,071
	ホームレス犠牲者	3,126,000	2,167,563	465,809
	瓦礫量 (1,000 ton)	124,000	85,981	18,477
リスク	建物被害コスト	US\$ 22.6 billion	US\$ 15.9 billion	US\$ 3.4 billion
	建物補強	-	US\$ 14.5 billion	US\$ 63.0 billion
	緊急対応	US\$ 2.9 billion	US\$ 2.1 billion	US\$ 0.4 billion
	復興・復旧	US\$ 195.3 billion	US\$ 130.9 billion	US\$ 19.5 billion
	合計	US\$ 220.8 billion	US\$ 163.4 billion	US\$ 86.3 billion

5. 結論

本稿では，地域地震防災計画を策定するために基本となるべき指標として建物被害を取り上げ，調査対象地域の代表的建物を耐震診断した結果として得られる GI_S 値を基に被害関数を構築する方法を提案した．その結果として得られる建物の被害率 P を基に現況のままであった場合の調査対象地域の被害規模が算出され，さらに耐震改修や建替えなどの施策を加えた場合の被害低減の量を予測することが可能になる．ここで提案した方法は開発途上地域で情報量が少なく未整理であって過去の震害調査事例との相関だけでは被害関数の構築が困難な場合に有効である．

謝辞：本稿では 2002 年 8 月～2005 年 3 月に JICA から委託を受けた(株)パシフィックコンサルタンツインターナショナル，OYO インターナショナル(株)の共同企業体が実施した調査で適用した手法を JICA の了解を得て報告しました．ここに記して感謝いたします．

参考文献

- 1) APPLIED TECHNOLOGY COUNCIL : Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, 1996
- 2) AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS : Seismic Evaluation of Existing Buildings, 2004～
- 3) 建設大臣官房官庁営繕部：官庁施設の総合耐震診断・改修基準
- 4) 国土交通省住宅局建築指導課：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準
- 5) FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY : Earthquake Loss Estimation Methodology HAZUS®99
- 6) 社団法人日本建築学会：建築耐震設計における保有耐力と変形性能（1990），200 年
- 7) 独立行政法人国際協力事業団：イラン国大テヘラン圏総合地震防災及び管理計画調査報告書