

2009 年 9 月 30 日 Pariaman 地震の強震動と建物被害(その2)被害分析

東京大学地震研究所 正会員 ○後藤 洋三
 オリエンタルコンサルタンツ 正会員 林 亜紀夫, 宮武一弘
 インドネシア技術評価応用庁 Mulyo Harris Pradono
 京都大学大学院 学生会員 Rusnardi Rahmat

2009 年 9 月 30 日 Pariaman 地震 (Mw7.6) により震央から約 80km のパダン(Padang)市内で 3 階建て以上の大型 RC 建物が多数被災した。そこで、代表的な建物について実寸法と被害状況の詳細調査を行い、数値解析を行って被災原因を分析した。被災の主な原因は過小な設計震度ならびに靱性を期待できない配筋方法と構造形式にあることが明らかになった。地震動の特性に関する調査は(その1)で述べている。

1. 建物被害の特徴

建物被害は多様な構造形式で発生しているが、パダン市内では 3 階建て以上の鉄筋コンクリートフレーム造の被害が顕著に見られた。パダンは人口約 84 万の州都であり、大型建物が、行政機関、公共施設、学校、病院、ホテル、大型店舗などに使われている。それらの被害は都市機能を麻痺させて応急対応や復旧に影響を及ぼすばかりでなく、特にパダン市の場合は、津波に対する鉛直避難場所の提供にも影響する。

大型 RC 建物が選択的に被災する事例は、2004 年スマトラ沖地震の際のバンダアチェ市内でも 2006 年中部ジャワ地震の際のジョグジャカルタ市内でも発生しており、この種の構造物は共通の課題を持つと考えられる。

2. 「施工不良」の影響

施工不良とは何を指すかが問題であるが、ここでは現物のコンクリート強度を施工品質の尺度とみなし、シュミットハンマーを用いて測定した結果と岡田等¹⁾の方法により建物の被災ランクを判定した結果を比較した。14 例中で、コンクリート強度が 45 N/mm² を超える 2 例に被害はほとんど無く、20 N/mm² 以下の 2 例は全壊であった。一方、中間的な強度域の 10 例では被害が広くばらついていて、すなわち、14 例中 10 例の被災程度はコンクリート強度とは別の要因で決まっていたと言える。

3. 被災建物の詳細調査

被災した大型 RC 建物の中から代表的な建物を選定し、設計図書、実際の柱梁床の寸法、実際の鉄筋の配置(コンクリートが剥落したところを利用)、コンクリートと鉄筋(ビッカース硬度計による)の現物強度を調査し、併せて全柱の被災度判定と建物上の微動測定を実施した。写真 1 が建物の外観で、5 階建てであり、行政機構で使われていた。



写真 1 調査対象の被災建物

表 1 階毎の被災度別柱本数

		1F	2F	3F	4F	5F
軽 ↑ 被災度 ↓ 重	0	34	15	2	35	35
	I	0	0	3	0	0
	II	0	6	3	0	0
	III	1	11	10	0	0
	IV	0	2	10	0	0
	V	0	1	7	0	0

(1)設計 この建物は 2006 年完工であるが、設計は 1898 年の基準(SNI 03-1727-1989)によっており最新の 2002 年基準は適用されていない。ベースシア係数 0.07 で設計されており、設計図書と現物はほぼ一致していたが、3 階の柱寸法に 4 階以上の寸法が適用されていた。また、2007 年スマトラ島南部沖地震でも一部被災し、屋根を軽い構造に変えるなどの改修が行われていた。

(2)被災度判定 日本建築防災協会法に従って被災度判定を行った。表 1 に結果を示す。縦軸に被災度、横軸に階数を取り、全柱の被災度の出現回数を示している。重大な被害が 3 階の柱に集中していた。

インドネシア、2009 年パリアマン地震、パダン市、大型建物被害、3D モデル解析、設計地震力

4. 3Dフレームモデルによる解析

(1)固有周期 実寸結果に基づいて3Dフレームモデルを作成した。レンガ壁は脱落するか大きなクラックが入っているため、剛性評価に含めなかった。コンクリートの剛性は初期剛性とした。図1にフレームモデルと固有周期の計算結果を微動測定結果のフーリエスペクトルと共に示した。Y方向は被災程度が軽くレンガ壁の剛性が残存していたためと考えられる。

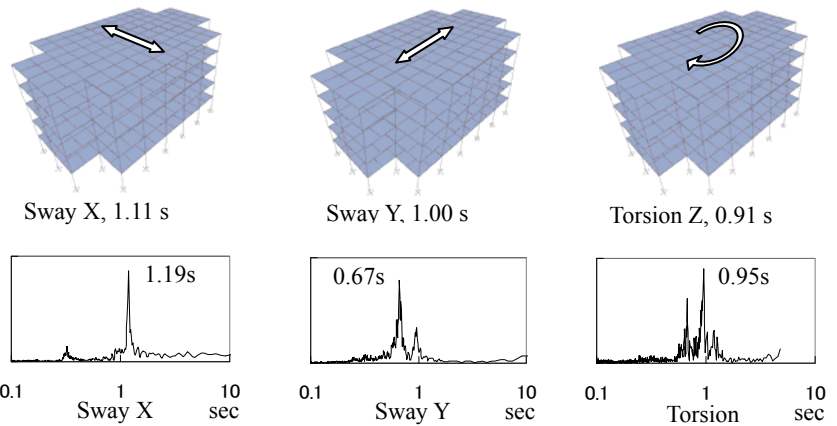


図1 3Dフレームモデル解析による固有周期と微動測定結果

(2)入力地震動の推定 (その1)からJMA震度を5強、卓越周期を1～2秒とすると、その加速度レベルは約0.17Gと推定される(換算法は気象庁ホームページ²⁾)。この地震力が建物の応答で増幅される効果を設計地震動設定用の加速度応答スペクトルを適用して推定する。すなわち、図2において周期0秒の加速度が0.17Gに相当するから、設計用スペクトルと平行線を描けば建物周期が1.1秒の場合、応答加速度は0.39Gとなる。この応答加速度に対し、建物の非線形応答によるリダクションファクターRを3.5と想定すると、ベースシア係数は0.11となる。

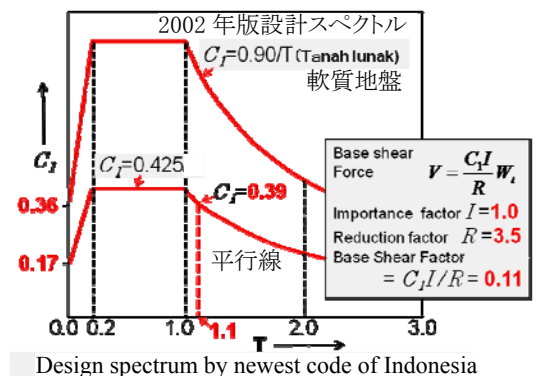


図2 建物に入力した等価地震力

(3)要求モーメントと保有耐力モーメントの関係 求められたベースシア係数を使って3階の柱に作用する要求モーメントを計算すると239kN・mとなる。一方、実測されたコンクリート強度 $\sigma_c=33\text{ N/mm}^2$ 鉄筋強度 $\sigma_t=340\text{ Mpa}$ を用いて軸力と保有耐力モーメントの関係図を作成し、同図中に要求モーメントをプロットした。バランスした値となっており、R=3.5の想定が妥当であったことが判る。R=3.5で柱が大破したのはスターラップ筋による拘束が不十分であったためである。

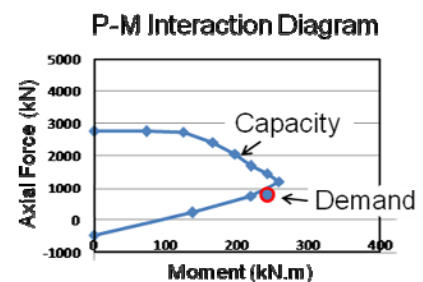


図3 3階柱のP-M相関図

5. むすび

- 1)現物のコンクリート強度を施工不良の指標値と見た場合、施工不良が被災原因と見なされる事例は少ない。
- 2)設計震度が0.07と過小でスターラップ筋が不足していたことが詳細調査した建物の主たる被災要因である。
- 3)大きな被害を受けた建物では、加えて、丸鋼を使いながらフックがない等の主筋の不適切な定着やラップ方法、スターラップ筋の定着不備、ピロティー形式の採用等が見られた。
- 4)2002年以前の規定で採用されていた設計震度は非線形応答震度、すなわち予めリダクションファクター相当値で割られた値であったとされている。そのような小さな設計地震力を採用しながらリダクションを保障する配筋や構造形式が実現されていないことが問題であり、これは開発途上国にありがちな傾向と考えられる。

謝 辞

この研究に用いた主なデータはJICAが実施した"The Preparatory Study on Disaster Management Program for Indonesia"の現地調査結果から得られたものである。微動計は(株)大林組技術研究所から貸与いただいた。

参考文献

- 1) 岡田成幸, 高井伸雄; 地震被害調査のための建物分類と破壊パターン, 日本建築学会構造系論文集, 第524号 65-72, 1999年10月
- 2) <http://www.seisvol.kishou.go.jp/eq/kyoshin/kaisetsu/comp.htm>