

耐震基準	フィリピン	日本	正会員	正会員	正会員
設計用地震力	保有水平耐力	試設計	○石山祐二 1*	榎府龍雄 2*	
			正会員 佐久間順三 3*	正会員 芝沼健太 3*	
			正会員 加藤秀弥 4*	正会員 岡本隆之輔 5*	
			正会員 清水豊和 6*	正会員 城攻 1*	
			正会員 白川和司 7*	正会員 松崎志津子 8*	
			正会員 関松太郎 9*	正会員 保坂公人 10*	
			正会員 北茂紀 11*	正会員 金田恵子 8*	

1. フィリピンと日本の耐震基準の比較

フィリピンと日本の耐震基準を比較するため、基準に用いられている種々の係数などを考察し、マニラと東京に建設すると想定した鉄筋コンクリート(RC)造 5階建住宅(想定建物)の試設計を行っている。その結果を要約すると以下ようになる。なお、フィリピンの耐震基準は米国のUBC1997に準拠している(その7,9参照)。

2. 想定地震動とベースシヤ係数

(1) 想定地震動の大きさ

フィリピンのマニラは地域4に位置し、想定地震動は水平方向の地盤加速度で表すと0.4Gである(その1参照、地域2では0.2G)。

日本の耐震計算ルート3で大地震動を示している $C_0=1.0$ は応答倍率を2.5と仮定すると地盤加速度は $Z=1.0$ の地域で0.4となり、マニラと同じ値となる。

(2) 弾性応答ベースシヤ係数

フィリピンの短周期の応答倍率は2.5、地盤種別(SD:日本の第2種地盤に相当)による割増係数1.1、震源近傍割増係数1.2を乗ずると弾性応答によるベースシヤ係数は1.32となる(その2,3参照)。

日本の基準には割増係数はないので弾性応答によるベースシヤ係数は1.0となり、日本の方が小さい。

(3) 設計用ベースシヤ係数

フィリピンの弾性応答ベースシヤ係数1.32を(RC造で最も靱性の高いラーメン構造の)Rファクター8.5で除すと、設計用ベースシヤ係数は0.155となる(その3参照)。

日本の必要保有水平耐力は保有水平耐力を検証するために用いるが、これをベースシヤ係数に換算したものは(終局耐力に対する)設計用ベースシヤ係数と解釈することができる。最も靱性の高いRC造の構造特性係数は $D_s=0.3$ なので、必要保有水平耐力をベースシヤ係数で表すと0.3となり、日本の方が大きい。

2. 想定建物の試設計による比較

フィリピンと日本の耐震基準を比較するために、想定建物の試設計を行い、両者の保有水平耐力を日本のソフトを用い静的増分解析(プッシュオーバー解析)を行っている。試設計は、設計条件を種々変化させて行っているが、現時点の得られた試設計によると、次のような結果となった。

(1) フィリピンの基準による試設計

柱断面は 500×500 (断面表示はいずれもmm)、梁断面は 300×500 (基礎梁も同断面)、ベースシヤ算定のための重量は29,959kN、設計用ベースシヤは4,642kN、保有水平耐力は5,986kNでベースシヤ係数に換算すると0.200となる(その5参照)。ただし、この断面では強度は満足するが、層間変形角の制限を超えることが分かり、耐震壁を加えた試設計、断面を増大した試設計も行っている。

(2) 日本のルート3による試設計

柱断面は 750×750 、梁断面は 400×700 (基礎梁は $450 \times 1,800$)、ベースシヤ算定のための重量は38,921kN、1階の必要保有水平耐力(ベースシヤ)は11,676kN、1階の保有水平耐力は12,294kNでベースシヤ係数に換算すると0.316となる。

3. 耐震設計に用いる諸条件の比較

(1) 設計用の固有周期

フィリピンで設計に用いる固有周期には、高さの $3/4$ 乗の関数とした略算式による T_a と固有値解析による T_b があり、 $T_b < 1.3T_a$ という制限がある(その8参照)。想定建物では、 $T_a=0.571(s)$ 、 $T_b=0.757(s)$ となり、試設計では $T=1.3 \times 0.571=0.742(s)$ を用いている。

日本でも固有周期を高さの関数 $T=0.02h(s)$ から求める略算式と固有値解析から求める方法がある。固有値解析による固有周期に制限はないが、 R_t は略算式の T から求めた R_t の0.75倍以下に低減はできないという制限がある。

日本の略算式では $T=0.31(s)$ となる。

なお、フィリピン・日本いずれの場合も設計用スペクトルが一定である短周期の範囲のため、固有周期による設計用ベースシヤへの影響はない。

(2) オーバストレンジスファクター

フィリピンではオーバストレンジスファクター Ω_o という係数があり（その 6 参照）、破壊すると建物全体に大きな影響を及ぼす部材については、応力を 2~3 倍に割り増して、断面算定を行う。しかし、この係数によって建物の保有水平耐力が大きく増加する訳ではない。

日本には Ω_o のような係数はない。木造と鉄骨造のルート 2 で筋かいの水平力負担率 β に応じてその階の地震層せん断力を $(1+0.7\beta)$ 倍にする規定、RC 造ルート 2-1 で柱・梁・耐震壁のせん断破壊を防ぐため、断面算定用せん断力を $n=1.5\sim 2$ 倍に増加させる規定がある。強いというならば、このような規定が Ω_o に類似している。

(3) 余力の検討

フィリピンでは設計用地震力を加え、弾性解析を行い、得られた応力に対して終局強度式を用いて断面算定を行う。このため、保有水平耐力は設計に用いた層せん断力より余力がある。この余力を一般的には表すことは難しいが、想定建物では 1.29 (=5,986/4,642) であった（その 5 参照）。

日本では増分解析を行い、保有水平耐力を求めめるので必要保有水平耐力に対する余力はあまりないことが多く、試設計では 1.05 (=12,294/11,676) であった。

(4) 地盤種別と設計用地震力の増加

フィリピンでは地盤種別が 6 種類 (SA~SF) あり、そのれに応じて、設計用地震力を増加させる（その 2 参照）。

日本の地盤種別は 3 種類（第 1~3 種）で、これによって振動特性係数 R_t は変化するが、短周期の範囲では R_t が一定で、（この範囲では）地盤種別の設計用ベースシヤへの影響はない。 R_t が短周期では地盤種別による差はなく一定となっているのは、地震観測結果や解析結果による知見というよりも、低層建物を設計する際に敷地の地盤調査をすることは稀であるという事実を受け入れ、地盤

種別にかかわらず短周期では R_t を一定にしたためである。

(5) 断層近傍割増係数

フィリピンでは敷地が断層に近い場合には、設計用ベースシヤを割り増している（その 2 参照）。

日本の地震地域係数 Z にはこのような係数はない。ただし、日本建築学会の荷重指針には断層を考慮した地震動予測地図があり、原発の設計に際しては断層の影響を考慮しているので、将来的にはこのような情報をもとに、地震地域係数を改訂することが考えられる。

(6) 弾性解析と弾塑性解析

フィリピンでは（大地震動時の）弾性応答地震力を構造物の靱性によって低減する係数 R ファクター（日本の D_s の逆数に相当）で除した設計用地震力を用い、弾性解析を行う（なお、最も靱性のある RC 造のラーメンでは $R=8.5$ 、 $1/R=0.118$ である）。実際の保有水平耐力は弾性解析に用いた設計用地震力から求まる耐力より大きく、この余力に期待した設計体系となっている。この余力は個々の建物によって異なるため、本研究では試設計を行い、保有水平耐力を求めている。

日本では、大地震動に対する検証のため、弾塑性解析によって保有水平耐力を求めている。保有水平耐力は建物の（実際の）水平耐力（に近い）を示しているため、（設計用地震力よりも）建物の耐震性能を判断するよりよい尺度と考えられる。

(7) 層間変形角の制限

フィリピンでは、弾性解析の変形を Δ_s 、それを 0.7R 倍し塑性を考慮した変形 Δ_M とする。 Δ_M は固有周期が 0.7(s) 未満の場合は階高の $0.025=1/40$ 以下、0.7(s) 以上の場合には $0.020=1/50$ 以下とする。更に、RC 造ではひび割れによる断面剛性の低減を考慮するため、断面 2 次モーメントを柱で 0.7 倍、梁は 0.35 倍する。このため、層間変形や固有周期は日本よりもかなり大きく算定され、これによって断面が決まる場合が多い。

日本にも層間変形角の制限（ベースシヤ係数 $0.2Z$ による層間変形角は $1/200$ 以下）はあるが、RC 造の場合にはこの規定によって断面が決まることはほとんどない。

*1 北海道大学名誉教授

*2 独立行政法人国際協力機構 (JICA)

*3 設計工房佐久間

*4 建築住宅国際機構

*5 榊山下設計

*6 一般社団法人公共建築協会専門委員、五洋建設(株)

*7 一般社団法人公共建築協会

*8 NPO 法人都市計画・建築関連 OV の会

*9 独立行政法人建築研究所

*10 五十音設計(株)

*11 北茂紀建築構造事務所

*1 Professor Emeritus, Hokkaido University

*2 Japan International Cooperation Agency (JICA)

*3 Sakuma Architect's Atelier

*4 Institute of International Harmonization for Building and Housing (IIBH)

*5 Yamashita Sekkei Incorporation

*6 Public Building Association, Penta-Ocean Construction Co.,LTD

*7 Public Building Association

*8 Ex-Volunteers Association for Architects (EVAA)

*9 Building Research Institute (BRI)

*10 Isono Sekkei Incorporation

*11 Kita Shigenori Structural Design Office