

フィリピンと日本の技術基準とその適用に関する比較研究  
(その9) 研究の総括と今後の課題

耐震規定            フィリピン            日本  
比較設計            Rファクター            変形制限

正会員    ○石山 祐二 1\*            正会員    檜府 龍雄 2\*  
正会員    佐久間順三 3\*            正会員    加藤 秀弥 4\*  
正会員    岡本隆之輔 5\*            正会員    関 松太郎 6\*

### 1. はじめに

著者らは、これまで海外と日本の建築基準の比較に関する調査研究を主に東南アジアの国について行ってきた。しかし、個々の事項の比較のみでは、建物全体としての性能に対する影響を把握することが難しいため、米国の規定を基に作成されたフィリピンの構造基準を調査し、RC造5階建のモデル建物についてフィリピンと日本の基準による構造設計を行い、それらの比較を行った。

### 2. フィリピンと日本の耐震規定の比較

モデル建物を首都圏（マニラ、東京）に建設すると想定し、耐震規定を比較すると次のようになる。

1) **想定地震動**：フィリピンと日本の首都圏で想定している地盤震度は同じで0.4である（日本では $C_0=1.0$ を応答倍率2.5で除して換算）。

2) **弾性応答地震力**：弾性応答ベースシヤ係数 $C_{Be}$ はフィリピンで（震源近傍係数1.2、地盤係数1.1を乗じ）1.32、日本では1.0（ $C_0=1.0$ ）である。

3) **Rファクターと設計用地震力**：設計用地震力は弾性応答に低減係数を乗じて求める。フィリピンでは $1/R$ を乗じ、靱性の最も高いRC造で $R=8.5$ 、日本では構造特性係数 $D_s$ を乗ずる。このため、設計用ベースシヤ係数 $C_{Bd}$ はフィリピンで0.155、日本で0.3（ラーメン）と0.4（耐震壁併用ラーメン）となる。

4) **応力解析**：フィリピンでは線形解析を行い、その際にはコンクリート全断面の断面2次モーメント $I_g$ に表1の剛性低減係数を乗じ、検証に用いる部材強度は公称強度に表2の強度低減係数を乗じる。日本では中地震動時は線形解析による許容応力度設計、保有水平耐力を求める際には非線形解析（プッシュオーバー解析）を行う。

表1 剛性低減係数

	柱	梁	壁	スラブ
剛性低減係数	0.70	0.35	0.70	0.25

表2 強度低減係数

	引張	圧縮*	せん断**	曲げ
強度低減係数	0.90	0.6	0.75	0.7

\*スパイラル補強の場合は0.75、\*\*捩れも含む

5) **変形制限**：フィリピンでは設計用地震力によって生ずる層間変形角を0.7R倍し非線形応答の層間変形角とし、その制限は $1/50$ （固有周期 $T=0.7(s)$ 以下では $1/40$ ）以下である。日本では中地震動（ $C_0=0.2$ ）に対して $1/200$ （非構造部材に損傷が生じなければ $1/120$ ）以下の制限があるが、保有水平耐力を求める際の層間変形角は $1/100$ を採用する場合が多い。

### 3. 比較設計

#### 1) モデル建物の概要

地盤：一般的な地盤（フィリピンでは地盤係数1.1）  
建物階数と用途：5階建、集合住宅（重要度係数1.0）  
平面：X,Y方向とも6m×4スパンの正方形

構造種別と型式：RC造のラーメンと耐震壁併用ラーメン

#### 2) 設計事例

フィリピンと日本の基準による以下の事例について構造設計を行った。その部材寸法を表3、設計用ベースシヤ係数 $C_{Bd}$ 、保有層せん断力のベースシヤ係数 $C_{Bu}$ 、層間変形角 $\gamma$ を表4示す。

**比事例1**：フィリピンの基準によるラーメン  
（強度は満足するが、変形は満足しない）

**比事例2**：フィリピンの基準によるラーメン  
（柱・梁の断面増大により、強度も変形も満足する）

**比事例3**：フィリピンの基準による耐震壁併用ラーメン  
（耐震壁併用により、強度も変形も満足する）

**日事例1**：日本の基準によるラーメン

**日事例2**：日本の基準による耐震壁併用ラーメン

表3 設計事例の部材寸法(mm)

事例	柱 (B=D)	梁 (b×D)	耐震壁	スラブ
比事例1	500	300×500	なし	135
比事例2	800	800×500	なし	225
比事例3	400	350×450	150	135
日事例1	750	400×700	なし	220
日事例2	650	350×550	150	135

基礎梁断面：比事例と日事例2は梁断面と同じ

日事例1は450×1800

表 4 ベースシヤ係数と層間変形角

事例	CBd	CBu	$\gamma$
比事例 1	0.155	0.200	1/14
比事例 2	0.155	0.185	1/59
比事例 3	0.155	0.182	1/217
日事例 1	0.300	0.316	1/100
日事例 2	0.400	0.524	1/100

CBd：設計用ベースシヤ係数（フィリピンでは線形解析を行う際の値、日本では必要保有水平耐力から求めた値）、CBu：保有水平耐力時ベースシヤ係数（日本の解析ソフトで行った保有水平耐力から求めた値）、 $\gamma$ ：1 階の層間変形角（フィリピンでは剛性低減係数を用いた線形解析の変形に 0.7R を乗じた値、日本は保有水平耐力を求めた際の値）

#### 4. 米国の設計例

フィリピンの基準の基となっている米国の基準を用いて、FEMA が行った 12 階建（地下 1 階）RC 造の設計例では、柱（762mm 角）、梁（588×813）は日本に比べてかなり小さい。また、連層耐震壁（厚 400）には梁型を設けないことも日本の慣習とは異なっている。

耐震計算を行う手法には(1)等価水平力法、(2)モード応答スペクトル法、(3)地震応答時刻歴法があり、(1)が一般的であるが、設計用地震力を（最大 15%）低減できるので、経済設計を目指すため(2)も用いられている。

#### 5. 今後の課題

##### 1) R ファクターと Ds 値

フィリピンの設計用地震力は、弾性応答地震力を R ファクターで除して求め線形解析を行うので、弾性限必要耐力を規定していることになる。RC 造については靱性の高い場合には耐震壁を併用しても  $R=8.5$  である。日本では  $Fes=1.0$  の場合  $Co=1.0$  とした地震力に Ds を乗じた必要保有水平耐力を規定している。靱性の高い RC 造ラーメンの場合  $Ds=0.3$ 、耐震壁併用で靱性があまり期待できない場合は最大  $Ds=0.55$  である。フィリピンの弾性限必要耐力と保有水平耐力の定量的な比較が望まれる。

##### 2) 線形解析と非線形解析

フィリピンでは構造解析は線形解析なので、荷重組合せの際にはすべて荷重効果（応力・変形など）を単純に加算することができる。ただし、降伏や崩壊時の水平耐力を求めることはできない。日本では保有水平耐力を求

める際には非線形解析を行うので、構造物の真の水平耐力（に近い値）を直接求めることができる。日本の保有水平耐力は真の耐震性を表すよい尺度と考えられるが、海外にも広めるための方策も望まれる。

##### 3) 非線形応答による変形

フィリピンでは設計用地震力による変形（剛性低減係数を用いた弾性変形）を 0.7R 倍し（塑性変形を考慮した）実際の変形とする。日本では層間変形角 1/100 の耐力を保有水平耐力としている場合が多い。地震動による構造物の変形は耐震性能と密接な関係があるので、高精度の変形推定法が望まれる。また、性能設計を目指した層間変形角の制限などを明確にすることも必要であろう。

##### 4) 構造解析に用いる構造物のモデル化

フィリピンでは壁や床を FEM によってモデル化し、柱・梁と一体で解析する。日本では、壁を線材の組合せにモデル化して柱・梁と一体で解析する場合が多い。

耐震壁については、フィリピンでは付帯柱のない（図 1a）場合が多いが、日本では付帯柱があり（図 1b）、軸力は付帯柱が負担し、壁はせん断力のみ負担すると仮定して解析する場合が多い。耐震壁や雑壁の解析手法にはまだまだ未解決の点が多いように思われる。



図 1 耐震壁の解析

（フィリピンでは壁の両端の境界要素が軸力を負担、日本では付帯柱が軸力を負担するモデルがよく用いられる。）

#### 5. おわりに

各国の建築基準で考慮されている諸係数の比較はよく行われる。しかし、個々の係数の比較のみでは、それが建物にどの程度影響するのか明確には分からない。このため、同じモデル建物を異なる基準で設計すると、建物全体に対する諸係数の影響が明確になると考え、本研究では RC 造 5 階建モデル建物をフィリピンと日本の基準で設計した。その設計事例について考察し、同一の解析ソフトを用い保有水平耐力なども求めて比較した。建築基準の相違や諸係数の影響についてかなり明確になり、今後の課題も明らかになってきたので、今後もこの研究を継続・発展すべきと考えている。

\*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 鹿島建設(株)

\*5 (株)山下設計

\*6 国立研究開発法人建築研究所

\*1 Professor Emeritus, Hokkaido University

\*2 Japan International Cooperation Agency (JICA)

\*3 Sakuma Architect's Atelier

\*4 Kajima Corporation

\*5 Yamashita Sekkei Incorporation

\*6 Building Research Institute (BRI)