

フィリピンと日本の建築基準による設計事例の耐震性能の比較研究

その1 比較研究の背景、目的及び概要

耐震性能	構造基準	設計事例比較
フィリピン	RC 構造	集合住宅

正会員	○榎府龍雄*1	正会員	佐久間順三*2
正会員	石山祐二*3	正会員	清水豊和*4
正会員	岡本隆之輔*5	正会員	城攻*3
正会員	保坂公人*6	正会員	松崎志津子*7
正会員	北茂紀*8	正会員	宮田伸昭*1

1. 背景、目的

海外では、日本に比較して構造部材の断面が小さく、構造基準や構造設計のポリシーが異なっていることが推測できる。このため、これまでも多くの研究者、技術者が耐震性能の比較のため、建築基準自体の比較、それに基づき規定されるベースシヤの比較などを行ってきている。しかしながら、耐震性能に影響する規定は幅広く、種々の規定において安全率的性格の規定がちりばめられているなど、構造基準の規定についての比較のみでは全体的な比較は困難である。

このため、本研究では、立地、構造タイプ、建築計画、建物用途などを特定し、それぞれの国の基準を満たす設計を行い、その設計事例の比較を行うことにより、当該条件下での建物全体の耐震性能の比較を試みた。これにより、基準の特性、耐震性能に影響する要因、設計ポリシーなどの違いの把握、設計事例に即しての耐震性能の比較検討を行い、フィリピン及び日本において、より安全な構造設計を合理的に実現するための考察を行おうとするものである。

2. 比較研究の概要

(1) 全体概要

今回比較の対象としたフィリピンと日本の両国において、一般的と考えられる立地条件、構造タイプ、建築計画（階数、階高、スパン割など）、用途などを設定し、それぞれの国の基準に従い設計を行い、その結果を日本の構造設計に用いた計算ソフトを用いて、耐震性能の比較を行った。なお、フィリピンを対象としたのは、これまで、著者らは同国において建築基準に関する調査研究を行い、情報の蓄積があったこと¹⁾、本研究の趣旨を理解し、構造設計をやってもらえる協力者を得られたことによる。また、同国の構造基準は、アメリカの基準を参考にして作成されている²⁾。

(2) 比較研究の対象の建築物

比較研究の対象としたのは、下記の建築物である。設定に当たっては、両国に一般的にみられるタイプの建築物であることに加えて、できる限りシンプルで、設計作業、比較検討作業が明快となるように、等スパンの整形なラーメン構造で耐震壁の無いものとした。

- ① 立地：それぞれの国の首都圏
- ② 構造タイプ：鉄筋コンクリート構造 5 階建て（地階なし）、耐震壁なしのラーメン構造
- ③ 建築計画：
両方向ともに、4 スパン、スパン長は全て 6m
階高：3m 程度
- ④ 用途：集合住宅

3. 比較研究の手順

(1) 日本及びフィリピンの構造関係の建築基準の構成

日本の構造関係の建築基準は、建築基準法と関係法令、告示などによって構成されている。構造設計は、いくつかの方法が認められており、規模、構造特性等により使い分けられている。本研究の設計においては、種々のタイプの構造設計に適用でき、フィリピンの構造設計の基本的な考え方である構造物の靱性により粘り強い挙動を期待する方針を体現している「保有水平耐力計算」（所謂、ルート 3）を採用した³⁾。

フィリピンの建築関係基準は、基本法令であるフィリピン建築基準（NBCP: National Building Code of the Philippines）。現行法令は、Presidential Decree No. 1096, 1977 年）と、種々の分野別の技術基準によって構成されている。構造の場合には、民間の構造関係技術者の団体であるフィリピン構造技術者協会（ASEP: Association of Structural Engineers of the Philippines）が、フィリピン構造基準（NSCP National Structural Code of the Philippines）を作成しており、それが、フィリピン建築基準を所管する公共事業道路省により、参照すべき基準（referral code）の認定を受けることにより、法令的な効果を有するという形となっている⁴⁾。フィリピン構造基準の最新版は、2010 年版であるが、本比較設計の設計作業を行った時点では、2010 年版はまだ広く使用されていなかったため、設計作業はその前身の、2003 年版によっている。また、設計法は、5 階建て RC 構造の場合に通常用いられている静的設計法によっている⁵⁾。

(2) 対象建築物の設定

対象建築物の設定とその理由については、前章参照。設定に当たっては、当該建築タイプがフィリピンにおいて一般的

なものであることを確認している。

(3) それぞれの建築基準に従った構造設計の実施

日本は、構造計算ソフト（ユニオンシステム SS3）を使用して構造設計を行った。フィリピンは、現地のコンサルタント会社に所属する構造技術者がアメリカ製の構造計算ソフトである STAAD を使用して設計した。

(4) フィリピンの設計事例についての構造特性の把握

フィリピンの基準に従って設計した内容についてのデータを、日本の設計において用いた構造計算ソフト入力を行い、増分解法により、水平荷重と変位の推移、ヒンジの発生状況、崩壊メカニズムの把握を行った。

(5) 設計事例、設計プロセス、構造特性の比較検討

設計の基本的な条件となるベースシヤ係数（構造基準により算出される値）は、設定された立地などの条件から、日本 0.30 に対して、フィリピン 0.16 となっている（いずれも靱性による効果（日本では構造特性係数 D_s 、フィリピンは R ファクター）を考慮したもの）。その算出プロセスにおいて、フィリピンの場合には、建物の重要度係数（建物用途により 1.25 倍あるいは 1.50 倍。NSCP 表 208-1）、震源近傍割増係数（15km 以内に震源がある場合に適用。割増は最大 1.6 倍。表 208-4、208-5）など、日本の基準には無い係数を使用することとなっている。また、靱性の効果の評価については、日本では構造特性を把握してから係数 D_s を定めるのに対して、フィリピンでは、地震リスクの大きい地域では、まず、靱性の特に高い構造タイプ（RC ラーメンの場合、SMRF Special Moment Resistant Frame）を採用するという設計ポリシーの決定があり、その上で、必要な靱性を実現するための構造基準の要件を満たすように設計をするという、設計プロセスの違いがある。部材の設計では、地震荷重を靱性の評価に基づき R ファクターにより除したうえで、他の荷重と組み合わせ、それらの荷重に対して弾性計算と同様の方法による応力計算を行うというシンプルな方法としている。

設計の結果、構造部材の断面が大きく違うものとなった。例えば、柱では、日本の設計が、750x750mm 対して、フィリピンでは、500x500mm と、断面積では 0.44 倍となった。（フィリピン、日本ともに、柱寸法は全て同一）一方、主筋比は両者ほぼ同じ程度となった。（主筋量は日本の方が多い）このような大きな違いを生ずる理由は、基準の違いに加えて、それぞれの国で推奨されている設計ポリシーの違いも大きい

ことが明らかになった。

(6) 比較検討の結果についての事実確認、意見交換

上記の比較検討の結果について、前提的な条件、適用規定などについて、基準の規定に即して事実確認を行うとともに、結果についての意見交換を、メール等による他、計 5 回にわたり対面での協議を行った。

(7) 上記の一連の結果の取りまとめ

上記結果を 6 編の一連の梗概としてまとめた。なお、本比較研究の実施全般にわたり、共著者以外の有識者の協力を得たことを付記する。

補注

- 1) 2012 年度日本建築学会大会梗概「開発途上国における建築許可制度の枠組み及び運用実態に関する調査研究その 2 フィリピン(1)及び(2) 参照。
- 2) フィリピン構造基準 2010 年版の前書きには、「この改訂版は米国の最新基準をできるだけ採用するようにした」とし、その具体的な基準として、Uniform Building Code UBC-1997、International Building Code IBC-2009、American Society of Civil Engineers ASCE/SEI 5-05 など 10 の具体的な基準の名称が列記されている。
- 3) 1981 年の建築構造基準の改正（通称、新耐震基準）においては、極めて稀に発生する地震（ベースシヤ：1.0）の地震に対して、構造部材が損傷しても、倒壊、崩壊しないことが求められるようになった。ルート 3 は、増分解法により靱性を評価し、その特性により粘り強い挙動を目指すのに適した方法である。なお、ルート 3 以外に、ルート 1（壁、柱の量が多い小規模建築物向き）、ルート 2-1 及び 2-2（構造的にバランスがよく、壁柱などが一定程度ある建物向き）、ルート 2-3（靱性のある崩壊メカニズムの建物向き）の他、限界耐力計算、時刻歴解析などの構造計算ルートが認められている。
- 4) 関係者（公共事業省、構造技術者協会等）のヒアリングによれば、「referral code」は遵守が義務付けられたものである。
- 5) フィリピンの構造設計法は、動的解析（dynamic analysis）と静的解析（Static analysis）に大別され、動的解析では、response spectrum analysis と time-history analysis の 2 つの方法が認められている。

*¹ 独立行政法人国際協力機構

*² 設計工房佐久間

*³ 北海道大学名誉教授

*⁴ 五洋建設（株）

*⁵ (株)山下設計

*⁶ 五十音設計（株）

*⁷ NPO 法人都市計画・建築関連 OV の会

*⁸ (株) 増田建築構造事務所

*¹ Japan International Cooperation Agency (JICA)

*² Sakuma Architect's Atelier

*³ Professor Emeritus, Hokkaido University

*⁴ Penta-Ocean Construction Co. Ltd.

*⁵ Yamashita Sekkei Incorporation

*⁶ Isono Sekkei Incorporation

*⁷ Ex-Volunteers Association for Architects (EVAA)

*⁸ Masuda Structural Design Office