

			正会員	○岡本隆之輔 1*	正会員	佐久間順三 2*
			正会員	芝沼健太 2*	正会員	石山祐二 3*
			正会員	加藤秀弥 4*	正会員	檜府龍雄 5*
			正会員	清水豊和 6*	正会員	城 攻 3*
			正会員	白川和司 7*	正会員	松崎志津子 8*
米国の耐震基準	IBC	NSCP	正会員	関松太郎 9*	正会員	保坂公人 10*
限界耐力計算	ASCE	終局強度設計	正会員	北茂紀 11*	正会員	金田恵子 8*

1. 目的と概要

米国の耐震基準はフィリピン等多くの国に強い影響を与えている。そこで、米国の耐震基準を検討し、フィリピンの耐震基準との比較を行う。さらに、日本の限界耐力計算との比較を行う。また、同じ建物をフィリピンと日本で設計した場合の断面の比較を行う。なお、フィリピンの場合は本研究その(1)~(8)を参照されたい。

2. 米・比・日の耐震基準の変遷

(1) 米国の IBC (International Building Code)

現在米国で使用されている IBC は建築全般に関する基準で、構造関連は第 16 章による。それまでの UBC(西部で使用)、NBC(東部と北東部で使用)、SBC(南部で使用)を統一し、1997 年に初版が出され、3 年毎に見直され、現在の最新版は IBC2012 である。また、IBC は概略的な基準で、詳細は ASCE7-05 による。

なお、米国の最初の耐震基準は SEAOC (米国カリフォルニア州構造技術者協会) が作成した。また ATC3 や NEHERP も IBC に影響を与えた。米国では最初、許容応力度設計法で、次に終局強度設計法が採用された。

(2) フィリピンの NSCP

NSCP はフィリピン構造技術者協会により作成され、1972 年に初版を発行し、最新は NSCP2010 で、フィリピンの建築基準法の参考規準である。NSCP のベースは、米国の UBC1997 や IBC2006 等である。

(3) 日本の耐震基準

日本の耐震基準は三つの年代に分けられる。第一年代は 1950 年 (建築基準法の制定) から 1970 年までで、部材断面は細く、柱の帯筋は 300 以下であった。第二年代は 1971 年から 1981 年までで、柱の帯筋の間隔は 100 と密になったが、部材の断面は小さかった。第三年代は 1981 年以來使用されている新耐震設計法で、部材も大幅に大きくなり 1997 年の阪神大震災や、2011 年

の東北大震災でも損傷が少なく、有効性が実証された。

限界耐力計算は使用規定から性能規定への流れや、日米両政府の協議を受け 2000 年に施行された。

3. 構造計算・検証の考え方

(1) 米国とフィリピンの場合

米国とフィリピンでは加速度応答スペクトル図から、設計用ベースシヤを求め、終局強度設計を行う。応答スペクトル図の作成過程は両国でやや異なっている。変形制限のチェックは行うが、耐力の検証を行わない。

(2) 日本の限界耐力計算 (検証方法)

部材の断面が定まった後に、限界耐力計算で検証を行う。まず、荷重増分法により復元力特性を求める。第 1 段階は稀に発生する地震で、構造部材が最初に短期許容応力度に達する損傷限界時で、第 2 段階は極めて稀に発生する地震で、ある層が崩壊する安全限界時である。

4. 耐震基準の細部の比較

(1) 重要度係数 (Importance Factor I)

① 米国とフィリピンの場合

建物の重要度に応じ、1.0、1.25、1.5 と定めている。

② 日本の場合

建築基準法では重要度係数は定められていないが、官庁施設の場合や品確法では重要度係数が定まっている。

(2) 地盤種別

① 米国とフィリピンの場合

米国もフィリピンも 6 種類ある。

② 日本の場合

第一種地盤から第三種地盤までの 3 種類ある。

(3) 地域係数

① 米国の場合

地域係数ではないが、全米の地図に建物固有周期が短周期 (0.2 秒) の場合の加速度応答値 S_s と、長周期 (1

秒) の場合の S_1 がコンター図で示されている。

②フィリピンの場合

Zone2 と Zone4 の 2 つに分けられる。

③日本の場合

$Z=1.0$ 、 $Z=0.9$ 、 $Z=0.8$ 、 $Z=0.7$ の 4 つに分けられる。

(4) 固有周期

①米国とフィリッピンの場合

塑性化に伴い固有周期が長くなる。終局時の固有周期は略算式(建物の高さによる)の割増した値と、部材の剛性低下を考慮した精算法の値のうち少ない方とする。

②日本の場合(限界耐力計算)

復元力特性から二つの限界値における耐力と変形を求め、等価1質点系におきかえ、精算法により損傷限界固有周期 T_d と安全限界固有周期を T_s 求める。

(5) 耐震設計カテゴリーと構造システム

①米国とフィリッピンの場合

米国の場合、重要度係数 I と加速度応答値の大きさと耐震設計カテゴリー(A~Fまで)が決まる。これとは別に構造システムがA~Hまで8つあり、さらに84に細分され、低減係数 R 値、余力係数 Ω_0 、変形増分係数 C_d が定まり、さらに耐震設計カテゴリーにより、構造システムの適否が定まる。

フィリッピンでは構造システムは6つあり、さらに20に細分され、低減係数 R 値、余力係数 Ω_0 が定まる。

②日本の場合

耐震設計カテゴリーや構造システム概念は導入しない。

(6) 設計用ベースシヤ係数

①米国の場合

(3)で示された応答加速度 S_s と S_1 に、増幅率と $2/3$ を乗じ、応答加速度 S_{Ds} (短周期用)と S_{D1} (長周期用)が定まり、応答スペクトル図を描く。終局時固有周期から求まる加速度 S_a に重要度係数 I を乗じ、地震力の低減係数 R 値で割り、設計用ベースシヤ係数 C_s となる。

②フィリッピンの場合

建物固有周期、地域係数、地盤種別、断層からの距離、地震の規模等から最大応答加速度が求まり、この値に重

要度係数 I を乗じ、 R 値で割るとベースシヤ係数になる。

③日本の場合(限界耐力計算)

検証用の損傷限界時と安全限界時に建物に作用する地震力を求め、復元力特性による耐力より少ないことを確認する。工学的基盤の加速度応答値に表層地盤による増幅率 G_s を乗じ、二つの限界固有周期から加速度 S_a を求め、各階の地震力を計算する。安全限界時は、低減率 F_h を乗じる。 F_h は米・比の R 値の逆数に類似する。

(7) 変形制限

①米国とフィリッピンの場合

米国では設計時の変形に変形増分係数 C_d を乗じ、層間変形角が $1/40$ から $1/100$ 以下とする。

フィリッピンの場合は設計用時の変形に $0.7R$ を乗じ、層間変形角が $1/40 \sim 1/50$ 以下としている。

②日本の場合

限界耐力計算では、RC造の場合、損傷限界時に $1/200$ 、安全限界時に $1/75$ 程度としている。

5. 耐震設計された建物の部材断面の比較

同一建物(RC5階の住宅)をフィリッピンと日本で構造設計した部材断面には大きな相違がある。フィリッピン側は柱が $50 \times 50 \text{cm}$ 、主筋の全本数が $16-D28$ 、フープが $D10 @ 100$ の5巻き、日本では柱が 75×75 、主筋の全本数が $18-D25$ 、フープが $D13 @ 100$ の3巻きとなっている。その違いを検討した。

①フィリッピンの断面は日本の1次設計を満足しない。

②フィリッピンの断面は日本の第2年代に類似している。

③日本では柱・梁接合部の設計が厳しく柱が太くなる。

④米国では、保有耐力として設計用地震力に余力係数 Ω_0 を乗じたものを期待するが、実際の Ω_0 の値はかなり低い。

⑤今後のフィリッピンの構造基準の課題として、必要な保有耐力を決めること、増分解析を導入した保有耐力の確認、変形制限や低減係数 R の妥当性等が考えられる。

⑥耐震設計は部材に損傷を生じて、地震エネルギーを吸収するが、RC構造の塑性ヒンジは修復性や継続使用が困難で、日本では重要な建物を免震構造とする例が多い。

*1 (株) 山下設計

*2 設計工房佐久間

*3 北海道大学名誉教授

*4 建築住宅国際機構

*5 独立行政法人国際協力機構 (JICA)

*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 Yamashita Sekkei Incorporation

*2 Sakuma Architect's Atelier

*3 Professor Emeritus, Hokkaido University

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

*5 Japan International Cooperation Agency (JICA)

*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