

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5 フィリピンと日本の構造性能の比較検討

層間変形角 剛性率 軸力比
終局強度 崩壊メカニズム Qu/Qu_d

正会員 ○佐久間順三 *² 正会員 榎府龍雄 *¹
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. はじめに

その5では、その4で報告したフィリピンと日本の構造計算基準^{2,4)}に基づいて設計した2つの建物の耐震性能を比較するために、日本の建築基準法及び告示に示される1次設計及び2次設計のルート^{3,4)}を用いて構造計算プロセスの分析を行う。

2. 1次設計時の比較

2.1 地震力

図1に示す。1階地震力は、日本7784.3[kN]、フィリピン5531.1[kN]、となっていて、フィリピンの地震力は日本の約0.7倍程度である。これは主にフィリピンの柱・梁・床の断面が日本よりも小さく、自重が小さいことによる。

2.2 層間変形角

表1に示す。フィリピンの柱・梁断面が小さいことから、フィリピンの層間変形角が日本よりも大きい。フィリピンの層間変形角は、1/1144~1/455、日本の層間変形角は1/1929~1/844となっており、フィリピンと日本の比率は1.69~2.51となっている。

2.3 剛性率

表2に示す。フィリピンも日本もどちらも1階から5階までの柱・梁の断面が同じであり高さ方向の剛性が均等であることから、フィリピンと日本の剛性率はほぼ同程度とである。

2.4 柱梁の曲げ・せん断余裕率

1次設計時応力を短期許容応力で除した値を余裕率と定義する。日本の柱・梁部材は全て1.0未満であるが、フィリピンの柱・梁は1.0以上の部材が50%程度発生している。(曲げ・せん断とも)日本における稀に発生する地震時では、フィリピンの柱にはせん断亀裂などの損傷が発生する可能性があるということになる。

2.5 地震時の軸力比

表3に1次設計時の1階柱の軸力比(短期軸力を柱断面とコンクリート強度で除した値)を示す。日本は σ_c/F_c が

0.12であるがフィリピンは柱断面が小さいことから0.23となり、日本の約2倍の軸力比となっている。ただし、どちらも鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説に規定されている基準値の(1/3)F_c⁴⁾を下回っている。

3. 2次設計時の比較

3.1 柱・梁の終局強度

3.1.1 曲げ終局強度

表4に示す。代表的な柱の曲げ終局強度は日本よりフィリピンが低い。その比率は2~5階が0.35~0.37であり、1階は0.78となっている。フィリピンの1階柱主筋が2~5階柱の主筋よりも2倍程度多くなっており、1階の柱曲げ終局強度が特に高くなっている。代表的な梁の曲げ終局強度は日本とフィリピンはほぼ同程度である。その比率は3~R階が0.71~0.95であり、2階は1.05となっている。基

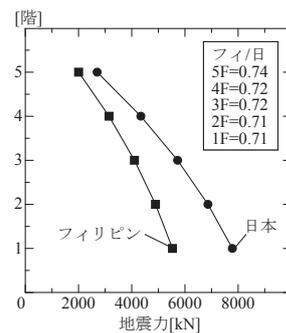


図1 地震力 [kN](Co=0.2)

表3 軸力比 (Co=0.2)

	日本	フィリピン
N	2109	1581
$\sigma_c=N/BD$	2.92	6.32
F _c	24	28
σ_c/F_c	0.12	0.23
(1/3) F _c	8.00	9.33
σ_c/F_c の値の比	1.00	1.86

単位 :N[kN], σ_c [N/mm²],F_c[N/mm²]

表1 層間変形角 (Co=0.2)

階	日本	フィリピン	フィ/日
5	1/1929	1/1144	1.69
4	1/1226	1/706	1.74
3	1/936	1/533	1.76
2	1/844	1/455	1.85
1	1/1190	1/475	2.51

表2 剛性率 (Co=0.2)

階	日本	フィリピン	フィ/日
5	1.574	1.725	1.10
4	1.000	1.065	1.07
3	0.764	0.804	1.05
2	0.688	0.686	1.00
1	0.971	0.716	0.74

表4 曲げ・せん断終局強度 (左:柱、右:梁)

柱階	曲げ終局強度[kN・m]			せん断終局強度[kN]		
	日本	フィリピン	フィ/日	日本	フィリピン	フィ/日
5	628	219	0.35	831	385	0.46
4	683	246	0.36	836	392	0.47
3	726	265	0.37	840	398	0.47
2	756	281	0.37	847	404	0.48
1	786	611	0.78	940	441	0.47

梁階	曲げ終局強度[kN・m]			せん断終局強度[kN]		
	日本	フィリピン	フィ/日	日本	フィリピン	フィ/日
階	日本	フィリピン	フィ/日	日本	フィリピン	フィ/日
R	403	288	0.71	326	269	0.83
5	403	384	0.95	326	269	0.83
4	504	480	0.95	412	269	0.65
3	638	577	0.90	421	269	0.64
2	638	673	1.05	421	285	0.68
F	3287	288	0.09	1312	277	0.21

表5 軸力比 (終局時)

	日本	フィリピン
N	3843	2869
$\sigma_c=N/BD$	5.32	11.48
F _c	24	28
σ_c/F_c	0.22	0.41
(1/3) F _c	8.00	9.33
σ_c/F_c の値の比	1.00	1.85

単位 :N[kN], σ_c [N/mm²],F_c[N/mm²]

礎梁は0.09となっていて、フィリピンの基礎梁の曲げ終局強度は日本の基礎梁に比べて極端に低い。

3.1.2 せん断終局強度

表4に示す。代表的な柱のせん断終局強度は日本よりもフィリピンが低い。その比率は各階ともほぼ同程度で0.46~0.48となっている。フィリピンの柱せん断補強筋比は日本よりも多いが、断面が小さいことから、せん断終局強度が低くなっている。代表的な梁のせん断終局強度は日本よりもフィリピンがやや低い。その比率は2階~R階が0.64~0.83である。基礎梁は0.21となっていて、フィリピンの基礎梁のせん断終局強度は日本の基礎梁に比べてかなり低い。

3.2 軸力比

表5に2次設計時の1階柱の軸力比(終局時軸力を柱断面とコンクリート強度で除した値)を示す。日本は σ_c/F_c が0.22であるが、フィリピンは断面が小さいことから0.41となり、日本の約2倍の軸力比となっている。フィリピンは、「建築耐震設計における保有耐力と変形性能」⁵⁾に示されている基準値の $(1/3)F_c$ 以上となっている。

3.3 せん断余裕度

せん断終局強度をDs算定時の崩壊メカニズム時のせん断応力で除した値をせん断余裕度と定義する。図2に示す。日本もフィリピンも柱・梁部材はほぼ1.25以上であるが、フィリピンの2階梁が1.23となっている。日本もフィリピンも柱・梁部材がせん断破壊しないように設計されている。

3.4 崩壊メカニズム(Ds算定時ヒンジ図)

図3に示す。日本もフィリピンも、柱・梁部材の曲げ崩壊となっている。日本は2~5階が梁機構となっていてほぼ全体崩壊形となっているが、フィリピンは2~4階の部分崩壊形となっている。

3.5 層せん断力 - 層間変形角曲線

図4に示す。日本はほぼ全階崩壊しているが、フィリピンは1,5階が未崩壊であることがわかる。

3.6 Ds=Qu/Qu

表6に示す。保有水平耐力Quを必要保有水平耐力Qu_dで除した値Dsは、日本が0.316、フィリピンが0.276(設計用ベースシア係数は0.155となっている。)となっている。図5にDsと塑性率の関係を示す。日本の塑性率は5.70、フィリピンは7.36となっている。

4. まとめ

日本とフィリピンの構造性能の比較検討を行ったところ、フィリピンは日本に比べてより大きな靱性に期待する設計³⁾となっていることが分かった。

【参考文献】1) (財)日本建築防災協会 構造設計・部材断面事例集2) 国土交通省住宅局建築指導課 2007年度版 建築物の構造関係技術基準解説書3) ASEP NATIONAL STRUCTURAL CODE OF THE PHILIPPINES 2010 4) 日本建築学会, 鉄筋コンクリート構造計算規程・同解説 (2010) 5) 日本建築学会, 建築耐震設計における保有耐力と変形性能 (1990)

- *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
- *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

	日本				フィリピン			
99.99	2.09	2.09	2.16	2.06	3.54	4.75	4.63	4.90
4.81	2.77	2.51	2.38	9.49	2.62	2.54	2.44	2.35
3.00	2.03	1.59	1.56	2.03	1.76	1.79	1.81	2.82
2.45	2.08	1.60	1.55	2.09	1.89	1.84	1.78	1.90
3.02	1.53	1.77	1.68	1.83	1.67	1.61	1.63	1.47
	1.70	2.06	1.68	2.05	1.34	1.30	1.28	1.78
	1.70	1.77	1.68	2.05	1.34	1.29	1.23	1.34
	1.62	1.59	1.60	2.01	2.02	1.31	1.32	2.58
	4.10	4.91	4.84	3.33	2.04	2.04	2.04	1.95

図2 せん断余裕度

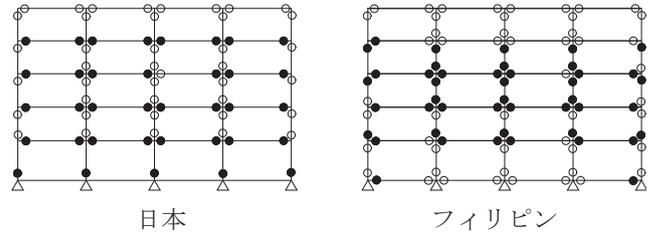


図3 Ds算定時のヒンジ図 (●降伏, ○ひび割れ)

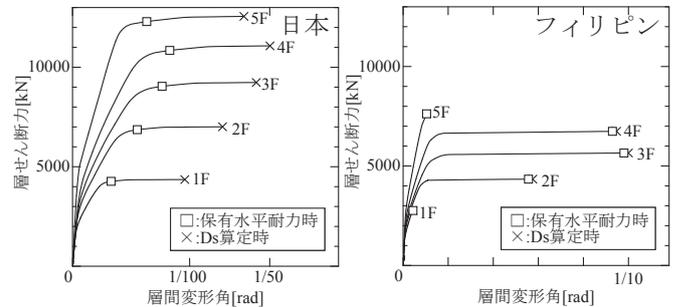


図4 層せん断力 - 層間変形角曲線

表6 Qu/Qu_d

階	日本			フィリピン		
	Qu _d	Qu	Ds	Qu _d	Qu	Ds
5	13505.0	4265.9	0.316	10018.7	2761.0	0.276
4	21722.0	6861.6	0.316	15741.6	4338.1	0.276
3	28625.0	9042.0	0.316	20511.1	5652.5	0.276
2	34330.6	10844.2	0.316	24463.9	6741.8	0.276
1	38951.3	12294.3	0.316	27655.6	7621.4	0.276

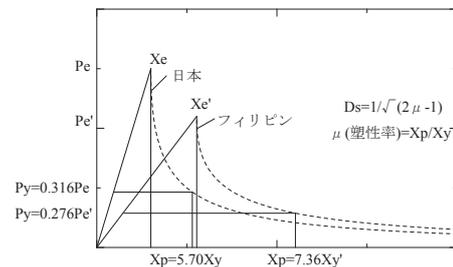


図5 Dsと塑性率の関係

- *1 Japan International Cooperation Agency(JAICA)
- *2 Sakuma Architect's Atekier
- *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