

# 論文 日本と中国の鉄筋コンクリート造建物の耐震診断基準および中国の建物への適用結果の比較

孟 翔\*1・李 日兵\*1・真田 靖士\*2・前田 匡樹\*3

**要旨:** 日本および中国の耐震診断基準を紹介・比較するとともに、これらの基準により中国の既存鉄筋コンクリート造建物を対象に耐震診断を行った。その結果、対象建物は日本の第2次診断法では所定の耐震性能を満たさなかったのに対し、中国の診断法では耐震性能を満たすと判定された。その原因を分析するため、両診断結果を耐震性能と要求性能ごとに比較した。前者では中国の耐震診断法が部材の変形性能を考慮していない点、後者では日本の耐震診断法が建物の周期や多層建物の外力分布形に起因する層せん断力の低減を考慮していない点に相違があるものの、両診断法が本質的には類似の性能評価法であることを示した。

**キーワード:** RC, 既存建物, 耐震診断法, 性能評価

## 1. はじめに

2008年中国四川省で発生した大地震は死者・行方不明者8万7千人以上、倒壊家屋500万棟という未曾有の災害となった<sup>1)</sup>。こうした教訓から、中国においても既存建物を対象とする耐震診断法を確立、運用することが急務の課題となっており、適用範囲を限定して実用化がなされている<sup>2)</sup>。

一方、日本では1995年兵庫県南部地震以降、既存建物の耐震診断・耐震補強の需要がにわかに高まり、現在では同基準<sup>3)</sup>が一般に普及している。しかし、中国と日本では各国の基準が独自に整備されてきており、両者には診断手法はもとより指標や表現を含めて、相違点と共通点が潜在するはずである。

以上を背景として、本稿では、中国と日本の既存鉄筋コンクリート(以下、RC)造建物を対象とする耐震診断法およびその適用事例を比較する。両者の相違点と共通点を明らかにするとともに、それぞれに内在する課題を抽出することを目的として検討した結果について報告する。

## 2. 日本と中国の耐震診断基準

### 2.1 日本の耐震診断基準の概要

日本建築防災協会による既存RC造建物を対象とする耐震診断基準<sup>3)</sup>の概要を以下にまとめる。本稿では中国の基準との対比を目的として、建物が保有する耐震性能、建物に要求される耐震性能、耐震性能の判定に区別して、それぞれの評価方法を整理する。

#### (1) 建物が保有する耐震性能(Capacity)の評価法

建物が保有する耐震性能を構造耐震指標 $I_s$ および非構造部材耐震指標 $I_N$ の2種類の指標により定量的に評価し

ている。本稿では $I_s$ 指標のみに焦点を当てる。 $I_s$ は、建物の各階各方向の耐震性能を評価する指標であり、評価精度や適用対象が異なる第1次から第3次の3通りの診断法により評価される。いずれの場合も水平力に対する建物の終局強度あるいは靱性が大きいほどこの指標が大きくなる。

$I_s$ 指標の算定式は式(1)の通りである。

$$I_s = E_0 \cdot S_D \cdot T \quad (1)$$

ここで、 $E_0$ (保有性能基本指標)は構造計画上の弱点や経年劣化がない場合の建物の構造耐震性能を表す指標で、建物の方向・層ごとに強度指標 $C$ 、靱性指標 $F$ 、外力分布による補正係数から算定される。また、 $S_D$ (形状指標)と $T$ (経年指標)は建物の平面・立面形状、建物の経年変化により $E_0$ を修正する副指標である。なお、上記の各指標の算定方法は文献3)を参照されたい。

#### (2) 建物に要求される耐震性能(Demand)の評価法

一方、建物に必要な耐震性能の要求指標が $I_{so}$ である。 $I_{so}$ 指標の算定式を式(2)に示す。

$$I_{so} = E_s \cdot Z \cdot G \cdot U \quad (2)$$

ここで、 $Z$ (地域指標)、 $G$ (地盤指標)、 $U$ (用途指標)は $E_s$ (耐震判定基本指標)を補正する副指標である。 $E_s$ は第1次診断法では0.8、第2次診断法では0.6である。これらの数値は1981以降の日本の耐震基準(新耐震基準)との整合性や過去の地震被害の分析結果などに基づいて定められている。各指標の算定方法は文献3)を参照されたい。

#### (3) 建物の耐震性能の判定法

建物の耐震性の判定では、式(3)を満足することを条件とする。また、第2次、第3次診断法の場合には、式(4)も満足する必要がある。

\*1 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻建築工学科 (学生会員)

\*2 大阪大学大学院 工学研究科地球総合工学専攻建築工学部門准教授 博(工) (正会員)

\*3 東北大学大学院 工学研究科都市・建築学専攻教授 博(工) (正会員)

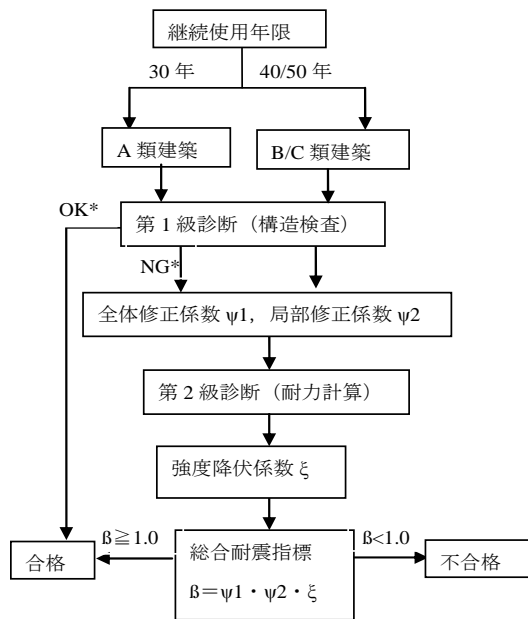
$$I_s \geq I_{so} \quad (3)$$

$$C_{TU} S_D \geq 0.3 \cdot Z \cdot G \cdot U \quad (4)$$

$C_{TU}$  は構造物の終局限界変形における累積強度指標である。式(3)では建物の強度と変形性能に基づき耐震性能が判定されているのに対し、式(4)では建物の強度のみについても検証されており、強度の下限が担保されている。

## 2.2 中国の耐震診断基準の概要

中国の既存 RC 造建物を対象とする現行の耐震診断基準である「建築耐震診断基準」GB50023<sup>2)</sup>は 1996 年に運用が開始された。本基準はその先行基準である TJ23-77<sup>4)</sup>の後継基準と位置付けられるが、総合耐震性能の目標  $\beta$  が設定された点が先行基準と大きく異なる。さらに 2009 年に目標とする継続使用年限の概念が盛り込まれて現在に至る。現行基準では、既存建築物が目標とする継続使用年限(A: 30 年, B: 40 年, C: 50 年)に応じて 3 つの種類に分けられた。本基準による耐震診断のフローを図-1 に示す。本診断法は以下に詳述する第 1 級診断と第 2 級診断からなる。



注: \*は A 類建築の場合

図-1 中国の耐震診断のフロー

### (1) 建物が保有する耐震性能(Capacity)の評価法

建物の耐震性能として、第 1 級診断による全体修正係数  $\psi_1$ 、局部修正係数  $\psi_2$  および第 2 級診断による各階各方向の終局せん断力  $V_y$  の 3 つの指標を評価する。

第 1 級診断では、A 類建物に対してのみ、仕様規定の確認を満足することで、無条件に要求耐震性能を満足するものとして扱うルートが設けられている。A 類建物が仕様規定を満足しない場合および B、C 類建物では  $\psi_1$ 、 $\psi_2$  を建物全体に対してそれぞれ評価する。修正係数  $\psi_1$

は日本の診断法の  $S_D$  指標に類似する指標であり、対象建物の平面形状や各層の剛性および鉄筋の配置などの仕様規定の確認に基づいて評価する。なお、 $\psi_1$  は 0.8~1.4 の範囲で変動する。一方、 $\psi_2$  は経験的な低減係数であり、中国の RC 造建物で用いられるレンガ造壁の有無やその壁とフレームの連結状態により 0.7~1.0 の範囲で評価される。また、普通の耐震壁の配置は仕様規定に満足しない場合、 $\psi_2$  が 0.6 までに低減できる。

一方、第 2 級診断で評価される  $V_y$  は各階各方向で評価される終局せん断力であり、日本の診断法の C 指標に相当する。 $V_y$  は柱ごとの曲げ終局時せん断力  $V_{cy1}$ (式 5)とせん断終局耐力  $V_{cy2}$ (式 7)に基づき、より小さい値の各層の合計値として評価される。

$$V_{cy1} = (M_{cy}^U + M_{cy}^L) / H_0 \quad (5)$$

$$M_{cy} = f_{yk} \cdot A_s \cdot (h_0 - a_s') + 0.5 \cdot N \cdot h (1 - N / f_{cmk} \cdot b \cdot h) \quad (6)$$

( $N \leq 0.6 \cdot f_{cmk} \cdot b \cdot h_0$  の場合)

$$V_{cy2} = 0.16 \cdot f_{cmk} \cdot b \cdot h_0 / (\lambda + 1.5) + f_{yvk} \cdot A_{sv} \cdot h_0 / s + 0.056 \cdot N \quad (7)$$

式(5)中、 $M_{cy}^U$ 、 $M_{cy}^L$ : 柱頭と柱脚の曲げ終局モーメント、

$H_0$ : 内法高さである。式(6)中、 $f_{yk}$ 、 $A_s$ : 引張鉄筋降伏点強度と断面積、 $h_0$ : 柱有効せい、 $a_s'$ : 圧縮側最外縁と圧縮応力度重心間の距離、 $N$ : 軸力、 $b$ 、 $h$ : 柱幅とせい、 $f_{cmk}$ : コンクリートの設計基準強度である。また、式(7)中、 $\lambda$ : シアスパン比、 $f_{yvk}$ 、 $A_{sv}$ 、 $s$ : せん断補強筋の降伏点強度、断面積、間隔である。なお、以降の式を含め、記号の単位は SI 単位である。

### (2) 建物に要求される耐震性能(Demand)の評価法

一方、建物の耐震性能の要求は、第 2 級診断で設定する地震動に対する各階の地震層せん断力  $V_i$  として評価される。その算定方法を以下に示す。

$$V_i = \sum_{j=1}^n F_j \quad (8)$$

$$F_i = F_{EK} \cdot G_i \cdot H_i / \sum_{j=1}^n G_j H_j \quad (9)$$

$$F_{EK} = 0.85 \cdot \alpha \cdot \Sigma G \quad (10)$$

式(8)中、 $F_i$ : 各層の地震外力である。式(9)中、 $F_{EK}$ : 1 階の地震層せん断力、 $G_i$ : 各層の重量、 $H_i$ : 各層の地表面からの高さである。また、式(10)中、 $\alpha$ : 建物を一自由度系置換した場合の応答加速度であり、式(11)より算定される。

$$\alpha = (T_g / T)^{0.9} \cdot \alpha_{max} \quad (11)$$

$$T = 2 \cdot \psi_T \cdot (\Sigma G_i U_i^2 / \Sigma G_i U_i)^{0.5} \quad (12)$$

$$U_i = U_{i-1} + \Sigma_j^n G_j / D_i \quad (13)$$

式(11)中、 $T_g$ : 地盤の卓越周期、 $T$ : 建物の 1 次固有周期(式(12))、 $\alpha_{max}$ : 地震による加速度スペクトル上の最大応答加速度であり、中層建物の場合では最大 0.32(烈度 9)である。また、式(12)中、 $\psi_T$ : レンガ造壁の存在を考慮するための周期低減係数、 $U_i$ : 各層の水平変位(式(13))であり、式(13)中、 $D_i$ : D 値法により算定される柱剛性である。

### (3)建物の耐震性能の判定法

建物の耐震性能の判定では、式(14)を満足することを条件とする。式(14)のβが総合耐震指標であり、式(15)、式(16)に基づいて評価される。

$$\beta \geq 1 \quad (14)$$

$$\beta = \psi_1 \cdot \psi_2 \cdot \xi \quad (15)$$

$$\xi = V_y / V_i \quad (16)$$

すなわち、式(14)~(16)より、耐震性能の判定条件は式(17)の通り表現することができ、建物の強度に対する判定が行われていることがわかる。

$$\psi_1 \cdot \psi_2 \cdot V_y \geq V_i \quad (17)$$

## 3. ケーススタディ

### 3.1 診断対象建物

診断対象は、中国の5層RC造建物とする。当該建物は、現場打ちRCフレーム構造であり、1階の階高は5.0m、他の各階は3.6mである。コンクリートの強度等級はC30、日本の $F_c=24.5 \text{ N/mm}^2$ に相当する。また、部材の主筋降伏点強度は $335 \text{ N/mm}^2$ 、帯筋は $235 \text{ N/mm}^2$ である。建設地は、烈度8(設計用地震力0.24g)の地域にあり、地盤はII類(式(11)の $T_g=0.3$ )と設定した。各層重量は、最上層2620kN、他の層2100kNである。建物平面図を図-2に、柱断面リストを表-1に示す。

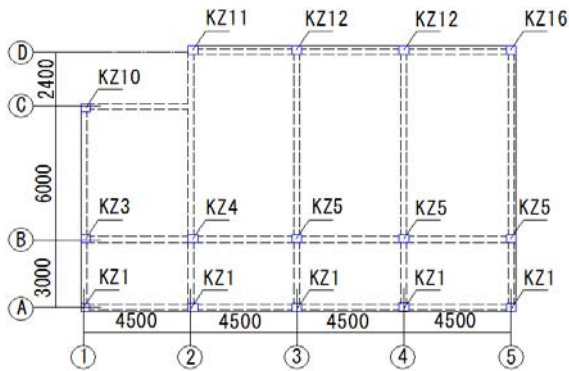


図-2 建物平面図

表-1 柱断面リスト

柱符号	柱幅 (mm)	柱せい (mm)	配筋		
			主筋		帯筋
	b	D	X方向	Y方向	
KZ1	350	350	3-D18	3-D18	2-D8@200
KZ3	350	350	2-D25,2-D22	2-D25,2-D22	2-D10@200
KZ4	400	400	2-D25,1-D16	3-D25,2-D20	2-D10@200
KZ5	400	400	2-D25,1-D16	3-D25	2-D10@200
KZ10	350	350	2-D22,1-D16	2-D22,1-D18	2-D8@200
KZ11	400	400	2-D25,1-D16	2-D25,2-D22	2-D8@200
KZ12	400	400	2-D22,1-D16	2-D22,1-D25	2-D8@200
KZ13	400	400	2-D22,1-D18	2-D22,1-D25	2-D8@200
KZ16	400	400	2-D25,1-D16	3-D25	2-D10@200

### 3.2 日本の基準による診断結果

日本の耐震診断基準による診断は、2.1節の方法に従って、2次診断を行った。ただし、経年指標Tは1.0とした。形状指標 $S_D$ の評価結果を表-2に示す。図-3および図-4に建物各方向の各階C-F関係図を $E_0$ の評価結果とともに示す。同図中、縦軸 $Ct'$ は各柱の強度指標Cの合計である $Ct$ に外力分布による補正係数 $(n+1)/(n+i)$ を乗じた値である。C-F関係図より、曲げ部材が比較の変形性能が高い建物であることが分かる。また、 $E_0$ はすべてのケースで耐震診断基準<sup>3)</sup>の(5)式により評価された。一方、Isoは(2)式によりZ、G、Uいずれも1.0と仮定すると、0.6である。診断結果の一覧を表-3および表-4に示す。日本の耐震診断基準によると、すべてのケースで耐震性能を満たしていないと判定された。ただし、5階のみ式(3)は満足したものの、式(4)を満たさなかった。

表-2 形状指標 $S_D$ の評価結果

項目		結果	Gi	R2i	q2i	
平面形状	a	整形性	a2	0.9	0.5	0.95
	b	辺長比	$b < 5$	1	0.25	1
	c	くびれ	無し	1	0.25	1
	d	エキスパンションジョイント	無し	1	0.25	1
	e	吹き抜け	無し	1	0.25	1
	f	吹抜の偏在	無し	1	0	1
断面形状	h	地下室の有無	無し	0.8	1	1
	i	層高の均等性(1階)	$i=0.72$	0.9	0.25	0.975
		他の階	$i=1$	1	0.25	1
j	ピロティの有無	無し	1	1	1	
	方向	1階	2階	3階	4階	5階
平面剛性 <sup>l</sup>	X	0.050	0.050	0.050	0.050	0.050
	Y	0.020	0.020	0.020	0.020	0.020
断面剛性 <sup>n</sup>	X	1.373	0.981	0.963	0.901	1.110
	Y	1.373	0.981	0.963	0.901	1.110
形状指標 $S_D$	X	0.83	0.95	0.95	0.95	0.95
	Y	0.83	0.95	0.95	0.95	0.95

表-3 2次診断結果表(X方向)

階	適用式	F	$Ct'$	$E_0$ (5式)	Is	$Ctu \cdot S_D$	判定
1	5式	3.20	0.115	0.37	0.31	0.096	NG
2	5式	3.08	0.162	0.50	0.47	0.154	NG
3	5式	3.10	0.169	0.52	0.50	0.161	NG
4	5式	3.20	0.193	0.62	0.59	0.183	NG
5	5式	3.20	0.267	0.86	0.81	0.254	NG

表-4 2次診断結果表(Y方向)

階	適用式	F	$Ct'$	$E_0$ (5式)	Is	$Ctu \cdot S_D$	判定
1	5式	3.20	0.105	0.34	0.28	0.088	NG
2	5式	2.14	0.153	0.33	0.31	0.145	NG
3	5式	2.12	0.161	0.34	0.32	0.153	NG
4	5式	2.31	0.186	0.43	0.41	0.177	NG
5	5式	2.69	0.262	0.71	0.67	0.249	NG

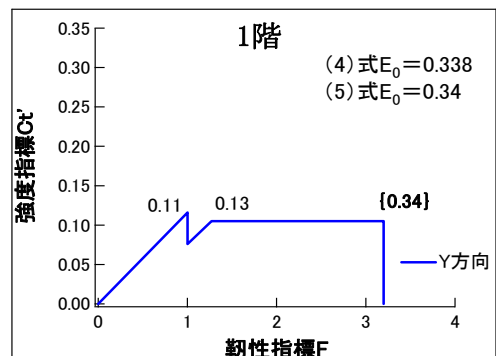
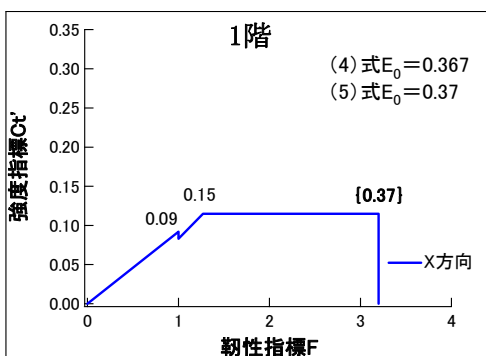
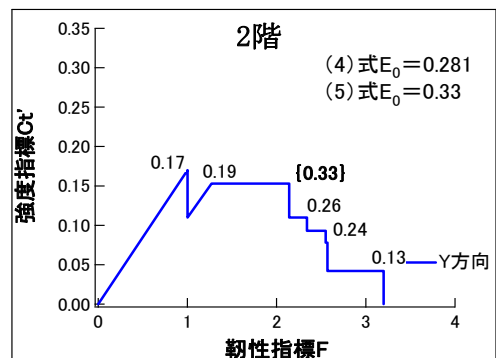
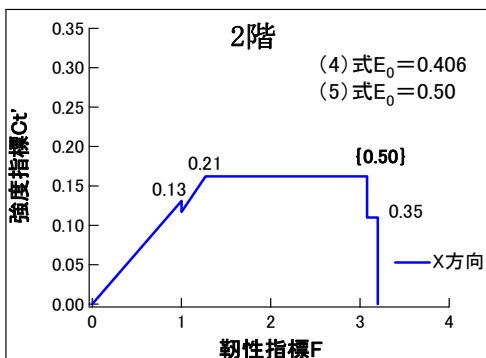
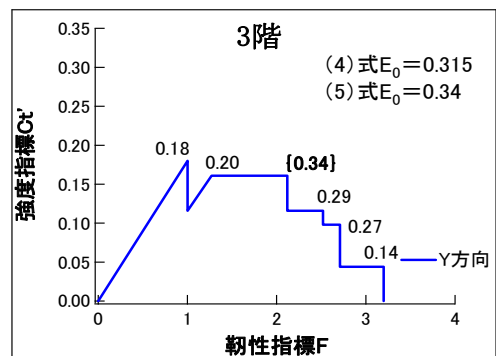
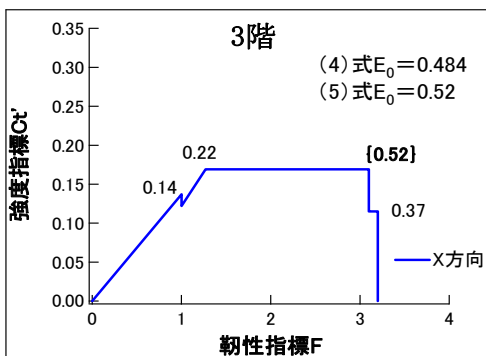
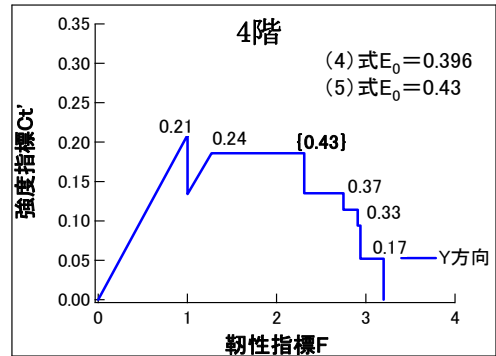
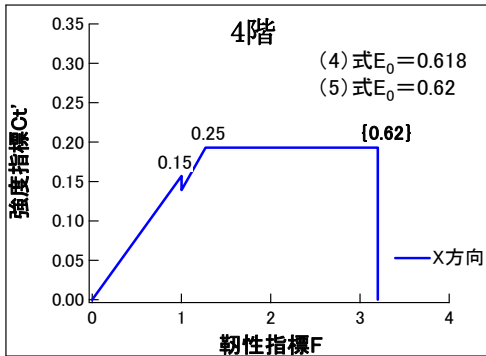
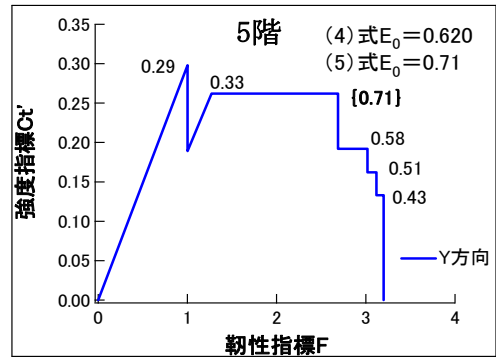
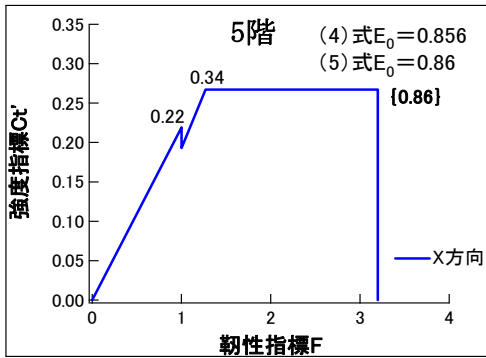


図-3 各階の C-F グラフ(X方向)

図-4 各階の C-F グラフ(Y方向)

### 3.3 中国の基準による診断結果

2.2 節に示した中国の基準による耐震診断を行った。目標とする継続使用年限が 50 年のため、診断対象建物は C 類建築物に該当する。第 1 級診断について、本建物は比較的整形であるため、各種仕様規定が満足されると仮定すると、 $\psi_1=1.0$  と評価された。また、レンガ壁の使用もないと仮定し、 $\psi_2=1.0$  とした。各層各方向の降伏係数 $\xi$ (式(16))を算定するため、各層各方向の  $V_y$  および  $V_i$  を以下の通り求めた。

$V_y$  の算定結果を表-5 に示す。すべての柱の  $V_{cy1}$ (式(5)) が  $V_{cy2}$ (式(7)) より小さく曲げ降伏が先行すると評価された。これは柱断面寸法(表-1)が高さに対して小さいためと判断される。従って、 $V_y$  は各柱の  $V_{cy1}$  の合計である。次に、各階の  $V_i$  は式(8)~(13)に基づいて算定した。式(12)の周期低減係数  $\psi_T$  はレンガ造壁の使用がないとの仮定の下 1.0 とした。T の算定結果を表-6 に示す。また、3.1 節より、式(11)の  $T_g$  は 0.3 秒、 $\alpha_{max}$  は 0.24g と仮定した。以上の通り算定した  $V_i$  の一覧を表-7 に示す。

建物の総合耐震指標  $\beta$  を式(15)に基づき評価した結果を表-8 および図-5、6 に示す。以上より、中国の耐震診断基準によると、本建物は所定の耐震性能を満たすと判定された。

表-5 終局せん断力  $V_y$  の評価過程・結果

X方向	1階	2階	3階	4階	5階
柱番号	$V_{cy1}$ (kN)	$V_{cy2}$ (kN)	$V_{cy3}$ (kN)	$V_{cy4}$ (kN)	$V_{cy5}$ (kN)
KZ1(A-1,5)	44.2	59.9	56.3	52.6	48.8
KZ1(A-2,3,4)	55.9	73.9	67.5	60.6	53.4
KZ3(B-1)	106.3	145.0	136.3	126.7	116.2
KZ4(B-2)	130.7	175.4	159.1	138.8	114.6
KZ5(B-3,4)	134.6	182.1	165.7	144.5	118.4
KZ5(B-5)	106.5	141.6	129.0	114.9	99.8
KZ10(C-1)	64.6	86.7	80.1	73.2	65.9
KZ11(D-2)	116.2	154.5	139.9	123.4	104.9
KZ12(D-3)	112.4	148.7	133.1	114.9	94.0
KZ13(D-4)	114.9	152.3	136.7	118.5	97.6
KZ16(D-5)	95.3	127.4	117.1	106.1	94.5
$V_y = \sum V_{cy}$	1372.2	1837.1	1677.6	1492.7	1282.2
Y方向					
柱番号	$V_{cy1}$ (kN)	$V_{cy2}$ (kN)	$V_{cy3}$ (kN)	$V_{cy4}$ (kN)	$V_{cy5}$ (kN)
KZ1(A-1,5)	44.2	59.9	56.3	52.6	48.8
KZ1(A-2,3,4)	55.9	73.9	67.5	60.6	53.4
KZ3(B-1)	111.2	154.7	145.4	135.2	124.0
KZ4(B-2)	185.6	261.4	243.4	221.0	194.4
KZ5(B-3,4)	158.5	222.3	204.3	180.9	152.1
KZ5(B-5)	128.4	177.7	163.7	148.3	131.6
KZ10(C-1)	69.8	95.8	88.8	81.5	73.7
KZ11(D-2)	152.2	211.8	195.7	177.4	157.1
KZ12(D-3)	134.7	185.5	168.3	148.2	125.1
KZ13(D-4)	134.7	185.5	168.3	148.2	125.1
KZ16(D-5)	116.4	162.0	150.7	138.5	125.7
$V_y = \sum V_{cy}$	1606.0	2220.5	2047.8	1847.3	1618.7

表-6 建物の固有周期 T の評価過程・結果

X方向						
階	重量 $G_i$ (kN)	柱剛性 $D_i$ (kN/m)	水平変位 $u_i$ (m)	$G_i \cdot u_i$ (kN·m)	$G_i \cdot u_i^2$ (kN·m <sup>2</sup> )	周期 $T(s)$
5	2620	80622	0.53	1384.2	731.3	1.33
4	2100	80622	0.50	1041.2	516.2	
3	2100	80622	0.44	918.3	401.5	
2	2100	80622	0.35	740.6	261.2	
1	2100	45530	0.24	508.3	123.0	
$\Sigma$	11020			4592.6	2033.3	
Y方向						
階	重量 $G_i$ (kN)	柱剛性 $D_i$ (kN/m)	水平変位 $u_i$ (m)	$G_i \cdot u_i$ (kN·m)	$G_i \cdot u_i^2$ (kN·m <sup>2</sup> )	周期 $T(s)$
5	2620	113535	0.41	1061.5	430.1	1.17
4	2100	113535	0.38	802.4	306.6	
3	2100	113535	0.34	715.1	243.5	
2	2100	113535	0.28	588.9	165.2	
1	2100	54590	0.20	423.9	85.6	
$\Sigma$	11020			3591.8	1230.8	

表-7 地震層せん断力  $V_i$  の評価過程・結果

階	層の高さ $H_i$ (m)	X方向		Y方向	
		層地震力 $F_i$ (kN)	地震層せん断力 $V_i$ (kN)	層地震力 $F_i$ (kN)	地震層せん断力 $V_i$ (kN)
5	19.4	216.4	216.4	242.8	242.8
4	15.8	141.2	357.6	158.5	401.3
3	12.2	109.1	466.6	122.4	523.7
2	8.6	76.9	543.5	86.3	609.9
1	5	44.7	588.2	50.2	660.1

表-8 総合耐震指標  $\beta$  の一覧

$\beta$	1階	2階	3階	4階	5階
X方向	2.33	3.38	3.60	4.17	5.93
Y方向	2.43	3.64	3.91	4.61	6.66

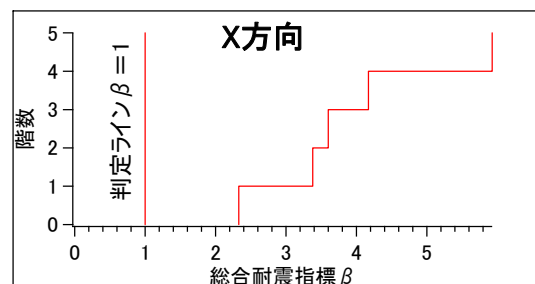


図-5 各階の総合耐震指標(X方向)

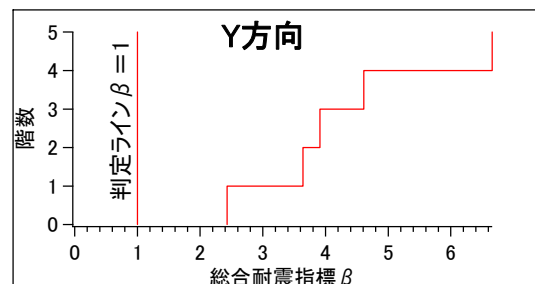


図-6 各階の総合耐震指標(Y方向)

#### 4. 診断結果の分析

##### 4.1 両国診断法の比較

以上より、比較的整形な RC フレーム構造に対する日本と中国の診断基準による判定結果は異なった。そこで、本稿では主指標のみに着目し、その原因を耐震性能および要求性能ごとに分析する。

はじめに、耐震性能(Capacity)に関する  $E_0$  と  $V_y$  を比較する。2.2(1)項より明らかのように、中国の診断法では建物の性能を強度指標  $V_y$  のみで評価している。そこで、日本の診断法の靱性指標  $F$  を 1.0 と仮定し、各階の  $E_0$  を強度指標  $C$  の総和  $C_t$  として再評価し、中国の診断法の各階  $V_y$  を当該階以上の重量  $\Sigma G_i$  で除した  $V_y/\Sigma G_i$  と表-9 において比較する。両者がおよそ一致することが確認できる。なお、2.1(1)項で記述したように、日本の診断法では  $E_0$  の評価に多層建物の外力分布形状を考慮した補正係数が考慮されるが、中国の診断法では後述するように同補正係数は要求性能(Demand)の側で考慮されている。

次に、要求性能(Demand)について  $E_s$  と  $V_i$  を比較する。比較を明快にするため、X 方向を例として、中国の診断法の要求性能に関する式(8)~(11)の各係数を、日本の診断法の対応する係数と表-10 において比較する。同表中、 $\Sigma G_i$  は対象とする層が支持する建物重量である。ここで、中国の診断法では強度のみの検証を行っているため、日本の診断法が最低限要求する強度指標を 0.3G と仮定して比較した。要求されるベースシアに着目すると、中国の要求性能が日本を下回っていることがわかる。これは基準とする強度(加速度)の初期値が異なることを除くと、中国では建物の周期や多層建物の外力分布形に起因するベースシアの低減を考慮しているためである。また、中

表-9 耐震性能について  $E_0$  と  $V_y$  の比較

X方向	1階	2階	3階	4階	5階
強度指標 $C_t$	0.1243	0.2057	0.2459	0.3165	0.4901
$V_y/\Sigma G_i$	0.1245	0.2060	0.2460	0.3162	0.4894
Y方向	1階	2階	3階	4階	5階
強度指標 $C_t$	0.1455	0.2487	0.3002	0.3916	0.6186
$V_y/\Sigma G_i$	0.1457	0.2489	0.3003	0.3914	0.6178

表-10 耐震要求について対応する係数のまとめ

項目	中国		日本	
応答スペクトル上の最大応答加速度	$\alpha_{max}$	0.24 (G)	要求 $C_t^{*1}$ ( $E_s$ )	0.3 (G) (0.6)
建物周期に対応する応答加速度	$\alpha$	0.07 (G)	同上	0.3 (G)
ベースシアの補正係数	-	0.85	-	1.0
ベースシア	$F_{EK}$	$0.85 \cdot 0.07 \cdot \Sigma G_i$	-	$1.0 \cdot 0.3 \cdot \Sigma G_i$
外力分布/補正係数	$F_i$	逆三角形 <sup>*2</sup>	$\frac{(n+i)^{*3}}{(n+1)}$	逆三角形
層せん断力	$V_i$	$\Sigma_{j=i}^n F_j$	-	$\frac{(n+i) \cdot 0.6 \cdot \Sigma G_i}{(n+1)}$

\*1: 要求  $C_t$  は  $F=2.0$  の場合に要求される強度に相当する。

\*2: 厳密には加速度分布である。

\*3: 日本の診断法では耐震性能 (Capacity) 側で評価する。

国では加速度分布形を、日本では外力分布形を逆三角形と仮定している点が若干異なるものの、その他に大きな相違点はないことが確認できる。

##### 4.2 日本の診断法に潜在する課題

表-10 より、日本の診断法では建物の周期や多層建物の外力分布形に起因する層せん断力の低減を考慮していないことが確認できる。これは主に日本の診断法が 5 層程度の中層建物までを適用範囲とするためと考えられる。しかし、東日本大震災において、その適用範囲を超える建物の地震被害が確認されている<sup>5)</sup>。こうした建物を診断する場合、例えば被災建物の被災度区分判定<sup>6)</sup>では原則として耐震診断基準<sup>3)</sup>に基づく耐震性能の評価が求められるが、診断基準の適用範囲を超えて運用する必要が生じる。診断法の適用範囲を適切に拡大するためには層せん断力の低減に資する因子を含めて改めて検討する必要がある。

#### 5. まとめ

本稿では日本および中国の耐震診断基準を紹介するとともに、これらの基準により中国の既存 RC 造建築物を対象に耐震診断を行った。本研究で得た知見は以下のように要約できる。

- 1)耐震診断の結果、対象建物は日本の第2次診断法では所定の耐震性能を満たさなかったのに対し、中国の診断法では耐震性能を満たすと判定された。
- 2)両国の診断法および対象建物の診断結果を比較した。中国の診断法が部材の変形性能を考慮していない点、日本の診断法が建物の周期などに起因する層せん断力の低減を考慮していない点に相違があるものの、両診断法は本質的に類似の手法であることを示した。
- 3)日本の診断法の適用範囲を適切に拡大するためには層せん断力の低減に資する因子について検討する必要がある。

#### 参考文献

- 1) 国土技術政策総合研究所，独立行政法人建築研究所：2008年中国四川大地震における建築物被害と復興状況に関する調査報告，2008.11
- 2) 中国建築工業出版社：中国国家標準 GB50023「建築耐震診断基準」2009年度改訂版，2009.06
- 3) 財団法人日本建築防災協会：既存鉄筋コンクリート造建築物の耐震診断基準・耐震改修設計・同解説，2001年度改訂版，2001.10
- 4) 中国建築工業出版社：中国国家標準 TJ23-77「工業および民間建築耐震診断基準」，1978.05
- 5) 一般社団法人日本建築学会：2011年東北地方太平洋沖地震災害調査速報，2011.07
- 6) 財団法人日本建築防災協会：震災建築物の被災度区分判定基準および復旧技術指針，2002.08