

平面ラチス構造物の静的耐荷性能と終局耐震性能の関係についての研究

STUDY ON RELATION BETWEEN STATIC LOAD-CARRYING CAPACITY AND ULTIMATE SEISMIC RESISTANCE CAPACITY FOR PLANE LATTICE STRUCTURES

建築構造学分野 徳田研多

世界でも有数の地震国である我が国においては、空間構造物の終局耐震性能を把握することは重要であると考えられ、合理的な耐震設計および評価手法が求められている。本研究では、平面ラチス構造物を対象に、静的鉛直および水平荷重を受ける場合と地震波を入力した場合を比較し、それらの関係を明らかにする。その際、構造物に蓄えられる歪エネルギー速度換算値に注目し、時刻歴応答解析を必要としない終局地震動レベル推定法の提案を試みる。

In our country that is known as a famous country with frequent earthquakes, it is important to know the ultimate seismic resistance capacity of such building and the rational earthquake-resistance design and evaluation method are required. In this paper, as for plane lattice structures, the relation between static load carrying capacities under vertical or horizontal load and ultimate seismic resistance capacities are investigated numerically. We focus on the equivalent velocity of strain energy of structures and reveal the relation between the max input acceleration and the max response equivalent velocity of strain energy. Finally, the estimation method without time history analysis is suggested.

1. 序

我が国は世界でも有数の地震国であり、地震災害時には、一時避難場所や災害対策拠点として大空間の確保が必要となる。したがって、空間構造物の耐震性能を十分に確保・把握することが建築計画および防災計画において非常に重要となる。

地震時の構造物の応答評価には、エネルギーの釣合いに基づいた手法が提案されてきた。早くは、Housnerが提案したLimit Designが挙げられる¹⁾。その後、秋山によってエネルギーの釣り合いに基づいてラーメン構造の耐震性能評価式が提案されている²⁾。また、多田らは高層建物上に設置された二層立体ラチス平板を対象として、静的弾塑性挙動より定まる内部吸収エネルギーを定義し、その最大値が動的崩壊の尺度となることを示している³⁾。

本研究は、平面ラチス構造物を対象に、静的鉛直および水平荷重を受ける場合と地震波を入力した場合を比較し、終局耐震性能と静的耐荷性能との関係を明らかにし、時刻歴応答解析を必要としない、速度応答スペクトルを用いた簡便な終局地震動レベル推定法を導くことを目的とする。

2. 数値解析モデル

本研究で取り扱う解析モデルを Fig.1 に示す。平面柱付きラチス骨組み(Model A, N)は短期許容応力度設計したA1, N1と部材断面を4種類に統一したA2, N2の2種類を扱う。また、平面ラチス柱(C)および梁(B)の部材断面は一樣とする。接合部の強度と剛性は十分にあるものとし、部材間の接合はすべて剛接合とする。また、構造物の重量は、静的安全率 $\nu=2,3,4$ となるように固定荷重を設定し、節点集中型として扱う。

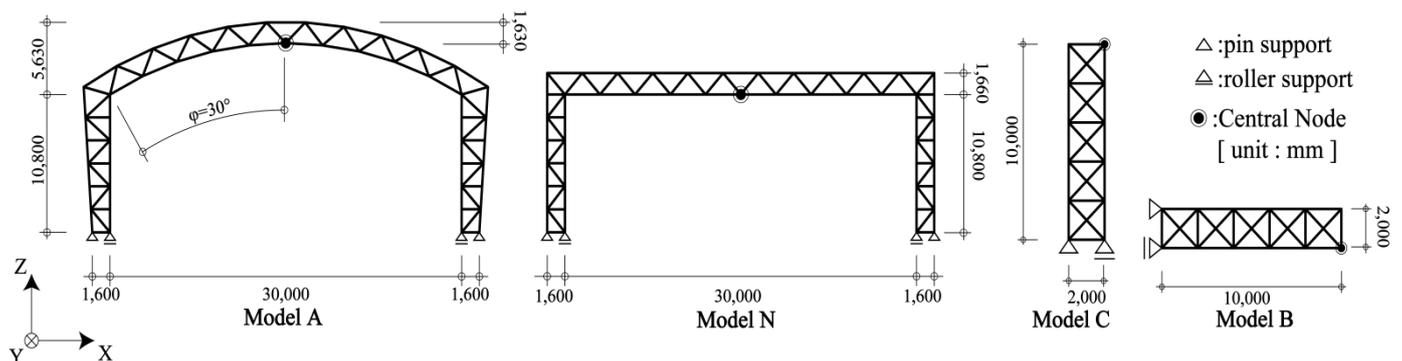


Fig.1 数値解析モデル

3. 固有振動性状

本解析モデルの固有振動性状を把握するため、非減衰振動解析を行い、有効質量分布および固有周期を算出する。解析結果の一例を Table 1 に示す。

本研究では、地震応答時の慣性力を考慮した疑似静的地震荷重を次式にて定義する。

$$P = \sum_{i=1}^n M\beta_i\{\varphi_i\} \quad (1)$$

ここで、 M はモデルの質量マトリクス、 β_i は i 次の刺激係数、 $\{\varphi_i\}$ は i 次のモードベクトルである。 n は考慮するモード次数であり、本研究では $n=1$ として荷重分布を求める。Eqn.(1)により得られた分布荷重の一例としてモデル A1 荷重分布図を Fig.2 に示す。

Table 1 固有周期と有効質量比

モード次数	Model A1			有効質量比(%)	
	固有周期(sec)			X 方向	Z 方向
	静的安全率 ν				
	2	3	4		
1	0.651	0.531	0.460	81.89	1
2	0.426	0.347	0.301		40.25
3	0.209	0.170	0.147	6.53	2
4	0.129	0.105	0.091		11.47
6	0.090	0.073	0.063	4.33	3
11	0.046	0.038	0.032		21.26

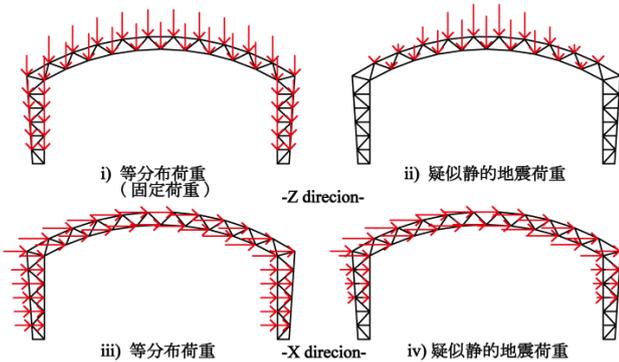


Fig.2 静的解析に用いる荷重分布

4. 静的弾塑性解析

本解析モデルを対象に、塑性ヒンジ法による幾何学的非線形弾塑性解析を行い、静的耐荷性能を把握する。ここでは、Fig.2 に示したように鉛直・水平それぞれ 2 種類の分布荷重を用いて Push-Over 解析を行う。

静的解析において、Eqn.(2)のようなエネルギーの釣合いが成り立つ。

$$E^e - E^G = E^F \quad (2)$$

ここで、 E^e は歪エネルギー、 E^G は自重と鉛直方向変位によってなされるポテンシャルエネルギー、 E^F は外力によって入力されるエネルギーである。また、歪エネルギー E^e は、弾性歪エネルギー W_e と塑性変形による消費エネルギー W_p の和 ($W_e + W_p$) とする。各モデルの質量の影響をなくすために各種エネルギーを Eqn.(3)により等価速度に換算する。

$$V^e = \sqrt{2E^e/M}, \quad V^G = \sqrt{2E^G/M}, \quad V^F = \sqrt{2E^F/M} \quad (3)$$

M はモデル総質量であり、 V^F を静的吸収エネルギーと呼ぶ。弾性限界耐力時、限界耐力時の時の歪エネルギー速度換算値をそれぞれ ${}_sV_{LE}$ および ${}_sV_{GY}$ と呼ぶ。ここで、限界耐力とは荷重変形関係より得られた耐荷力であり、塑性変形性能倍率 α を用いて Fig.3 のように定義される。

数値解析で得られた荷重変形関係 ($\nu=2$) を Fig.4 に示す。横軸は Fig.1 に示した節点の外力入力方向変位である。また、各種エネルギーと変位の関係の一例を Fig.5 に示す。2 種類の分布荷重による荷重変形関係は異なる結果となったのに対し、エネルギーと変位の関係はほぼ同じ結果が得られた。したがって、構造物に入力されるエネルギーは荷重分布には関係なく、降伏過程や変形モードによって決まるということが確認された。各限界状態時における歪エネルギー速度換算値および ${}_sW_p/({}_sW_e + {}_sW_p)$ を Table 3, 4 にまとめる。なお、ここで示した数値は等分布荷重を用いた場合の解析結果より算出したものである。

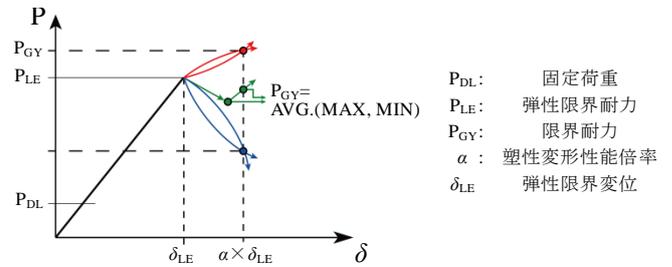


Fig.3 限界耐力の定義

Table 2 外力入力方向と限界変形

	Z 方向	X 方向
A1, A2, N1, N2	$\alpha=3.0, 6.0$	$r^* = 1/50, 1/30$
C	-	$\alpha=3.0, 6.0$
B	$\alpha=3.0, 6.0$	-

※ r^* は層間変形角を表し、塑性変形性能倍率は弾性限界変位から逆算出する。

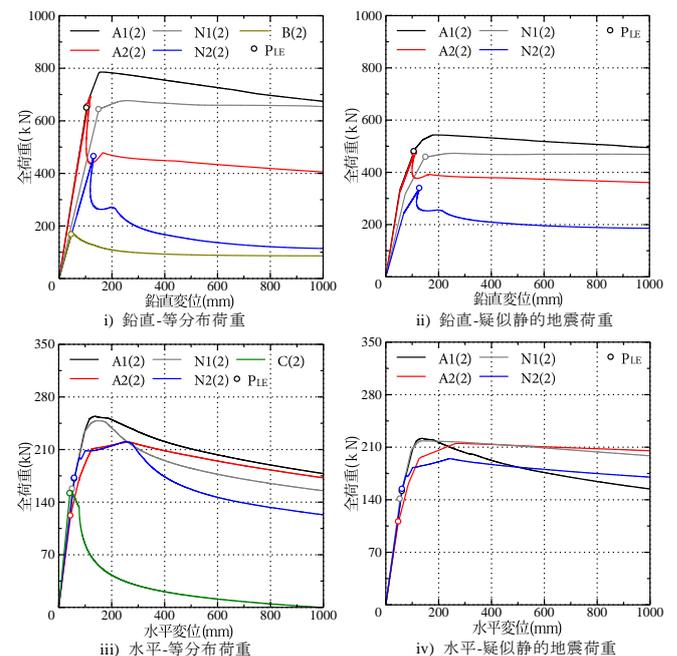


Fig.4 荷重変形関係

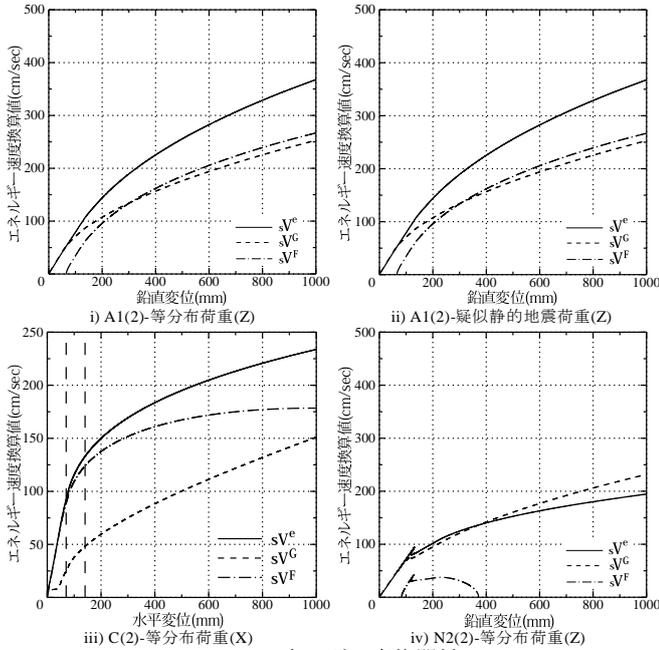


Fig.5 エネルギー変位関係

Table 3 静的弾塑性解析結果(Z方向)

Model	$\sqrt{V_{LE}}$ (cm/sec)	$\sqrt{V_{GY}}$ $\frac{W_p}{(sW_e + sW_c)}$ $\alpha=3.0$		$\sqrt{V_{GY}}$ $\frac{W_p}{(sW_e + sW_c)}$ $\alpha=6.0$	
		$\sqrt{V_{LE}}$	$\sqrt{V_{GY}}$	$\sqrt{V_{LE}}$	$\sqrt{V_{GY}}$
A1(2)	85	197	0.782	291	0.906
A1(3)	104	242	0.782	357	0.906
A1(4)	120	279	0.782	411	0.906
A2(2)	88	144	0.744	210	0.885
A2(3)	107	177	0.744	257	0.885
A2(4)	124	204	0.744	296	0.885
N1(2)	104	238	0.802	353	0.911
N1(3)	128	292	0.802	433	0.911
N1(4)	148	337	0.802	500	0.911
N2(2)	94	-	-	-	-
N2(3)	116	171	0.834	-	-
N2(4)	133	197	0.834	253	0.927
B(2)	63	138	0.843	192	0.936
B(3)	77	169	0.843	236	0.936
B(4)	89	195	0.843	272	0.936

Table 4 静的弾塑性解析結果(X方向)

Model	$\sqrt{V_{LE}}$ (cm/sec)	$\sqrt{V_{GY}}$ $\frac{W_p}{(sW_e + sW_c)}$ $r=1/50(\alpha=3.0)$		$\sqrt{V_{GY}}$ $\frac{W_p}{(sW_e + sW_c)}$ $r=1/30(\alpha=6.0)$	
		$\sqrt{V_{LE}}$	$\sqrt{V_{GY}}$	$\sqrt{V_{LE}}$	$\sqrt{V_{GY}}$
A1(2)	65	201	0.859	264	0.926
A1(3)	77	239	0.862	316	0.928
A1(4)	93	274	0.851	366	0.923
A2(2)	56	190	0.842	252	0.917
A2(3)	66	224	0.867	299	0.930
A2(4)	77	257	0.869	341	0.929
N1(2)	68	165	0.750	219	0.878
N1(3)	74	192	0.773	263	0.880
N1(4)	83	218	0.785	301	0.888
N2(2)	75	181	0.783	242	0.897
N2(3)	86	214	0.820	281	0.905
N2(4)	98	237	0.827	311	0.904
C(2)	58	128	0.828	161	0.971
C(3)	73	158	0.823	199	0.966
C(4)	86	184	0.819	231	0.964

5. 時刻歴応答解析

上下および水平地震動に対する応答性状を把握するため、幾何学的非線形性を考慮した弾塑性時刻歴応答解析を行った。使用する地震波は、人工地震波である日本建築センター模擬地震波 BCJ-L2 とする。入力する地震波には0秒から30秒までの30秒間の加速度波形データを用いる。まず、地震波の最大入力加速度を10galに設定し、時刻歴応答解析を行う。次に、地震波の最大入力加速度を漸増させながら時刻歴応答解析を繰り返し、最初に部材の一部に塑性ヒンジが形成される際の最大入力加速度を初期降伏加速度 A_{LE} とする。さらに最大入力加速度を漸増させながら時刻歴応答解析を繰り返し、静的解析時に定めた限界変形と最も近い変形を生じた時の加速度を限界耐力加速度 A_{GY} 、変

形が急激に進行し鉛直または水平変位が1000mmを超えた時の加速度を動的崩壊加速度 A_f とする。

解析により得られた最大入力加速度と最大応答変位の関係を Fig.6 に示す。図中の×印は水平地震動入力時における鉛直方向への動的崩壊を示している。各限界状態における最大入力加速度と最大応答歪エネルギー速度換算値を Table 5, 6 に示す。初期降伏加速度入力時の最大応答歪エネルギー V_{LE} と静的解析での弾性限界時の歪エネルギー sV_{LE} の比率 V_{LE}/sV_{LE} は、Z方向では平均1.00、標準偏差0.03となり、X方向においても平均1.07、標準偏差0.05となった。したがって、弾性範囲内ではほぼ同じ挙動をしていると言える。

Table 5 時刻歴応答解析結果(Z方向)

Model	A_{LE}	V_{LE}	A_{GY} V_{GY} $\alpha=3.0$		A_{GY} V_{GY} $\alpha=6.0$		A_f	V_f
			A_{GY}	V_{GY}	A_{GY}	V_{GY}		
A1(2)	230	83	570	193	-	-	620	324
A1(3)	560	104	990	247	1350	1350	1400	391
A1(4)	640	119	1760	492	2020	2020	2220	645
A2(2)	260	88	-	-	-	-	280	176
A2(3)	610	109	-	-	-	-	650	231
A2(4)	700	130	-	-	-	-	710	249
N1(2)	200	102	570	230	620	620	640	328
N1(3)	470	128	860	289	1020	1020	1100	402
N1(4)	860	144	1480	344	1950	1950	2040	662
N2(2)	230	92	-	-	-	-	240	188
N2(3)	470	112	-	-	-	-	480	267
N2(4)	790	128	-	-	-	-	1010	294
B(2)	260	65	-	-	-	-	430	212
B(3)	600	78	-	-	-	-	860	316
B(4)	890	91	-	-	-	-	1350	390

Table 6 時刻歴応答解析結果(X方向)

Model	A_{LE}	V_{LE}	A_{GY} V_{GY} $r=1/50(\alpha=3.0)$		A_{GY} V_{GY} $r=1/30(\alpha=6.0)$		A_f	V_f
			A_{GY}	V_{GY}	A_{GY}	V_{GY}		
A1(2)	150	71	540	318	600	363	364	640
A1(3)	250	82	800	398	900	458	960	531
A1(4)	350	100	990	531	1030	518	1270	630
A2(2)	130	62	-	-	-	-	240	157
A2(3)	200	73	-	-	-	-	500	278
A2(4)	250	82	-	-	-	-	810	424
N1(2)	160	77	800	428	880	480	960	565
N1(3)	250	84	980	506	1130	593	1460	748
N1(4)	360	94	1240	645	1330	699	2050	1012
N2(2)	200	79	-	-	-	-	430	258
N2(3)	290	93	810	402	-	-	1020	538
N2(4)	410	95	1380	704	1890	974	2070	908
C(2)	490	62	1034	299	1040	363	1070	341
C(3)	730	75	1240	271	1470	415	1850	550
C(4)	1160	89	2100	514	2153	558	2157	620

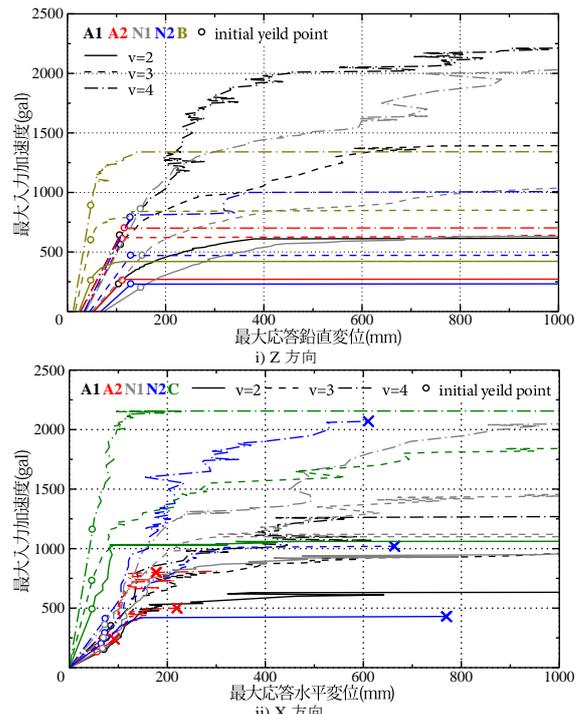


Fig.6 時刻歴応答解析結果

弾性限界時と限界耐力時の歪エネルギー速度換算値の比率の関係を Fig.7 に示す。ここで、横軸は静的解析結果 sV_{GY}/sV_{LE} 、縦軸は動的解析結果 V_{GY}/V_{LE} である。同図によると、静的解析よりも動的解析の方が大きくなっているケースが見られる。これは、圧縮降伏部材の繰り返しの塑性曲げ変形による消費エネルギーのためであると考えられる。本研究では、静的解析と動的解析の差を上昇量 b と呼ぶ。

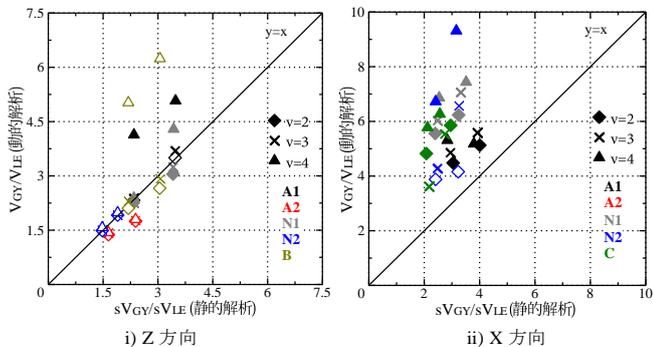


Fig.7 静的解析と動的解析の比較

6. 終局地震動レベルの推定

6.1 初期降伏加速度の推定

ここでは、速度応答スペクトルを用いて初期降伏加速度を推定する Eqn.(4).

$$A_{LE}^* = A_0 \times [sV_{LE}^F / S_v(T_i)] \quad (4)$$

ここで、 A_{LE}^* は初期降伏加速度推定値、 A_0 は入力地震波の基準最大入力加速度 ($A_0 = 355.6 \text{ cm/sec}^2$)、 sV_{LE}^F は静的解析によって得られた弾性限界時の静的吸収エネルギー(外力仕事)、 $S_v(T_i)$ は構造物固有周期に対応した入力地震波(基準最大入力加速度)の速度応答スペクトルの値である。

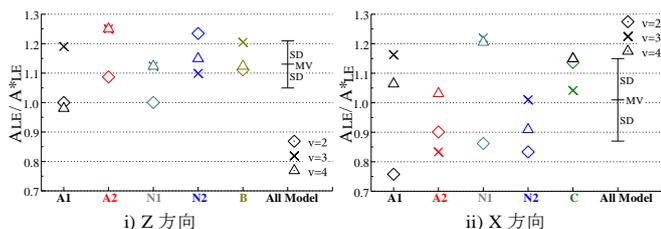


Fig.8 初期降伏加速度の推定精度

6.2 限界耐力加速度の推定_(1)

ここでは、初期降伏加速度推定値 A_{LE}^* 、 sV_{GY}/sV_{LE} を用いた外挿法による限界耐力加速度の推定法を示し、Eqn.(5)による推定結果を Fig.9 に示す。推定値と解析により得られた限界耐力加速度の比率 A_{GY}/A_{GY}^* は Z 方向についてはやや過大評価となっており、推定値の 6 割程度の最大入力加速度で限界変形に到達している場合もある。また、X 方向については、推定値の 1.8 倍以上の耐震性能を持つモデルもあれば、7 割程度の耐震性能しか持たないモデルもあった。

$$A_{GY}^* = A_{LE}^* \times (sV_{GY}/sV_{LE}) \quad (5)$$

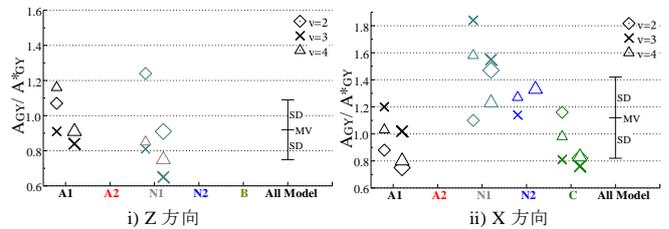


Fig.9 限界耐力加速度の推定精度_(1)

6.3 限界耐力加速度の推定_(2)

次に推定精度向上のために、i) 最大入力加速度 A_{max} と最大応答歪エネルギー速度換算値 V_{max} の関係の非線形性、ii) 歪エネルギーの静的解析と動的解析の差(上昇量 b)と静的耐荷性能を関連づけることを試みる。

最大入力加速度 A_{max} と最大応答歪エネルギー速度換算値 V_{max} の関係は Fig.10 i) に示した一例のように弾性限界点を境に、増加勾配が下がっている。本研究では、時刻歴応答解析で得られた結果から、Fig.8 ii) のようにバイリニアにモデル化する。弾性範囲内の解析結果のみをサンプルに最小 2 乗法による直線近似をし、その勾配 (k_e) を求める。その次に、部材降伏を起こした解析結果のみをサンプルにし、同様に直線近似を行いその勾配 (k_p) を求める。この 2 つの勾配の比率 $q = k_p/k_e$ を構造物の終局地震動レベル低減係数 q と定義する。

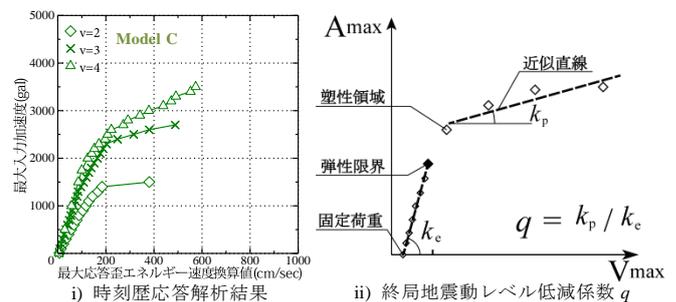


Fig.10 A_{max} と V_{max} の関係

この勾配の変化は歪エネルギーに占めるポテンシャルエネルギーの割合の増大によるものと考えられる。そこで、静的解析により得られた静的吸収エネルギーと変位の関係についても同様に近似直線の勾配を弾性範囲と塑性領域で求め、勾配の比率 a_2/a_1 を静的エネルギー低減係数 j と定義する(Fig.11)。Fig.12 に終局地震動レベル q と静的エネルギー低減係数 j の関係を示す。

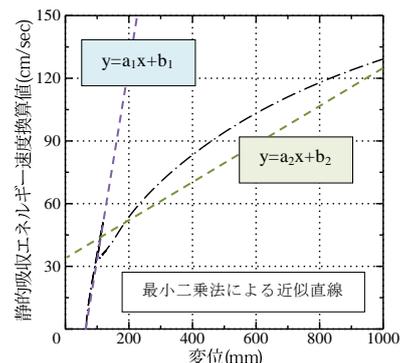


Fig.11 静的エネルギー低減係数 j

HACHINOHE, TAFT

波である。地震波ごとの結果を Table 7 にまとめる。図中に示したように、二つの低減係数 q と j の間には相関関係があると考えられ、近似直線によると $q \approx j$ であり、なおかつ地震波ごとの変動がさほど無いため、終局地震動レベル低減係数の推定値として $q^* = j$ を用いる。

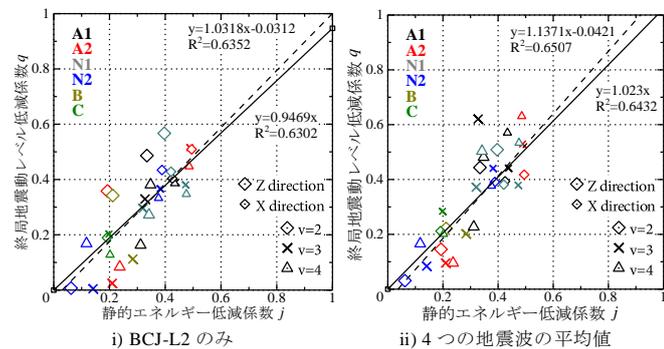


Fig.12 終局地震動レベル低減係数の推定

Table 7 終局地震動レベル低減係数と静的エネルギー低減係数
i) Z 方向

Model(v)	静的エネルギー低減係数 j	終局地震動レベル低減係数 q					標準偏差
		BCJ-L2	EL_CENTRO	HACHINOHE	TAFT	平均値	
A1(2)	0.33	0.49	0.59	0.27	0.43	0.44	0.12
A1(3)	0.33	0.33	0.77	0.62	0.77	0.62	0.18
A1(4)	0.35	0.38	0.51	0.46	0.58	0.48	0.07
A2(2)	0.19	0.36	0.04	0.06	0.12	0.15	0.13
A2(3)	0.21	0.02	0.11	0.11	0.13	0.10	0.04
A2(4)	0.24	0.08	0.04	0.08	0.17	0.10	0.05
N1(2)	0.40	0.57	0.42	0.57	0.47	0.51	0.06
N1(3)	0.32	0.30	0.43	0.27	0.49	0.37	0.09
N1(4)	0.34	0.27	0.61	0.57	0.56	0.50	0.14
N2(2)	0.06	0.01	0.03	0.02	0.06	0.03	0.02
N2(3)	0.14	0.00	0.04	0.14	0.15	0.08	0.06
N2(4)	0.12	0.17	0.12	0.06	0.31	0.17	0.09
B(2)	0.21	0.34	0.15	0.31	0.08	0.22	0.11
B(3)	0.28	0.11	0.39	0.24	0.07	0.20	0.13
B(4)	0.31	0.16	0.42	0.16	0.16	0.23	0.11

ii) X 方向

Model(v)	静的エネルギー低減係数 j	終局地震動レベル低減係数 q					標準偏差
		BCJ-L2	EL_CENTRO	HACHINOHE	TAFT	平均値	
A1(2)	0.43	0.40	0.35	0.36	0.46	0.39	0.04
A1(3)	0.44	0.39	0.46	0.35	0.57	0.44	0.08
A1(4)	0.43	0.39	0.52	0.54	0.84	0.57	0.16
A2(2)	0.49	0.51	0.36	0.46	0.34	0.42	0.06
A2(3)	0.49	0.51	0.70	0.47	0.43	0.53	0.10
A2(4)	0.49	0.45	0.66	0.70	0.71	0.63	0.10
N1(2)	0.42	0.43	0.33	0.36	0.41	0.38	0.04
N1(3)	0.47	0.38	0.41	0.40	0.33	0.38	0.03
N1(4)	0.48	0.35	0.57	0.51	0.71	0.53	0.13
N2(2)	0.39	0.43	0.46	0.27	0.40	0.39	0.07
N2(3)	0.38	0.37	0.49	0.44	0.46	0.44	0.05
N2(4)	0.38	0.33	0.39	0.47	0.32	0.38	0.06
C(2)	0.19	0.19	0.27	0.18	0.21	0.21	0.04
C(3)	0.20	0.20	0.32	0.25	0.36	0.28	0.06
C(4)	0.20	0.13	0.19	0.16	0.33	0.20	0.08

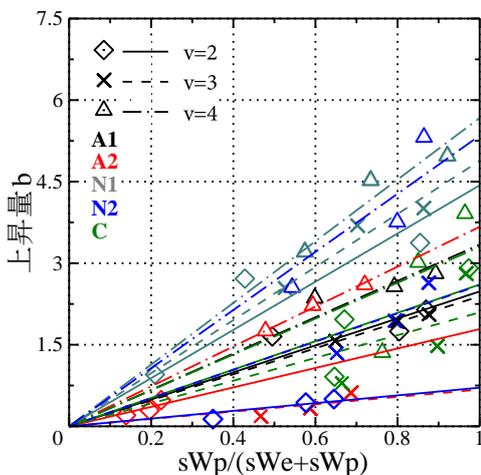


Fig.13 上昇量 b と $sW_p/(sW_e+sW_p)$

Table 8 上昇量特性 a

Model	a
A1(2)	2.48
A1(3)	2.39
A1(4)	3.34
A2(2)	1.79
A2(3)	0.68
A2(4)	3.67
N1(2)	4.43
N1(3)	4.88
N1(4)	5.67
N2(2)	0.71
N2(3)	2.60
N2(4)	5.35
C(2)	2.61
C(3)	2.09
C(4)	3.30

Table 9 時刻歴応答値の比較(X 方向入力)

Model(v)-A _{max}	α-最大値	α-平均値	$sW_p/(sW_e+sW_p)$	sV_{Gv}/V_{LE}	上昇量 b
N1(4)-1250	3.14	1.15	0.73	2.36	4.52
A2(4)-800	3.12	0.91	0.72	2.24	2.60

次に、上昇量 b について考察する。なお、本研究では静的耐荷性能と関連づけることのできる水平地震動入力の場合の上昇量 b のみを推定の対象とする。Fig.13 に各モデルの上昇量をプロットした。横軸は $sW_p/(sW_e+sW_p)$ であり、構造物の損傷状態を意味する。図中には、モデルごとに近似直線を示した。近似直線の相関係数はいずれのモデルも 0.8 以上となっており、十分な相関が見られる。モデルごとの近似直線の勾配 a を Table 8 に示した。この勾配 a はそれぞれの構造物の上昇量を特徴づけるものであるため、本研究ではこの勾配を上昇量特性 a と定義する。ここからは、上昇量特性 a を推定することを試みる。

まず、Table 9 に最大応答時の損傷の状態を表す $sW_p/(sW_e+sW_p)$ が同程度な二つの時刻歴応答解析結果を示す。これらの最大応答に関する数値はほぼ同じ値となっているが、平均応答のみが約 20% 異なる値となっている。したがって、上昇量 b には構造物の平均的な応答の程度が関係していると考えられる。そこで、構造物に入力される総エネルギーの量に注目する。地震動と構造物の応答を結びつける指標として、速度応答スペクトル (S_v) とエネルギースペクトル (V_E) がある。これらは、構造物の損傷状態と関連づけることができ、前者は最大損傷(最大応答、最大塑性率など)と、後者は累積損傷(平均応答、累積塑性率など)と関連づけられる。エネルギースペクトルとは、「地震動による構造物への総エネルギー入力を速度換算したもの」である。入力地震波 BCJ-L2 のエネルギースペクトルを求めるため、せん断型 1 質点系の時刻歴弾性応答解析を行う。固有周期をパラメータに質量 M を変動させながら BCJ-L2 ($A_{max}=355.66\text{gal}$) を用いた時刻歴応答解析を繰り返す。地震終了時に地震力がなした仕事(速度換算値)がその固有周期におけるエネルギースペクトル V_E となる。数値解析に得られた結果を Fig.14 示す。

この二つのスペクトルの差が最大応答時以外の時に入力されるエネルギーと疑似的に考えることができる。上昇量特性 a とこれらのスペクトルの関係によると、相関があると考えることができるため、本研究では Fig.15 を用いて上昇量特性 a の推定を行う。

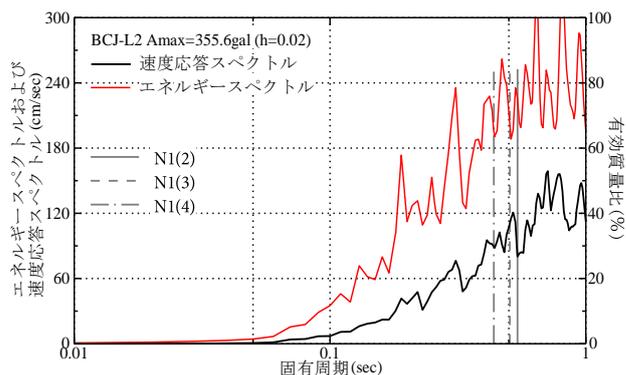


Fig.14 BCJ-L2 のエネルギースペクトル

本節で述べた限界耐力加速度推定法_(2)によりその推定精度が向上されたことが Fig.16 により確認された。

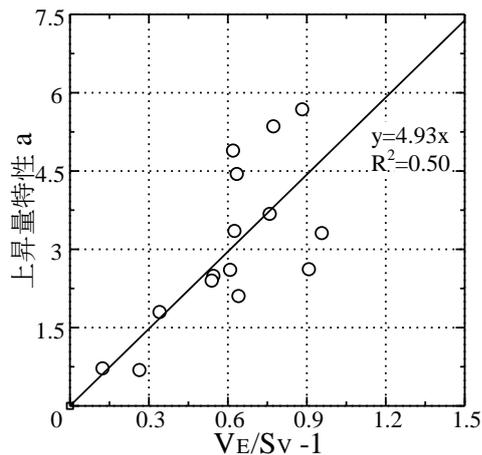


Fig.15 上昇量特性 a とスペクトルの関係

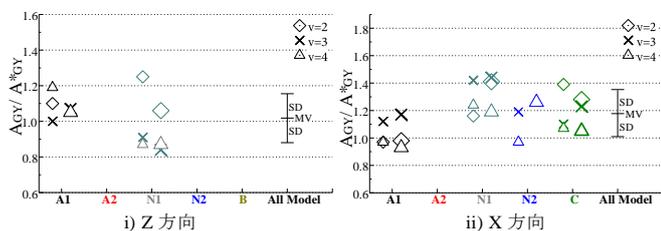


Fig.16 限界耐力加速度の推定精度_(2)

7. 結論

本研究で得られた主な結論を以下にまとめる。

- 1) 構造物へのエネルギー入力、荷重分布には影響されず、変形モードや降伏過程に大きく依存する。
- 2) エネルギー入力勾配における弾性範囲と塑性領域の関係は、静的解析においても動的解析においてもほぼ同じ性質を示す。
- 3) 損傷の程度を表す $sW_p/(sW_e+sW_p)$ 、速度応答スペクトル $S_v(T)$ とエネルギースペクトル $V_E(T)$ の比率を考慮することで、動的解析時の V_{GY}/V_{LE} の推定精度を向上させることができる。
- 4) その結果、静的弾塑性解析・固有値解析・入力地震波の速度応答スペクトル・エネルギースペクトルによる終局地震動レベルの推定法を提案し、そのフローチャートを Fig.17 に示す。
- 5) 本研究では、入力地震波 BCJ-L2 を用いた場合の上昇量 b の検討を行ったが、異なる入力地震波を用いた場合など、ケーススタディを重ねる必要がある。
- 6) 複数の方向から地震動が入力される場合や立体構造物を対象とした場合の動的挙動や静的耐荷性能との関係を明らかにする必要がある。

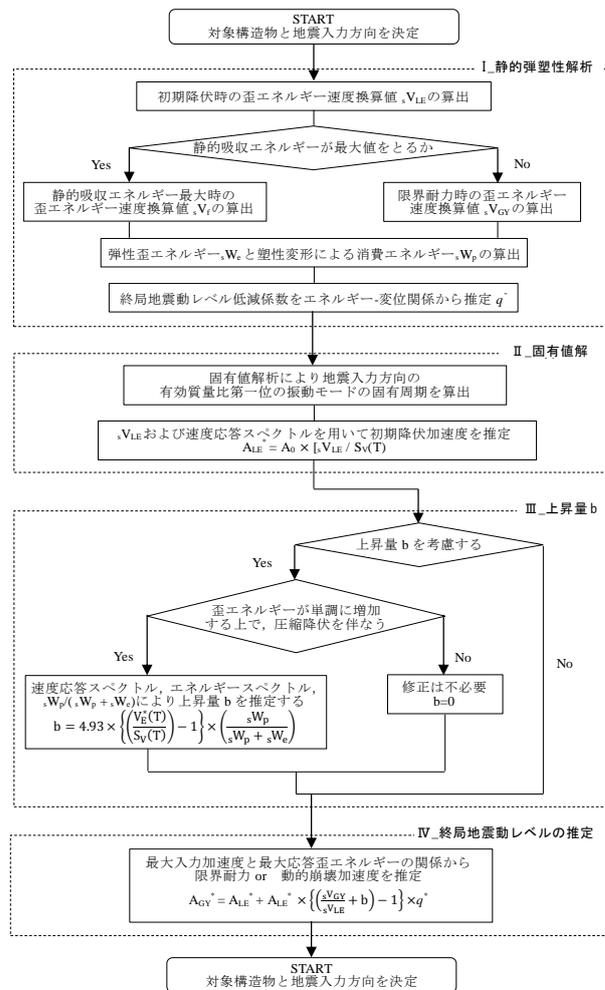


Fig.17 終局地震動レベル推定フローチャート

謝辞

本研究は、平成 24 年度科学研究費助成事業(挑戦的萌芽研究)の助成を受けている(課題番号 24656325)。また、数値解析プログラム(SPACE ver.3.60)では村田賢博士(名城大学)の多大なご支援を頂きました。ここに、謝意を示します。

【参考文献】

- 1) George W. Housner, Limit Design of Structures to Resist Earthquakes, Proceedings of the World Conference on Earthquake Engineering, Berkley, California, pp.5-1-5-13, 1956.
- 2) 秋山宏:「建築物の耐震極限設計」, 1987.
- 3) 多田元英, 米山隆也: 建築物の屋上に設置された 2 層立体トラスの鉛直地震応答性状, 日本建築学会構造系論文集 第 452 号 pp.77-86, 1993.10.
- 4) 松浦由紀, 谷口与史也: 平面ラチス梁の終局耐震性能に及ぼす静的安全率の効果, 日本建築学会構造系論文集 第 77 巻 第 674 号 603-609, 2012.4.

討議

討議 [谷池 義人]

エネルギースペクトルと速度応答スペクトルの比率 V_E/S_V-1 はどのようにして求められるか. また, 粘性エネルギーの効果はどのようにになっているか.

回答

いずれのスペクトルにおいても, 各モデルの固有周期に対応した数値が用いられ, 算出されています.

上昇量は, 個材の塑性曲げ変形による履歴消費エネルギーによるものであると考えられ, 粘性エネルギーとの関係は確認されておりません.

討議 [松村 政秀]

上昇量 b は, どのような解析モデルにおいて適応可能な理論であるか. また, 弾性範囲ではどのような性質をもっているか.

速度応答スペクトル, エネルギースペクトルを算出する際の減衰と時刻歴応答解析を行う上での減衰の関係はどのようにになっているか.

回答

本研究で対象としている解析モデルはよりシンプルに現象を理解するために決定されており, ラーメン構造などの一般的なモデルにも適応可能です.

弾性範囲内では, 静的解析と動的解析におけるエネルギー比率に差は生じないため, 上昇量は生じません. Fig.13 に示したように, 弾性範囲内では横軸が 0 であるときに対応します.

いずれの場合も, 減衰定数 $h=0.02(2\%)$ として計算・解析を行っています.

討議 [谷口 与史也]

既往研究との推定法の違いによる差はどのようにになっているか.

回答

Fig.9 と Fig.13 を比較するとより精度よく推定されていることが確認されております.

討議 [山田 卓]

本理論の適応範囲はどうなっているか. (対象・解析プログラム)

回答

対象となるモデルは関係なく, 使用するプログラムにも依存しないと考えております.