

特定天井の終局耐力評価

(その1) 評価方針と単調増加加力実験

正会員
正会員

○小林 俊夫*
小村 祐太郎**

特定天井 ユニットモデル 許容耐力

終局耐力 Energy 一定則

1. はじめに

特定天井に関する文献¹⁾において、下記の記述がある。
天井脱落対策に係る技術基準としては、本来、極めて稀な地震動の発生時（大地震時）においても脱落しないことを目標とすべきではあるが、現在の技術的知見では、大地震時における構造躯体に吊られている天井の性状を明らかにすることは困難であるため、今回の技術基準については、天井の性状をある程度想定することが可能な稀な地震動の発生時（中地震時）において天井の損傷を防止することにより、中地震を超える一定の地震時においても天井の脱落の低減を図ることを目標として検討がなされている。

本報では文献¹⁾に則って中地震を対象として耐震設計された天井がどの程度の終局耐力を持っているか、ユニットモデルに対する加力実験により確認した。

2. 検討条件

2.1 検討対象震度

文献²⁾の国土交通省のHPで、下記のQ&Aがある。

Q：現在の建築基準法の耐震基準（新耐震基準）を満たしている建築物は、どの程度の地震に耐えられるのですか？

A：現行の耐震基準（新耐震基準）は昭和56年6月から適用されていますが、中規模の地震（震度5強程度）に対しては、ほとんど損傷を生じず、極めて稀にしか発生しない大規模の地震（震度6強から震度7程度）に対しても、人命に危害を及ぼすような倒壊等の被害を生じないことを目標としています。

将来発生する地震に対する耐震設計対象事象として、上限のない震度7を想定することの是非に関しては議論が複雑になるので本法ではとりあえず考慮しないこととし、極めて稀にしか発生しない大規模の地震としては震度6強を想定する。

2.2 計測震度と有効加速度との関係

文献³⁾の国土交通省のHPで、計測震度の算出方法が下記のように説明されている。（引用図等一部筆者が削除）

計測震度は、震度計内部で以下のようなデジタル処理によって計算されます。

1. デジタル加速度記録3成分（水平動2成分、上下動1成分）のそれぞれのフーリエ変換を求める。

2. 地震波の周期による影響を補正するフィルターを掛ける。

3. 逆フーリエ変換を行い、時刻歴の波形にもどす。
4. 得られたフィルター処理済みの3成分の波形をベクトル的に合成をする。
5. ベクトル波形の絶対値がある値 a 以上となる時間の合計を計算したとき、これがちょうど 0.3秒となるような a を求める。
6. で求めた a を、 $I = 2\log a + 0.94$ により計測震度 I を計算する。計算された I の小数第3位を四捨五入し、小数第2位を切り捨てたものを計測震度とする。地震情報などにより発表される震度階級は、観測点における揺れの強さの程度を数値化した計測震度から換算されるものです。

これによると、計測震度 I が 1 増加すると、有効加速度 a が $\text{SQRT}(10) \approx 3.16$ 倍となる。以上を総合し、文献¹⁾に則して記載すれば、「震度 5 強に対して天井の損傷を防止することにより、その 3 倍強の震度 6 強に対して脱落しないことを目標とすべきである。」となる。

3. ユニットモデル実験

3.1 実験概要と結果

筆者らは特定天井への使用を前提とし、3種類の工法に対し、各5種類の懐深さで、各野縁・野縁受方法の加力実験を実施し、文献⁴⁾に公表している。その結果をまとめて表1に示す。プレース材としては終局まで座屈が発生しないように十分な座屈耐力を持つ断面材を使用した。実務への便宜を図るために各工法ごとに損傷荷重を安全側に同一の値とした。ただし、簡易スペクトル法への適用を考慮し各試験体の損傷荷重時の剛性と減衰係数は個別に評価している。実験では実験設備と計測機器の安全を守るために顕著な剛性低下が確認された時点で加力終了としたが、天井の脱落までにはさらに余裕がある。

3.2 Energy 一定則

文献⁵⁾において、バイリニア(BL)型振動系の応答最大値の推定方法として、短周期系では仮想線形系と最大Energyがほぼ等しくなることを用いる方法が提案されている。即ち図1において、Energyとして最大耐力時の四角形OYUDuの面積と、仮想線形系の三角形OEDeの面積とがほぼ等しいことから、BL型振動系にFuを与える入力は仮想線形系ではFeを与える入力となる。三角形OADAと三角形OEDeとは相似形なので相似比をrとすると、 $Fe = r \times Fa$ となる。各試験体ごとに実験結果から $Eu/Ea = r^2$ を

求めると、許容耐力(F_a)に対する最大耐力(F_e)の倍率(r)が評価できる。こうして求めた(r)を表1に示し、さらにこれを確率変数として対数正規分布を適用し、各工法ごとに確率分布関数として平均値(μ)、標準偏差(σ)とともに図2(a)に示す。図2(b)には実験結果の最大耐力(F_u)を直接許容耐力(F_a)で除した結果を同様に示す。図2(c)には図2(a)と図2(b)の回帰式のみを重ね書きして示す。図2(b)の結果はエネルギー吸収能力を無視しているため図2(a)に比べて過少評価になっている。図2によると、許容耐力が高い工法の方が最大耐力までの倍率が低くなっている。これは高耐力工法を使用するとプレースの配置数が減るためプレース近傍へ応力が集中し、許容応力設計時点で既に周辺材の余裕耐力が減少しているためである。

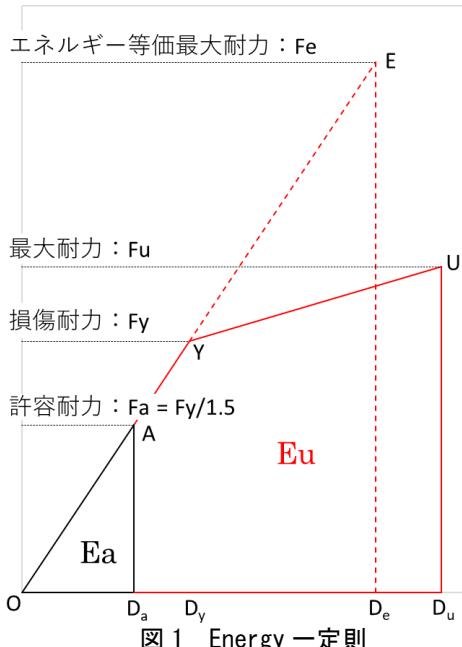
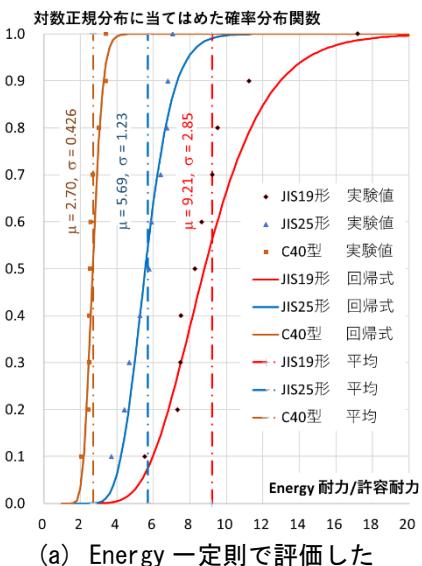


図1 Energy一定則



(a) Energy一定則で評価した
最大耐力比(Fe/Fa)

図2 最大耐力の許容耐力に対する比の確率分布関数

*桐井製作所 工学博士

**桐井製作所

4.まとめ

特定天井を対象として許容応力設計された天井の最大耐力評価法の一例を示した。その結果、各工法ごとの最大耐力特性が明らかになった。

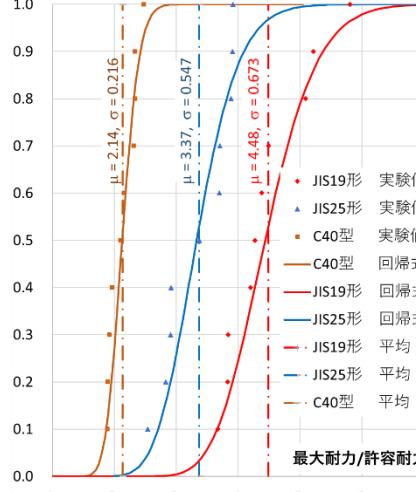
参考文献

- 国土交通省、建築研究所：建築物における天井脱落対策に関する技術基準の解説、2013.9
- http://www.mlit.go.jp/kisha/kisha05/07/071208_2_.html (参照 2022.02.10)
- https://www.data.jma.go.jp/svd/eqev/data/kyoshin/kaisetsu/calc_s indo.htm (参照 2022.02.10)
- KIRII 耐震天井 試験データ集
https://www.kirii.co.jp/download/dw/catalog/catalog_aseismic_data/book/index.html#target/page_no=15 (参照 2022.02.10)
- 柴田明徳、「最新建築学シリーズ9 最新耐震構造解析」、森北出版株式会社

表1 ユニットモデル加力実験結果

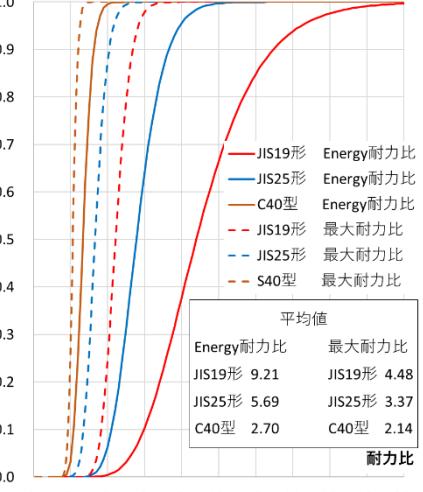
工法	横深さ (mm)	方向	許容耐力 F_a (N)	許容変位 D_a (mm)	許容時 Energy(Ea)	損傷耐力 F_y (N)	損傷時 Energy(Ey)	最大耐力 F_u (N)	耐力比 最大/許容	最大時変位 D_u (mm)	最大時 Energy(Eu)	Energy比 $r^2 = Eu/Ea$	耐力比 r
JIS19形	500	野線	1700	5.36	4556	2550	10251	8658	5.09	79.94	413179	90.69	9.52
	1000	野線	1700	0.77	655	2550	1473	9868	5.80	32.02	193113	295.05	17.18
	1500	野線	1700	6.91	5874	2550	13215	7265	4.27	89.86	403337	68.67	8.29
	2000	野線	1700	1.45	1233	2550	2773	8870	5.22	29.00	155944	126.53	11.25
	5寸勾配	野線	1700	8.61	7319	2550	16467	7135	4.20	90.82	393722	53.80	7.33
	500	野線	1700	3.79	3222	2550	7248	6245	3.67	26.38	98255	30.50	5.52
	1000	野線	1700	7.62	6477	2550	14573	7455	4.39	105.58	485559	74.97	8.66
	1500	野線	1700	1.96	1666	2550	3749	7640	4.49	20.46	93013	55.83	7.47
	2000	野線	1700	6.12	5202	2550	11705	6530	3.84	71.32	293820	56.48	7.52
	5寸勾配	野線	1700	1.57	1335	2550	3003	6508	3.83	26.80	113714	85.21	9.23
JIS25形	500	野線	2500	8.36	10450	3750	23513	9792	3.92	79.20	474867	45.44	6.74
	1000	野線	2500	5.00	6250	3750	14063	8438	3.38	40.84	217236	34.76	5.90
	1500	野線	2500	9.76	12200	3750	27450	9251	3.70	87.22	499256	40.92	6.40
	2000	野線	2500	3.45	4313	3750	9703	9768	3.91	33.10	198448	46.02	6.78
	5寸勾配	野線	2500	10.79	13488	3750	30347	7080	2.83	79.24	371790	27.57	5.25
	500	野線	2500	5.32	6650	3750	14963	7277	2.91	21.78	91049	13.69	3.70
	1000	野線	2500	12.60	15750	3750	35438	7298	2.92	67.88	306003	19.43	4.41
	1500	野線	2500	3.82	4775	3750	10744	9260	3.70	28.48	158733	33.24	5.77
	2000	野線	2500	11.48	14350	3750	32288	6350	2.54	72.66	312260	21.76	4.66
	5寸勾配	野線	2500	3.51	4388	3750	9872	9710	3.88	36.38	219276	49.98	7.07
C40型	500	野線	4200	5.69	11949	6300	26885	9805	2.33	22.32	137889	11.54	3.40
	1000	野線	4200	2.80	5880	6300	13230	7940	1.89	7.40	36014	6.12	2.47
	1500	野線	4200	7.80	16380	6300	36855	10395	2.48	29.86	188446	11.50	3.39
	2000	野線	4200	11.65	24465	6300	55046	7968	1.90	30.12	145256	5.94	2.44
	5寸勾配	野線	4200	8.65	18165	6300	40871	8065	1.92	18.02	77107	4.24	2.06
	500	野線	4200	9.40	19740	6300	44415	9050	2.15	25.18	129454	6.56	2.56
	1000	野線	4200	5.54	11634	6300	26177	8810	2.10	14.42	72338	6.22	2.49
	1500	野線	4200	7.58	15918	6300	35816	9802	2.33	24.80	143940	9.04	3.01
	2000	野線	4200	5.00	10500	6300	23625	8250	1.96	13.46	66984	6.38	
	5寸勾配	野線	4200	2.00	4000	6300	10000	9000	1.96	13.46	66984	6.38	

対数正規分布に当てはめた確率分布関数



(b) 実験で得られた
最大耐力比(F_u/F_a)

対数正規分布に当てはめた確率分布関数



Energy耐力比	最大耐力比
JIS19形 9.21	JIS19形 4.48
JIS25形 5.69	JIS25形 3.37
C40型 2.70	C40型 2.14

(c) 両者の重ね書き

図2 最大耐力の許容耐力に対する比の確率分布関数

* Kirii Construction Materials Co., Ltd., Dr. Eng.

** Kirii Construction Materials Co., Ltd.