
地震防災に関して地震動の強さの尺度について

株式会社 プラント耐震設計システムズ
池 田 雅 俊

1. まえがき

一般に地震動のゆれの強さは、地震後、気象庁が発表する震度階が使われ、大きな地震では震度 6 強や震度 7 となると大きな被害が発生していることがよく知られている。各地方行政庁、各地域防災本部では、気象庁から発表される震度階に応じて地震時の防災対策が発動される。

気象庁の震度階は、本来、明確な物理的意味はなく、“金魚鉢の水がこぼれる”、“家具が転倒する”や“木造建物が崩壊する”といった揺れや被害の状況から経験的に設定された。極端に言えば気象官署の担当官の感覚により決められてきたが、兵庫県南部地震のあと、客観性と迅速性と目的として、加速度を計測し、旧震度と同等になるように定められた式によりこの時刻歴の波形データを加工し得られた計測震度値から震度階を決定するように、厳格に定義されて、平成 8 年気象庁告示第 4 号で切り替えられた。

近年、地震動をリアルタイムに検知し、できるだけ早く地震防災上の措置を講じて地震災害を極力抑える努力が行われている。本稿では、プラントの設備に関して地震防災上の観点から地震動の強さの尺度について概説する。

2. 地震動の強さの尺度のいろいろ

一般に地震動の強さ (seismic intensity) を判断するのに、ここでは、震度、次のような種々の尺度がある。

1) 震度

震度には、気象庁の旧震度、新震度のほかに、MSK 震度、MM 震度がある。現在、日本では気象庁の新震度が広く使われている。MSK 震度は欧州で用いられる 12 階級の震度である。MM 震度は米国で用いられている 12 階級の震度である。

気象庁の震度階は、揺れの強さを体感上の判断から分類したものであり、被害の大きさとは必ずしも結びついていない。また、計測震度は地震動経過が 10 秒ごとに算出されるもので、リアルタイムの判断尺度としては必ずしも最適とはいえない。

2) 最大加速度 (PGA、Peak Ground Acceleration)

プラント設備等では、従来、計測の簡易な最大加速度 PGA の「ガル値」が使用されてきた。地震の強さは、防災的な観点から構造物の破壊現象と関連があり、最大加速度のみならず、地震動の卓越周期、継続時間などが破壊に大きく影響する。最大加速度だけからは被害との相関性は低いので、地震動による構造物の破壊等の現象を判断する尺度としては、必ずしも精度がよくない。最大加速度は計測の上限周波数により大きく変わる。加速度計測技術の進歩とともに、測定周波数の上限が次第に高くなっている。最大加速度と被害の相関性はますます低くなっている。

上限周波数を規定せず計測された最大加速度 PGA のほか、0.1Hz から 5Hz までを対象として

5HzPGA は、1985 年以來、旧国鉄、JR、東京メトロなどでも警報用として使われている。

3) 最大速度 (PGV、Peak Ground Velocity)

最大速度は地震動の持つ運動エネルギーに関係するので地震の強さの尺度として計測されることもある。

4) SI 値 (Spectral Intensity)

SI 値の由来は古く、アメリカのハウズナー (G. W. Housner) によって 1961 年に提唱された尺度で、地震によって一般的な建物にどの程度の被害が生じるかを数値化したものである。

SI 値は物理的意味が明確である。地震動による構造物の破壊等の被害は、地震発生時の構造物の振動エネルギーが関連している。そこで、構造物の振動エネルギーと直接関連する物理量として、構造物の地震時のゆれ速度の最大値 (応答速度スペクトル S_v) を、固有周期が 0.1 から 2.5 秒で減衰定数が 20% の構造物に対して平均した値を SI (Spectral Intensity) と定義した。したがって、個別の構造物の揺れの強さを表すのではなく、ゆれの速度の平均値を表している。なお、単位は通常、カイン (kine) すなわち cm/s としている。

プラントの設備の場合、固有周期は 0.1 秒から 2 秒くらいに分布しているので、SI 値は構造物の被害との相関性が高い尺度として、計測されることが多い。

しかしながら、近年、話題となっている高層ビルや石油タンクで問題となる長周期地震動 (固有周期が 2 秒くらいから 10 秒くらいの地震動) を表す尺度とはならない。

3. 地震動の強さの尺度の値

現実の地震に対してそれぞれの尺度の値がどの程度の地震動の揺れになるかを示すために、兵庫県南部地震及び新潟県中越沖地震におけるそれぞれの地震動の強さの尺度の値を表 1 に示す。

表 1 兵庫県南部地震及び新潟県中越沖地震における地震動の強さの尺度

地震	場所	最大加速度 Gal	最大速度 kine	SI kine	計測震度	震度
兵庫県南部地震	大阪ガス・葦合供給所	834	131	157	(-)	(-)
	気象庁・神戸海洋気象台	848	105	127	(-)	(-)
	神戸港第 8 突堤	730	189	191	(-)	(-)
	JR・鷹取	666	138	163	(-)	(-)
新潟県中越沖地震	K-NET・柏崎	813	126	131	6.37	6 強
	K-NET・小千谷	527	47	52	5.58	6 弱

JR 東日本の新幹線の運転規制は、表 2 にみられるように、安全側に 18 以上で運転中止としている。

表 2 JR 東日本の運転規制

	旧尺度	新尺度
	最大加速度 (ガル: cm/sec^2)	SI 値 (カイン: cm/sec)
速度規制	80 以上 120 未満	9 以上 18 未満
運転中止	120 以上	18 以上

気象庁震度階や最大加速度及びSI値は相互に直接対応していないが、適切な仮定を置き算定すると、表3に示すような凡その対応関係を得ることができる。

この表で分かるように、震度5強、PGA=250 Gal, SI = 30kineくらいになると、かなり激しい地震といえる。震度6弱、PGA=300 Gal, SI = 50kineを超えると、大きな被害の可能性が予測される。

表3 地震動の強さ尺度の対応表

計測震度	震度階	旧震度階 (体感)	SI (kine)	加速度 (Gal)
0.5	0	0	0.1	0.6
0.75	1	0	0.1	0.8
0.94			0.2	1
1.55	2	1	0.4	2
1.75			0.4	2.5
2.34	3	2	0.9	5
2.75			1.5	8
3.3	4	3	2.8	15
3.55			3.7	20
3.74	5弱	4	4.7	25
4.34			9.4	50
4.5	5強	5	11.4	60
4.75			15.3	80
4.94	6弱	6	19.1	100
5.03			21.2	110
5.45	6強	7	34.7	180
5.5			36.8	190
5.74	7	6以上で 破壊現象 から事後 判定	48.8	250
5.95			62.5	320
6.01	7	7	67.1	340
6.1			74.6	380
6.15	7	7	79.1	400
6.47			115.1	580
6.5	7	7	119.3	600
6.94	7	7	200.0	1000

4. 耐震設計基準との関係

高圧ガス設備の耐震設計基準では地表の最大加速度が規定されて、地震動の強さの尺度としての最大加速度 PGA との関係は明確である。しかしながら、同耐震設計基準では周波数(又は固有周期)特性を応答スペクトルの形で規定して修正震度法による耐震設計を要求しているが、最大加速度PGAを地震動の強さの尺度として採用するとき、この建造物の周波数特性は考慮されていないので、必ずしも被害と直結した尺度とはいえない。

SI 値に関して、同耐震設計基準で規定される応答スペクトル用いて、基準で規定している SI 値(kine)を算定することができる。レベル 2 地震動の強さについて、例として重要度 a の設備の場合について算定すると、表4のようになる。およそ 80 から 130 カインに設定されている。被害に直結するような強い揺れが見込まれる軟弱地盤(第4種地盤)で大きな SI 値が規定されて、同耐震設計基準及び SI 値の妥当性が分かる。

表 4 高圧ガス設備等耐震基準における設計上の SI 値
(耐震重要度 a、レベル 2 地震動の場合) (単位 kine)

地域 区分	地盤種別			
	第 1 種	第 2 種	第 3 種	第 4 種
SA	37	72	110	130
A	30	58	88	104
B	26	51	77	91
C	26	51	77	91

SI 値は建造物の地震時の揺れ速度(エネルギー)を表し、終局強度設計法において定義されている「その建造物に入力されるエネルギー総量」と直接関連している。

加速度や変位といった地震動の振幅だけではなく、地震動の周波数特性を考慮しており、物理的意味も明確な SI 値計測により、被害を的確に予測し、防災対策に有効に利用することが可能である。近年の計測技術の発展により、高機能、高信頼性を達成しながら小型、軽量化・低価格化された SI 計が商品化されている。

なお、SI 計は、微小地震を捕らえる分解能の高い計測には適さないが、被害が予測される強震を計測するのに適している。

5. おわりに

現状では一般的にプラント設備においては、最大加速度 PGA を尺度として、地震時の例えば 150 ガルで緊急運転停止するなどが行なわれてきた。

一方で SI 値は、耐震設計基準と対応づけが明確であり、地震動の揺れの強さの尺度として信頼性の高い地震防災上の措置がとれる。また、SI 値の計算間隔は、地震計の機種にもよるが、1 秒以下の計測で警報を出すことが可能でありといわれており、リアルタイムの地震動の揺れの強さの判断基準として適切であるといえる。

新幹線や都市ガス配管網の地震対策で見られるように、コスト的にも利点のある SI 計測計を多数の地点で設置して、広範囲の地震動の強さ分布を把握し、きめ細かい地震防災対策の実施の可能性を与えている。

プラントの設備に関して、SI 値を地震防災上の地震動の強さの尺度としては、多くは用いられていないが、これを採用するメリットは十分あるものと考えられる。