

(160) 制御用地震センサーに使用する地震動強度指標の実証的評価

東京ガス	導管計画部	○岩田 隆
東京大学	生産技術研究所	山崎文雄
東京ガス	千葉導管ネットワークセンター	中根宏行
東京ガス	導管計画部	児玉英一
清水建設	技術研究所	田蔵 隆
清水建設	技術研究所	清水勝美
清水建設	技術研究所	片岡俊一

1. はじめに

プラントや工場などで地震制御に使用されているセンサーの多くは、最大加速度を地震動強度指標としている。しかし、300ガルを超える大きな加速度が観測された場合でもその周辺の建物やライフライン等に被害が発生しなかったという事例も報告されており、地震被害により的確に対応した地震動強度指標の研究の必要性が指摘されている。

本研究では千葉県東方沖地震やロマ・プリエタ地震等最近の地震を含めた過去の被害地震について地震記録を独自に調査・分析するとともに、過去の被害文献調査を行った。また、これらの地震で得られた記録波形より最大加速度、最大速度、SI値、最大変位を求め、地震調査結果との対応性の評価を行い、制御用地震センサーに使用する地震動強度指標として、地震被害とより密接に関係した、最大加速度に代わる物理量を求めた。

2. 最適な地震動強度指標の求め方

地震強度指標としての最も重要な条件が2つある。第一に、その大きさが一定値以上になったことによって、地震被害が有ることを的確に予測できることである。さらに第二として、一定値未満であることによって、地震被害が無いことを予測することも重要である。一方、地震動強度指標としては、最大加速度の他に、最大速度、SI値、最大変位等が考えられる。これらの4種類の値は過去の地震記録から計算できるので、これらの指標の計算値と記録地点周辺の地震被害との関係から、各指標ごとに上記の2つの条件の達成度合を実証的に評価できる。

地震動強度指標がある値(閾値)を超えたことをもって地震制御を実施する場合、その判断の妥当性は次の2種の評価項目で測ることができる。

P1(制御が妥当である確率) : 強度が閾値以上の値で実際に被害の有る確率

P2(不制御が妥当である確率) : 強度が閾値未満の値で実際に被害が無い確率

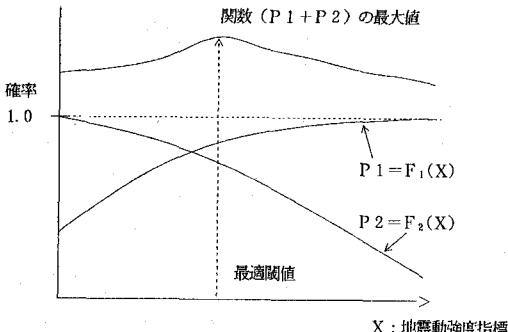


図-1のように2つの関数は、P1が強度指標の閾値とともに増加しP2が減少する関係にある。したがって、下式のように重み付けを行った評価関数の最大値を求めることによって、当該地震動強度指標の最適閾値を決めることとした。

$$\text{評価関数} = a * P1 + b * P2$$

ただし a, b は重み定数

ここでは、a, bとも1.0として被害判定データを用いて最適閾値を求めた。

図-1 制御のための地震動強度指標の最適閾値

3. 地震被害調査と被害判定

¹⁾片山らは、過去の地震記録を解析・整理して、地震被害の有無の判別には最大加速度よりもS I値の方が優れているという結果を示している。本研究では、この手法にならない、まず過去の主要地震の記録を収集し、その記録地点の被害の有無の調査を行うこととした。次にその結果と記録から計算した地震動強度指標の値の関係を分析・整理し、各地震動強度指標の妥当性を評価した。記録地点の周辺被害については1987年千葉東方沖地震や1989年ロマ・プリエタ地震については独自の調査を行い、その他は²⁾~¹¹⁾文献調査により被害判定を行った。

表-2 地震記録地点の被害 判定結果

地震名	判定結果 (データ数)			
	有り	有り	無し	計
新潟地震 (1964)	1	0	0	1
松代群発地震 (1965~66)	1	2	20	23
十勝沖地震 (1968)	3	0	0	3
宮城県沖地震 (1978)	2	0	2	4
日本海中部地震 (1983)	2	0	0	2
千葉県東方沖地震 (1987)	0	2	7	9
伊豆半島東方沖地震 (1989)	0	2	2	4
インペリアルバレー地震 (1983)	1	0	0	1
サンフェルナンド地震 (1971)	3	2	1	6
メキシコ地震 (1985)	2	0	0	2
ロマ・プリエタ地震 (1989)	13	2	4	19
計	28	10	36	74

表-1 地震被害ランク

被害ランク	有り	無し	やや有り
建築構造物 (家屋・建物 他)	10戸以上の建 物が半壊以上の 被害を受けてい る場合	瓦や非構造部材 の被害しか生じ ない場合	左記以外
土木構造物 (埋設管・ 橋梁・ダム他)	埋設管に10件 以上の被害があ るか、その他の 構造物の一つ以 上被害を受けて いる場合	被害報告が無い 場合	左記以外

地震計設置地点周辺の被害の有無の判定は、原則として地震計の置かれている地点を含む市町村程度(約10km四方)のエリア単位で行うこととした。対象構造物としては、対象構造物被害の特殊性を避けるため一般の家屋・建物や埋設管を対象とすることが望ましいが一方、なるべく多くのデータを確保するためには、できるだけ多くの種類の構造物の被害状況も考慮して判定すべきである。このような状況で被害の有無を分かりやすく判定するため、エリア内の構造物を建築と土木の両構造物に分けそれらの被害を表-1に示す3ランク(有り、やや有り、無し)に分類した。それに基づいて、被害の有無が明らかなものだけを判定しそれ以外は『判定不能』とした。また、地震計の置かれている地盤と判定の対象となる構造物が存在する地盤が著しく異なる場合、及び地盤が同種である場合でも強度が高く壊れる可能性の少ない構造物しか存在しない場合は『判定不能』とした。被害判定結果を表-2に示す。

4. 解析結果

図-1に従って、11地震の計74地点について各地震動強度指標値を求め、各地震動強度指標の最適閾値を求めた結果を図-2に示す。

この図より求めた各地震動強度指標に対応する最適閾値と最適閾値におけるP1+P2の値を表-3に示す。

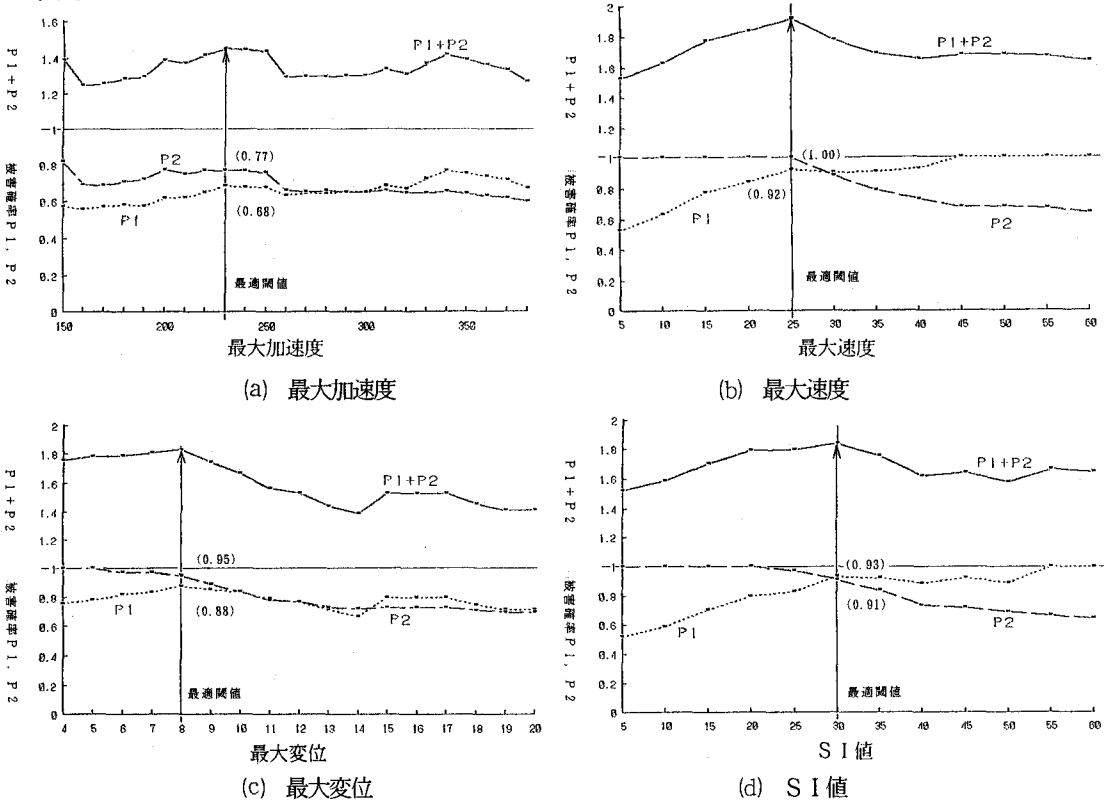


図-2 実地震に基づいた地震動強度指標値と評価関数との関係

表-3 地震動強度指標の最適閾値

地震動強度 指標	最適閾値	最適閾値における値		
		P1	P2	(P1+P2) ÷2
最大加速度	230 gal	0.68	0.77	0.73
最大速度	25 Kine	0.92	1.00	0.96
最大変位	8 cm	(0.88)	(0.95)	(0.92)
SI値	30 Kine	0.93	0.91	0.92

このように、各強度指標の間に被害有無との相関において差があることが分かった。結果として評価関数の最大値が高かったのは、最大速度、SI値、最大変位であった。しかしながら、最大変位を用いた場合は、図-2 dに示すように8cmを超えてからP1の変動が減少傾向になっている上、最大変位の値そのものが正確に算定できていない可能性も考えられたそのためその値は参考程度にとどめることとし括弧にくくり区別した。

(注) P1とP2を算定する際は、両方共『やや有り』を含んだ値とした。

これらの分析・評価から、被害の程度を最も適切に表す地震動強度指標としては最大速度とS I値の2つが挙げられる。表-3に示すようにP1、P2とも0.9を超えており、過去の実績では90%以上の確率で適切な地震制御を行うことができるであろうという結果となった。これに対して、最大加速度は相対的に確率が低いという結果となり、従来指摘されていたことを定量的かつ実証的に裏づけることができた。

5. 謝辞

本研究を行うにあたって、東京大学生産技術研究所の片山恒雄教授及び㈱大崎総合研究所の勝倉裕博士に有益なご助言を頂きました。

参考文献

- 1) 佐藤, 片山, 大保, 川崎, 新しい制御用地震センサーの開発と試作, 第18回地震工学研究発表会, 土木学会, 1985
- 2) 日本瓦斯協会, 新潟地震と都市ガス, 1965
- 3) 気象庁, 松代群発地震調査報告, 気象庁技術報告 第62号, 1968
- 4) 建築学会, 1968年十勝沖地震災害調査報告
- 5) 日本瓦斯協会, 宮城県沖地震と都市ガス, 1979
- 6) 土木学会, 1983年日本海中部地震震害調査報告書
- 7) 千葉県, 昭和62年(1987年)千葉県東方沖地震-災害記録-, 1989
- 8) 静岡県, 伊豆半島東方沖群発地震の被害状況, 1990
- 9) Ulrich, F.P., "The Imperial valley Earthquake of 1940", BSSA, Vol. 31, No. 1, 1941
- 10) 土木学会耐震工学委員会: サンフェルナンド地震(1971年2月)の震害について土木学会論文報告集 第195号, 1971
- 11) 土木学会, 1985年メキシコ地震の被害とその復旧, 1986