

I-156

情報化都市におけるオンライン地震警報システム (SAMSON)
(その2: 実地震記録によるシミュレーション)

(株)大林組	正会員	竹内 義高
同	同	後藤 洋三
同	同	宇梶 賢一

シミュレーションの範囲

ここでは(その1)で示されたSAMSONの機能のうち、地震のパラメータ計算までの部分に関し、実地震記録をもとにしたシミュレーションを行い、その有効性を評価する。

SAMSON各部の計算アルゴリズム

(その1)の図-1で示した概念図の各部についての計算アルゴリズムを示す。

(1) トリガーアルゴリズム

地震センサーから得られた地動の変位(x,y,z)と加速度(x,y,z)より、しきい値(T_d, T_a)と比較し、

$$T_d < \sqrt{x(t)^2 + y(t)^2 + z(t)^2} \quad (1)$$

$$T_a < \sqrt{f(t,x)(1-\alpha)}, \quad f(t,x) = f(t-dt, \ddot{x}) + \ddot{x}(t)^2 + \ddot{y}(t)^2 + \ddot{z}(t)^2 \quad (2)$$

のいずれかで、トリガーを作動させる。この時間をP波到達時間とする。

(2) 地震波処理ユニット

ここで計算される地震波パラメータは卓越周期成分、S波到達時間とP波振幅である。

卓越周期(F_w)の計算では以下の式を用いる。ここで、関数fは式(2)で定義されたものである。

$$F_w(t, \Delta t) = \int_{t-0.5\Delta t}^{t+0.5\Delta t} \frac{f(\tau, \ddot{x}(\tau)) / f(\tau, \ddot{x})}{2\pi} d\tau / \Delta t \quad (3)$$

S波の到達はP波とS波の卓越周期に差があることを利用して把握する。例として、図-1にはLoma Prieta地震時、Hollister サイトで観測された地震波から計算された卓越周期の時刻歴を示す。同図にはゼロクロッシング法で得られた結果とP/S波それぞれの平均値も併せて示す。地震開始時から約6秒後に明確な卓越周期の低下が見られる。本ユニットではこれをS波到達と認識している。なお、P波振幅はこのS波到達以前の波の最大振幅とした。

(3) 安全性評価ユニット

ここでは3箇所以上の地点でのP波到達時間をベース

に収斂計算を行い、震央位置と現時点でのP波の到達範囲を求める。次にP波振幅と震央距離からマグニチュード(Body Magnitude)を求める。さらに、当該地域までの距離と地域でのマイクロゾーンエーションのデータから各地点での予想される地動の最大加速度、卓越周期、残された時間を求め、個々の施設の構造特性や社会的重要性も考慮して各施設に適切な安全性指標を伝える。各施設ではこの安全性指標と主要動到達までに残された時間をもとに、安全対策を講じるものとする。

シミュレーション結果

ここでは、地震の観測網が整備されている点と、大規模な被害を生じた地震としては最も新しいものの1つであるという点から、Loma Prieta地震(米国カリフォルニア州、1989年)において観測されたデータをもとにしてシミュレーションを実施した。地震波は図-2に示してある17点に配備された強震計が記録したものをを用いた。現実の状況とは異なるが、これらの強震計はオンラインでSAMSONとつながっているものと仮定した。

地震の発生後、SAMSONによりリアルタイムで得られた震央位置とマグニチュードの計算誤差の経時変化を表-1に示す。これらより、震央位置、マグニチュード共に地震の発生後4秒～5秒後には求められる事がわかった。時間の経過とともにデータを提供できる観測点が増加するため、これらの計算結果は基本的に精度が上がっていく傾向にあり、その誤差は本シミュレーションにおいては震央位置で0.1km、マグニチュードで-0.02にまで向上する。これは、システムの目的からみて十分実用に耐えうるものであると思われる。

次に、表-2に主要都市での警報から地震動到達までの猶予時間を、また図-2にシミュレーションから得られたゾーン区分の結果を示す。図中には、1次警報及び2次警報発令時に地震波の先端部がどこまで広がっ

ているかを併せて示す。本シミュレーションによると、人口密集地であるSan Francisco湾岸地域はCゾーンにはいり、1次警報及び2次警報の両方から安全対策を講じる余裕がある。例えばSan Francisco では1次警報からP波の到達まで約12秒、2次警報からS波の到達まで約18秒の先行時間があり、C-3ゾーンに含まれる。従って、Loma Prieta 地震のケースではSAMSONにより2次災害を減少させることが可能であると考えられる。

まとめ

ここでは情報化された都市に対し、地震防災の観点からリアルタイムで機能するオンライン地震警報システム(SAMSON)の概念を紹介し、その適用性を検討した。米国カリフォルニア州で過去に観測されたLoma Prieta地震のデータをもとにしてシミュレーションを実施し、SAMSONの有効性に期待できる事が確認された。なお、本研究は米国スタンフォード大学との共同研究の一部である。

表-1：地震発生後SAMSONの算定した地震パラメータの出力時間と誤差の経時変化

時間 (秒)	震央位置の誤差 (km)	時間 (秒)	M b の誤差
3.93	3.51	4.97	-0.37
5.88	0.88	7.98	-0.11
5.90	0.25	9.19	-0.11
6.51	0.10	9.24	-0.02

表-2：人口密集地におけるSAMSONの警報から主要動到達までの猶予時間

地点名	1次警報からP波到達まで	2次警報からS波到達まで	ゾーン区分
San Jose	2.43 秒	3.90 秒	C-1
Monterey	4.93 秒	7.85 秒	C-2
San Francisco	11.55 秒	18.30 秒	C-3
Oakland	11.85 秒	18.77 秒	C-3

参考文献

- 1 : Y.Nakamura (1988). "On the Urgent Earthquake Detection and Alarm System (UrEDAS)," Proceedings of 9th World Conference on Earthquake Engineering (Vol. VII), pp 673-678
- 2 : W.A.Prothero, W.J.Taylor, and J.A.Eickemeyer (1988). "A Fast, Two-Point, Three-Dimensional Retracing Algorithm Using a Simple Step Search Method," Bulletin of the Seismology Society of America, Vol. 78, No.3, June 1988, pp 1190-1198
- 3 : United States Geological Survey (1989). "The Loma Prieta Earthquake of October 17, 1989," United States Government Printing Office, November 1989
- 4 : H.A.Smith, Y.Takeuchi and H.C.Shah (1991). "Integrated Systems for Active Control of Intelligent Buildings," Proceedings of the 2nd Conference on Tall Buildings in Seismic Regions, Los Angeles, California, May 1991

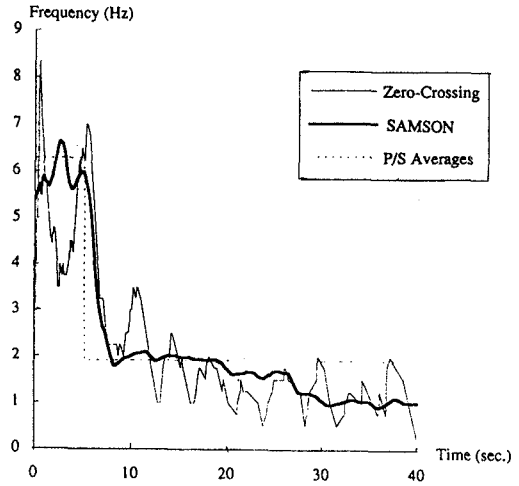


図-1：Loma Prieta 地震時、Hollister サイトにおける観測地動加速度の卓越周期の変化

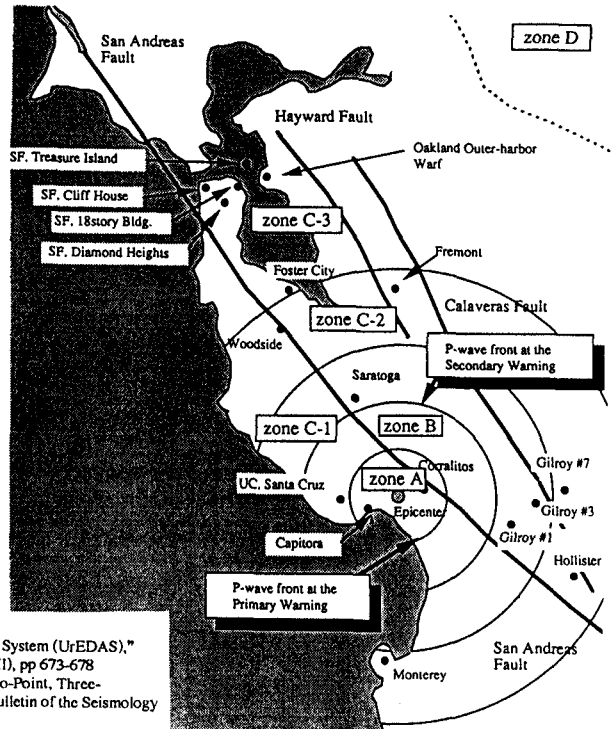


図-2：シミュレーションから得られたゾーン区分の結果