

(31) 加速度地震計ネットワークによる 地震諸元の概略推定

建設省 ○池田 鉄哉
東京大学生産技術研究所 片山 恒雄
東京測振(株) 佐藤 暢彦

1. 研究目的および解析使用データ

近年では都市型ライフラインネットワークシステムが広がり、大都市への依存が高まるにつれて、地震発生による破損、ひいてはその機能低下が懸念されている。このため地震発生後直ちに被害地域を把握し、最小限のシステム制御を行い、迅速な復旧を行う総合地震防災システムの確立が求められる。本研究では広域地震観測網による記録を用いた都市型ライフラインネットワークに対する地震時被害制御システム、すなわちライフラインの都市供給ネットワークに対する地震後の応急措置的な制御システムに必要な距離減衰特性、地盤の増幅特性を考察し、地震諸元の概略推定を行う。

ここでは実例として図1に示すような首都圏広域にわたる地震観測ネットワークにおいて、これまでに実測された地震動データを用いて地震発生より十数分以内に震源位置およびマグニチュードを概略推定する方法を検討する。この図は1987年千葉県東方沖地震による記録であり、これらの38地点ではこれまでに

154地震の地表面最大加速度値が観測されている。四角枠で囲まれた地点では地表面、地中における地震波形が観測されている。観測地震数はそれぞれ異なり、東京大学生産技術研究所千葉実験所では127個、永福町では77個と多く、その他の観測地点では10～40個程度であった。また地中での地震計はそれぞれ埋設深さが異なるものの、N値にして40～50に設定されており、これは工学的基盤と考えることができる。本研究の流れはこれらの地表面、地中での観測地震波形から得られた最大加速度など地震動強度の距離減衰特性を調べ、それを地表面での加速度観測ネットワークに拡張して地盤の増幅特性を考察し、最終的には地震諸元を概略推定しようとするものである。

2. 距離減衰特性

これまでの地震工学分野における距離減衰式は主に地表面の最大加速度に関するものであり、地中の最大加速度に関するものは十分論議されていない。しかし地震波は一般に基盤内を伝播し、表層において重複反射しながら増幅する。ここでは、表層の増幅などの影響を受けにくい地中の最大加速度値を用い、次の形で表される距離減衰式を求める。

$$\log_{10} A_{max} = \alpha + \beta M - \gamma \log_{10} R \quad M: \text{マグニチュード} \quad R: \text{震源距離 (km)}$$

図1の四角枠で囲まれた観測地点での地中地震計は、工学的に基盤と考えられる深さに埋設されているので、

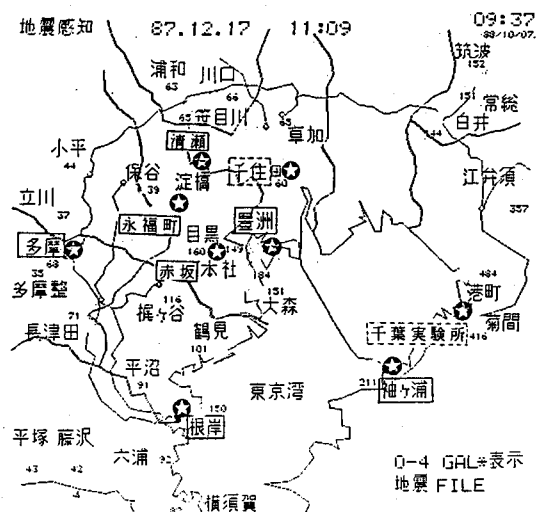


図1 東京ガス(株)最大加速度画像出力例
(1987.12.17)

これらの地点での地中の全地震記録を用いて重回帰分析を行うと、地中最大加速度距離減衰式は次式となる。

$$\log_{10} A_{max} = 0.6987 + 0.4877 M - 1.2930 \log_{10} R$$

重相関係数 $r = 0.68$

この距離減衰式と重回帰分析で用いた全データのばらつきを図示したものが図2である。同様に地表面の観測最大加速度記録について求めた距離減衰式の重相関係数は $r = 0.64$ であり、上式のように地中の記録を用いた方が重相関係数は高い。また地表面および地中の加速度波形から算出したSI値（減衰定数を5%）に関しても重回帰分析を行ったところ、地表面SI値の距離減衰式では重相関係数 $r = 0.76$ 、地中SI値を用いた場合は $r = 0.85$ となり、いずれも最大加速度を用いた場合よりも高い重相関係数を示した¹⁾。しかし図1に示す地点のうちSI値が観測されているものは四角枠で示されている地点だけであり、また観測地震数も10～40個と少ないため本報告ではSI値を用いた解析結果は使用しないことにした。

次に図2に示す距離減衰式と各地点で観測された地中最大加速度を用いて求めた距離減衰式を比較したものが図3である。いずれの直線も $M = 6.0$ の場合である。図2の全記録から求めた距離減衰式は太線で示してある。このとき縦軸の標準偏差は $\sigma = 0.50$ であり、各地点での観測記録から求めた距離減衰式はすべてこの値以内に収まった。従って全観測地点の記録から求めた距離減衰式を代表として以下の解析に用いることとする。

3. 地盤の増幅特性

地盤の増幅特性には観測地点の地盤条件、発生地震の卓越周期成分が影響することが知られている。このことを検証するため、比較的多くの地震記録が観測されている千葉実験所および永福町（図-1）での最大加速度記録を用いて地盤増幅率を求めた。図4は各観測地震の震源距離とマグニチュードを横軸と縦軸にとり、地表面最大加速度値を地中最大加速度値で除して求めた地盤増幅率を円の大きさに表している。この図から千葉実験所では震源距離60～80kmの短周期成分の卓越する地震が、永福町では震源距離100～200kmの長周期地震が大きな地盤増幅率を与えている。一方地盤の卓越周期 T_0 は千葉実験所では0.53sec、永福町では1.14secであった。このことより千葉実験所は短周期地盤を有するため短周期地震で大きな地盤増幅率が得られ、永福町は長周期地盤であるため長周期地震で大きな地盤増幅率が得られることが分かった。

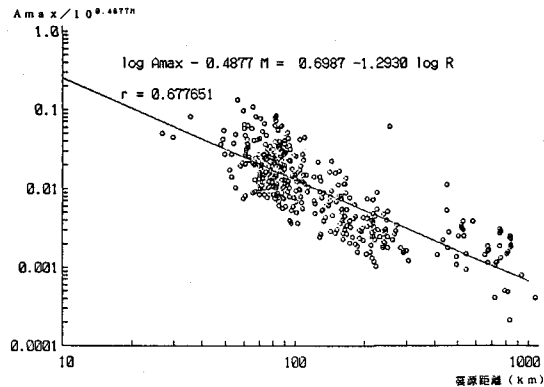


図2 地中最大加速度距離減衰式

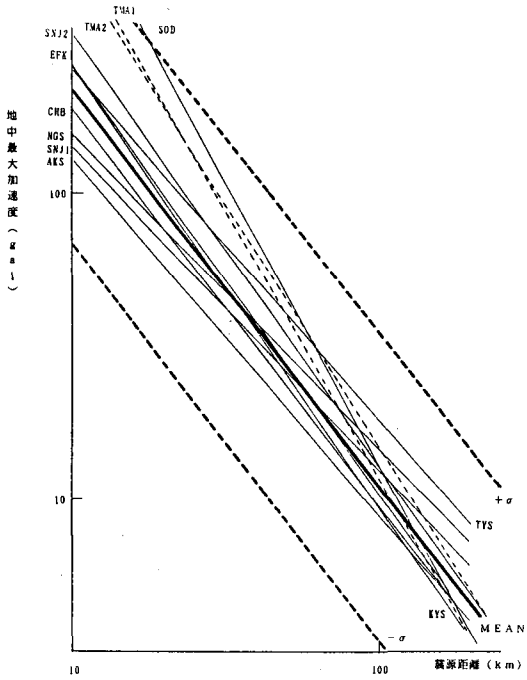


図3 地中最大加速度距離減衰式比較図 ($M = 6.0$)

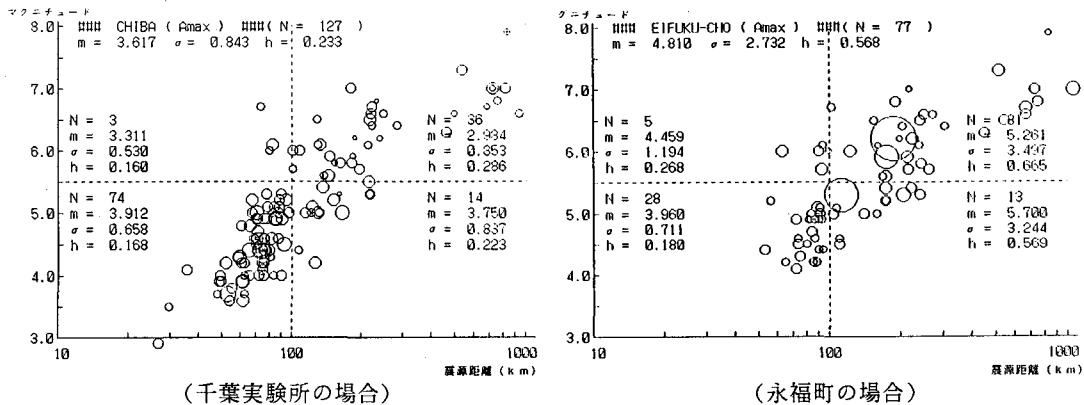


図4 観測地震の震源距離・マグニチュードと地盤増幅率の関係

次に2. で求めた最大加速度の距離減衰式に地震月報などからすでに分かっている地震諸元を代入して地中の最大加速度を推定した後、この値で図1の地表面最大加速度ネットワークの観測記録を除いて地盤増幅率を求める。長周期地震としては鳥島西方地震（1984年3月6日）、短周期地震としては茨城県南部地震（1985年10月4日）を例に取り上げ、地盤増幅率と各地点での地盤の卓越周期 T_g との関係を図5に示す。鳥島西方または茨城県南部地震時の地盤増幅率を p 、各地点で観測された全地震についての地盤増幅率の平均値を m として、 p/m をこの図の

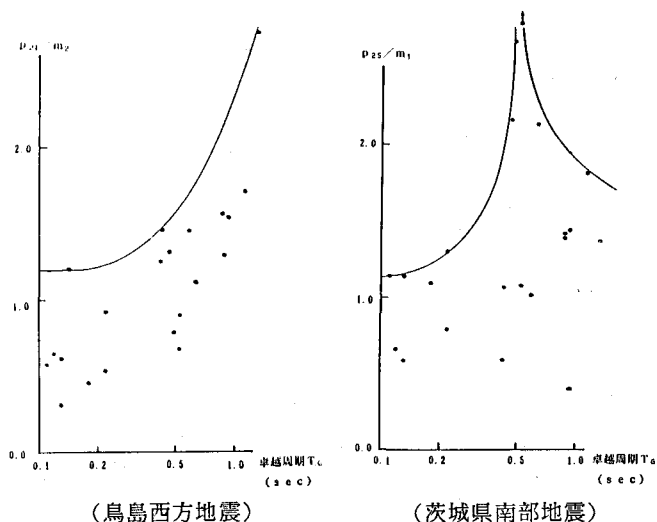


図5 地盤増幅率 p/m と卓越周期 T_g の関係

縦軸とした。 p には地盤そのものの増幅特性が含まれており、平均値 m で割ることにより、その影響を除去し、ここで対象とする2つの地震の周期成分だけの影響を考えようとしたものである。図5によれば(a)の鳥島西方地震では $T_g \approx 1.2\text{sec}$ 、(b)の茨城県南部地震では $T_g \approx 0.5\text{sec}$ で極大値を有するような上限包絡線が描かれる。すなわち地盤増幅率は長周期地震については地盤の卓越周期が長いところで極大となり、また短周期地震については地盤の卓越周期の短いところで大きくなることが想像される。しかし発生地震の周期成分を考慮した地震時応急制御システムを構築するには、観測地点の地盤および発生地震の卓越周期を入力値として地盤増幅率を具体的に算出しなければならず、今後、地盤増幅率と地震および地盤の卓越周期の関係をさらに明らかにする必要がある。

4. 地震諸元の概略推定

図1に示すような地表面最大加速度の観測記録を用いて、これまで首都圏近郊で発生したマグニチュード5.0以上の比較的大規模地震の諸元を概略推定する。 A_{real} を観測値、 A_{cal} を2. で求めた地中の最大加速度距離減衰式と3. で求めた各観測地点の地盤増幅率平均値による推定値とする。観測値と推定値の自乗和を最小にする、すなわち

$$\Sigma (A_{real} - A_{cal})^2 \rightarrow \min.$$

となるように推定した地震諸元と気象庁発表の地震諸元との比較を図6に示す。対象とした16地震のうち12地震は震央位置にして30km以内の差となり、またマグニチュードについてはすべての地震が0.5ごとに分類した同じ区分に属していた。この推定方法はP S観測時間差を用いたものではなく、観測最大加速度値を用いたものである。しかしこれによって最尤な解が得られているかどうかは疑わしい。地震諸元の概略推定にあたり最大加速度距離減衰式やそれによって求めた地盤増幅率のばらつきの大きいことが考慮されていないこと、さらに地盤および地震の卓越周期成分が考慮されていないことなどが問題として残っている。地震動強度としては最大加速度よりもばらつきの小さいと思われるS I値が望ましく、その観測ネットワークをいっそう広域かつ均等に敷設すること、また地震諸元の概略推定方法を改善すること、さらに地盤増幅率と地盤および地震の卓越周期の関係を明らかにすることなどが今後の課題である。

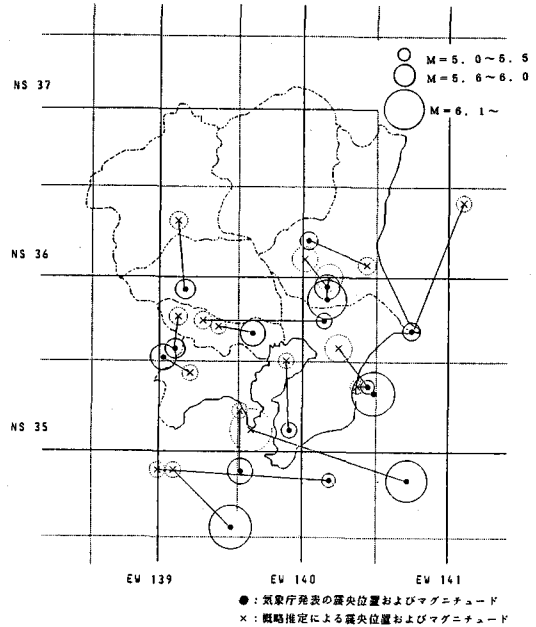


図6 気象庁発表の地震諸元と
概略推定による地震諸元との比較

5. 結論および今後の課題

地表面、地中での観測最大加速度値を用いて距離減衰式や地盤増幅率を評価し、地震諸元の概略推定を行った。このように独自の地震観測ネットワークにより地震諸元が概略推定されれば、文献(2)に示す首都圏の微地形分類、液状化限界加速度分布図や地盤応答解析を組み入れて、地震発生から数十分で都市型ライフラインを応急制御するシステムを構築することが可能になる⁽¹⁾。しかし文献(1)で提案されたシステムは、まだ精度の面で不十分である。その理由の1つは最大加速度距離減衰式や地盤増幅率のばらつきが大きいことであり、将来はS I値を用いた観測を行うことが望ましく、さらに地震諸元の推定方法を改善することも必要である。このような問題点を解決することにより、地震発生の影響を考慮してシステム制御の精度を更新出来る都市型ライフラインネットワークの総合的地震防災システムとなるであろう。

謝辞

本研究で用いた地震記録はすべて東京ガス(株)から提供されたものであり、その厚意に篤く感謝したい。

参考文献

- 1) 池田鉄哉：都市型ライフラインの地震時応急制御システムの構築、東京大学修士論文、1989。
- 2) 片山恒雄ほか：埋設管の地震被害危険度から見た東京首都圏の地盤ゾーニングについての研究、地震予知総合研究振興会、1988。