

(81) 徳島測候所の記録を利用した関東地震の東京本郷における地動の推定  
 Estimation of the ground motion during 1923 Kanto earthquake at Hongo, Tokyo using seismogram obtained at Tokushima.

清水建設(株) ○片岡俊一, 佐藤俊明, 横田治彦

Shunichi Kataoka, Toshiaki Sato and Haruhiko Yokota, Shimzu Corporation

1. はじめに

1923年の関東地震は、首都圏を襲った大規模な被害を伴った地震であることから、その地動の大きさは耐震設計の目標とされており、地震動強さに関する研究が盛んに行なわれている。

我々は、関東地震の本郷における今村式2倍強震計の記録をもとに、東京における地震動を推定した<sup>1)</sup>。このような当時の地震記録を用いた検討は、先に森岡<sup>2)</sup>が地震当時に参考品として展示してあったユーイング式地震計の記録に基づいて行なっている。しかしながら、推定された地動そのものは両者でかなり異なっていた。推定地動の相違は、地震計あるいは記録処理方法の精度に起因していると考えられ、最近の武尾・金森の検討<sup>3)</sup>からも両者の主張は矛盾するものではないと考えられる。参考のために、両者の記録の先頭部から約120秒間のフーリエスペクトルをFig.1に示す。但し、有効周期は今村式で30秒、ユーイング式は詳細は不明であるが20秒と考えられる。

東京における地動を精度良く推定するためには、本郷の記録と振り切れていない比較的遠地の記録を併用して、震源特性や余震の影響を検討することが有効であると考えられる。今回、村松郁栄岐阜大学名誉教授のご好意により、徳島測候所(震央距離約450km)における関東地震の本震・余震記録を頂くことが出来たので、これらの記録を用いて、東京本郷における地動を推定してみた。

2. 地動の推定方法

一般に、ある地点で観測された地震動は震源の影響、伝播経路の影響、地表の増幅効果の合積で成っていると考えられる。同じ場所で起きた規模の異なる地震の観測記録のスペクトル比は、地表付近の増幅特性が線形であれば、その効果を含めて伝播経路の影響がキャンセルされるので、地震の規模の差違による震源の影響に対応する。この関係がいわゆるスケーリング則であり、経験的グリーン関数を用いた波形合成法の根拠となっている。

ここで、ある地点での地震動を推定することを考える。推定する地点の未知の地震動のスペクトルを $S_{MO}$ 、既知の地震動のスペクトルを $S_{AO}$ 、対応する地震の参照観測点におけるスペクトルを $S_{MR}$ 、 $S_{AR}$ と置くと、上述したようなスケーリング則は、

$$S_{MO}/S_{AO} = S_{MR}/S_{AR} \quad (1)$$

となる。本郷の本震地動を徳島の記録から評価するためには、徳島における本震と余震の記録と本郷における徳島と同じ余震の記録が必要になる。

この方法は理論的には無理がなく、比を取ることから地震記録に対する計器特性の補正も必要無いこと、スペクトルの割り算と掛け算だけで簡便であること、原理的には時系列波形も求めることも可能であることなどの多くの利点を有している。しかしながら、式(1)の等号が成立するのは点震源仮定が成立する観測点であるので、断層面の広がりやを考慮しなければならない観測点に適用する際には十分な検討が必要であろう。

3. 徳島測候所の記録

徳島における本震の記象は験震時報第22巻別冊<sup>4)</sup>に記載されている。参考のために、徳島測候所と関東地震の断層面の位置関係をFig.2に示す。この記録をもとに、村松は測候所に向向いて本震記録および余震記録からコピーを作成した。村松の調査検討により以下のことが分かっている。

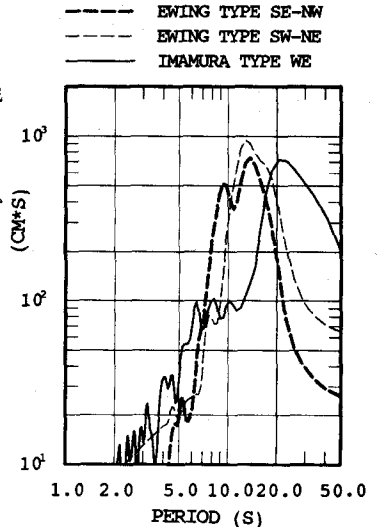


Fig.1 Fourier spectra for estimated ground motion at Hongo of 1923 Kanto Earthquake. Solid line corresponds to Imamura type seismometer. Broken lines correspond to Ewing type seismometer.

- (a)徳島測候所に保存されていた記録紙からは、表1に示す本震と余震を見つけることが出来た。  
 (b)記録した今村式2倍強震計の固有周期は、記録紙上のメモからEW成分5.0秒、SN成分4.2秒と判断できる。  
 (c)減衰については験震時報第22巻別冊<sup>4)</sup>にno dampingとの記載がある。  
 (d)紙送り速度は、記録紙に記載されている開始と終了の時間から3.5cm/minと推定される。

### 3.1 記録の数値化

村松は、記象から密着コピーを作成し、更にそれを約7倍に拡大して、70~80秒の区間に分けてトレースし、読み取り用のデータを作成した。我々は、そのデータを東京工大のパソコンとイメージスキャナーからなる読み取り装置<sup>6)</sup>を用いて各トレース毎に数値化を行ない、それらをつなぎ合わせて最終的に記録を復元した。余震は円弧の影響が少ないことから、等間隔データに直接変換した。本震記録はトレースをつなぎ合わせたものがあつたが、スキャナーの画面の制限から新たに区間に分け、波形の振幅を逐次数値化した。以上の作業の結果得られた本震の数値化記録をFig. 3に示す。2成分間の相対時刻は主として原記録をトレースする際に生じたものであるが、S波とP波の走時から両成分の相対時間差はEW成分の方が約48秒進んでいると考えられる。

図から、主要動は約1分程度であることが分かる。別に調べられている仙台<sup>7)</sup>や岐阜<sup>8)</sup>の主要動の長さとはほぼ同程度であり、本郷における記録に比べて短い。また、この継続時間は、断層の破壊に要する時間に対応している。

### 3.2 最近の記録との比較

数値化した記録と同じような最近の記録とを比較することで、数値化の一連の処理の妥当性が検証できると考え、表1のNo.6とNo.7の地震と1983年8月8日に関東と中部地方の境界で起きたM6.0の地震とを比較した。徳島測候所における1983年8月8日の地震記録は、59式直視型地震計で得られている。この地震計は、倍率が100倍で周期特性は1~10秒の範囲で気象庁1倍強震計とはほぼ同じである。Fig.4に関東地震の余震の記録と1983年の地震記録を各成分毎に示す。振幅が小さいために余震記録は最近の記録と比較して地震

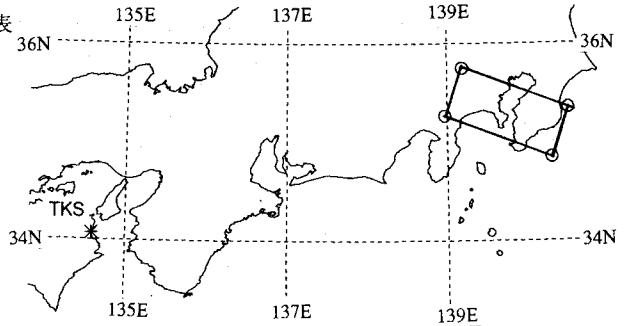


Fig.2 Location of Tokushima JMA station(TKS) and Kanamori's Fault model of 1923 Kanto earthquake.

表1 徳島測候所の記録から見つけられた関東地震の本震及び余震

No	震源時	震源域	緯度経度	深さ	精度	M
	9月		(° E, ° N)			
1	1日11:58	相模湾	139.5, 35.1	S	B	7.9
2	1日14:22	神奈川県西部	139.0, 35.4	VS	C	6.7
3	1日16:38	山梨県東部	138.9, 35.5	VS	B	6.8
4	2日11:46	房総半島沖	140.2, 34.9	S	C	7.3
5	2日18:27	房総半島沖	140.5, 34.9	S	C	7.1
6	2日22:09	神奈川県西部	139.1, 35.3	VS	B	6.5
7	2日23:16	神奈川県西部	139.1, 35.3	VS	B	6.2

注記：緯度経度、深さ、精度は参考文献<sup>5)</sup>による。

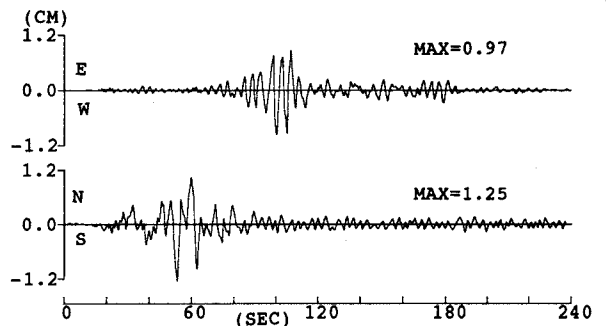


Fig.3 Processed main shock record at Tokushima station.

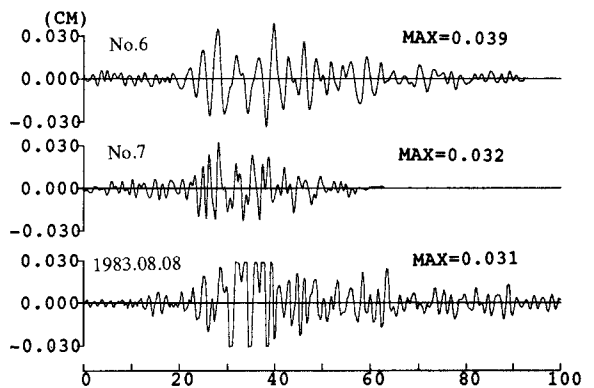


Fig.4(a) Comparison between aftershock(No.6, 7) records and recent earthquake(1983.08.08) record in north-south component.

動全体を記録していないが、主要動付近の特徴は良く似ている。

図に示した範囲のフーリエスペクトルをFig. 5に示すが、周波数域でも良く似ていることが分かる。最近の記録と比較すると、関東地震の際には減衰器が無いとの報告があるが、計器特性を補正する際にはある程度 ( $h \sim 10\%$ ) の減衰を考慮したほうがよいと思われる。

また、参考のために表1に示した全ての地震の震央位置から求めた震央距離と最大振幅により坪井式でマグニチュードを求めてみたが、得られたものは宇津が決めたものとほぼ同じであった。

#### 4. 地動の推定結果

第2章で述べたように比を取る際には、その区間に対する検討が必要になる。特に、東京は他の気象庁の観測点より揺れやすく、また関東平野の構造の影響から継続時間も長いと考えられる。そこで、本郷と徳島で観測された同じ地震の継続時間を比較して表2に示す。ここで、継続時間は波形全体が記録されていない可能性もあることから、最大値の2割の振幅の地動が続く時間とした。表から、地震による差異が顕著であるが、本郷の記録の継続時間が常に長いことが分かる。

式(1)を用いる際には、余震が本震と同じ震源メカニズムを有しているかを検討する必要があるが、残念ながら余震のメカニズムについての報告を捜すことは出来なかった。そこで、震災予防調査会に記載されている今村の報告<sup>9)</sup>をもとに9月1日14時22分に起きた神奈川県西部の地震(M6.7)を用いることとした。上述の継続時間に関する検討を踏まえ、本震記録中には3分後に余震があることから、徳島の余震記録は全長を解析区間とし、徳島の本震記録の解析対象区間の先頭はSN成分に合わせ、本郷での余震記録は初動から各々180秒を解析区間とした。

また、本来ならば地震動を震源方向とその直交方向に分解して比を取るほうが、波動が分離されるので妥当と考えられるが、徳島における水平2成分の相対時間差の精度がさほど良くないことと、東京が関東地震の断層面はかなり近いことから、今回は地震動を回転していない。

結局徳島における本震と余震の記録について水平の同じ成分毎に比を取り、本郷の余震の水平2成分に各々乗じた。ただし、徳島における記録については地震計の特性は補正していない。本手法で推定された本郷における地動のフーリエスペクトルを今村式2倍強震計から推定したもの(初動から180秒)と比較してFig.6に示

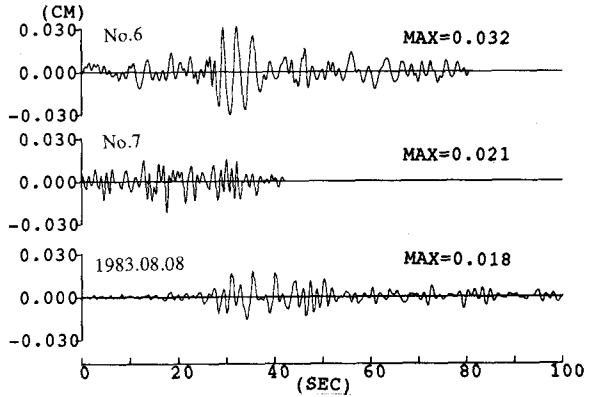


Fig.4(b) Comparison between aftershock(No.6, 7) records and recent earthquake(1983.08.08) record in east-west component.

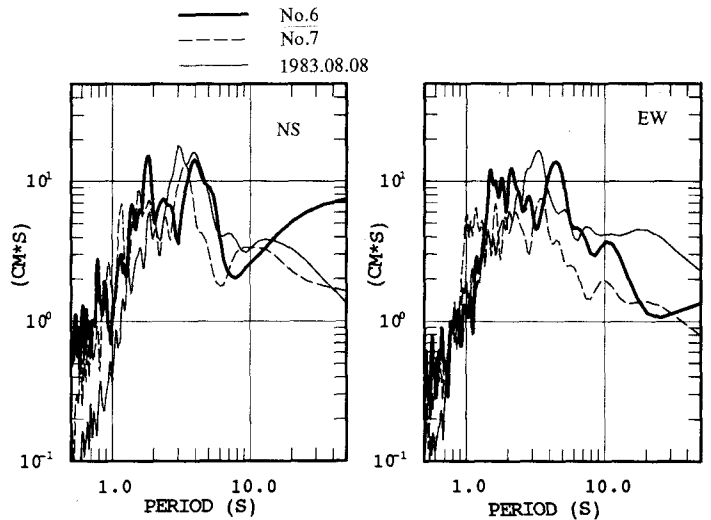


Fig.5 Fourier spectra for aftershock(No.6, 7) records and recent earthquake(1983.08.08) record.

表2 徳島と東京の記録の継続時間(秒)の比較

年月日	時間	震源域	M	東京	徳島
1923.09.01	14:22	神奈川県西部	6.7	106.8	77.9
				193.5	109.2
1983.08.08	12:47	神奈川県西部	6.0	108.3	109.7
				134.5	128.2

各地震では、上段がNS成分、下段がEW成分。

す。図から、本手法の結果は周期1~10秒程度で今村式強震計の復元記録をやや上回っており、EW成分に比べてNS成分の方が大きいことが分かる。NS成分が大きいのは本郷における余震の特徴を反映したものであると考えられる。また、ユーン型に見られるような顕著なピークは無い。10数秒より長い周期では本推定結果の方が小さいが、これについては用いた記録のS/Nを考慮する必要がある。また、周期5秒付近の顕著なピークは比を取る際に生じていることから、今回のような検討例を増やす必要がある。

### 5. まとめ

本郷の記録と徳島の記録を併用して、1923年の関東地震の東京における地震動を評価することを試みた。徳島の本震・余震記録は徳島測候所に保管されていたものを村松名誉教授が見つけたもので、それを我々が新たに数値化した。数値化の一連の処理と本郷の地震動を評価した結果から以下のことが言えよう。

- 1) 詳細な地震計の特性値は不明であるが、余震記録と最近の同じような地震の記録とは良く対応していることから、数値化の処理は妥当であると考えられる。
- 2) 徳島に設置されていた地震計は、報告ではno dampingであるが、波形そのものや最近の記録との比較結果から判断すると幾らかの減衰があったと考えられる。
- 3) 本震記録からは、主要動は1分程度であることが分かる。これは、仙台<sup>7)</sup>や岐阜<sup>8)</sup>の記録とほぼ同程度であり、断層の大きさから想定される破壊時間に対応している。
- 4) 関東地震の震央付近で起きた地震の記録を東京と徳島で比較すると東京の方が継続時間は長くなっている。
- 5) 徳島の本震・余震記録の比および本郷における余震記録を用いて推定した本郷における本震地震動のスペクトルは、周期1~10秒の範囲で復元記録よりやや大きい。

謝辞 記録を大切に保存されていた徳島測候所および管区気象台に深く敬意を表します。また、大変な努力をされて貴重な記録を使用可能な状態にされたうえに、当方に寄贈して頂いた村松名誉教授に感謝いたします。また、これらの数値化記録は大変貴重なものと思われるので、当方の準備が整い次第公開する予定である。

### (参考文献)

- 1) 横田治彦・片岡俊一・田中貞二・吉沢静代：1923年関東地震のやや長周期地震動—今村式2倍強震計による推定—，日本建築学会論文報告集，No.401，PP.35-45，1989.7.
- 2) Morioka Takaki: The Ground Motion of the great Kanto earthquake of 1923, Trans. of A.I.J., pp.79-91, 1980.3.
- 3) 武尾実・金森博雄：1923年関東地震の長周期地震動，地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集，p.256，1993.3.
- 4) 気象庁：験震時報第22巻別冊，1957.
- 5) 宇津徳治：「1885年～1925年の日本の地震活動」，地震研究所彙報，Vol.54，pp.253-308，1979. および，「1885年～1925年の日本の地震活動（訂正と補遺）」，地震研究所彙報Vol.57，pp.111-117，1982.
- 6) 年縄巧・翠川三郎・大町達夫・中村豊：パソコンとイメージスキャナよりなるアナログ強震記録の解析システム，構造工学論文集Vol.37A，pp.903-910，1991.3.
- 7) Shiratori Katsuyoshi: Notes on the destructive earthquake in Sagami bay on the first of September, 1923, Japanese Journ. of Astro. and Geophys., Vol.2, No.4, pp.173-192, 1925.
- 8) 武村雅之・池浦友則・工藤一嘉・大沼啓人：1923年関東地震の本震・余震の強震記録—岐阜測候所の今村式2倍強震計—，地球惑星科学関連学会1993年合同大会予稿集，p.255，1993.3.
- 9) 今村明恒：関東大地震調査報告，震災予防調査会報告，第100号（甲），pp.21～66，1924.3.

[連絡先 〒135 東京都江東区越中島3-4-17 清水建設（株）技術研究所 片岡俊一]

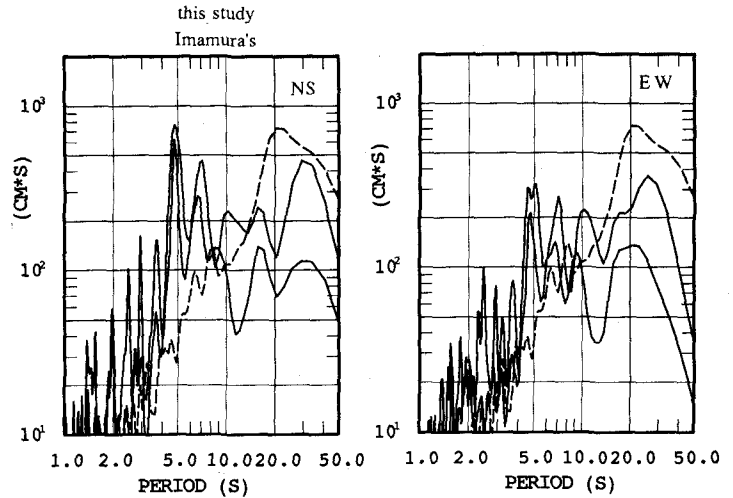


Fig.6 Fourier spectra for estimated main shock ground motion in this study and Imamura's type seismometer. Solid lines show this study and broken line shows Imamura's type seismometer.