

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6101950号
(P6101950)

(45) 発行日 平成29年3月29日(2017.3.29)

(24) 登録日 平成29年3月10日(2017.3.10)

(51) Int. Cl. F I
 GO 1 V 1/00 (2006.01) GO 1 V 1/00 D
 GO 1 V 1/28 (2006.01) GO 1 V 1/28

請求項の数 3 (全 10 頁)

(21) 出願番号	特願2013-93709 (P2013-93709)	(73) 特許権者	000206211 大成建設株式会社 東京都新宿区西新宿一丁目2 5番 1号
(22) 出願日	平成25年4月26日(2013.4.26)	(74) 代理人	100096862 弁理士 清水 千春
(65) 公開番号	特開2014-215208 (P2014-215208A)	(72) 発明者	廣石 恒二 東京都新宿区西新宿一丁目2 5番 1号 大成建設株式会社内
(43) 公開日	平成26年11月17日(2014.11.17)	(72) 発明者	高木 政美 東京都新宿区西新宿一丁目2 5番 1号 大成建設株式会社内
審査請求日	平成27年11月10日(2015.11.10)	(72) 発明者	内山 泰生 東京都新宿区西新宿一丁目2 5番 1号 大成建設株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 地震の主要動強さの予測方法および予測システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

予測の対象となる現地で計測された地震の P 波の観測波形から、上記現地に到達する S 波の強さを予測するための地震の主要動強さの予測方法であって、

予め、過去に発生した複数の地震のデータから、各々の上記地震の計測地点における複数の P 波の経過率（P 波到達検知時から各々の予測時までの経過時間 / P 波の継続時間）について算出した当該経過率の経過時間までの P 波の観測波形の最大値と S 波の観測波形の最大値との上記複数の経過率における関係式を求めておき、

上記現地の地震計が P 波の到達を検知した後、上記 P 波の継続時間を予測し、次いで連続的に上記 P 波を計測するとともに、上記 P 波の継続時間を用いて算出した上記計測時の経過率であって上記複数の P 波の経過率に対応する経過率において、当該経過率について算出した上記関係式を用いて、順次当該経過率に至るまでに観測された P 波の観測波形の最大値と上記関係式とから到達する上記 S 波の強さを予測することを特徴とする地震の主要動強さの予測方法。

【請求項 2】

予測の対象となる現地に設置された地震動の波形情報検出手段と、この波形情報検出手段によって計測された P 波の観測波形から到達する S 波の強さを予測する予測手段とを備えてなり、

上記予測手段は、過去に発生した複数の地震のデータから、各々の上記地震の計測地点における複数の P 波の経過率（P 波到達検知時から各々の予測時までの経過時間 / P 波の

継続時間)について算出した当該経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値とS波の観測波形の最大値との上記複数の経過率における関係式を格納したデータベースと、上記波形情報検出手段から送られる上記観測波形に基づいてP波の到達を検知してP波の継続時間を予測し、かつ上記P波の継続時間を用いて算出した上記計測時の経過率であって上記複数のP波の経過率に対応する経過率において、順次当該経過率に至るまでに上記波形情報検出手段から連続的に送られたP波の観測波形の最大値とデータベースに格納した当該経過率について算出した上記関係式とから到達する上記S波の強さを予測する波形処理部とを備えていることを特徴とする地震の主要動の強さの予測システム。

【請求項3】

上記波形処理部は、予め上記S波の強さに対する閾値が設定され、上記複数の経過率において予測されたS波の強さが上記閾値を超えた際に、その旨の信号を出力する送信ラインを備えていることを特徴とする請求項2に記載の地震の主要動の強さの予測システム。

10

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、地震発生時に、現地地震計によって観測された初期微動の情報から主要動の強さを推定するための予測方法および予測システムに関するものである。

【背景技術】

【0002】

周知のように、地震動は、図9に示すように、大別して初期微動(以下、P波と略す。)と主要動(以下、S波と略す。)に分類することができる。そして、地震による被害は、その殆どがS波による地震動によって引き起こされるものである。

20

【0003】

一方、S波は、P波よりも伝搬速度が遅いことから、地震発生時には、先ずP波の到達が観測され、一定時間が経過した後にS波が到達する。したがって、地震発生後、早期に生産能力を回復することが求められる工場などの生産設備においては、地震が発生した際に、P波の情報から、後に到達するS波の強さの大小を判別し、当該S波が到達した時点で既に機器の緊急停止の要否判定を終えていることが望ましい。

【0004】

そこで、例えば下記特許文献1においては、P波の加速度最大値を用いて、S波の速度最大値を予測する方法が提案されており、下記特許文献2においては、P波の情報を用いて、S波の強さを推定する警報システムが提案されている。

30

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2010-164325号公報

【特許文献2】特開2009-32141号公報

【非特許文献1】松村正三、岡田義光、堀貞喜：地震前兆解析システムにおける地震データ(高速採取データ)の処理、国立防災科学技術センター研究報告、第41号、pp.44-64、1988

40

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、これらの従来技術は、地震発生後、予め設定された数秒間におけるP波の波形情報に基づいて予測を行うものであるために、特に震源が遠方の地震のように、P波の地震波形が数十秒かけて成長するような地震に対しては、当該P波の強さが充分に大きくなりきらない時点で予測を行うことになり、この結果やがて到達するS波の強さを過小評価する傾向があった。

【0007】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものであり、P波の時間経過に応じて予測式を変

50

化させることにより、様々なP波の到達形態の地震に対しても高い精度でS波の強さ（最大加速度や最大速度）を予測することが可能になる地震の主要動強さ（最大加速度や最大速度）の予測方法および予測システムを提供することを課題とするものである。

【課題を解決するための手段】

【0008】

上記課題を解決するため、請求項1に記載の発明は、予測の対象となる現地で計測された地震のP波の観測波形から、上記現地に到達するS波の強さを予測するための地震の主要動強さの予測方法であって、予め、過去に発生した複数の地震のデータから、各々の上記地震の計測地点における複数のP波の経過率（P波到達検知時から各々の予測時までの経過時間 / P波の継続時間）について算出した当該経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値とS波の観測波形の最大値との上記複数の経過率における関係式を求めておき、上記現地の地震計がP波の到達を検知した後、上記P波の継続時間を予測し、次いで連続的に上記P波を計測するとともに、上記P波の継続時間を用いて算出した上記計測時の経過率であって上記複数のP波の経過率に対応する経過率において、当該経過率について算出した上記関係式を用いて、順次当該経過率に至るまでに観測されたP波の観測波形の最大値と上記関係式とから到達する上記S波の強さを予測することを特徴とするものである。

10

【0009】

また、請求項2に記載の発明に係る地震の主要動の強さの予測システムは、予測の対象となる現地に設置された地震動の波形情報検出手段と、この波形情報検出手段によって計測されたP波の観測波形から到達するS波の強さを予測する予測手段とを備えてなり、上記予測手段は、過去に発生した複数の地震のデータから、各々の上記地震の計測地点における複数のP波の経過率（P波到達検知時から各々の予測時までの経過時間 / P波の継続時間）について算出した当該経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値とS波の観測波形の最大値との上記複数の経過率における関係式を格納したデータベースと、上記波形情報検出手段から送られる上記観測波形に基づいてP波の到達を検知してP波の継続時間を予測し、かつ上記P波の継続時間を用いて算出した上記計測時の経過率であって上記複数のP波の経過率に対応する経過率において、順次当該経過率に至るまでに上記波形情報検出手段から連続的に送られたP波の観測波形の最大値とデータベースに格納した当該経過率について算出した上記関係式とから到達する上記S波の強さを予測する波形処理部とを備えていることを特徴とするものである。

20

30

【0010】

さらに、請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の発明において、上記波形処理部が、予め上記S波の強さに対する閾値が設定され、上記複数の経過率において予測されたS波の強さが上記閾値を超えた際に、その旨の信号を出力する送信ラインを備えていることを特徴とするものである。

【0011】

なお、本発明においては、初期微動をP波と略称して用い、主要動をS波と略称して用いているため、上記P波継続時間とは、P波到達検知時刻からS波到達時刻までの時間をいう。

40

【発明の効果】

【0012】

請求項1に記載の地震の主要動強さの予測方法および請求項2または3に記載の地震の主要動強さの予測システムにおいては、事前に過去に発生した複数の地震のデータから、各々の上記地震の計測地点における複数のP波の経過率、例えば0.2、0.4、...、1.0について、各経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値とS波の観測波形の最大値との関係式を求めておく。そして、地震発生時に、先ず予測の対象となる現地の波形情報検出手段がP波の到達を検知した後に、上記P波の継続時間を予測し、次いで連続的に上記P波を計測するとともに、当該P波の複数の経過率において、順次当該経過率に至るまでに観測されたP波の観測波形の最大値と上記関係式とから到達する上記S波の強さ

50

を予測する。

【 0 0 1 3 】

このように、P波の時間経過に応じて予測式を変化させることにより、様々なP波の到達形態の地震、例えば震源が遠方の地震のように、P波の地震波形が数十秒かけて成長するような地震に対しても、高い精度でS波の強さを予測することができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 1 4 】

【 図 1 】 本発明に係るS波の強さの予測システムの一実施形態を示す概略構成図である。

【 図 2 】 図 1 の波形処理部における処理を示すフローチャートである。

【 図 3 】 (a) は地震計で観測された加速度波形を示すグラフであり、(b) は上記加速度波形から算出されたS T A / L T A の値を示すグラフである。

【 図 4 】 図 1 の波形処理部におけるS波到達時刻の予測方法を説明するための図で、(a) は地震計で観測された加速度波形を示すグラフ、(b) は上記加速度波形から算出されたS T A / L T A の値の最大値からS波の到達時刻を予測するグラフ、(c) は新たに検出したS T A / L T A の値の最大値からS波の到達時刻予測を更新した状態を示すグラフである。

【 図 5 】 図 1 の波形処理部におけるS波の強さの予測方法を説明するために図で、(a) は予測されたS波到達時刻を示すグラフ、(b) はP波の経過率について当該経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値を求める状態を示すグラフ、(c) は上記最大値からS波の最大値を予測する状態を示すグラフである。

【 図 6 】 図 1 のデータベースに格納したデータの元となる過去の地震を示す図表である。

【 図 7 】 図 6 の過去の地震データから得られたP波の継続時間の予測に用いる関係式を示すグラフである。

【 図 8 】 図 6 の過去の地震データから得られた複数のP波の経過率における各経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値とS波の観測波形の最大値およびこれら最大値から算出された関係式を示すグラフである。

【 図 9 】 現地に到達する一般的な地震動の変化を示すグラフである。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 5 】

以下、図 1 ~ 図 8 に基づいて、本発明に係る地震の主要動強さ（最大加速度や最大速度）の予測方法および予測システムの一実施形態について説明する。

図 1 は、上記予測システムの概略構成を示すもので、この予測システムは、予測の対象となる現地に設置された地震動の波形情報検出部（波形情報検出手段）1と、この波形情報検出部1によって計測されたP波の観測波形から、後に到達するS波の強さ（最大加速度や最大速度）を予測するパーソナルコンピュータ（予測手段、以下PCと略す。）2と、このPCからS波の最大値が閾値を超えた際に制御信号を関係機器類等に送信する送信ライン3とから概略構成されたものである。

【 0 0 1 6 】

ここで、本実施形態においては、波形情報検出部1として1または複数の地震計が用いられており、当該地震計によって観測された時刻歴波形がPC2の波形処理部4に送信されるようになっている。

このPC2は、全体を統括制御するCPU（主制御部）に、入出力制御部を介して実行プログラムを記録したハードディスク等の記憶装置、キーボードやマウス等の入力装置が接続されることによって上記波形処理部4が構成されるとともに、当該波形処理部4に入出力データを表示するモニタおよび予測結果などを記録する記憶装置（出力部）5、データベース6を格納した記憶装置および送信ライン3が接続されたものである。

【 0 0 1 7 】

そして、データベース6内には、図6に示す過去の大地震のデータから得られたS波の到達時刻を予測するための第1の関係式と、各々の上記大地震の計測地点でP波到達検知後における複数のP波の経過率（P波到達検知時から各々の予測時までの経過時間 / P波

10

20

30

40

50

の継続時間)について当該経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値とS波到達後のS波の観測波形の最大値との第2の関係式が格納されている。なお、P波到達検知時とは、本実施形態においては、各々の地震の計測地点におけるP波の観測波形からSTA/LTAを算出し、初めて閾値を超えた時刻とした。

【0018】

ちなみに、図6に示す過去の大地震は、予め過去に発生した複数の地震のデータのうちから、予測の対象となる現地(例えば、振動を嫌う多数の精密機械が設置された工場)において、回避すべき災害をもたらす虞のあるものとして抽出されたものである。具体的には、観測点での加速度最大値、計測震度が一定値以上となるものを用いた。

【0019】

そして、第1の関係式は、図6に示す複数の大地震のデータから、各々の地震の計測地点におけるP波の観測波形からSTA/LTAを算出し、その最大値と当該計測地点における上記P波の継続時間との関係を求めたものである。

【0020】

これを具体的に説明すると、まず前提となるSTA/LTAとは、波形振幅(加速度、速度、変位等)の絶対値の短時間移動平均STAと、長時間移動平均LTAの比である。すなわち、図3(a)に示す地震に対する波形振幅の絶対値のグラフにおいて、STAとLTAとの比を算出して、同様に時間軸で示せば、図3(b)のように表される。図3は、加速度振幅に対して、STAの移動平均間隔を0.1秒、LTAの移動平均間隔を5.0秒とした例である。なお、STA/LTAを用いた技術に関しては、例えば上記非特許文献1において開示されている。本発明は、上記STA/LTAの最大値を、S波到達時刻の予測に使用するものである。

【0021】

すなわち、図7は、図6に示した大地震の発生時に観測されたP波の加速度波形についてSTA/LTAを算出し、その最大値と当該計測地点における上記P波の継続時間とをグラフにプロットしたものである。

そして、STA/LTAの最大値 PR_{SL} と、P波到達検知時刻からS波到達時刻までの時間であるP波の継続時間 dT_P (秒)との間には、概略下式で表される関係がある。

$$dT_P = \alpha_1 \log_{10}(PR_{SL}) + \beta_1$$

ここで、 α_1 、 β_1 は、予測に用いる係数である。

【0022】

そこで、図7に示す過去の地震観測記録の分析結果から、最小二乗法を用いて係数 α_1 、 β_1 を決定する。図7中実線で示す曲線は、このようにして求めた上記第1の関係式を示すものである。

【0023】

また、第2の関係式は、図6に示す各々の大地震の計測地点における複数のP波の経過率(本実施形態においては、図8に示すように、0.2、0.4、0.6、0.8、1.0、1.2、1.4および1.6)について算出した当該経過率の経過時間までのP波の観測波形の最大値とS波の観測波形の最大値との関係を示すものである(図5参照)。

【0024】

より具体的には、予測対象であるS波の強さ PA_e は、P波の到達検知時刻(T_P)からP波継続時間に対する上記経過率(P波経過率 L_P)に至る時刻(T)までの観測波形の最大値 PA と、上記経過率 L_P を以下の式に代入することで推定される。

$$PA_e = 10^{(\alpha_2(L_P) * \log_{10}(PA) + \beta_2(L_P))}$$

$$L_P = (T - T_P) / (T_{Se} - T_P)$$

ここで、 α_2 、 β_2 は予測式で用いる係数であり、P波経過率 L_P ごとに定まる値である。また、 T_{Se} は、上記第1の関係式を用いて予測されたS波到達時刻である。

【0025】

そして、図8は、図6に示す過去の地震観測記録の分析結果から、各々の経過率について横軸を PA (加速度3成分最大値)とし、縦軸を PA_e (主要動の加速度水平成分最大

10

20

30

40

50

値)とした場合の各P波経過率に対応する時刻までの関係図を示すものであり、この結果から経過率毎に最小二乗法を用いて上記係数 a_2 、 b_2 を決定する。図8中実線で示す曲線は、このようにして求めた上記第2の関係式を示すものである。

【0026】

次に、図2に基づいて、PC2の波形処理部4における機能とともに、本発明に係る地震のS波強さの予測方法の一実施形態について説明する。

まず、地震発生後、波形情報検出部1から送られてくる振動の波形情報からP波の到達を検知した時点で、S波の強さの予測を開始する。ここで、P波の到達を検知するには、本実施形態においては、上記波形情報からSTA/LTAを算出し、初めて閾値を超えた場合にP波が到達したものと判断する。

10

【0027】

その第1段階として、上記P波の波形情報からS波の到達時刻を予測する。まず、連続的に当該P波の観測波形のSTA/LTAを算出する。

そして、図4(b)に示すように、P波到達検知時刻のSTA/LTAの値と、上記第1の関係式とから、P波の継続時間 dT_p を算出して、S波の到達時刻 T_{se} (秒)を次式を用いて予測する。

$$T_{se} = T_p + dT_p$$

ここで、 T_p は、P波到達検知時刻(秒)である。

次いで、図4(c)に示すように、順次得られるSTA/LTAの値から最大値が得られた場合に、さらに当該最大値と上記関係式とからP波の継続時間 dT_p を更新して、新たなS波の到達時刻 T_{se} を予測する。

20

【0028】

ちなみに、仮に図4(c)に示す最大値を検知した後に、より大きな最大値が算出された場合には、再び当該最大値と上記関係式とからP波の継続時間 dT_p を更新して、新たなS波の到達時刻を予測する工程を繰り返す。

これと併行して、第2段階として、予測されたS波到達時刻 T_{se} およびP波の到達検知時刻から、現在時刻 T までのP波経過率 L_p ($= (T - T_p) / (T_{se} - T_p)$)を算出する。

【0029】

次いで、上記時刻 T までの観測波形の最大値 PA を用いて、当該経過率 L_p における上記第2の関係式から、これから到達するS波の強さ PA_0 を予測する。また、予測されたS波強さ PA_0 等の情報を、モニタ5での表示および記録装置5への出力を行うとともに、上記S波強さ PA_0 が、予め設定されている閾値を超えた時点で、送信ライン3から生産機器等へ制御信号送信先に、例えば当該生産機器類を緊急に停止させる等の制御命令を送信する。

30

【0030】

なお、上記実施形態においては、S波の到達時刻およびS波の強さの予測を行うに際して、いずれも入出力として地震動に対する応答加速度を用いた場合についてのみ示したが、本発明はこれに限定されるものではなく、地震動に対する応答速度や計測震度などを用いても、同様の精度で予測が行えるものと考えられる。また、S波の到達時刻の予測についても、上記実施形態において示したものに限らず、例えば緊急地震情報等を利用して予測することもできる。

40

【0031】

以上説明したように、上記構成からなる地震の主要動強さの予測方法および予測システムにおいては、地震発生時に、まず現地の地震計1がP波の到達を検知した後に、第1の関係式によってS波の到達時刻を予測し、次いで連続的に上記P波を計測するとともに、予測したS波の到達時刻から算出した現在時刻までのP波の経過率において、順次当該経過率に至るまでに観測されたP波の観測波形の最大値と上記第2の関係式とから到達するS波の強さを予測している。

【0032】

50

このため、P波の時間経過に応じてデータベース6に格納されている各経過率における第2の関係式を用いることにより、様々なP波の到達形態の地震、例えば震源が遠方の地震のように、P波の地震波形が数十秒かけて成長するような地震に対しても、高い精度でS波の強さを予測することができる。

【0033】

加えて、上記S波の到達時刻を予測するに際して、予め図6および図7に示したように、過去の複数の大地震のデータから、各地震の計測地点におけるP波の観測波形から算出したSTA/LTAの最大値と当該計測地点における上記P波の継続時間との関係式を求めておき、図4(a)~(c)に示すように、地震発生時に得られたP波の観測波形から連続的にSTA/LTAを算出して、その最大値と上記関係式からS波の到達時刻を予測しているため、簡易な演算処理によって地震発生初期段階にS波の到達時刻を予測することができる。

10

【0034】

しかも、P波を連続的に計測するとともにSTA/LTAを算出して、順次得られるSTA/LTAの最大値と上記関係式とから、P波の継続時間を更新してS波の到達時刻を予測しているために、震源が近距離の地震のみならず、STA/LTAの値の最大値が判別し難い遠距離の地震に対しても、高い精度でS波の到達時刻を予測することができ、この結果最終的に図5に示すS波の強さの予測精度も高めることができる。

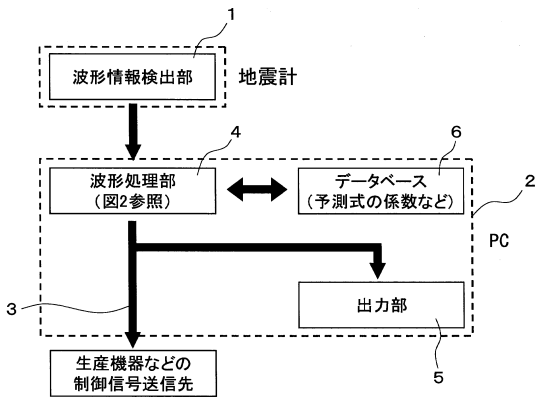
【符号の説明】

【0035】

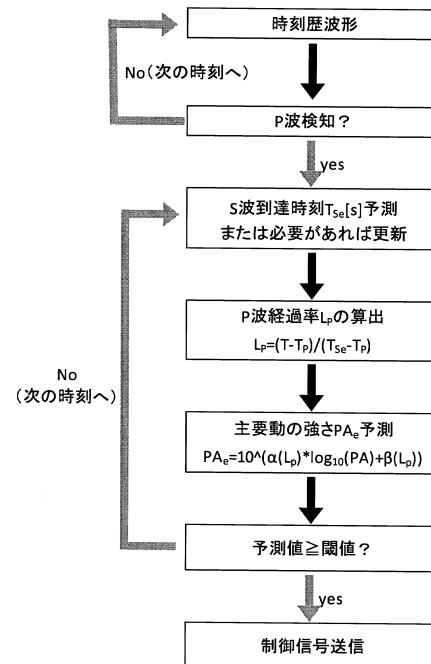
- 1 波形情報検出部（波形情報検出手段）
- 2 PC（予測手段）
- 3 送信ライン
- 4 波形処理部
- 6 データベース

20

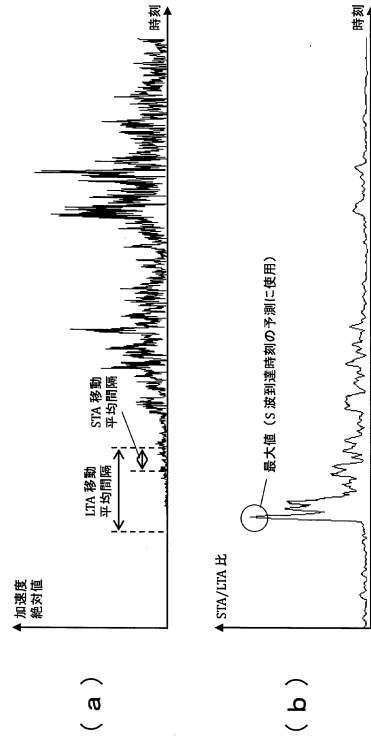
【図1】



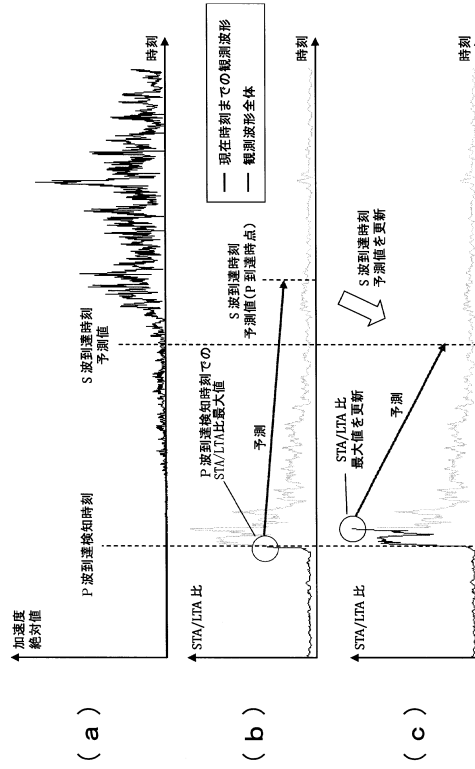
【図2】



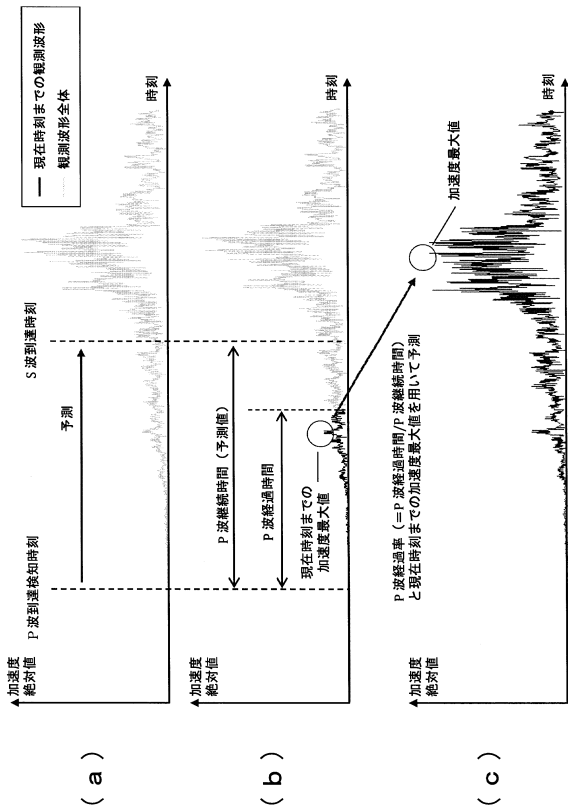
【図 3】



【図 4】



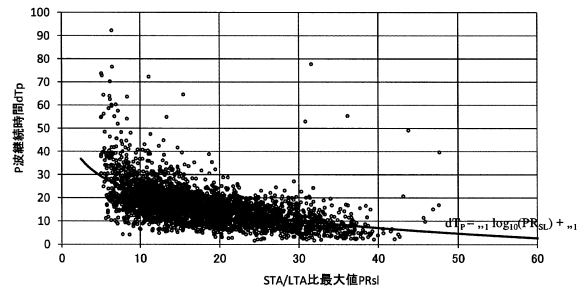
【図 5】



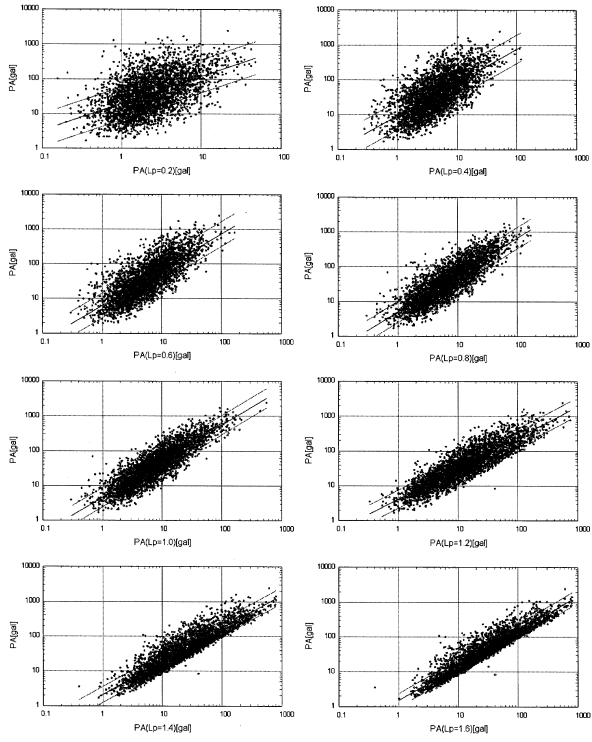
【図 6】

発生日時・時刻	場所・名称	種別	規模
2000/10/06 13:30	鳥取県西部	陸	M7.3
2001/03/24 15:28	茨李	海	M6.4
2001/12/02 22:02	岩手県内陸南部	陸	M6.4
2003/05/26 18:24	宮城県北部	海	M7.0
2003/07/26 00:13	宮城県北部	陸	M5.5
2003/07/26 07:13	宮城県北部	陸	M6.0
2003/09/26 04:50	十勝沖	海	M8.0
2004/09/05 23:57	紀伊半島南東沖	海	M7.4
2004/10/23 17:56	新潟中越	陸	M6.8
2004/10/23 18:12	新潟中越(余震)	陸	M6.0
2004/10/23 19:46	新潟中越(余震)	陸	M5.7
2004/11/29 03:32	釧路沖	海	M7.1
2005/03/20 10:53	福岡県西方沖	陸	M7.0
2005/08/16 11:46	宮城県沖	海	M7.2
2007/03/25 09:42	能登半島	陸	M6.9
2007/07/16 10:13	新潟県中越沖	陸	M6.8
2008/06/14 08:43	岩手・宮城内陸	陸	M7.2
2011/03/11 14:46	東北地方太平洋沖	海	M9.0

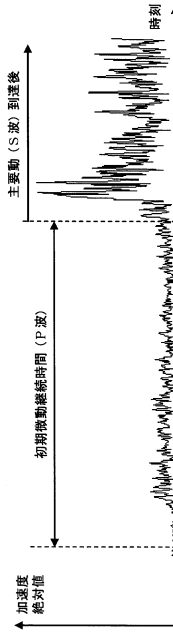
【図 7】



【 8 】



【 9 】



フロントページの続き

(72)発明者 山本 優
東京都新宿区西新宿一丁目25番1号 大成建設株式会社内

審査官 北川 創

(56)参考文献 特開2009-175130(JP,A)
特開2010-084843(JP,A)
特開2010-164325(JP,A)
特開2009-032141(JP,A)
特開2010-276536(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
G01V 1/00
G08B 21/00
G08B 31/00