

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

第2948527号

(45)発行日 平成11年(1999)9月13日

(24)登録日 平成11年(1999)7月2日

(51) Int.Cl. <sup>6</sup>	識別記号	FI	技術表示箇所
G01V 1/00		G01V 1/00	E
9/00		9/00	Z

請求項の数 4 (全12頁)

(21)出願番号	特願平8-153744	(73)特許権者	396007579
(22)出願日	平成8年(1996)6月14日		ショーセイ セラタ SHOSEI SERATA
(65)公開番号	特開平9-145849		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
(43)公開日	平成9年(1997)6月6日		806 リッチモンド レイクサイド ド
(31)優先権主張番号	08/557362		ライブ 4122
(32)優先日	1995年11月13日	(72)発明者	ショーセイ セラタ
(33)優先権主張国	米国(US)		アメリカ合衆国 カリフォルニア州 94
審査請求日	平成9年(1997)5月16日		806 リッチモンド レイクサイド ド
			ライブ 4122
		(74)代理人	弁理士 杉村 暁秀 (外7名)
		審査官	本郷 徹

最終頁に続く

(54)【発明の名称】直下型巨大地震の定量予知方法及びその装置

1

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】 活断層による浅発直下型巨大地震の発生時期、場所および震度を定量的に予知するための、地中の応力状態を連続して自動的に観測するシステムに用いる孔内載荷プローブであって、  
プローブの基本回転角を設定するために複数の直径方向に配置されたコイルスプリングによって自動載荷を行うアンカーおよびそのアンカの中に挿入されたLVDTによって常時テスト孔径を記録するアンカ/キャリバ複合装置を具える機械部と、  
上側の機械部と下側の載荷部との間に位置するセンサ制御及びデータ処理を行う電気部と、  
下側に位置し、1本の鋼製心棒に1本のゴム製載荷チューブが固定され、そのチューブの外表面を2種類の異なった円筒外被で覆われることによって二面破碎と一面破碎

2

を同時に行う載荷部とを具える孔内載荷プローブにおいて、  
前記機械部、電気部および載荷部の3要素を1本の円筒形に収納した構造を取り、  
ステップモータによる載荷部の回転装置と、  
前記1本の載荷チューブの外表面を4つの区間に分けて同時に4つの異なった孔壁載荷を行う機構と、  
前記区間を前記載荷チューブと同じ軟質ゴムで被うことによって孔壁周辺を均等に載荷して二面破碎を計測水平面の主応力方向に発生させる機構と、  
10 他の3つの区間をそれぞれに一对の弾性半円筒摩擦シェルで60°の等間隔に配置し、3つの方向の異なった一面破碎を二面破碎と同時に発生する機構とを具えることを特徴とする、活断層周辺の地震応力観測システム用孔内載荷プローブ。

【請求項 2】 請求項 1 記載のブローブにおいて、前記機械部が、複数の（通常 45° 或いは 60° 間隔の 3 ~ 4 方向）直径方向にコイルスプリングによって自動的にブローブをテスト孔の軸心に固定する機構を具えるアンカ/キャリパ複合装置と、直径アンカを LVDT で連結し、ブローブの移動或は静止の状態にかかわらず常に自動的に観測孔の孔径を記録する機構と、

ステップモータとギヤによって機械部の下に吊り下げたブローブの電気部と載荷部を含む下部全体を、遠隔操作によって任意の回転方向に制御する機構とを具える、活断層周辺の地震応力観測システム用孔内載荷ブローブ。

【請求項 3】 請求項 1 または 2 記載のブローブにおいて、

ゴム製載荷部が、その両端をエンドシールによって非常に高い載荷油圧に対する安全を確保され、鋼製エンドキャップの外側と孔壁内面の間に出来る大きな隙間に載荷チューブの軟質ゴムが圧出されて破裂することを防止するエンドシールが、

鋼製エンドキャップと軟質ゴム製載荷チューブの間を充填する硬質ウレタンで作られた円筒と、

エンドシールの円筒内に軸方向に配置され、輪型に密着して配置されているアレイ形の多数の内蔵アンカーと、前記個々の内蔵アンカーは孔壁面に対して鋭角で接触し、載荷油圧によってすべてのアンカーがその壁面に固定される為、エンドシールは軸方向の変位を起こさずエンドシールの効果を確保する機構とを具えることを特徴とする、活断層周辺の地震応力観測システム用孔内載荷ブローブ。

【請求項 4】 地表に近い活断層の破裂による直下型巨大地震の定量予知のため地震応力並びにその経時変動を自動的に観測する方法であって、

複数個の観測孔を与えられた活断層に沿ってその両側に線対象に垂直ボーリングによって観測ネットワークを形成する手段と、

各観測孔に孔内載荷ブローブを吊り下げ、地中の水平応力と地質物性の深度分布を測定して地震応力観測の窓の位置を確認し、長期の自動観測深度を選定する方法と、

前記観測窓で地震応力の観測を一定の頻度で自動的に繰り返し行い、長期観測を継続する手段と、

地震発生の危険度が増大した場合に、必要に応じて観測の頻度を増加して発生予知の定量的精度を増加させる手段と、

観測ネットワークを平面的に拡大することによって深い固結点（次期地震のエピセンター）の深度を浅い観測の窓から測定する手段と、

地震発生の予知と実際の間を個々のケースで解析し、その定量関係解析の精度を経験データの集積と共に改良をする手段と、

地震応力の上記観測方法を利用して個々の活断層の現時点における危険度の定量実測に利用する手段と、地震応力の上記観測方法を広域な平面に適用して未発見の危険度の高い活断層の存在を感知する手段とを具えることを特徴とする、地震応力並びに経時変動を自動的に観測する方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は地殻の応力状態を解明して浅発直下型巨大地震の発生を定量的に予知する方法とその装置に関するものである。

【0002】

【従来の技術】最近のプレートテクトニクスの理論的進歩の成果により、地殻挙動の実態と地震発生の機構が理論的に明確に解明されてきた。海洋プレートと大陸プレートの衝突によって地球全体のスケールで大陸の辺縁に火山帯を構成しているが、特に太平洋は全体的にその火山帯に囲まれている。ここで判明したことは、地震には二つの基本的に異なったタイプが存在することである。

その一つはプレートの衝突によって直接発生する超深度の地震であり、他の一つはこの超深度地震の結果生じた地表に近い活断層の二次的な破裂による浅発地震である。活断層はこの浅発地震の長期にわたる繰り返しによってできたものである。

【0003】深い地震は本質的にそのエネルギーも大きい

が、震源地が非常に深いため、その破壊力が地表に達するまでに拡散して実際の地表に及ばず被害は通常の場合ほとんど無視することができる。近代の地表構造物は既にこの超深度地震の被害には充分耐え得るように設計されている。人と構造物に多大の災害を与えるのは、主として浅発の直下型地震であり、その直撃に対しては、最新の耐震設計による構造物も被害を避けることは難しい。

【0004】現在の学術的意見では、直下型の巨大地震がいつ、どこで、いかなる震度で起こるかを定量的に予知することはできないと言うのが通説となっている。

残念ながら今まで多少の希望が持たれてきた定量予知の希望的な可能性も、過去 10 余年の世界規模による地震予知研究によってその可能性が否定される結果に帰した。そのため、例えば米国における地震予知研究の国家予算は、ここ数年来その大部分が削減される結果となった。

【0005】

【発明が解決しようとする課題】本発明は地表に近い活断層周辺の地殻応力を観測して、直下型巨大地震発生の定量予知を行うものである。従来方式の地球物理学的な手法に対して、本方法は長年の地下掘削経験によって実証されてきた岩盤工学の現場技術に基づくものである。

【0006】本発明に係る地震予知の根本原理は、浅発

巨大地震の原動力である地殻応力を直接に観測することであって、従来方法の振動、変形、地下水並びに地電流

などの地震活動の二次的効果を観測するものとは基本的に異なるものである。この新しい工学的発想の有効な点は、与えられた活断層に対してその周辺の地殻応力の実態を測定し、その結果から地震発生に対する現在の危険度を直接に測定することである。高い危険度を持つ活断層の場合には、その観測を継続することによってその危険度の経時変化をリアルタイムに記録することができる。更に、この観測結果をその活断層の破砕強度と直接比較することによって次期巨大地震の発生を工学的精度で定量的に予知することができる。

#### 【 0 0 0 7 】

【課題を解決するための手段】この定量予知に必要な装置は地中の水平応力を継続的に観測する孔内载荷計測システムである。このシステムは1本の孔内载荷プローブから成り、応力の測定を一定の時間間隔を置いて繰り返し行うことによって、その観測点における応力状態並びにその経時変動を自動的に記録するものである。载荷プローブはワイヤによって観測孔の特定の深さに固定され、そこで得られたデータが地表のコンピュータで直ちに解析され、画像の表示並びに遠隔通報がなされる。

【 0 0 0 8 】本発明に係る地殻応力観測用のプローブは、1本の载荷チューブを用いて1つの二面破砕と3つの異なった方向(0°、60°および120°)の一面破砕を同時に発生させることができる。そしてこれら4つの破砕挙動から地殻応力状態を測定する。測定のためのステーションはプローブを観測深度に移動、並びに維持するためのワイヤウインチの操作と、プローブの载荷圧力制御のための油圧ホースウインチの操作を行う運転機能を持つと同時に遠隔通信を通してプローブの操作とデータの処理を中央観測センタから直接行うこともできる。このステーションは通常、規定の操作プログラムによって地殻応力の定常観測を自動的に繰り返すが、地震応力の急激な変動が観測された場合の緊急時には、中央観測センターからのリモートコントロールによって、その観測プログラムを直ちに変更することができる。

【 0 0 0 9 】この地震観測用ネットワークの個々の観測点を、その断層を跨る両側に対称に配置し、断層面を隔てて生ずる応力状態(Stress state)の隔差とその経時変動を4次元的に観測することによってその断層面の破砕、即ち、地震発生の場所、時期及び震度を予知することができる。その予知の精度はネットワークの密度によって定まる。

【 0 0 1 0 】一面破砕法を用いて载荷プローブによる自動的な繰り返し観測により地震予知を行うため、本発明においては新規なプローブを提案する。この新しいプローブは载荷チューブ、エンドシール、エンドキャップ並びに鋼製心棒より成り、その基本構成は従来の一面破砕法によるものと全く変わらないが、本プローブにおいては载荷チューブの外層の構造を新規なものとした。この新しい载荷チューブは軸方向に4区分され、それぞれ異

なった表層によって覆われている。第一の区分は载荷チューブと同じ軟質ゴムで均質に覆われ、二面破砕を発生させる機構を持ち、他の3区分はそれぞれ一對の摩擦半円筒によって覆われ、それぞれ異なった方向に一面破砕を発生させる機構を有する。この3区分における3つの一面破砕は、通常その破砕面を60°の等間隔で発生させるように配置する。この4区分を持つ1本の载荷チューブによる1つの油圧载荷によって、同時に4セットのデータが得られるのが本プローブの特長である。

10 【 0 0 1 1 】载荷チューブの両端部には、従来の载荷チューブと同様、エンドキャップとエンドシールの組合わせによる油圧密封機構が装着されている。エンドキャップは従来と同様鋼製であり、心棒の両端はネジで結合され、軸方向のチューブの変形を抑制している。これに対してエンドシールはゴム製チューブと鋼製エンドキャップの間に緩衝材として配置され、チューブのゴムがキャップと孔壁の間に存在する空間から圧出されて破裂を起こすことを防止している。

20 【 0 0 1 2 】本発明においては新規なエンドシールも提案している。本発明に係る装置におけるエンドシールの中に、輪型になって埋め込まれたアレイ型(Dunbell Shape)の鋼製内蔵アンカーを設ける。このアレイ型アンカーを载荷油圧により孔壁に固定することによってエンドシール全体が構造的に安定し、その密封機能を増大することができる。輪型に配置した個々のアンカーは軸方向に配置されているので、その軸方向の先端は直接に鋼製エンドキャップに密着しており、その隙間から軟質ゴムが押し出されないようになっている。このようにエンドシールはその軸方向の移動を完全に抑止されながら、その

30 直径方向には全く自由に膨張して孔壁に密着することによって载荷チューブが破裂することを有効に防止している。

#### 【 0 0 1 3 】

【発明の実施の形態】本発明は実測データと工学的定量理論に基づいて、地表に近い活断層による直下型巨大地震の発生を予知する方法と装置に関するものである。本発明は活断層周辺の地殻応力状態(フィールド)を連続観測して、応力分布の経時変動から直下型巨大地震の発生を予知する方法を含む。図1は大陸プレートと海洋プレートが衝突することによって、地震の原動力となる異常な地中応力の蓄積が起こることを示している。このプレート衝突の影響は地下数100キロメートルにも達し、その結果発生する地震の深度は数10キロの深さに及んでいる。この衝突によって大陸プレートが大きく変形してその中に地殻応力が蓄積される。その応力の発散による地震の結果として地表近くから20キロメートル程度の深度にまで及ぶ断層が生じてきている。

40 【 0 0 1 4 】一般的に地表に近い活断層の破砕による地震が、他のいかなる原因による地震よりもはるかにその地上に及ぼす災害の規模が大きい。これに反してプレー

ト自体や深い大きな断層の破裂は、その破裂エネルギーは確かに巨大であるが、その地震エネルギーが地表に達するまでに拡散することにより、地表における災害の程度は一般に軽少である。本発明はその災害の最も大きな活断層による浅発直下型巨大地震を対象とするものである。

【0015】本発明の発明者は、巨大地震の起こる前に、異常な応力状態が、その破壊する活断層の周辺に極めて基本的な岩盤工学の理論に基づいて発生することを発見した。この発見は活断層周辺に異常な地震応力の発生機構を有限要素法(FEM)による数値解析を用いて解明することによって成し遂げられた。その一例としてサンフランシスコ湾岸に存在する米国で現在最も地震発生の確立が高いと考えられているハイワード活断層をモデルにして数値解析を行なった。この活断層は一部に固結した部分が見られるが、大部分は現在順調に滑動している。この活断層は全域に亘って一定の速度で滑動しているので、固結点には現在非常に大きな地殻剪断(地震)応力が蓄積しているものと考えられる。一般的には地殻応力は3次元的に変動するものであるが、通常活断層は垂直に近い面で滑動しているため、その地震応力は活断

- 1) 垂直応力 (  $\sigma_v$  ) 地殻の任意の水平面に垂直にかかっている力
- 2) 最大水平応力 (  $\sigma_H$  ) その水平面における最大主応力
- 3) 最小水平応力 (  $\sigma_h$  ) その同じ水平面における最小主応力

この定義より、活断層による直下型巨大地震を発生する直接原因である地震応力のテンソル( tensor ; 三次元フィールド)は、次の1組3種の主応力要素によって決まる。

【数1】

- 1) 垂直応力 =  $\sigma_v \cdot H$
- 2) 最大水平地殻応力 =  $\sigma_H \cdot H$
- 3) 最小水平地殻応力 =  $\sigma_h \cdot H$

ここで、

- H = 地表からの有効平均深さ
- = かぶり地盤の全体の平均重さ
- = かぶり地盤の全体の平均ポアソン比

【0018】図4は前述の(図3参照)のカリフォルニア州ハイワード断層の固結部における最大水平応力(  $\sigma_H$  )の平面分布を示す。図5はこの場合の水平剪断応力の平面分布を示す。FEM 数値解析法を用いて地震発生時のエピセントラとなる活断層面の固結部の深さが、地表近くで観測される水平応力の分布に及ぼす影響を解明することができる。図6はその観測深度を1500mとした場合の3つの異なった固結点深度( A : 3000m、 B : 5000m 及び C : 9000m ) に対する  $\sigma_H$  及び  $\sigma_h$  の分布を比較したものである。この解析結果より、1500mと言う容易に観測できる深さではおろか深い(10km以上)エピセントラ(固結点)の存在とその危険度並びにその危険度の経時変動を観測し、最も正確な地震の定量予知を行うことができる。

\* 層面に直交する水平面における最大及び最小主応力である。そのため直下型巨大地震の原動力は地中の水平応力によるものであり、その観測によって地震の定量予知が可能となる。

【0016】図2及び図3は活断層の深度1kmの深さにおける滑動部と固結部より成る断層周辺の水平主応力(最大応力  $\sigma_H$ 、最小応力  $\sigma_h$ )の平面分布の状態を比較したものである。図2に示すように滑動中の断層面周辺の応力の分布は断層面の両側では同じであるのに対して、固結した断層面の周辺では応力分布が固結点に対して点対称をなす異常な分布を示す。この固結点における異常な水平応力の集中は時間と共にその異常性を増大して、剪断応力(Shear stress)が、最終的に固結部活断層の剪断強度を超える時に地震が発生する。その一例が1994年1月の米国ノースリッジ地震や1995年1月の神戸地震である。これらの場所でもし地震の前に活断層の両側で地中の水平応力の分布が観測されていたとすれば、図3に示すような異常な地震応力の集中状態が発見され、その発生の予知ができたはずである。

【0017】この地震発生の原動力である地殻の水平応力は、岩盤工学に基づいて次のように定義される。

【0019】この FEMモデル解析と従来の地震観測の経験から、応力と強度の直接的因果関係による解析方法が考案された。図7は地震の剪断応力の経時変化による蓄積と微小地震の発生 ( $E_1 \sim E_5$ ) 並びに活断層の破裂強度との関係からその深度と発生時を予知する手法を示す。

本図は活断層面が一定の速度で滑動する場合の破裂現象を他の地震発生の現象と比較観察したものである。ここで特に注目すべきことはこの地震発生機構が従来より広く観察されて来た地震発生前の諸現象、即ち、微小地震、圧電効果、地電流発生、電磁波干渉地表変位、地下水変動並びに動物の異常挙動等のあらゆる地震前の現象に対して何ら相反することが無いのみならず、むしろこれらの全ての現象の根本的な原動力として理解できることである。

【0020】ここで特筆すべき点は、巨大地震発生の直前には岩盤破裂現象が加速度的に起こることである。特に最近注目され始めた地電流効果が幾何学的に増大するために起こるものであり、これが地震前に魚や動物を刺激するものと考えられる。故に地震応力の連続経時変化と従来の多様な地震現象を原因と結果、或いは実態と影の関係から地震発生の経過を解析することによって、その地震予知の総合的定量化を可能とするものと考えられる。

【0021】従来の地震予知研究では数千メートル以上の超深度でなければ地震応力は測定できないものと考えられてきた。その目的の為に4000m以上に達する超大深

度の地中の応力測定が過去10余年に亘って世界的に行われてきたが、この応力測定は残念ながら非常にコスト高になるのみならず、その結果は信頼性のある水平応力の測定が、そのような大深度では、逆に不可能であることを確認した。これは自然と人工の2つの異なった理由によるものである。自然の理由は、深度の増大に伴って垂直応力が水平応力よりも大きくなり、その過剰垂直応力のために岩盤は既に長期のクリープによって繰り返し破砕されてきているために、力学的に真の地震応力とその経時変動の観測は不可能であるということである。一方人工の理由は、テスト孔のボーリングそのものによって孔壁周辺に大きな応力が集中し、その壁面が応力測定が不可能となるまでに破損することである。この応力測定の困難は深度が2000mを超えると著しく増大することが判明してきた。

【0022】この発明の基礎をなす発見は、地表に近い活断層周辺の地殻応力の観測を可能とする深さの窓(Depth Window)の存在である。その窓より浅くても深くても直下型巨大地震を発生させる地殻応力の観測は不可能である。この応力観測の窓を通じて地震応力を測定する岩盤工学の理論的根拠は次の地中観測の結果に基づくものである。

【0023】1) 水平応力の深度による増大比  
地表付近の岩盤の挙動は塑性よりも脆性が強く、深度増大による水平応力の増大は平均して次の比較的安定した弾性的値を示す。

【数2】  

$$\frac{H}{H} = \text{水平応力増大値} / \text{深度増大値}$$

$$= \text{水平応力の深度による増大比}$$

$$= (1 - \nu) \cdot 0.20 \quad (\nu = \text{平均ポアソン比})$$

【0024】2) 水平造山応力  
 地表面に近い地層における水平造山応力  
 【数3】

$$\sigma_L^T$$

は一つの均質な地層においては、その深さに殆ど無関係に主として地層の物性値によって定まる一定の値を保っている。この場合、

【数4】  

$$\sigma_L^T$$

は次のように定義される。

【数5】  

$$\sigma_L^T = \sigma_L - \sigma_L^G$$

ここで

【数6】  

$$\sigma_L = \text{水平応力観測値} (\sigma_H, \sigma_h)$$

$$\sigma_L^G = \text{深さによる水平応力増大量}$$

\* である。

【0025】3) 水平造山応力の不連続性  
 任意の1地点における水平造山応力  
 【数7】

$$\sigma_L^T$$

の値は地表付近(0~1000m)では地層の物性とその風化の程度に支配される為、異なった地層の接触面では不連続に大きく変化するのが普通である。

10 【0026】4) 水平造山応力の飽和  
 深度の増大と共に地表から風化の影響が減少し、地質の異なった地層間の、  
 【数8】

$$\sigma_L^T$$

値の変動が次第にゼロに近づき、深度が500m近くになると、

【数9】

$$\sigma_L^T$$

20 値は地層や地質に無関係な与えられた地点個有の一定飽和値

【数10】

$$\sigma_L^{T_0}$$

に漸近線的に到達する。その飽和深度は世界中の観測を通じて通常500m程度であることが発見された。過去の風化と造山変動が少なかった地域ではそれよりも浅い深度で飽和値に達する場合(300~400m)も観測されている。

30

【0027】上記の地表付近の造山応力の特性は、地下の土木工事、鉱山掘削並びに超深度ボーリングにより工学的に直接観測された結果に基づくものである。更にこの結果は過去20年に及ぶ世界的規模で行われて来た各国の地中応力観測プロジェクトによって得られた観測結果ともよく一致している。図8はその地中応力の方向と量の総合的な関係を示す深度分布図である。ここに示されるように重力による水平応力効果は深さと共に深度に対する一定の比率

40 【数11】  $\tan \theta = \sigma_L / H \approx 0.2 \cdot H$

によって増大している。地表付近の水平造山応力

【数12】

$$\sigma_L^T$$

は実際に観測される水平応力  $\sigma_L$  ( $\sigma_H, \sigma_h$ ) から次の関係によって求められる。

\* 【数13】

$$\sigma_{H^{11}}^T = \text{最大水平造山応力} = \sigma_H - \sigma_{L^G}^{12}$$

$$\sigma_{h^T} = \text{最小水平造山応力} = \sigma_h - \sigma_{L^G}$$

ここで、

【数 1 4】

$$\sigma_{L^G} = [\nu / (1 - \nu)] \rho \cdot H$$

【0 0 2 8】上記の水平造山応力はその深度が応力観測の窓の深さに至るあたりからその飽和値

【数 1 5】

$$\sigma_{H^T}$$

と

【数 1 6】

$$\sigma_{h^T}$$

に達する。この飽和に達した両者を含む水平造山応力が真の活断層地層の原動力である為にこれを地震応力と呼ぶことができる。図 8 は上記の関係を深度分布によって説明するものである。ここでは図解の簡素化のために特別の場合 ( $\sigma_L = \sigma_H = \sigma_h$ ) を示している。この  $\sigma_L$  と  $\nu$  が交わる点が縦横応力の交差点 (インバージョンポイント) であり、その深さは普通 1000m から 1500m でありこれが応力観測の窓の下限と考えることができる。

【0 0 2 9】ここに示されていることは、地震応力

【数 1 7】

$$\sigma_{L^T} (\sigma_{H^T} \text{ 及び } \sigma_{h^T})$$

は地表面では風化の影響によって観測できないことを示している。地表地殻に残存している不飽和状態の地震応力

【数 1 8】

$$(\sigma_{H^T} \text{ 及び } \sigma_{h^T})$$

は深度の増大と共に地質に支配される不規則な深度分布を描いて増大し、500m 前後で漸近線的に一定値の飽和状態に達している。ここで始めてその観測点における固有の造山水平応力値

【数 1 9】

$$\sigma_{L^{T_0}} (\sigma_{H^{T_0}} \text{ 及び } \sigma_{h^{T_0}})$$

の観測が可能となる。この飽和深度は世界的にほぼ 500m であって、これより浅い所では風化による影響を受ける場合が多く、通常 500m をもって応力観測の窓の上限とすることができる。

【0 0 3 0】その窓の下限は地殻応力転換点 (インバージョンポイント) 付近の 1500m とされる。これによって応力観測の窓は通常 500m から 1500m に及ぶ 1000m の窓の幅を持っている。この観測の窓の発見は従来の、深い程正確な地震応力が測定できると言う考えを根本的に覆

\* したことになる。その結果、今までに想像もできなかった非常に浅い深度で地震応力が最も正確に観測できることである。特にこのような深度では一般に地中の温度も低く、地熱の高温によって計測機能が著しく制限されることが無くなり、コンピュータを導入した高度の計測技術による応力観測が可能となった。尚、このような深さにおいては計測器の操作も比較的簡単であり、その必要に応じて地震応力の深度分布の経時変動を観測の窓を通じて繰り返し観測することもできる。その結果として地震応力観測コストが今まで想像もできない程減少し、始めて地震予知のための地震応力観測が現実のものとして考えられるに至ったものである。

【0 0 3 1】この発明は更にこの観測の窓を利用して活断層周辺の任意の深度における地震応力

【数 2 0】

$$\sigma_{L^{T_0}}$$

20

の平面分布図とその経時変動を直接観測によって求めることができる。この発明の方法を用いて、危険度の高い活断層の周辺に観測点のネットワークを作り、その危険度の経時変動の連続観測を行うことができる。図 9 に示すように、個々の地震応力観測ステーション 101 は観測孔 102 の上に置かれ、その孔の中に観測プローブ 103 を挿入し、これを観測窓の深さに設置する。プローブ 103 はケーブル 104 によって吊り下げられ、プローブ上方にある機械部 106 のアンカによって特定の深度で任意の回転方向に固定される。この機械部には自動回転機構 107 が含まれ、その下に在る電気部 105 と載荷部を自由に任意の方向に回転することができる。

30

【0 0 3 2】載荷部は 1 個の二面破碎サブプローブ 108 と 3 個一組の一面破碎サブプローブ 109A、109B、109C の組み合わせによって作られている。二面破碎プローブ 108 は Shousei Serata の米国特許第 4,773,567 号に詳述されている。サブプローブセット 109 は 60° 間隔にそれぞれのサブプローブによって 3 個一組の破碎面を作る。この複合載荷部は地表ステーション 101 によって制御される同一の載荷油圧によって操作される。この組み合わせプローブの直径変形と油圧載荷の関係から計測点の応力状態と岩盤物性をプローブを固定したままで長期に亘って繰り返し求めることができる。

40

【0 0 3 3】回転機構 107 はその下方に位置する電気部と載荷部の全体を任意の方向に回転することができる。新しく選ばれた回転角において上記と同様の載荷テストを繰り返すことによってその計測精度を更に高めることができる。図 10 はプローブの上部に位置する機械部 106 を構成する外被円筒 111、電気ケーブルコネクタ 104 並びに載荷油圧コネクタ 112 の配置を示している。

【0034】機械部の中にあるアンカ/キャリパ機構114は直径方向に設定されたスプリングアンカとして作動する。多数個のアンカ/キャリパ118が多方向に一定の角度間隔(30°~90°)で配置されている。その個々の直径方向のアンカの中にはLVDT117が配置され、常に孔壁直径の連続自動観測を行うキャリパの役を果たしている。故にプローブが観測孔を上下に移動する場合、或いは一定深度に固定されている場合等の如何なる状態にあっても、プローブ周辺の孔径の微細な挙動を自動的に観察することによって常にプローブ周辺の孔壁の安全状態を確認しながら計測を行うことができる。更に、この機構114はプローブ全体を常に観測孔の中心に維持するセンタライザーの役目も果たしている。

【0035】機械部の底には隔壁121があり、これに形成された連結孔122を通してその下にある電気部105に連結している。電気部の上端にある連結円筒123は連結孔122と同軸の回転をする機構を成している。回転ギヤ124が直接に連結円筒123を回転することによってプローブの電気部105とその下に続く载荷部全体108、109を自由に任意の方向に設定することができる。このプローブの回転はアンカ/キャリパ113、118によって固定された方向を回転の基準として機械部内のステップモータ127と連結ギヤ128を通して制御される。

【0036】図11に示すように地震応力観測ステーション101には油圧ホース112を操作する電動ウインチ131と電気ケーブルのワイヤ104を操作する電動ウインチ132を設けている。ワイヤは通信装置133に連結され、これによってプローブによる観測とデータ通信134を遠隔操作によって行うことができる。動力ユニット136は観測ステーションにおける自動観測とその遠隔操作に必要な電力を供給する。このステーションはその必要に応じて3種類の異なった操作、即ち(1)直接手動式、(2)長期自動式並びに(3)緊急遠隔式の操作を行うことができる。

【0037】個々の一面破砕载荷サブプローブ109は、本発明の発明者により既に米国で1995年4月3日に出願した「地中の応力と物性を同時に測定するための一面破砕計測方法とその計測機械」(米国特許出願番号08/415,196号)に基づくものである。ただし、その中には含まれず今回の新しい発明の一部となるものを図12~図14に示した。図13に示すようにプローブの载荷部は载荷油圧と電線が通る軸心孔37を持った鋼製心棒とこれを包むゴム製载荷チューブ41より成っている。载荷チューブ41の外表面は2個一組(一対)の半円筒弾性摩擦シェル40に覆われている。チューブ41の油圧载荷によってその相対する半円筒40の2つの接触線によって規定される一面に沿って孔壁22が一面破砕を起こす。機械部106にあるステップモータ127を作動することによって载荷部108、109を軸心の周りに回転し、一面破砕の方向を任意に設定することができる。

【0038】プローブの载荷部の両端にあるエンドキャップ72はネジ構造によって心棒34に固定されている。図13に示すようにエンドキャップは円筒形で载荷チューブに面する方向に傾斜した開口部73を有している。载荷チューブ41の両端部はその外径が先細りに減少してエンドキャップ72と心棒34との間に作られた円筒空間を埋めている。载荷チューブの最先端は鋼製円筒(ブッシング)76によって固定され、これに取り付けられたOリングによってチューブと心棒の間から高圧载荷油の漏減を防いでいる。

【0039】図12はエンドキャップと载荷チューブの間において緩衝材の役をなすエンドシール78を示す図である。エンドシール78は硬質ウレタンから成り、非常に柔らかい载荷チューブ41と非常に硬い鋼製エンドキャップ72の中間において、载荷チューブのゴムが载荷の高圧によってエンドキャップと孔壁の間の大きな隙間から圧出されることを防止する。図14は強大な载荷圧に対して载荷チューブ41の安全を確保しているエンドシール78の変形状態を示している。この図に見られるように、エンドシール78はエンドキャップ72と载荷チューブ41にその両端が常に形状的に密着していることによって、緩衝材としての役目を果たしている。このエンドシールの変形を制御するために、エンドシールの外周及び内面は、その繊維方向が軸方向に一致した高強度人工繊維79に覆われている。この繊維によってエンドシールの変形は直径方向にのみ自由で、軸方向には抑止されている。

【0040】輪型のコイルスプリング81、83がエンドシールの内部に組み込まれている。図14に示すように、エンドシールの外側にあるコイルスプリング81はエンドキャップ72との安定した接合を確保し、エンドシールの内側にあるコイルスプリング83は载荷チューブとの安定した接合を確保している。これらのスプリングの中は鋼製円柱で満たされ、外覆の高強度繊維と共にエンドシールの剛性を維持することによって高圧载荷の安全を確保している。大きく変形したエンドシール及び载荷チューブは、载荷圧の除去によって図13に示す元の形状に戻ることができる。

【0041】エンドシールの内部には多数のアレイ(Dumbbell)型の内蔵アンカー90が密着して輪型に配置されている。個々のアンカーは全て軸方向に置かれ、油圧载荷と共にそれぞれのアンカーが壁面に押しつけられることによって個々のアンカーと孔壁面との間に大きな摩擦力が作用する。その結果、エンドシールの母材である硬質ウレタンがエンドキャップと壁面の隙間に押し出されることを防ぐことができる。内蔵アンカーはエンドシールの軸方向の変形を阻止して直径方向の変形を自由に行っている。

【0042】本発明に係る観測方法は、観測ステーション101のネットワークを作り、それぞれのステーションに観測プローブ103を設置することにより行われる。図

5 に示すように個々のステーションは地震発生危険度の高い活断層面の両側に線対称に配置される。長期連続観測を開始する前にそれぞれの観測孔における水平応力の地表からの深度分布（例えば 100m 間隔）を測定してそれぞれに特有の応力観測の窓の位置を確定する。

【0043】地震応力の連続観測における観測頻度は、与えられた活断層の現時点における危険度によって定められる。危険度が低い場合、或いは応力状態の経時変動が少ない場合には計測は 1 日に一回或いは週に一回で充分である。その反面、危険度の高い場合、或いは応力状態の経時変動が起こっている場合にはその頻度を必要に応じて増加する。地震応力が急激に増大して地震発生が近づいている場合には連続観測（数分間隔）を行わなければならない。観測データは直ちに有線或いは無線のテレメトリによって常時中央観測センタに通報される。センタでは送られて来る観測データから図 3、4、5 及び 6 に示されるような FEM モデルによるデータの逆解析を行なって定量的地震発生の時と場所と震度を予測する。図 7 は活断層の固結部における剪断応力の経時変動と、他の地震関連の観測結果の総合判断によってその地震発生予知を行う手法を示す。

【0044】図 7 は、長期の過去の微小地震 ( $E_1 \sim E_5$ ) と将来起こるべき巨大地震との関連を示している。地震予知の精度はこのような関係のデータの蓄積によって将来非常に精度の高い予知ができることが分かる。特に岩盤の破砕に見られる様に地震応力が断層の強度限界に近づくと応力の蓄積が加速度的に増大し始めるので、地震発生予知の精度はその継続観測によって著しく高められる。更にこの連続観測から得られる発生の直前、その瞬間、並びに直後の応力変動のデータの集積と解析によって、更にこの新予知技術の精度を改善することができる。普通巨大直下型地震発生の数日、或いは数時間前にかんがりの圧電現象（地震流や電磁波の発生）が起こっており、これらの他の全ての地震関連現象をその地震発生の原動力である地震応力の変動と直接関連するこの方法は、工学的な高い精度の地震の定量予知を可能とするものである。この高い定量的精度の予知によって来るべき地震災害を防ぐことができる。

【0045】

【発明の効果】本発明は更に今まで発見されていない危険な活断層の存在を探知するためにも利用される。特に深い堆積層に埋もれた多くの活断層が大都市周辺においてさえも未知のものがある。広範な観測点のネットワークによって図 2、3、4 及び 5 に示すような危険な活断層の存在と現時点におけるその危険度を測定することも大都市周辺においては急を要することである。

【図面の簡単な説明】

【図 1】テクトニックプレート衝突によって発生する、大深度から地表に及ぶ各種の地震の発生機構を示す図である。

【図 2】正常に滑動している浅い活断層周辺における、最大最小水平応力のベクトル分布図である。

【図 3】浅い活断層に異常固結点が生じた場合の断層周辺における、最大最小水平応力のベクトル分布図である。

【図 4】普通に見られる浅い活断層の固結点周辺における水平剪断応力（地震の原動力）の等高線図である。

【図 5】通常見られる浅い活断層の固結点周辺における最大水平応力の分布図である。

10 【図 6】活断層の固結深度が、一定の観測深度によって得られる最大および最小応力の水平分布に及ぼす影響の比較を示す図である。

【図 7】直下型巨大地震が起きる場合の、活断層固結点における地震応力エネルギー集中蓄積の経時変動と地震発生時を示す概念図である。

【図 8】本発明の基礎をなす、地殻応力観測の窓を説明する地中応力の深度分布図である。

【図 9】本発明の方法による地殻応力自動観測ステーションの孔内載荷プローブの構成を示す図である。

20 【図 10】孔内載荷プローブの機械部の側断面図である。

【図 11】自動観測ステーションの地上運転部の構成図である。

【図 12】本発明に係る一面破砕プローブのエンドシールの機構を示す鳥瞰図である。

【図 13】本発明に係る一面破砕プローブ先端部におけるエンドシールの油圧封入機能を示す側断面図である。

30 【図 14】本発明に係る一面破砕プローブ先端部におけるエンドシールの高油圧載荷に対する変形対応挙動を示す側断面図である。

【符号の説明】

22 孔壁

34 心棒

37 軸心孔

40 弾性摩擦シェル

41 載荷チューブ

72 エンドキャップ

73 開口部

76 鋼製円筒部

40 78 エンドシール

79 高強度人工繊維

81, 83 コイルスプリング

90 アレイ型アンカー

101 観測ステーション

102 観測孔

103 観測プローブ

104 ケーブル

105 電気部

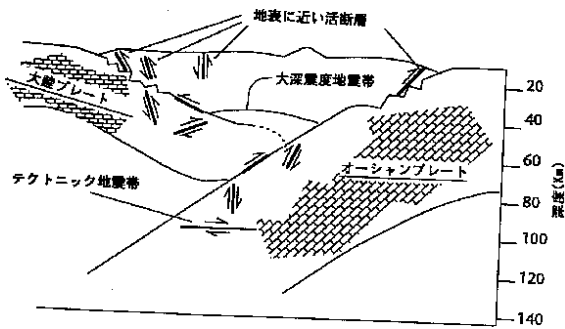
106 機械部

50 107 自動回転機構

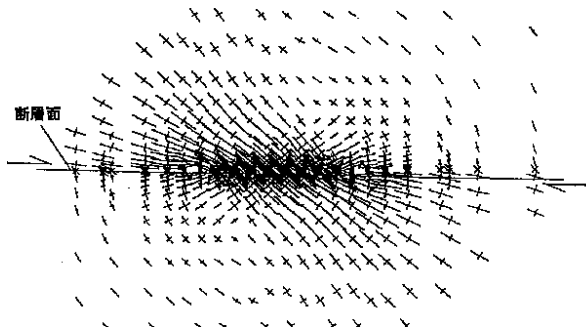


- 108 二面破碎サブプローブ
- 109 一面破碎サブプローブ
- 111 外被円筒
- 112 载荷油圧コネクタ
- 114 アンカー/キャリパ機構
- 117 LVDTセンサ
- 118 アンカー/キャリパ
- 121 隔壁

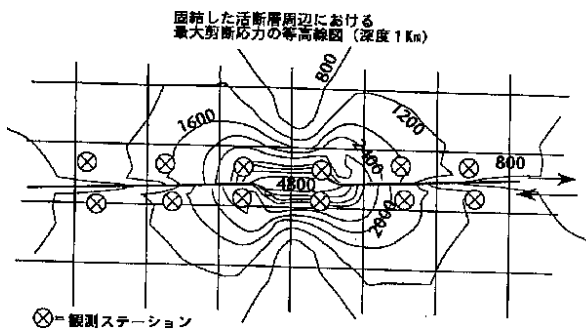
【図 1】



【図 3】

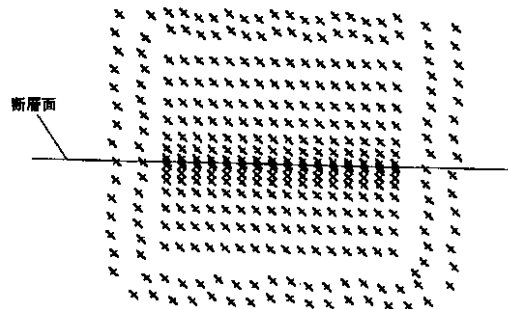


【図 5】

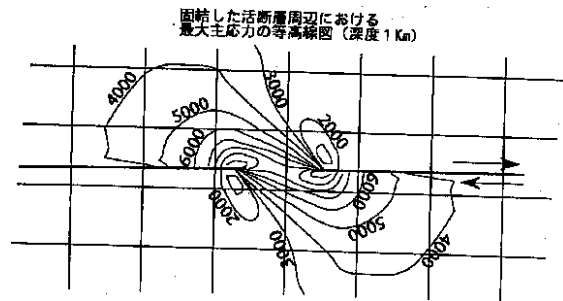


- \* 122 連結孔
- 123 連結円筒
- 127 ステップモータ
- 128 連結ギヤ
- 131 電動ウインチ
- 133 通信装置
- 134 データ通信
- \* 136 動力ユニット

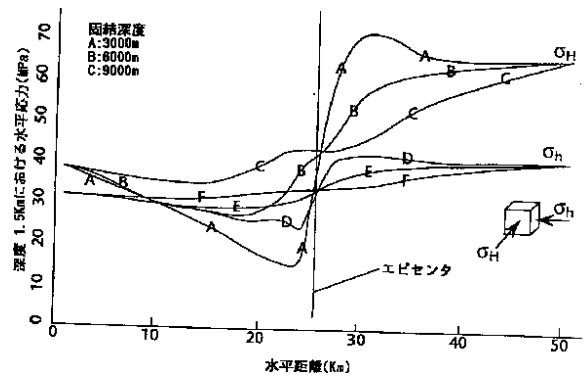
【図 2】



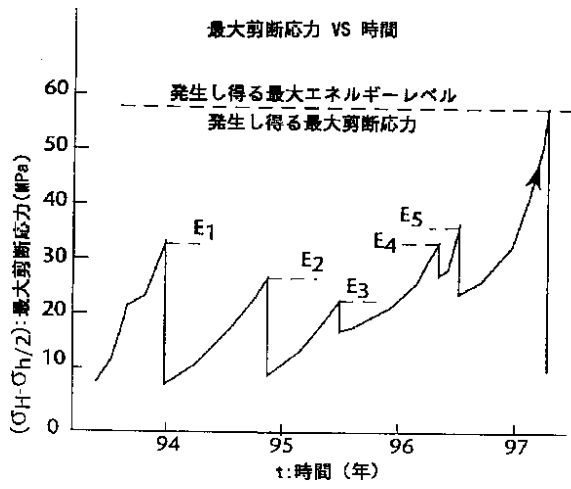
【図 4】



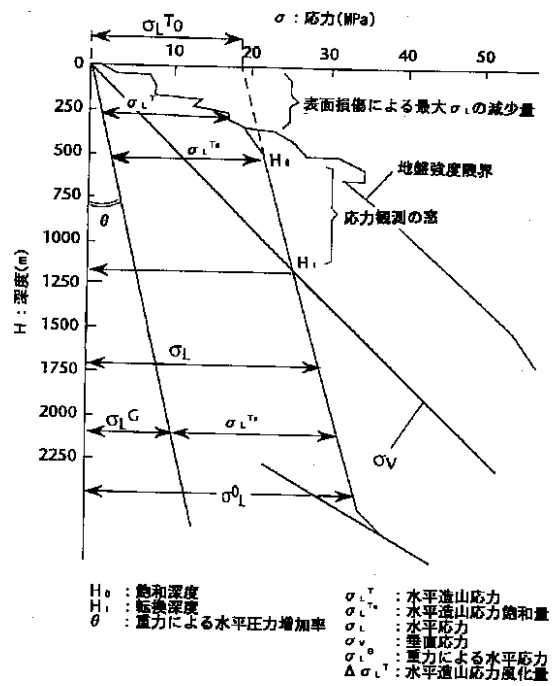
【図 6】



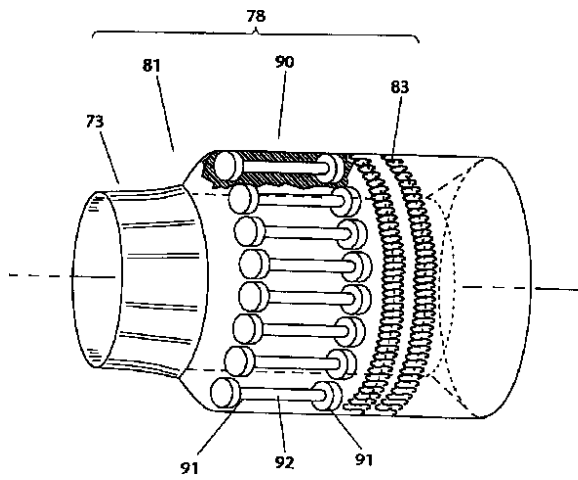
【図7】



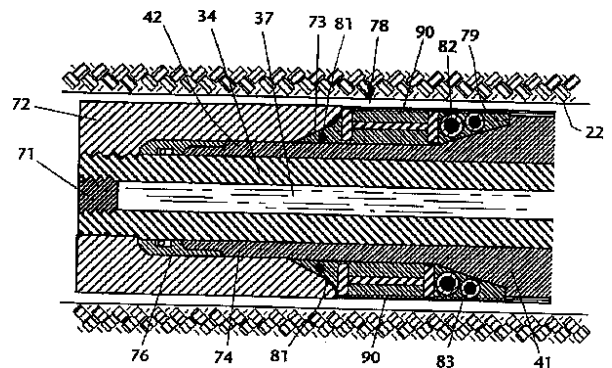
【図8】



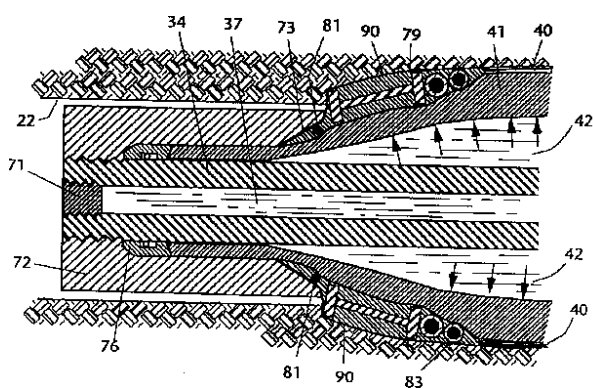
【図12】



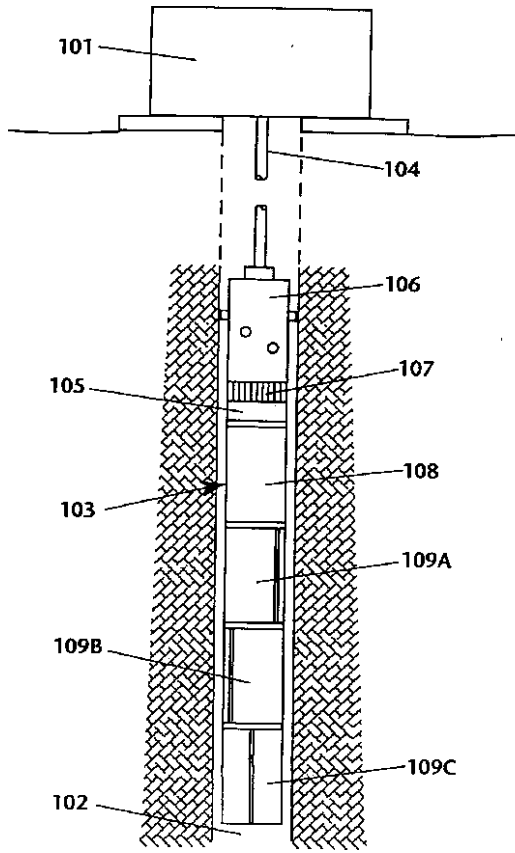
【図13】



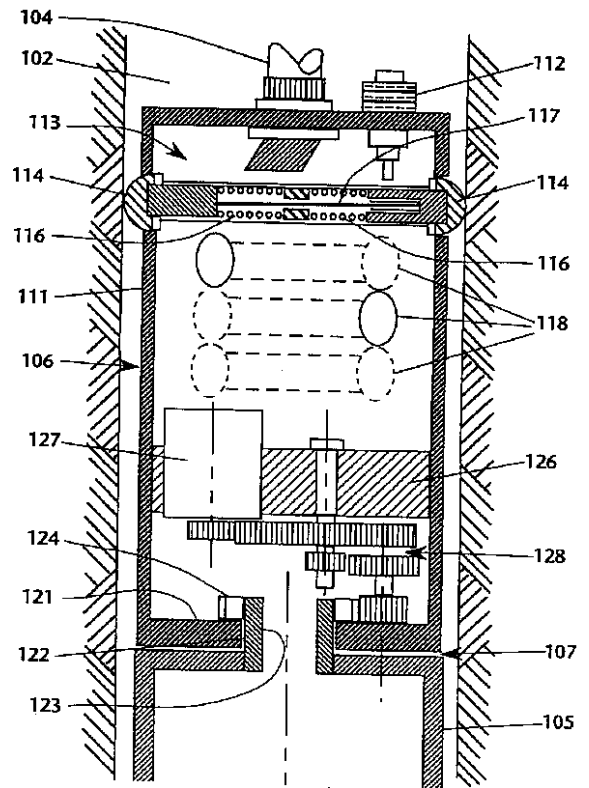
【図14】



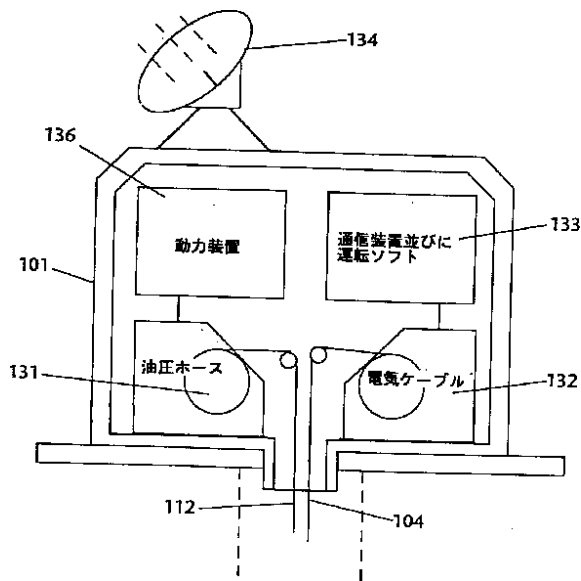
【図 9】



【図 10】



【図 11】



## フロントページの続き

(56) 参考文献 特開 昭54 - 141177 ( J P , A )  
特開 昭61 - 242214 ( J P , A )  
特開 昭57 - 40608 ( J P , A )  
特開 昭62 - 118287 ( J P , A )  
特開 平 4 - 198798 ( J P , A )

(58) 調査した分野(Int.Cl.<sup>6</sup>, D B 名)

G01V 1/00

G01V 9/00