

## 2.2 森町のアクロス送信装置概要

### 2.2.1 はじめに

我々はこれまでの研究で、岐阜県東濃鉾山で稼動している弾性波アクロス送信装置（國友・熊澤，2004a）（土岐送信点）の信号を Hi-net 等の地震波形定常観測点の記録を用いて解析を行ってきた。その結果、震央距離約 100km の地点でも SN 比が悪い一部の観測点を除いて 1 ヶ月以上のデータをスタックすると P 波や S 波を認識できるということが明らかになってきた（本報告，2.3.1）。また、P 波や S 波の後続波部分に伝達関数の時間変化が見られるという結果も得られてきている（國友・熊澤，2004b；吉田・他，2005）。上記の研究は弾性波アクロス装置を用いて地殻状態の能動監視を行える可能性を示している。

以上の結果をふまえて、気象研究所では特別研究の一環として 2005 年度に静岡県西部地域に弾性波アクロス送信装置を新たに設置し、弾性波速度の時間変化監視に関する研究計画を立てた。同地域は 2001 年に中部日本縦断人工地震実験が行われた場所である。この測線は日本海側から太平洋側まで中部日本を縦断するように設定されており、6 点の発破を 391 の臨時観測点で波形収録をして、屈折法探査を行った (Iidaka *et al.*, 2003; Iidaka *et al.*, 2004)。Fig. 2.2.1 に臨時観測点の位置を紫の丸で、一番南側の発破点 (J5) を橙の四角で示している。解析の結果、天竜川の船明（ふ

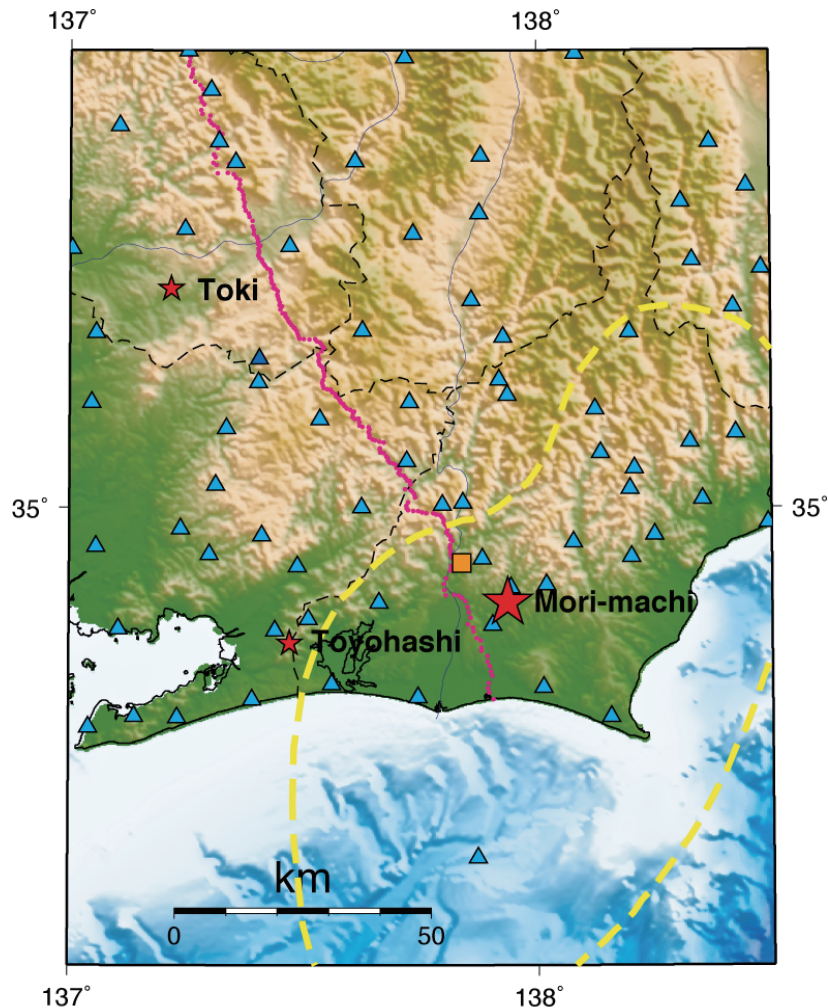


Fig. 2.2.1. Map of the ACROSS transmitter and seismic stations used in this analysis. The large star indicates the seismic ACROSS transmitter installed at Mori-machi. The small stars represent other seismic ACROSS transmitters in the Tokai area. The triangles indicate seismic stations (Hi-net and JMA network) used in this analysis. The profile line in the 2001 seismic experiment is indicated by small circles, and the J5 shot point is denoted by a rectangle. The broken line represents the assumed rupture area of the Tokai earthquake.

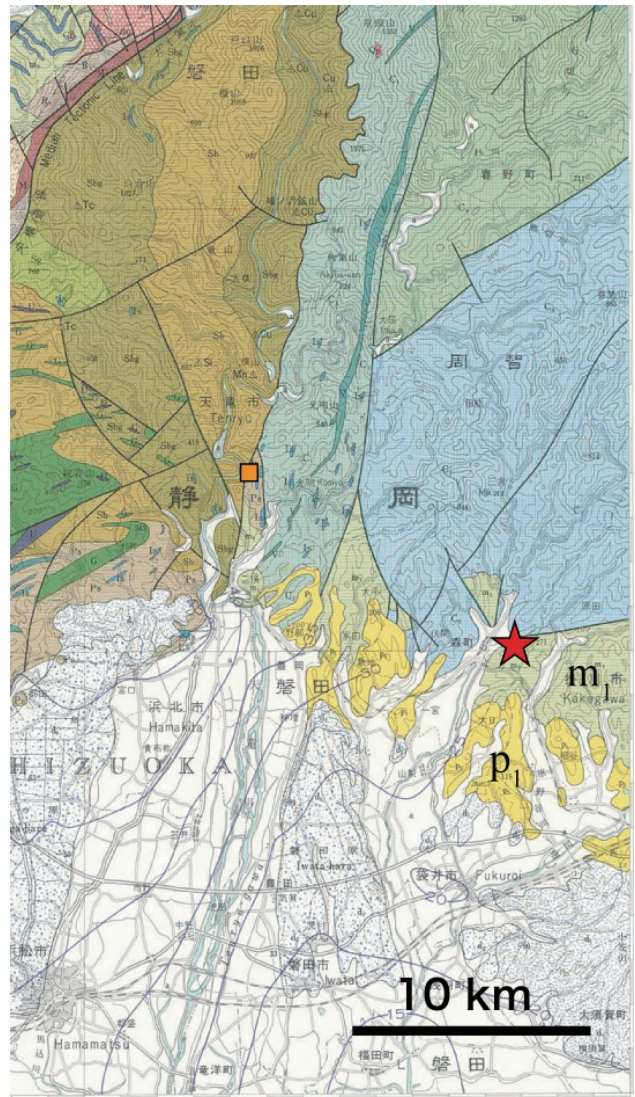
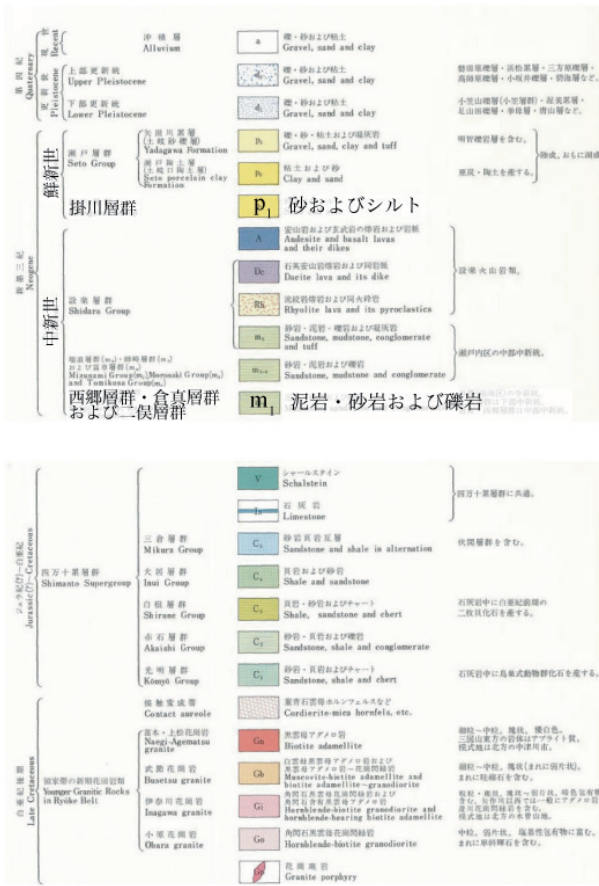
なぎり) ダムに近い J5 発破を北側の観測点で記録すると振幅の大きな反射波が観測されることがわかった。2 種類の反射波が確認され、後ろ側の反射波は走時解析によりフィリピン海プレート上面からの反射波であると推定されている (Iidaka *et al.*, 2003)。そこで、我々は東海地震想定震源域の能動監視を目指して静岡県西部地域に弾性波アクロス送信装置を 2006 年の春に設置した。今回設置を行った静岡県森町町営グラウンドは J5 発破点の南東約 10km に位置しており (Fig. 2.2.1 の大きな星印)、北側の観測点で発破観測と同様の反射波が捉えられる可能性が高い。また、この地域では低周波微動 (地震) (Obara, 2002; Katsumata and Kamaya, 2003) やスロースリップ (Ozawa *et al.*, 2002) が観測されており、流体の関与が要因と考えられる様々な現象が起きている。最近の研究により、プレート境界での流体の存在とプレート間のカップリングや、カップリングと境界の地震波の反射効率は、共に密接に関係していることがわかってきている (例えば Kasahara *et al.*, 2001)。したがってプレート境界の弾性波速度等の時間変化を常時監視できるかどうかを検証するテストサイトとしてこの地域は非常に都合な場所であると考えられる。笠原・他 (2004) では弾性波アクロス送信装置を用いてアクティブ・モニタリングによるプレート境界イメージングを東海地方でやってはどうかと提案している。その中で、プレート反射波のモニタリングをする上で、J5 発破地点付近に新たにアクロスを設置することは有効であると述べている。

Fig. 2.2.1 の図には森町と土岐以外にも豊橋の弾性波アクロス送信点 (國友・熊澤, 2004a; 渡辺・他, 2007) の位置も示している。現在東海地域に設置してある 20tonf (20 トン重=1.96x10<sup>5</sup>N) 級の弾性波アクロス送信装置はこの 3 台である。これら 3 台はすべて FM 送信されているが、國友 (2006) によって提案されている弾性波アクロス送信規約 (試案) によって送信されており、混信しないようになっている。

## 2.2.2 送信点近傍の地質

アクロス送信装置は偏心質量を回転させることにより、まわりの岩盤に力を与えている。この回転力 (遠心力) を効率よくまわりの岩盤に伝えるため、本体はコアカプラ (あるいは岩盤カプラ) と呼ばれる鉄骨のフレームを組み込んだコンクリートに固定してある (國友・熊澤, 2004a)。このためコアカプラがまわりの岩盤とどれだけきちんと結合しているかが、波の放射効率に効いてくる。すでに稼働しているアクロス送信装置の状況を見ると、花崗岩帯に設置した淡路島ではあまり遠くまで波が到達していない (生田, 私信)。これは花崗岩の中にクラックが存在し、錘の発生力をまわりの岩盤にきちんと伝えられていないためと考えられている。一方土岐送信点は淡路島の装置に比べると波の放射効率が非常に良いことがわかっている。これは周りの岩盤が新第三系の瑞浪層群であり、粒子の細かな砂岩で構成されるため、コアカプラとのカップリングの度合いが高いのではないかと考えられている。

そこで J5 発破点近傍で土岐と同じような地質の地域を探した。Fig. 2.2.2 は 20 万分の 1 地質図「豊橋及び伊良湖岬」 (牧本・他, 2004) に J5 発破点 (橙の四角) と森町送信点 (赤の星印) を書き加えたものである。森町送信点のある緑色 (m<sub>1</sub>, 倉真層群) と南側にある黄色 (p<sub>1</sub>, 掛川層群) の部分が新第三紀の地質である。それより南側の白い部分は第四紀の地層でまだ固結しておらず、コアカプラを大きくする必要があるのでできるだけ避けたい。一方北側の青色や緑色の地域は中生代のジュラ紀から白亜紀に形成された砂岩、頁岩、チャートなどから成る四万十層群と呼ばれる付加帯である。このため強い変成作用を受けており、ある面を境に滑りやすくなっており脆いので、送信装置を設置する場所としては適していないと考えられる。また、送信装置はかなり電力を消費するので、近くまで電線が来ている場所である必要がある。最終的に地質、交通の便 (保守・点検のしやすさ)、電力の確保などを考えて森町町営グラウンドを設置点として選んだ。この地点は森町役場の東約 750m の浸食河谷と水田を造成した森町町営グラウンドの北東角の切土斜面下端に位置している。1981 年国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図や昔の航空写真を見ると、まだ町営グラウンドができていない頃の様子がわかる。それによると以前は、東から西に開いた谷地形を利用した水田であった。設置点の北東背後には直線的な谷地形が分布しており、雨が降った時には溝を流れる流量が多くなるのが観察



承認番号 第 60635500-A-20100526-002 号

Fig. 2.2.2. Geological map (modified from Makimoto *et al.*, 2004) of the vicinity of the seismic ACROSS transmitter at Mori-machi (red star). The J5 shot point of the 2001 seismic experiment is indicated by the rectangle.

されている。一方、グラウンドの北東角は造成により切土されて基盤が一部露出して法面を形成しており、この付近に送信装置を設置することにした。この送信点を森町送信点と称する。

設置工事を行う前に設置予定点で 20m のボーリング調査を行った。その結果、得られたコアと地質推定断面図を Fig. 2.2.3 に示す。表層の 0.7m は表土 (F) で完新統の人工改変土であり、空隙が多く緩い地層である。その下に新第三期・前期中新統の天方砂岩層 (TAss) が 0.7~16.8m (層厚 16.1m) まで分布していた。この砂岩は倉真層群に属し、土木工学的には基盤をなす層である。岩質は半固結な中粒砂岩から成り、粒径はそろっている。土岐送信点の地質と比べると若干脆いが、不均質性は小さく条件は良いものと思われる。その下は上層と同じ時期 (前期中新統) に形成された孕石礫岩層 (THg) が分布している。上部では粘土混じり砂礫、下部は玉石混じりの砂礫から成っている。ボーリング中に逸水があり、間隙水が多く存在していると思われる。以上のように設置地点では深さ 16m くらいまで割合均質な地層からできており、アクロス送信装置の設置深度である 2m の下方 10m 以上均質であることから、設置場所として適していると判断した。標準貫入試験の結果では、天方砂岩層の N 値は 50 以上で非常に締まった地質である。

Fig. 2.2.4 に送信点付近の地図を示す。アクロス送信装置は開発改良段階であり、設置後の保守・点検の便宜を考慮する必要がある。また、電力を使うので近くまで電線が来ている場所を選ばなくてはならない。その点、今回の設置場所は森町町営グラウンドの脇であるので、電源事情が良好であり、近くには天竜浜名湖鉄道が通っており交通の便も良い。実際に設置後、何回か不具合が起きたが、気象研究所から日帰りで点検に行くことができた。

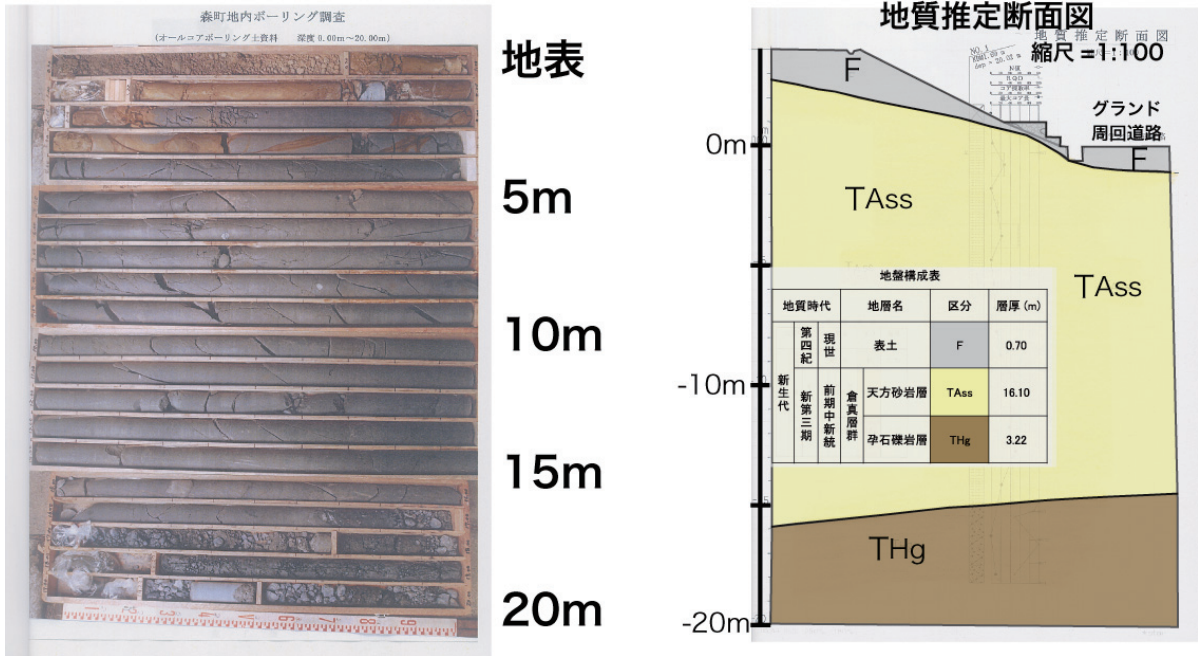


Fig. 2.2.3. Photo of boring core samples drilled at the Mori-machi athletic field (left) and the boring log estimated from the sample.

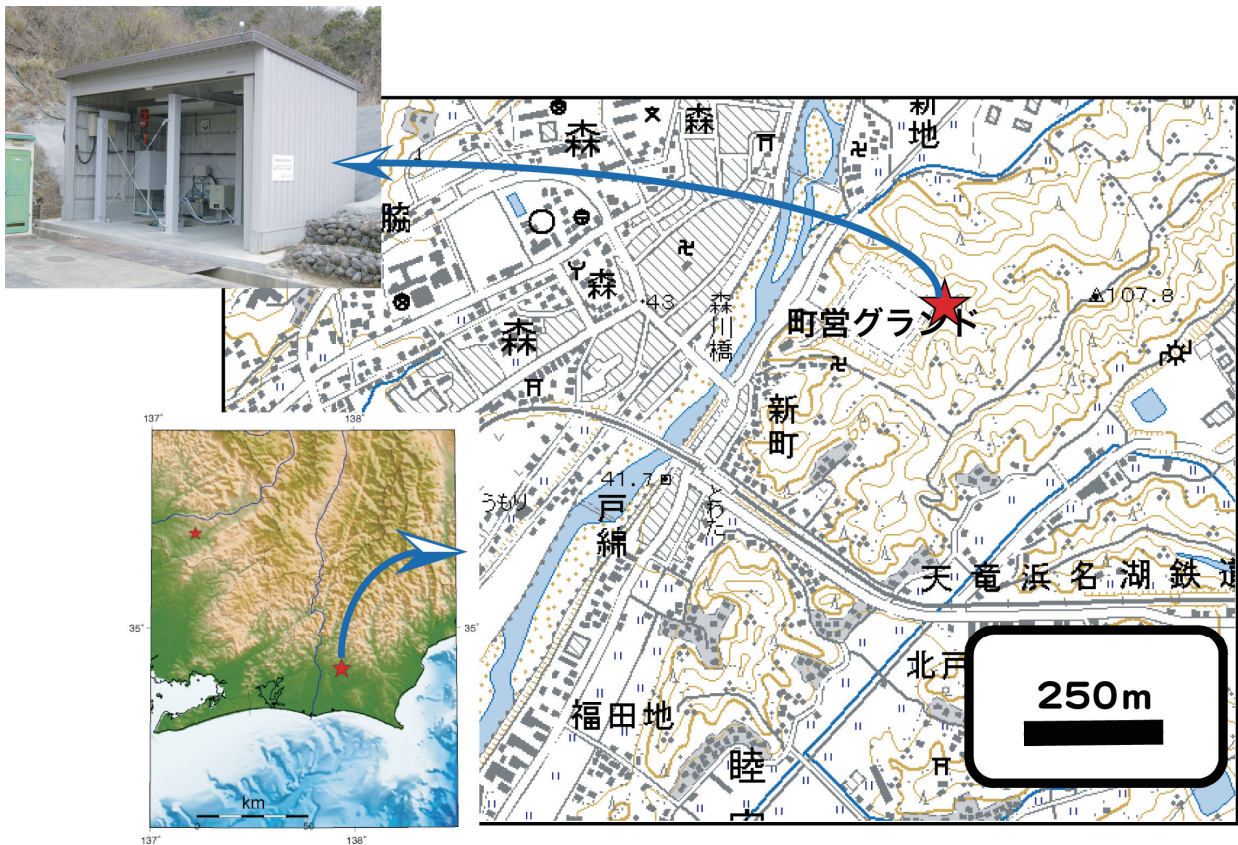


Fig. 2.2.4. Map of the seismic ACROSS transmitter at Mori-machi.

### 2.2.3 送信装置の概要

次に装置の心臓部分である震源装置について説明する。今回、森町に設置する弾性波アクロス送信装置は、従来の装置に比べて、低周波域まで大きな発生力を得ることができるという特徴がある。これは約 1:3 の重量比をもつ 2 個の錘を連結するか否かで、偏心モーメントを 2 段階に設定できるためである。低周波で用いる場合は、2 個の錘を連結して偏心モーメントを 82kgm と大きくし、高周波で用いる場合は 1 個の錘を用いて 21kgm とする。低周波運転では FM の変調幅を 3.5~7.5Hz としているため、発生力は  $4.0 \times 10^4 \text{N}$ ~ $1.8 \times 10^5 \text{N}$  となる。一方高周波運転では FM の変調幅は 7.5~15.5Hz とし、発生力は  $4.7 \times 10^4 \text{N}$ ~ $2.0 \times 10^5 \text{N}$  となる。両者の送信を組み合わせると、3.5~15.5Hz という従来に比べて格段に低い周波数帯域で  $10^4 \text{N}$  以上の発生力で送信を行うことができる。参考までに土岐送信点で動いている FIT No.1 の装置は偏心モーメントが 8.0kgm で最大周波数は 25Hz となっており、その時の発生力は  $2.0 \times 10^5 \text{N}$  である。第 5 回試験送信では周波数を低周波側にシフトして FM 変調幅を 10.25~19.45Hz としたので、発生力は少し小さくなり  $3.3 \times 10^4 \text{N}$ ~ $1.2 \times 10^5 \text{N}$  であった。

運転周波数を低周波に移す利点は減衰や散乱の影響を受けにくく、より遠方、より深部までの探査・モニタリングが可能となることである。また、波長が長くなるので細かい不均質の影響を受けにくくなることも期待される。強震動の分野では 1Hz より低周波では理論波形計算と観測波形の比較が良い精度で行えると言われており、できれば 1Hz~0.5Hz あたりで送信したいと考えていた。しかしながら 0.5Hz で  $10^4 \text{N}$  の発生力を実現するためには錘の偏心モーメントを  $10^3 \text{kgm}$  としなければならず、かなり大きな質量の錘を使うか、腕の長さを長くする必要があり、装置が非常に大がかりになるので、今回の装置は数 Hz の帯域で送信を行う設計とした。Fig. 2.2.5 に送信装置の本体部分の設計図及び写真を示す。

Fig. 2.2.5 では右側に設計図を示す。全体で高さ 2.8m、錘部の差し渡し 0.6m の大きさである。高さ 2.8m のうちモーターなどの地上部は 1.3m、地下の錘部は 1.5m である。上から順に見ていくと、1 番上の矢印の部分がベクトルモーターで、錘を回転させる力を生み出す中枢部分である。このモーターの回転速度は計算機で制御している。2 番目の矢印は 2 つの錘を連結するクラッチ部分を示す。クラッチの中心部には下の軽い錘とつながったシャフトが通っており、クラッチを上側の重い錘と連結して低周波運転を行う。クラッチの部分は当初、押しつける圧力を強くし摩擦によって結合する機構になっていたが、回転周波数を変化させる際に、クラッチの境界面に強い剪断力がかかることにより接触面に若干すべりが起こり摩耗するという問題が起きた。そこで、ボルトで両者を締め付けて動かなくする機構を後から取り付けた (2007 年度)。しかし、今度はクラッチとシャフト間が弱点となり摩耗するという問題が起きたので、油圧をかけることにより、摩擦強度を強める改良を行った (2008 年度)。クラッチの連結・切り離しは自動ではできず、装置を停止した後手動で行う。以前はクラッチをダブルナットで締め付けるという機構であったが、クラッチの改良・交換によって油圧で締め付ける機構に変更された。2 番目の写真で赤い色で塗られた鉄骨はコアカブラ (岩盤カブラ) で錘の発生力をまわりの岩盤に効率良く伝えるための部品である。大きさは  $1.9\text{m} \times 1.9\text{m} \times 1.8\text{m}$  である。カブラからは棘のように H 鋼が取り付けられており、まわりの岩盤と結合するよう工夫がなされている。実際にはカブラは地面の下に埋められており、鉄骨の間にはコンクリートを流し込んである。1 番下の矢印は偏心錘を示す。半円形をしており、写真では真ん中にシャフトが取り付けられている。大きさは半径 29cm、高さは下側にある小さい錘が 18cm、上側の大きい錘は 54cm である。錘の間にはベアリングが入っている。

Fig. 2.2.6 に全体の機器構成図を示す。前段落では構成図の中央下部にある震源装置について説明した。本装置はその他に震源装置を冷却するための水冷却装置があり、冷却水 (クーラント) を循環させている。また、冷却と潤滑を兼ねて潤滑装置があり、潤滑油を循環させている。潤滑装置にはフィルターが入っていて、汚れ成分を取り除くようになっている。両循環装置には流量センサ、液面管理センサ、白金測温抵抗体がついていて、何かの原因で流量が少なくなったり、タンクの中の潤滑油や冷却水が少なくなったり、温度が高くなったりした時に警報を出すようにして

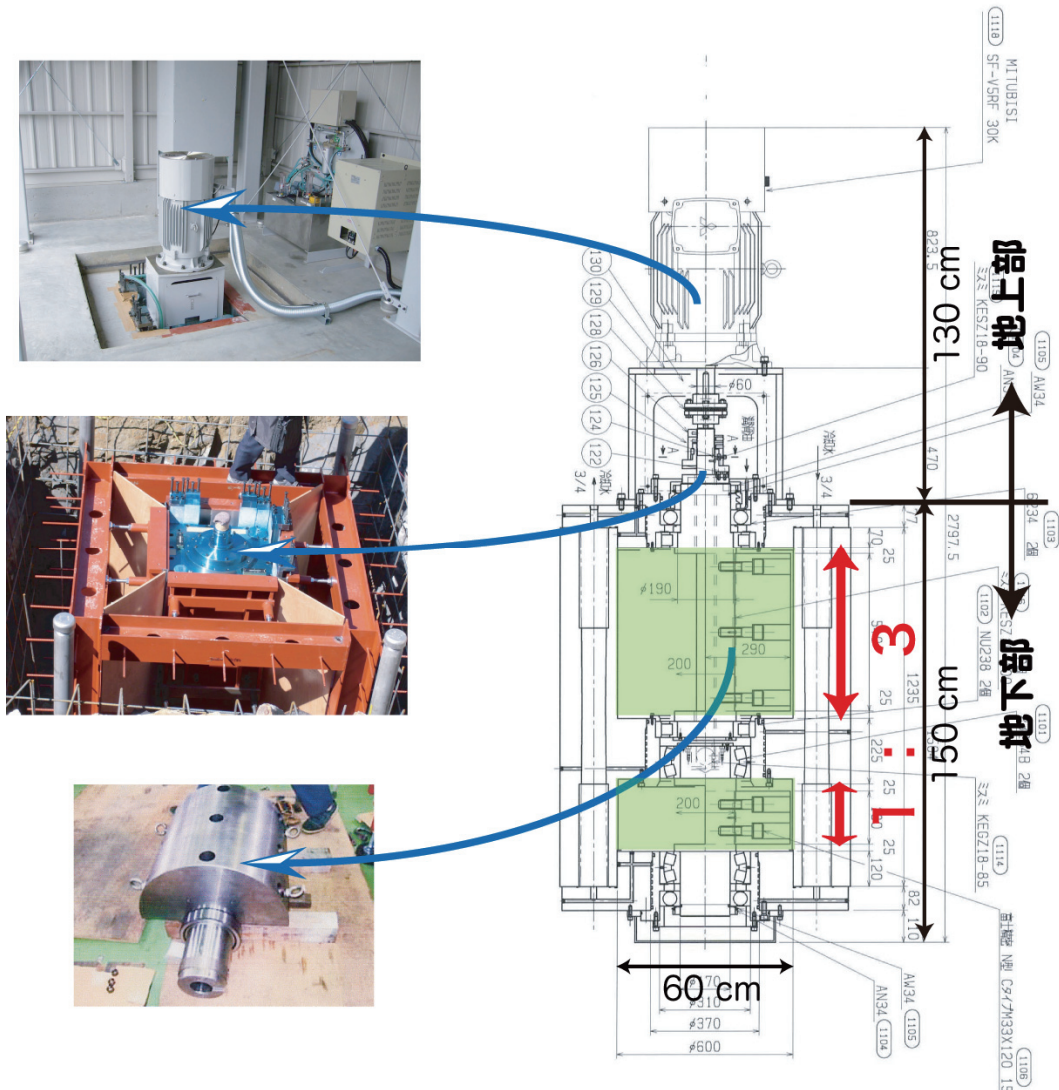


Fig. 2.2.5. Design of the seismic ACROSS transmitter installed at Mori-machi (right) and some photos of parts. Photos from top to bottom: vector motor; clutch and core coupler; and eccentric mass (shaded area is eccentric mass).

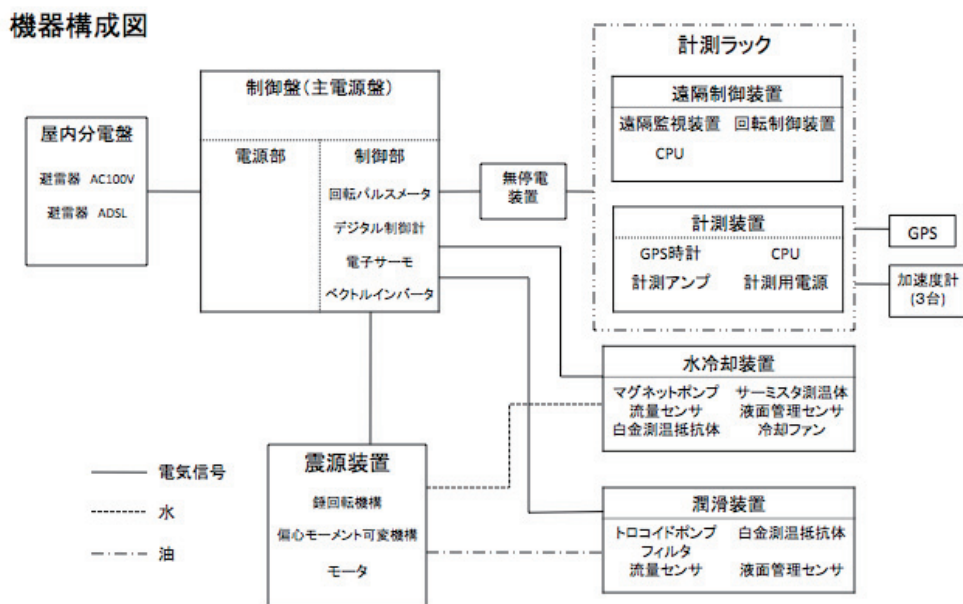


Fig. 2.2.6. Diagram of the seismic ACROSS transmitter installed at Mori-machi.

いる。また異常値がある閾値よりも大きく（小さく）なった時には自動的に装置が停止するようにしてある。これら運転時の異常については制御盤（主電源盤）のランプによってわかるようになっている。Fig. 2.2.7 に制御盤の写真を示す。制御盤パネルでは正常に運転しているか否かをランプで示してくれる。盤には警報ランプと停止ランプがあり、各々閾値を設定することが可能である（例えば潤滑油の温度、冷却水の温度などがある）。停止ランプが点灯する（停止レベルまで値が上がる、あるいは下がる）と自動的に装置が停止するようになっている。この制御盤はウェブカメラで監視しており気象研究所でもリアルタイムで見ることができる。Fig. 2.2.6 の右側にある計測装置に運転を制御するための計算機が含まれており「制御用計算機」と呼んでいる。この他にコアプラ上などに置いた地震計の記録を収録している計算機があり、「計測用計算機」と呼んでいる。



Fig. 2.2.7. Alarm panel of the ACROSS transmitter. When the status parameter (e.g., coolant temperature) exceeds (or falls below) the critical value, the corresponding light turns on.

制御用計算機で錘の精密な制御を行っている。この制御は GPS 時計に同期して周期的に行っているため精度は高い。GPS 時計の精度が $10^{-7}$ s と非常に高いことがアクロスの精密制御を可能にしているといえる（國友・熊澤，2004c）。パソコン上で送信装置を起動し、監視するソフトウェアの画面を Fig. 2.2.8 に示す。現在の運転状況が表示され、装置が正常に動いているかどうかの確認に使用できる。右側のボタンで運転パラメタの設定や運転・停止の制御を行う。左側は運転状況及び設定パラメタのモニターである。右上に”FM status” という欄があり、そこに”Sawtooth 7:1” と書いてある。これは FM 信号の形が周波数増加と減少時間の割合が 7:1 の鋸型であることを示している。また、左上の”Set Frequency” は搬送波周波数を示している。画面では 11.51Hz であるから高周波送信であることがわかる。その下の”Monitor Frequency”は現在の回転周波数を示してあり、プラスが正回転、マイナスが逆回転である。この値は”Frequency history”の所にグラフとしても表示される。縦に紫の線が入っているが、この場所が現在の送信周波数である。表示では周波数が負なので現在逆回転をしていることがわかる。正・逆回転の情報は右上にある”Direction”のところでもわかる。スイッチボタンの”Reverse”が赤くなっているので、現在逆回転であることがわかる。右上の”FM period” は FM 変調の繰り返し周期を”FM Deviation +df” は周波数変調幅を表している。左下の”Mass Position”は FM 変調の繰り返し周期の毎に基準時の錘の重心の位置を示す。図の場合は基準時に錘はちょうど北を向いているが、次の 50 秒では必ずしも北を向くとは限らない。この例のように搬送波周波数が 11.51Hz で FM 変調の繰り返し周期が 50 秒であれば、次の 50 秒では錘は南を向くはずである。また、アクロス装置本体と外側にあるタンクの間を循環している潤滑油と冷却水の水温が真ん中上側にある”Status”の”Temperature”の部分に表示されると共に、下の”Temperature history”にグラフとして図示される。

気象研と森町のアクロスを制御するパソコンはルーターを通して Group-VPN と呼ばれる ADSL を用いた閉域ネットワークによって繋がっており、気象研からログインすることができる。装置の運転開始や停止を行うことはできないが、http や ftp のプロトコルを用いているため、気象研からウェブで監視をすること、運転ログを取得することは可能である。アクロス制御パソコンには 1 秒毎に錘の位相、周波数、潤滑油や冷却水の温度が書き出されており、1 時間に 1 度、気象研に自動的に転送するようにしている。また、1 日に 1 度プリンターで Fig. 2.2.9 のようなログの中身を図示したものを出力するようにしているため、装置に不具合が起きた時にはすぐにわかり、迅速な対応を取ることが可能である。

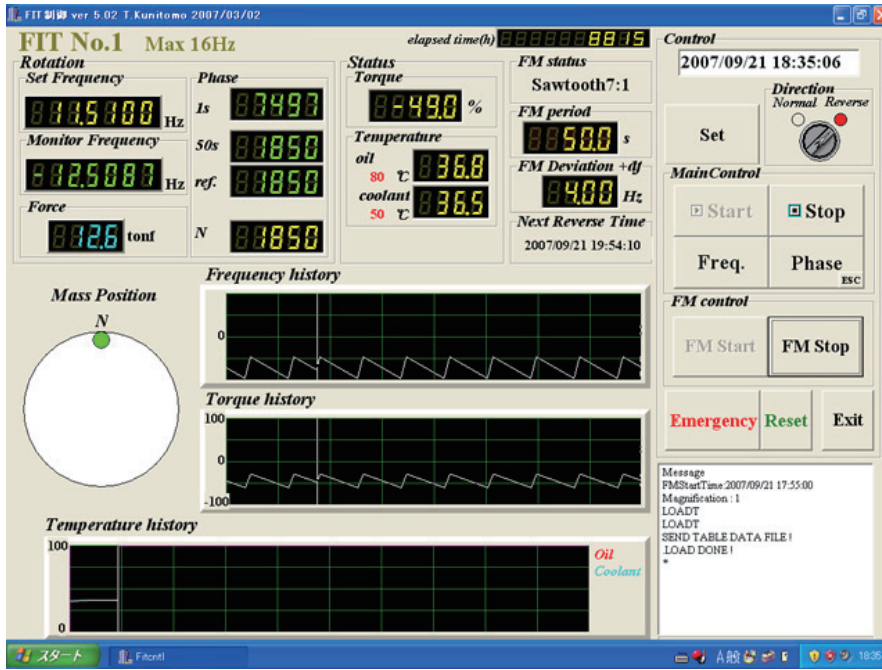


Fig. 2.2.8. Control panel of the ACROSS system displayed on a PC. Status parameters (e.g., frequency and temperature) are on the left side, and setting buttons are on the right.

2009-03-10

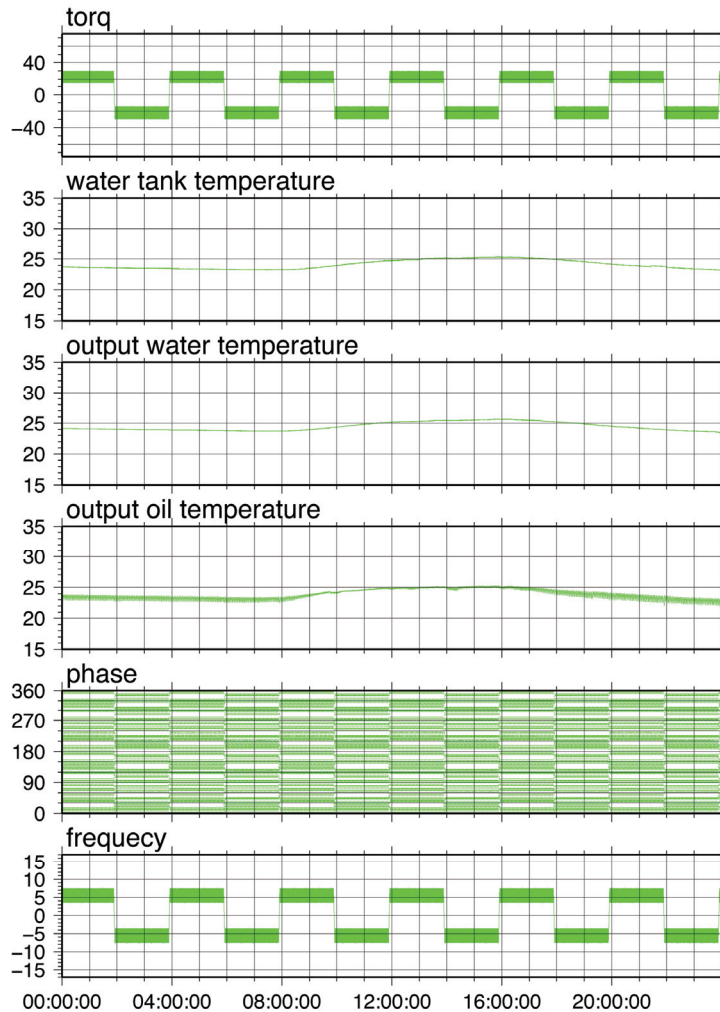


Fig. 2.2.9. Print out of the ACROSS log. This figure is printed out daily in MRI to check the status.



2.2.4 送信信号の概要

森町送信点は國友（2006）によって提案されている弾性波アクロス送信規約（試案）によって送信されており，他の送信点（土岐と豊橋）の信号と混信しないようになっている。送信規約では森町は A:  $(0.0000+0.02n)$ Hz 系列と B:  $(0.0100+0.02n)$ Hz 系列が割り当てられており（ $n$  は整数），実際には B 系列を使用して送信を行っている。周波数変調幅は低周波運転では 2Hz，高周波運転では 4Hz にしてある。Fig. 2.2.10 に各々の運転で発生力のスペクトルを示してある。両者の発生力を全周波数領域で積分するとほぼ等しくなる。しかし，変調幅が高周波運転のほうが 2 倍広いため，信号スペクトルの本数も 2 倍になっている。このため，1 本毎のスペクトル振幅は高周波運転のほうが  $\sqrt{2}$  分の 1 になっている。伝達関数を求める際は，発生力のスペクトルが小さい周波数のデータを使うと SN 比が悪くなるので，Fig. 2.2.10 で引いた緑線（ $7 \times 10^2$ N）より発生力が大きくなる周波数のみを用いた。低周波運転（搬送波周波数 5.51Hz）では 3.51～7.75Hz でスペクトルの本数は 213 本，高周波運転では搬送波周波数 11.51Hz で 7.57～15.77Hz，あるいは搬送波周波数が 11.515Hz で 7.575～15.775Hz の周波数を用い，スペクトル本数は両者とも 411 本である。高周波の 11.515Hz 運転は豊橋送信点に割り当てられている C:  $(0.0150+0.02n)$ Hz 系列をつかっているが，これは豊橋の送信が止まっていたので，使わせてもらったものである。低・高周波運転の周波数帯域を比べると若干重複があることがわかる（7.57～7.75Hz）。以下の解析の節で述べるが，両運転の信頼性の検証を行う際に重複周波数帯域においてスペクトルが一致するかどうかを 1 つの基準として使用した。

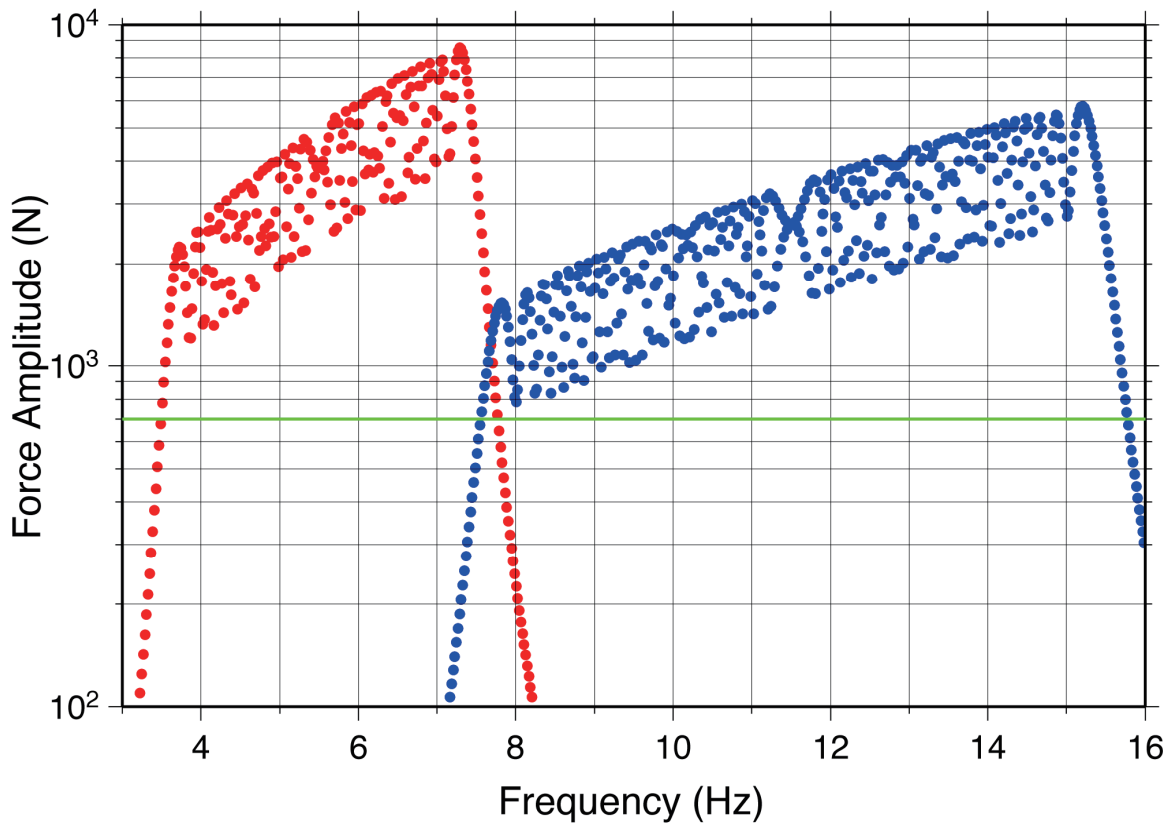


Fig. 2.2.10. Transmission force spectrum of the seismic ACROSS transmitter at Mori-machi. The red dots denote the force spectrum of low-frequency transmission, and the blue dots denote that of high-frequency transmission. The frequency with amplitude exceeding the green line is used in the analysis.

Fig. 2.2.11 に 2006 年 8 月から 2009 年 3 月末までの森町送信装置の送信履歴を図示する。赤系統の色が低周波送信を，緑系統の色が高周波送信をしていた期間を示す。色の違いは送信のパラメータが異なっていることを示している。Fig. 2.2.11 の下に送信パラメータの概要を示す。また，2008 年 12 月下旬に上下に半分だけ黒っぽい赤色になっている部分があるが，これは 2009 年 1 月 1 日の閏秒に対応するための制御ソフトウェア改良の途中で位相ずれを起こした時間帯

である。ずれた位相はわかっているので、その分を補正すれば解析を行うことが可能である。2007 年 3 月までは錘の回転方向を変更する前に行う前奏と位相調整時間を 200 秒としていた。しかし、森町の錘は他の弾性波アクロス送信装置に比べて重いということもあり、1 回の位相補正信号では基準時に錘の重心を北に向けることができず、桃色で示した 2006 年 12 月～2007 年 3 月の送信は正回転の時は基準時における錘の重心は北を向いていない(逆回転時はきちんと北を向いている)。そこで、2007 年 3 月 28 日 22 時以降は前奏と調整時間を 400 秒にして、数回位相調整を行い、正逆回転共に基準時に錘の重心が北を向くようにした。

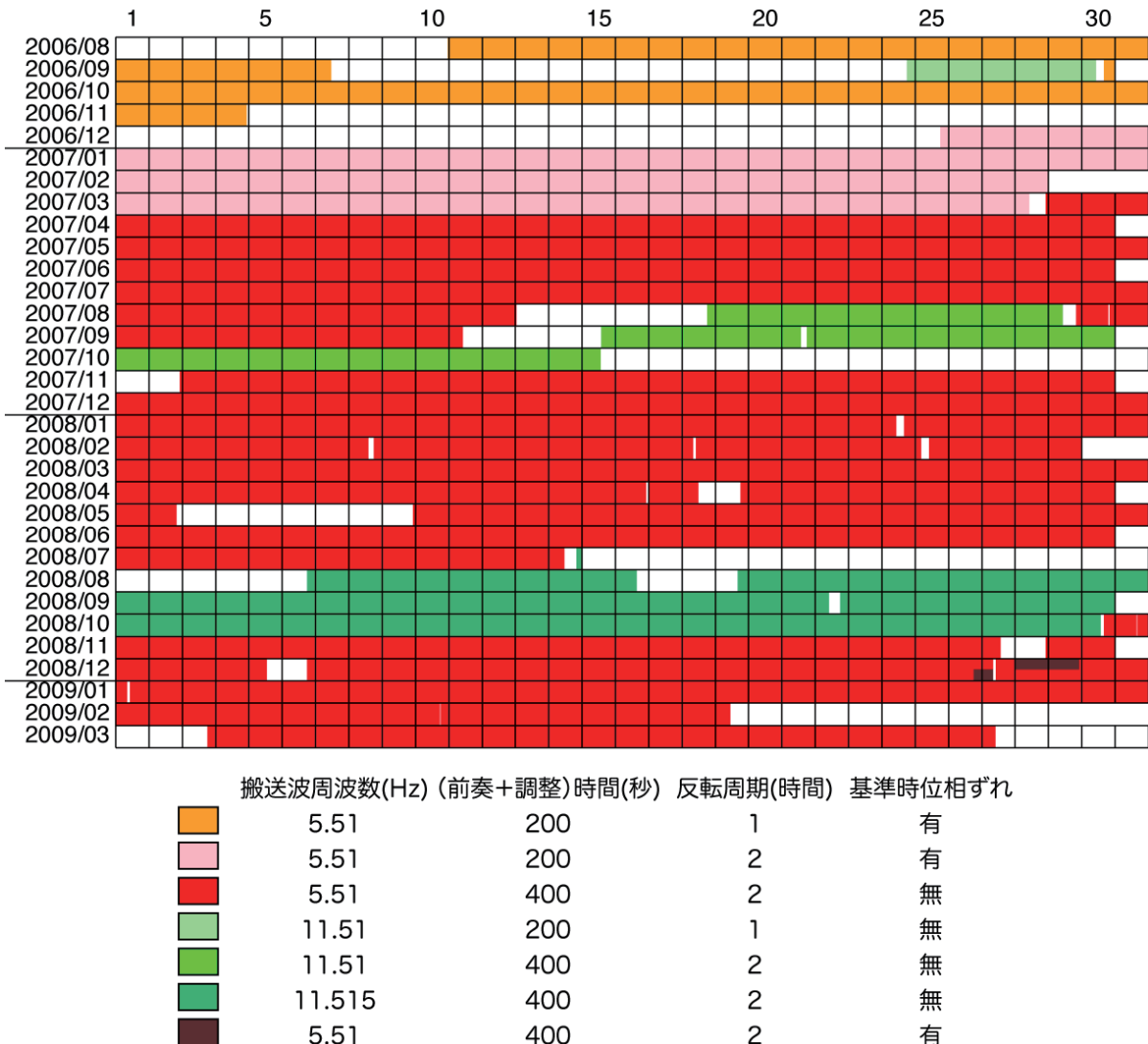


Fig. 2.2.11. History of the seismic ACROSS transmitter at Mori-machi. The red end of the spectrum corresponds to low-frequency transmission, and the green end corresponds to high-frequency transmission.

FM 変調周期は 50s を使っているため、走時が 50s より遅い波が来るような観測点では aliasing を起こしてしまう。今回解析対象となった地震の観測点は送信点からの距離が 100km 以内であり、この範囲においては 50s より遅い時間に到着する波は無視できるほど小さいと考えられる。しかし、今後もっと遠距離の観測点についても解析を行うことがあれば 50s を考え直さなくてはいけなくなるかもしれない。解析の際にフーリエ変換を行う 1 セグメントの長さは 400s としてある。以前は 200s としていたが、東海地方に 3 点送信点を設置し、今後送信点が増加しても対応できるようにするため、國友 (2006) の送信規約では 1 セグメントの長さを 2 倍 (400s) にすることで送信系列を増やした。これによって信号チャンネルの周波数間隔は 0.02Hz、解析セグメントの周波数間隔は 0.00125Hz となり 16 本に 1 本が信号チャンネルになる。

## 謝辞

Fig. 2.2.1, Fig. 2.2.4 の標高データは国土地理院の数値地図 250m メッシュ (標高), 水深データは日本海洋データセンターの資料を使用した。Fig. 2.2.4 では国土地理院発行の 2 万 5 千分の 1 地形図, 森を使用した。一部の図の作成には Wessel and Smith (1995) の Generic Mapping Tool を使用した。

森町の弾性波アクロス送信装置を作成するにあたって, 多くの方々の協力を頂いた。特に國友孝洋博士には地点選定, 設計段階から色々アドバイスを頂き, 送信装置を制御するプログラムの作成をされ, 故障の場合には現地に駆けつけて頂くなど, 大変お世話になっている。また, 熊澤峰夫博士には学問上のことだけでなく, 技術的なことなど多岐にわたる点についてアドバイスを頂いた。静岡大学では増田俊明博士, 里村幹夫博士には色々と便宜を図って頂いた。その他, 今は組織が変わり日本原子力開発機構 (JAEA) となったが核燃料サイクル開発機構, 東濃地科学センター, 名古屋大学, 静岡大学などの皆さんとの議論は有益であった。また, 三弘の猪野公明氏や東名工機の皆さんには装置を作成する上でお世話になった。上記のすべての方々のサポートがあっはじめて森町の装置は完成したものであり, ここに記して謝意を表す。

(吉田康宏)

## 参考文献

- Iidaka, T., T. Iwasaki, T. Takeda, T. Moriya, I. Kumakawa, E. Kurashimo, T. Kawamura, F. Yamazaki, K. Koike, and G. Aoki, 2003: Configuration of subduction Philippine Sea plate and crustal structure in the central Japan region, *Geophys. Res. Lett.*, **30(5)**, 1219, doi:10.1029/2002GL016517.
- Iidaka, T., T. Takeda, E. Kurashimo, T. Kawamura, Y. Kaneda, T. Iwasaki, 2004: Configuration of subducting Philippine Sea plate and crustal structure in the central Japan region, *Tectonophysics*, **388**, 7-20.
- Kasahara, J., A. Kamimura, G. Fujie, and R. Hino, 2001: Influence of water on earthquake generation along subduction zones, *Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo*, **76**, 291-303.
- 笠原順三・鶴我佳代子・羽佐田葉子・山岡耕春・藤井直之・吉田康宏・國友孝洋・熊澤峰夫, 2004: アクティブ・モニタリングによるプレート沈み込みのプレート境界イメージングの提案, *月刊地球*, 号外 **47**, 141-147.
- Katsumata, A., and N. Kamaya, 2003: Low-frequency continuous tremor around the Moho discontinuity away from volcanoes in the southwest Japan, *Geophys. Res. Lett.*, **30**, doi:10.1029/2002GL015981.
- 國友孝洋, 2006: 弾性波アクロス送信規約試案—中部地域における送信周波数の割り当て—, *日本地震学会講演予稿集*, C027.
- 國友孝洋・熊澤峰夫, 2004a: 弾性波アクロスによる地殻構造のアクティブ・モニタリング—弾性波アクロスの開発と東濃鉦山からの連続送信—, *月刊地球*, 号外 **47**, 26-33.
- 國友孝洋・熊澤峰夫, 2004b: 弾性波アクロスによる地殻構造のアクティブ・モニタリング—東濃鉦山アクロステストサイトでの観測結果—, *月刊地球*, 号外 **47**, 86-94.
- 國友孝洋・熊澤峰夫, 2004c: 弾性波アクロスによる地殻構造のアクティブ・モニタリング—弾性波アクロスにおける送信技術—, *月刊地球*, 号外 **47**, 44-52.
- 牧本博・山田直利・水野清秀・高田亮・駒澤正夫・須藤定久・駒澤正夫・須藤定久, 2004: 20 万分の 1 地質図幅「豊橋及び伊良湖岬」, 産総研地質調査総合センター.
- Obara, K., 2002: Nonvolcanic deep tremor associated with subduction in southwest Japan, *Science*, **296**, 1679-1681.
- Ozawa, S., M. Murakami, M. Kaidzu, T. Tada, T. Sagiya, Y. Hatanaka, H. Yarai, and T. Nishimura, 2002: Detection and monitoring of ongoing aseismic slip in the Tokai region, central Japan, *Science*, **298**, 1009-1012.

- 渡辺俊樹・山岡耕春・生田領野・國友孝洋・藤井直之, 2007: 弾性波アクロス震源の名古屋大学三河観測所への設置と性能評価および東海監視計画への役割, *日本地球惑星科学連合 2007 年大会予稿集*, S231-009.
- Wessel, P. and W. H.F. Smith, 1995: New version of the generic mapping tools released, *EOS Trans. Am. Geophys. Union*, **76**, 329.
- 吉田康宏・吉川澄夫・高濱聡・國友孝洋・熊澤峰夫, 2005: 広帯域観測網によるアクロス信号とその観測 (その 4) —伝達関数の時間変化—, *地球惑星科学関連学会合同大会予稿集*, S080-P003.