

弾性波アクロス送信ネットワーク - 現状と可能性 -

Transmission network of seismic ACROSS - present and future -

國友 孝洋 [1]

Takahiro Kunitomo[1]

[1] 静大理

[1] Shizuoka Univ.

弾性波アクロス (Accurately Controlled Routinely Operated Signal System) は、位相と振幅とを精密に制御した複数の周波数の弾性波を常時送信して、送受信点間の周波数伝達関数 (グリーン関数) を連続的に取得することで、地下の物理状態のモニタリングを行うシステムである。現在、複数の機関で送信施設が設置され、連続送信試験が行われている。

中部地域においては、岐阜県土岐市 (原子力機構)、静岡県森町 (気象研)、愛知県豊橋市 (名大理) に発生力 10~20tonf 級の弾性波アクロス送信装置が設置されており、3点からなる送信ネットワークが形成されている (土岐 - 森町: 90km、土岐 - 豊橋: 73km、森町 - 豊橋: 44km)。土岐と森町では、24時間 365日の体制で連続送信が継続されており、Hi-net の連続観測データを用いて長時間スタッキングを行うことで 100km 程度の距離でも信号が検出されることが確認されている。3つの送信点に囲まれるような観測点では、全ての送信点からの信号が時間的に重複して観測される。送信周波数帯域も互いに重複しており (土岐 10-35Hz、森町 3-16Hz、豊橋 10-25Hz)、そのため、送信信号を互いに重複しない固有の離散周波数系列 (一定の周波数間隔で配置されたラインスペクトル群) に限定し、GPS 時刻にほぼ完全に同期させた周波数精度を確保することにより混信を回避している [中部地域における弾性波アクロス送信規約試案、國友 (2006年地震学会)]。これは、アクロスの考え方に基づく精密で定常的な送信方式によって初めて実現されるものである。送信が GPS 時刻に精密に同期していない、あるいは、送信規約を遵守しない場合には、その1送信所のために、多くの観測点で混信が起こり、各送信所からの信号を独立に読み出すことができなくなる。また、混信が起こるのは、送信所だけの問題ではなく、観測点でのデータサンプリングが、GPS 時刻に同期していない場合も、その観測点では送信信号の分離が保証されなくなる。

中部地域で既に実施されている送信規約では、送信信号の基本周波数を f_c 、周波数間隔 df を 0.02Hz とし、 f_c が互いに重複しないように 0.0025Hz (以下 df_c) の単位でずらした離散周波数信号系列を各送信機に割り当てている ($f_c + df \cdot n$, $n = \dots -1, 0, 1, \dots$)。これで、8 (= df/df_c) 台の送信機まで信号系列を割り当てることが出来る。これらの信号を混信なく観測するための最小時間単位 (時間区間) は 400s である。時間区間 T のデータをフーリエ変換して周波数スペクトルに直すことは、 $1/T (= df_c)$ の周波数分解能で観測することに相当する。スタッキングも連続データをこの時間区間に区切って行う。

送信所を更に増やしたい場合は、 df_c を小さくして既存の離散周波数系列の間にはめ込むこととなる。現行の送信制御装置の周波数分解能が 0.44pHz 以下であることを考慮すると、 df を現行の 0.02Hz ままとした場合、理論的には約 450 億台以上の装置の同時送信が可能である。もっとも、観測データのフーリエ変換でこの周波数分解能を得るためには 2.27 兆秒 (7万2千年) の連続観測データが必要である。時間区間として 1時間 (3600s) を選択した場合は、72 台までの同時送信が可能である。半径 100km 範囲に 72 台の送信装置を配置させると、Hi-net と同程度の密度ということになり、現実的に考えて十分なキャパシティであるといえよう。

異なる帯域、特に低周波送信の場合、その高調波が他の周波数系列に重なる。比較的硬質な亀裂の少ない地盤に鉄骨コンクリートの基礎 (岩盤カブラー) を設置し、岩盤カブラーに装置本体をガタなく固定した場合は、数 km 以遠で高調波の影響は、実用上無視できることが確認できている。軟弱あるいは亀裂の多い地盤に設置しなければならない場合、地盤改良などを高調波対策として考える必要がある。

(謝辞) 本研究には、防災科学技術研究所の Hi-net の観測データを使用させて頂きました。