

P波最大振幅と到達時間差から揺れの最大と猶予時間を予測するための最適強震動観測網

高見沢サイバネティックス 神定 健二

平成7年(1995年)1月17日マグニチュード7.3の地震により、その被害は、死者6,434名、行方不明3名、負傷者43,792名、住家全壊104,906棟、住家半壊144,274棟、全半焼7,132棟(総務省消防庁の統計による)に登る、甚大な地震災害、いわゆる「阪神・淡路大震災」が発生した。この地震災害を契機に日本の強震観測網は、気象庁、防災科学研究所、地方自治体を始めとして大幅に改善され、2007年10月1日から運用開始された気象庁の緊急地震速報発表のための礎としても使われている。しかしながら、現行の緊急地震速報は近年大幅に改善されたものの、採用している仕様上から出すべき情報が出ない(missed alarm)、内容が間違っている(false alarm)、揺れに間に合わない(delayed alarm)等の問題をかかえている。

上記、「阪神・淡路大震災」発生時の震源域近傍のコンビニエンスストアでの客と店員が撮影されたビデオテープがyou-tubeにアップされている。このとき彼らは(アレッ!何だろう?)という表情でP波到達に気づき、その1-2秒後に強い揺れ(S波到達)を体験している。緊急地震速報は、この“アレッ!何だろう?(P波到達)”の情報を適切な地震観測網(Blind Zone無し)により瞬時(可能な限り短いデータ収集・解析時間)で、揺れの予測(Lead Timeと推定震度)をリアルタイムで配信されるべきものである。現行の緊急地震速報は既設の地震観測網(地震情報発表のための)を用いて震源要素を求めてから震度推定しているため誤差や遅延が大きい。緊急地震速報(強震動予測)は、その原理・原則に基づいて構築された強震観測網データにより行われるべきである。

被害地震とは発生した地震による建造物の損壊、それに伴う人的被害を総称し、地震の規模と破壊域からの距離により規定される。過去の被害地震を見ると、震源が浅い場合はマグニチュード4.5前後から地震被害が生じているようである。地震による地表での揺れは、規模・深さ・破壊様式と断層からの距離および観測サイトの表層地盤増幅度により大きく作用される。地震波伝播平均速度はP波(6km/sec)S波(3.5km/sec)とすれば、仮想3kmメッシュ観測網でその毎秒の揺れの様子が震源規模・深さにより大きく異なることがわかる。

強震動スペクトル振幅の距離減衰の形態を震央距離との関係で概観すると、震源の深さ・規模の大小により当然のことながらその様相は大きく異なるが、震源距離または断層端からの距離でプロットすると同様な傾向を示す。このことは、3・11東北沖地震のように全体としては巨大でも個々の強震動生成域(アスペリティ)のサイズには上限があることを示唆している。

観測点密度と強震動予測余裕時間 (Lead time)および死角域 (Blinded zone)については、(Kuyuk et.al,(2014))により、以下の関係式で議論されている。

$$b = \sqrt{(t_p^{station} + t_D)^2 V_s^2 - D^2}$$

$t_p^{station}$: the time for the P wave to be detected by four stations

V_s : -wave velocity

D : Depth of the earthquake

t_D : system delay and the processing/decision time

関係式が示すとおり、ブラインドゾーンの半径は、最初の4観測点がP波を捉えるまでの時間、システムの処理・遅延時間およびS波速度のパラメータが正の方向に作用し、地震の深さが負のパラメータとして作用している。つまり、地震発生層を10km以下と仮定し、処理時間を1から2秒以下に抑えればその半径を10km以下に抑えることができる。また、リードタイムについては、観測距離10km以下の効果は小さく、いかに処理時間を短縮するかに負い、震源距離が伸びることにより猶予時間が増すことになる

P波速度6km/secの観測網直下で、震源の深さ10kmで発生した地震では、観測点間距離5kmの場合には地震発生1.7秒後に4点で、観測点間距離10kmでは2.6秒後、および観測点距離20kmでは3.4秒後にそれぞれ観測される。それぞれ3点の組み合わせでの到達時間差から到来方向および見かけ速度の推定は可能であることはいうまでも無く、3点の外接円の内外かを判断することにより直下か遠方かの判定を行う。直下であればその見かけ速度から深さの推定が可能である。一方、P波入射1秒間の最大加速度振幅と揺れの最大振幅の関係は、気象庁により発表されている過去の被害地震について、震央距離20km以内の地震によりK-NET, KiK-NET (NIED) データからほぼ10倍が、また理論式からも $\alpha 6\text{km/s}^3 / \beta (3.5\text{km/s})^3 = 5$ 倍が得られることから、P波ピークの5~10倍をPGA推定値とすることができる。猶予時間は震源深さ10kmで1.2秒程度、50kmでおおよそ10秒あるので処理時間の短縮により震央直近にもその情報を伝達することが可能となる。近辺・遠方に関しては基盤伝播の距離減衰、サイト補正から震央距離に応じたリードタイムを持って警報伝達が可能である。

また、遠方で発生した地震の場合3・11東北沖地震でさえP波振幅の立ち上がりは0.5galと非常に小さいP波推定は不可能であったことが指摘されている。しかしながら、強震動をもたらした生成域の存在が指摘されており (Kurahashi and Irikura, 2011)、事実それぞれの強震動生成域から到達したと推定される上下動振幅 (P波) が強震動到達前に観測されている。つまり、前記到達時間差による判定で遠方と判定した場合にはP波区間・S波到達判定 (上下動成分の2乗 (Z^2) - 水平成分の2乗 ($N^2 + E^2$)) を行い、S波到達まで逐次毎秒のP波ピークからPGA推定を行う。2004中越地震、2011年東北沖地震への適応例を示す。