

立ち上がり時間・破壊進行速度の津波伝播への影響

東北大学大学院 学生員 〇今村文彦
東北大学工学部 正会員 首藤伸夫

1. はじめに

津波の発生原因の殆どは、地震の断層運動による地盤変動であると説明される。従って、数値計算の初期条件として地盤変位を与えるが、通常この変動は瞬時に終了する訳ではなく、震源から水平方向にある破壊速度で伝播し破壊の到着後ある時間を経て永久変位に到る。変位量に関しては過去多くの研究がなされ、地震波の解析と合いまって波源域の推定に貢献しているが、断層運動の動的な性質を表すパラメータである破壊進行速度と立ち上がり時間の影響については、理想的な波源形状を仮定した定性的な検討がなされているに過ぎない。そこで、本研究では断層モデルから推定される実際の変位形状を与え、破壊進行速度と立ち上がり時間が津波の波高および到達時間にどのように影響を与えるのかについて、数値計算を用いた検討を行う。

2. 立ち上がり時間の効果

まず、変位形状としては、最大規模のチリ津波を想定し、Dip-slipのみの成分とDip-slipとStrike-slipの両成分をもつ断層の二種類の場合を与えた。このパターンの断層は隆起・沈降量が大きく、津波を発生する地震に多いと言われる。図-1にDip-slipの場合の永久変位を表す。この変位分布の特徴は上下対称で、隆起が最大となる位置は断層の傾きによって支配されることである。水位および最大波高の到達時間は中心O点およびその周囲の4点(A, B, C, D)で出力する。ここでは、破壊進行速度は考慮せず、立ち上がり時間(T_v)のみを0から20分まで変化させ、変位は線形的に上がるものとした。立ち上がり時間経過をsin関数を用いて表した例もあるが差は小さいと考えられる。計算は線形長波理論をLeap-frog法により差分化し、最大波高が外側境界へ達するまで行った。

図-2には点Oにおける時間波形の変化を計算したものである。縦軸は $T_v=0$ のときの波高に対する比を、横軸には経過時間を表す。立ち上がり時間が長くなるほど、それぞれの波高は低くなる。特に、4分を越えると波高減衰の傾向は著しくなる。一方、最大波高の到達時間はほぼ立ち上がり時間と一致し、遅れなどは見られない。図-2の計算は水深4000mの水平床で行ったが、水深が小さくなるとそれに伴い波の伝播速度が遅くなるため波高減衰効果は小さくなるようである。

そこで、伝播速度の効果も含めた T_v の無次元量をパラメータに選んで整理することを考える。図-3は横軸に CT_v/L をとり波高減衰を調べた結果である。この場合の L は図-1中の短軸方向に津波の指向性があることから短軸の波長を用いた。図より波高減衰は CT_v/L の2乗に比例することが分かる。 CT_v/L が0.02以下であれば減衰は非常に小さく1%に満たなくなる。Geller(1970)の研究によると立ち上がり時間は大きい場合でも数十秒程度であり、図-2と同じケース(CとL)を考えても0.02を越えることはない。ただし、波長が短くなると CT_v/L の値は大きくなり、立ち上がり時間の効果は無視出来ない場合も生じる。図-3中には波源の

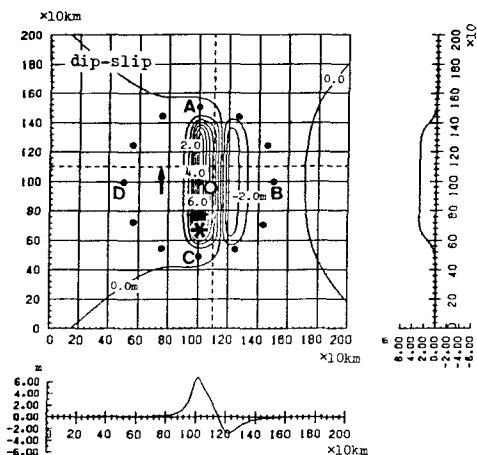


図-1 永久変位分布および水位の出力地点

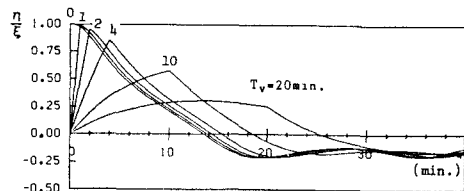


図-2 O点での立ち上がり時間による波形変化

中心点以外に周囲の4点 (A, B, C, D) についても調べた結果を示している。減衰の様子はほぼ一致するが値は約3倍ほど小さくなっている。実際の津波波高はこの周囲の値に対して見ればよく、立ち上がり時間を考慮すべきか否かを見定める条件としては10%の波高減衰を基準とすれば CT_v/L が0.1より大きいかどうかが適当であると考えられる。

3. 破壊進行速度

破壊の伝播様式にはいろいろ種類があるが、しばしば見られる様式は断層の端からもう一方の端へ伝播する場合 (これを unilateral という) と断層のほぼ中央から両側へ広がる場合 (これを bilateral という) がある。ここでは、最も破壊進行速度の影響が顕著に現れるであろう unilateral の場合について、波高と到達時間の変化について調べる。図-4 には図-1 中に示した測点 A, B, C, D について破壊が瞬時に終了する ($V_h = \infty$) ケースと $V_h = 2 \text{ km/s}$ のケースに対しての時間波形を示す。破壊は星印 (震源) から始まり A 点に伝播して行く。図より、進行速度を考慮した波の振幅は震源付近では殆ど変化はないが、遠ざかるにつれ小さくなることが分かる。特に、A 点では顕著に波高減衰が現れている。また、最大波高の到達時間を見ると、破壊の進行に要した時間に相当した分だけ遅れる。

この現象を破壊進行方向との関係で調べることにする。波源の中心 O 点から C 点に直線を引いたものを 0° とし、反時計回りに θ をとる。過去のデータを眺めると、破壊進行速度は地震の規模にあまり依らず $2 \sim 4 \text{ km/s}$ 程度であるようである。そこで、ここでは $V_h = 2, 3, 4, 6 \text{ km/s}$ の4種類について検討することにした。まず、図-5 は V_h に対する波高減衰率を調べた結果である。3 から 6 km/s の波高は 90° を境に増加と減衰が見られるが値は小さい。一方、 2 km/s での波高減衰は無視できない。通常、進行方向の波高は増加し、逆方向は減衰するという指向性が生じるとされる。ところが、 3 km/s 以下の波高は全く反対の様子を示す。 1 km/s 、 0.5 km/s の時にも同様な傾向が見られた。

図-6 には破壊が瞬時に終了した場合に対し、破壊が有限に進行した場合の最大波高の到達時間の遅れを示す。点線は破壊そのものの到達時間を表す。遅れ時間 (実線) はこの到達時間 (点線) より小さいようである。したがって、到達時間の遅れの影響に関しては、断層長さを破壊速度で除した時間を目安とすれば安全側に判断出来る。

4. おわりに

以上、代表的な断層モデルによる地盤変動パターンを用いて津波発生問題における動的パラメータの効果を検討した。立ち上がり時間に関しては無次元量 CT_v/L によりかなり説明できると考えられるが、破壊進行速度に関しては断層の長さや伝播速度を考慮した整理をさらに行う必要がある。

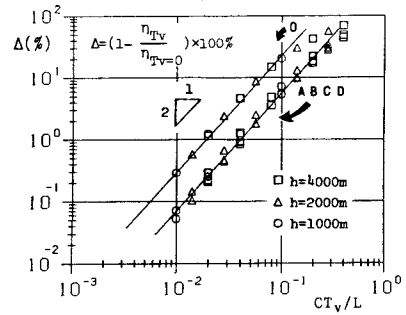


図-3 CT_v/L に対する波高減衰

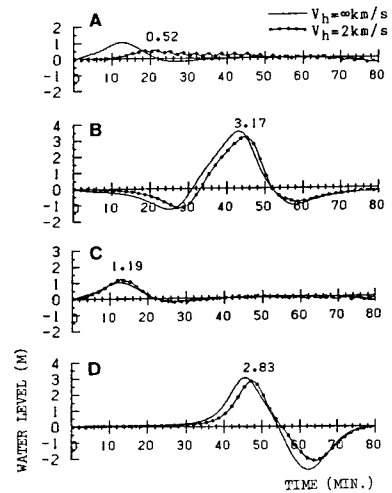


図-4 破壊進行速度による波形変化

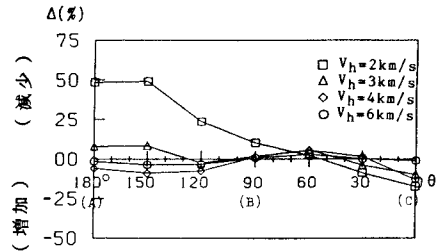


図-5 破壊進行速度による波高変化

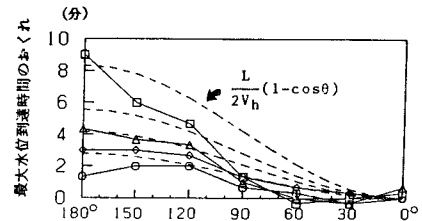


図-6 破壊進行速度による到達時間の遅れ