

水底トンネルの地震応答について ——簡便な動的解析の提案——

名古屋大学 正員 〇 富樫 豊

名古屋大学 正員 川本 勝万

Ⅰ.はじめに 近年、水底トンネルが多く建設されるようになってきている。このうち多くは海底地盤を貫通するのであるため、海水底地盤の軟弱性がトンネル施行時あるいは建設後の安全性に多大な影響を与える。そしてとりわけ問題にしなければならないものは、地震動に対する安全性である。従ってここでは、この問題を検討するため地震動に対しての水底トンネルの応答解析を、名古屋港付近の地盤をモデルとして実行する。併せて、従来の動的解析の方法に関して若干の考察を行ない、実用的な新しい動的解析の方法を提案する。

Ⅱ.動的解析考 地盤・岩盤工学で扱う対象は地盤、岩盤、トンネル、大型基礎、ロックフィルダム等の大型構造物等であり、動的の“動”は主に地震動である。対象は一般に種々の意味で非常に大きいため、解析的興味は、系への入力方法と解析系の単純化の2点にしばられ、前者は位相差のある地震動入力問題であり、後者は構造物と地盤等の相互作用問題等である。ここでは入力方法については扱わず相互作用のみ考える。従来よりこの問題に関する研究は、震度法等の簡便法から波動論、FEMによるシミュレーション解析等までの多くの手法を駆使して進められているが、いまだ十分に満足いく定性定量に関する一般的な結果を生み出すには到っていない。つまり、相互作用の問題では、現場レベルで相互作用を無視する対象の部分化を行ない、設計室レベルにおいてのみ相互作用の考慮としての対象の一体解析が行なわれているだけである。この原因としてはひとえに一体解析の事実上の解析困難さと特性把握の困難さにある。しかし相互作用が対象に安全性を強く要求する場合、対象の把握には相互作用の明確化は必要である。そこで、このような状況の基では、一体解析を避けた、複雑でも単純でもない何らかの修正の方法が必要となり、これは単純方法からの複雑への概念的“そり”により表現されることで満足される。

さて、動的問題の静的への簡略化、単純化を、相互作用の問題と関連させて考える。強震でない地震動は、対象の安全性に直接の強い影響を与えず破壊を生ぜしめるための引金となるだけであるから、対象の破壊現象が静的な力にのみ主に誘発されるとすると、地震動は、破壊のメカニズムを単純なそれより概念的に“そらせる”作用をもつことになる。すなわち弱震の場合、対象は概念的に歪んでいる。このように考えると、従来の等価静的解析である震度法は力のレベルで“動”を“静”に盛込む方法であり、従ってこの方法では相互作用は直接に扱われえない。そこでここでは、“そり”を有する対象を静的解析の範疇にとり、“動”の盛込みを構成関係のレベルで行ない、対象の材料学的な構成及び対象の空間的広がり、さらに運動の程度を十分によく反映する因子を介在させ、これを位相速度、群速度、逆散係数に選ぶ。これらの因子はミクロ的な構成関係のうえにあり、また対象の容易な等価弾性係数論によるマクロ的単純な関係ではないのでミクロ的マクロの関係といえる。対象の構成関係を特に位相速度で記述すると便利である。例えば、対象がミクロ的に多くの線型媒体の複雑に構成された複合体であるならば、複合体のミクロ的構成係数は構成の各々の媒体のそれであるが、マクロ的

それは運動の程度を陽に紐込んだ位相速度によりきまる。複合体がロックフィル材料あるいは粘土と水のような複合をなしているとき、内部複合性をマクロレベルに簡単に反映させられる。また粒状体あるいはマイクログラックを多く有する岩等の媒体でも、実際の変形挙動にたずさる媒体各部と遊びの各部とがあるので、単に静的荷重等によるマクロ的構成関係には多くの疑問がある。その点、位相速度はこのことについて十分に考慮していると思われる。一方、複合体とみなせられない複合性をもった媒体、例えば2〜3層の層状地盤においても、マクロ的構成関係には位相速度表示が便利でありかつ簡単に求まる。また媒体がより複雑で位相速度が求まらない場合では、媒体において適当な単純化を、相互作用範囲が記述されなくなる直前のレベルまで施して求めればよい。

以上の考察から、「動」と「静」の対象の接続は、運動の程度と媒体のマクロ的構成関係とを関連させる分散関係でもってなされる。またこの考えは、動的シミュレーション解析にも適用できる。

3. 水底トンネルの応答計算 地震動に対する水底トンネルの(長手方向)応答計算を行なう。解析モデルとして名古屋港付近の地盤を選ぶ。トンネルは水平に設置され、地盤の材料係数、形状はFig. 1で与えられる。解析手法に、ここで採集した等価静的解析とFEMによるシミュレーション解析を用いる。まずFEMでは、当該地盤をFig. 1のようにメッシュ化し、トンネルを橋材とし、側方境界には佐藤^[1]の処理を施し非減衰2次元平面歪み問題として中間加速度法により応答解析を人工地震波に対して実行する。次に簡便法では入力地震波をスペクトル分解し、各スペクトル域で等価静的計算を行ない、後に統合する。

◇結果と考察 地盤の斜層状の振動特性を調べるため、加速度0.5gのshock pulse 外乱に対する地盤の応答を $\Delta t=0.01$ で求め、水平pulseに対する地盤水平方向変位をFig. 2に、鉛直pulseに対する鉛直変位をFig. 3に示す。この場合のみ側方境界を単にローラー支持(外乱方向によってローラーの方向が異なる)としたため、Fig. 2, 3共に側方境界節点の変位が他の節点の変位に比して水平pulseの場合特に大きい。

斜層存在の影響は 両方向pulseの場合において顕著に現れている。メッシュサイズが水平方向に非常に大きいため断言できぬが、異質層達の境界さばらんで、同一深さの2つの層で変形に差が認められるので、トンネルが設置された場合、強制変形的(位相差による)応力がかかる。

トンネル有り、位相差入力、その他の場合の結果は省略。

4. あとがき 水底トンネルの耐震性を検討するために、解析法の提案と実際のシミュレーション解析により、多くの知見を得た。詳細は当日発表する。

A. 参考文献 [1] 佐藤定雄 等価静的解析の動的解析。土木学会 第40回地震工学会 1975

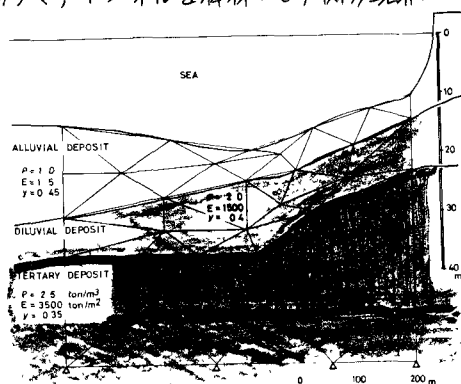


FIG.1 GROUND PROFILE OF NAGOYA HARBOR

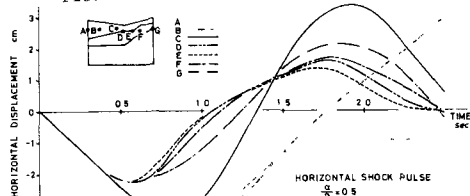


FIG.2 RESPONSE OF GROUND UNDER HORIZONTAL SHOCK-PULSE

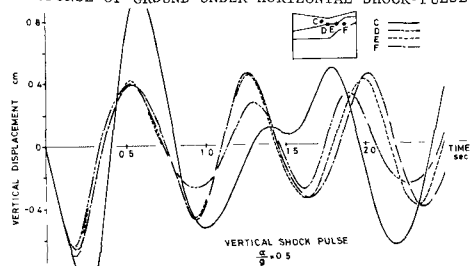


FIG.3 RESPONSE OF GROUND UNDER VERTICAL SHOCK-PULSE