

I-B 324

水中浮遊式トンネルの地震動揺について

大成建設札幌支店 正会員 蟹江 俊仁
北海道大学工学部 正会員 三上 隆
北海道大学工学部 正会員 角田 興史雄

1. はじめに

水中浮遊式トンネルとは、浮力を有するチューブ形状の構造体を、テンションレグ等の係留索により海中に安定化させた新規渡海構造物である。これまでのところ未だ実現には到っていないものの、ノルウェーのフィヨルド横断や Messina 海峡横断プロジェクトをはじめ、わが国でも実用化に向けての研究が進められているところである。日本における水中トンネル研究の特徴的な点は、わが国近海域への適用を念頭においた上で、①極めて長大な水中浮遊式トンネルを対象としていること、②比較的厳しい波浪条件を想定していること、③地震の影響についても評価している点である。基本的に水中浮遊式トンネルは、構造体の浮力を活かすことによって、その支持構造自体を軽減化（たとえば、テンションレグの採用）することが大きな特徴であるため、従来の構造物よりも大きな動揺を受けることを前提としている。加えて、延長が長くなってくると、トンネルに沿って地震波が伝播する際の伝播位相差も含めた地震動揺検討が重要となってくる。本論文は、水中浮遊式トンネルに地震波が作用した時の動揺特性について、解析的な見地から検討を加えた結果について報告するものである。

2. 構造概要

水中浮遊式トンネルは、連続的に結合された中空断面のチューブと係留索により構成される。その構造概念図を図-1に示した。トンネル上部のクリアランスは、航行船舶の吃水など利用条件によって任意に設定が可能であり、海面上に浮いている場合には浮橋となる。また、トンネル下部と海底面とのクリアランスもある程度必要であり、あまり小さい場合には、着底構造あるいは支持架台などによる支持構造の方が経済的に有利となる。本論文では、トンネルチューブが完全に没水していること、また、トンネル下部にはクリアランスがありテンションレグ方式が採用できることを前提とした。テンションレグのトンネル軸直角方向断面内配置については、図-2に示す代表的係留配置の中から、大きく動揺特性の異なるAとCのタイプを主に採り上げた。トンネル軸方向については、各々の係留索配置が、一定の間隔で繰り返されるものとする。

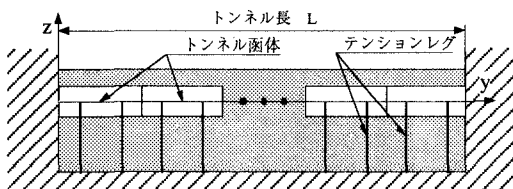


図-1 構造概念図

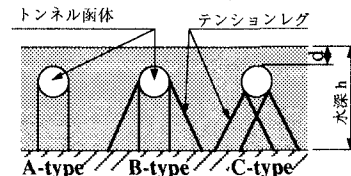


図-2 テンションレグ配置

3. 運動方程式

トンネルは、浮力を有する剛体が連結された多自由度モデルにモデル化し、テンションレグによる復元力は線形バネマトリックスで表現することとした。トンネルに沿って地震波が伝播する際の伝播位相差も考慮するため、運動方程式は絶対座標系で表現する。トンネルが動揺することにより周囲の流体から受ける流体力は、動的問題に拡張した修正モリソン式により評価し、計算上必要な係数（付加質量係数、抗力係数、減衰係数等）は、別途行った実験結果から設定する。また、流体の圧縮性は水深が浅い場合影響が少ないものと思われ、トンネル位置での流体の上下運動は、海底面での鉛直方向（z方向）運動に等しいものと仮定した。計算に用いた運動方程式は、以下のようになる。

$$\left\{M + (C_M - I)A_i\right\} \left\{\dot{u} + \sum I_i \dot{u}_{gi}\right\} + (C + C_{DR}A_D) \left\{\dot{u} + \sum I_i \dot{u}_{gi}\right\} + K \left\{u + \sum I_i u_{gi}\right\} = C_M A_i (\ddot{w} + I_i \ddot{u}_{gi}) + C_{DR} A_D (\ddot{w} + I_i \ddot{u}_{gi}) \quad (1)$$

ここに、 M ：構造物の質量マトリックス、 C ：構造物の減衰マトリックス、 C_M ：付加質量マトリックス、 C_{DR} ：線形化減衰マトリックス、 K ：復元力マトリックス、 A_i ：排水質量マトリックス、 A_D ：投影面積マトリックス、 I ：単位ベクトル、

u ：構造物の変位、 w ：流体の変位、 u_{gi} ： i 方向の地盤変位、 I_i ： i 方向のみ1、その他0の単位ベクトル

4. 解析結果

表-1に示す条件下において、正弦パルス波（基準加速度、周期0.5 sec）が $y=0$ 側から入射した場合を想定して解析を行った。このパルス波は、トンネル軸方向に沿って伝播するものとし、加震方向はトンネル軸直角方向の水平成分のみを考慮している。伝播速度は、200～800m/secの3ケースに加え、位相差を考慮せずトンネル全体が同時加震されるケースも行った（伝播速度：infinity）。解析の結果として、伝播速度がトンネルに発生する加速度応答倍率に与える影響を図-3に示した。図から明らかなように、水平方向の復元力が小さいA-typeの場合は、伝播速度の影響がほとんどない。一方、C-typeの場合は、若干ではあるが、伝播位相差を考慮した方が、大きな応答値を示すことが分かる。図-4および図-5は、トンネル延長上の各地点で、この正弦パルス波が入射してから通過し終わるまでの過程の中で発生する、最大応答倍率を示したものである。C-typeの場合は、A-typeの場合に比べて、伝播速度による応答倍率のバラツキが見受けられ、伝播位相差を考慮しないと予測応答値をやや過小評価する可能性がある。

今後は、正弦パルス波の周期の影響評価を行った上で、実際の地震波が作用した場合の検討を行っていく予定である。また、鉛直方向動揺については、流体の圧縮性を考慮するか否かも課題となる。これらも含めて継続的に検討を行う予定である。

表-1 解析条件

項目	単位	設定値
トンネル延長	m	2,000
トンネル断面径	m	23
トンネル両体長	m	100
比重		0.69 (0.50)
水深	m	100
上部クリアランス	m	30
下部クリアランス	m	47
デシジョン*復元力	kN/m	2,400 (355,300)
デシジョン*ピッチ	m	100
地震波伝播速度	m/sec	200, 400, 800

(*)内数値はC-type

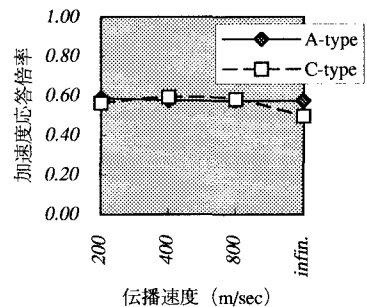


図-3 伝播速度と最大加速度応答倍率

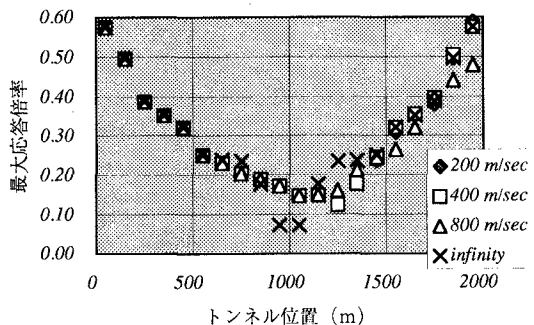


図-4 トンネル位置と加速度応答倍率 (A-type)

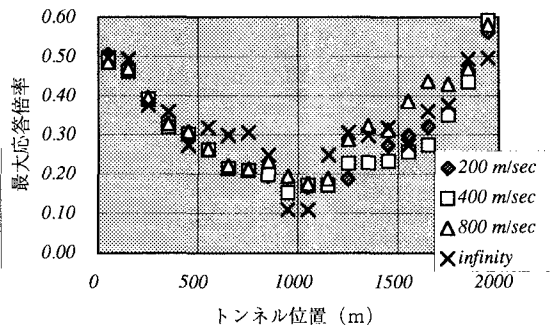


図-5 トンネル位置と加速度応答倍率 (C-type)

参考文献

- 1) F.Brancaleoni, A.Castellani & P.D'Asdia: "The response of submerged tunnels to their environment"; *Eng. Struct.*, Vol. 11, pp.47-56, 1989.
- 2) Chakrabarti, S.K. 1987. *Hydrodynamics of Offshore Structures*: Computational Mechanics Publications, Boston, USA
- 3) Mizuno, S. et al. Experimental Study on Characteristics of Submerged Floating Tunnels under Regular Waves: *The 3rd Symposium on Strait Crossings*, Alesund, Norway 1994.