

I-102 地中構造物に働く地震力について

九州大学工学部 正員 小坪 清貞
 日本道路公団 正員 川人 達男
 九州大学工学部 学生員 O村田 繁

1. まえがき

従来、地中に構造物を建設する例が多々見受けられるが、現在では、このような地中構造物の地震時挙動を評価する、理論式も経験式も得られていない。従って、これらの耐震設計は、専ら経験のみによって行なわれている状況であり、この地震応力算定の理論確立が望まれている。本論文はこのような要望に対する一試案として、次のような観点から、地中構造物に働く地震力の評価を試みた。即ち、岩質な地中に構造物が存在するような場合には、弾性論的に考慮することが妥当と考えられ、ここでは地震時に、掘工と周辺地盤とが一体となって応答するものとして、弾性論的に解析し、差分法を用いて数値計算を行なった。又、地中構造物とその周辺地盤との相互作用の解明に際し、掘工厚、あるいは、周辺地盤の性質を種々変化させ、環境条件を変えた場合の地震時応答を求め、相互作用の評価を試みた。なお、構造物の接座に地震時挙動を単純化するため、次のような仮定を設ける。

- (1) 岩盤は均質な等方性弾性体とする。
- (2) ひずみ分布は2次元とし、平面ひずみ状態とする。
- (3) 地震波は剪断平面波で、無限に連続な正弦波形とする。

$$u = a \sin \omega(t - z/c_s)$$

- (4) 岩盤内では、地震波動の伝播速度 c_s は非常に速いので、トンネル周辺部は一様に剪断を受けるものとする。
- (5) 岩盤内での減衰作用は小さいから、これを無視する。

2 弾性体の運動方程式

連続弾性体の運動方程式は、次のように表わされる。

$$S \frac{\partial u}{\partial t} + f_x(u, t) = (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_x}{\partial x} + \mu \nabla^2 u + X$$

$$S \frac{\partial v}{\partial t} + f_y(v, t) = (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_y}{\partial y} + \mu \nabla^2 v + Y$$

$$S \frac{\partial w}{\partial t} + f_z(w, t) = (\lambda + \mu) \frac{\partial \varepsilon_z}{\partial z} + \mu \nabla^2 w + Z$$

ここで、 S は弾性体の密度、 f は減衰力、 X, Y, Z は x, y, z 座標軸方向の物体力を表わし、

$$\varepsilon_x = \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z}, \quad \nabla^2 = \frac{\partial^2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

である。

3 計算例

掘工をコンクリート製とし、地震波の大きさを $a\omega = 10 \text{ cm}$ 、トンネル1辺を 5.4 m として計算を行なう。掘工に生じた最大応力と掘工厚の関係を、周辺地盤の硬軟状態別にみれば、図-3を参照して、周辺地盤の剪断弾性定数 $G_{\text{rock}} = 1000 \text{ kg/cm}^2$ の他は、多少のばらつきはあるが、一般に掘工厚が大きくなるほど、生じる地震応力も増大している。このことは、掘工厚が増すほど減衰率が高いとい

うことになる。しかし、 $G_{rock}=1000 \text{ kg/cm}^2$ 、即ち、波動の伝播速度 $C_s=200 \text{ m/sec}$ 程度に、周辺地盤がやわらかい場合には、地震力は、ある覆工厚の値より大きい範囲では、覆工厚を増すことによって最大力は減少している。プロット図でばらつきが認められるのは、繰り返し回数がまだ少なく、十分に収束していないためと思われる。この結果から思うに、繰り返し回数が50回以上でないと、信頼性が乏しいようである。

図-1 覆工厚60cmの場合

$$G_{rock} = 1000 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_{max} = 45451 \text{ kg/cm}^2$$

$$IN = 98$$

<Displacement>

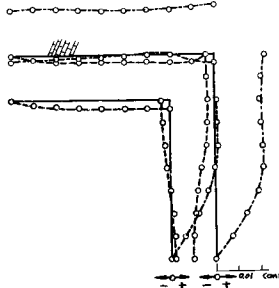


図-2 覆工厚150cmの場合

$$G_{rock} = 20000 \text{ kg/cm}^2$$

$$G_{max} = 2259 \text{ kg/cm}^2$$

$$IN = 84$$

<Displacement>

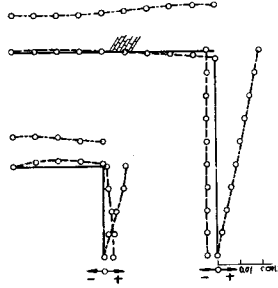
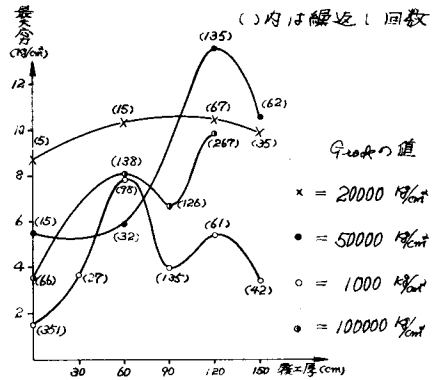


図-3 覆工厚と G_{max} の関係



記号の説明

G_{rock} = 岩盤の剪断弾性定数

G_{max} = 地震時の最大応力

IN = 繰り返し計算回数

<Displacement>

—○— u

—●— w

<Stress>

—○— σ_x

—●— σ_z

但しコンクリートの剪断弾性定数 $G_c = 9 \times 10^4 \text{ kg/cm}^2$ 、岩盤のポアソン比 $\nu = 0.20$ とする。

4 総括

本研究の結果から推察できることは、一般に周辺地盤が岩質の場合、覆工厚が大きくなるほど、生じる地震力も増大するということである。従って、この結論から、地中構造物の耐震設計と行なう場合は、覆工の増厚によって地震に耐えさせることは一般に困難で、かえって逆効果を生むと考えられるから、覆工に鉄筋、又は、鉄骨を用いて靱性を与え、材質的に強化する方法をとる方がよいと思われる。本研究では、地震作用を単に一樣剪断作用と考え、地中構造物の応答を求めているが、実際の場合と一致するかどうかは、これからの実験、及び震害調査の分析に委ねなければならない。なお今後、振動台実験により、この研究の結果を確認していく方針である。

5 参考文献

- (1) 地中構造物に働く地震力に関する研究(岡本, 加藤, 伯野) 土木学会論文集オ92号 昭38
- (2) 岩盤内構造物に働く地震力(小坪, 川人) 土木学会西部支部研究発表会 昭46.2