

東京電力(株) 正員 浦沢義孝

1. まぎき

地中送電設備としての削削トンネルは、横断面形状が箱形のラーメン構造からなるが、トンネル方向の伸縮継目設置にあたり考慮すべき要因は①地震、②不等沈下、③上載荷重の変化、④地盤支持力の変化、⑤温度変化等と考えられる。

本文では耐震面のみを考慮した場合の直線線形の削削トンネルについて、伸縮継目の設置間隔、異種構造物(マンホール、変電所建屋等)との取付方法に関する基本検討を応答変位法による耐震解析結果に基づき行ったので報告する。

2. 解析

(1) 解析条件

図-1に示す削削トンネル埋設モデルを対象とし、以下に示す解析条件に基づき応答変位法により耐震解析を行った。

- a. 地震波は水平面(X-Y平面)内において伝播するせん断波とし、次式で表わされるものとする。

$$w(x, z, t) = U_h(z) \sin \left\{ \frac{2\pi}{T} \left(t - \frac{z}{V_s} \right) \right\}$$

ここで、 w : せん断波の変位 z : 地震波の進行方向軸距、 t : 時刻

$U_h(z)$: 地表面から深さ z におけるせん断波の水平変位振幅

T : 表層地盤の基本固有周期(本解析では $T = 4H/V_s$ より求める、 V_s : せん断波速度

- b. 表層地盤に作用させる設計水平震度 K_H は0.15とする。

- c. 伸縮継目間隔は30, 40, 50mおよび ∞ とし、解析長は1波長($\lambda = TV_s = 4H$)相当以上とし、はり(トンネル)-節点バネモデルにおいて伸縮継目はピンとする。なお、トンネル端部はフリー、スライドおよびピン+スライドの3ケースを考慮する。

- d. せん断波速度 V_s は地盤の N 値によって代表させ「石油パイプライン技術基準」の採用式 $V_s = 20\sqrt{N}$ を用いる。また、地盤のせん断弾性係数 G は $G = \frac{V_s^2}{9}$ とする。

- e. 表層地盤の N 値、単位体積重量 γ_s および表層地盤厚 H は以下のとおりとする。

$$N = 10 (\gamma_s = 1.8 \text{ t/m}^3): H = 10, 30 \text{ m}, \quad N = 5 (\gamma_s = 1.6 \text{ t/m}^3), \quad 1 (\gamma_s = 1.5 \text{ t/m}^3) : H = 30, 60 \text{ m}$$

(2) 解析結果

上記条件のもとで行った解析結果のうち、トンネル標準部(異種構造物との取付部付近を除く)における伸縮継目設置間隔と断面構造決定上支配的となる最大曲げモーメントとの関係を図-2に示す。

3. 考察

解析結果に対する考察は以下のとおりである。

- a. 解析ケースのうち、せん断波速度 $V_s = 60 \text{ m/sec}$ ($N = 10$ に相当)、表層地盤厚 $H = 10 \text{ m}$ の場合を除き伸縮継目を設置する方が、また設置する場合は設置間隔が短いほど発生断面力(曲げモーメント

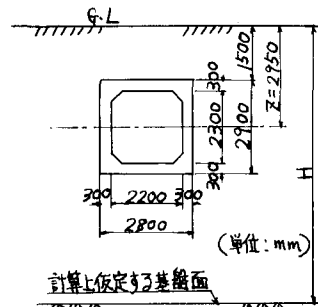


図-1. トンネル埋設モデル

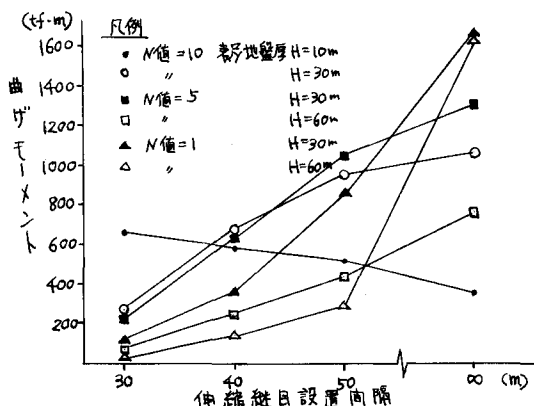


図-2. 伸縮継目設置間隔と最大曲げモーメントとの関連図

ト、軸力、せん断力)は小さい)。しかし、 $V_s = 60 \text{ m/sec}$ 、 $H = 10 \text{ m}$ の場合は断面力の面では伸縮継目を設置しない方がよい。

- これは $V_s = 60 \text{ m/sec}$ 、 $H = 10 \text{ m}$ の場合は伸縮継目間隔を30, 40, 50 mとしたため、地震波の $\frac{1}{2}$ 波長($\frac{\lambda}{2} = \frac{TV_s}{2} = 2H = 20 \text{ m}$)以上となって伸縮継目が有効に作用せず、かつ伸縮継目部において構造が不連続となること、およびトンネルに作用する荷重の形態により、曲げモーメントの面では特に不利となるためと考えられる。
- しかしながら、伸縮継目を設置する場合には、その設置間隔を一般に $\frac{1}{2}$ 波長未満にすべきであるといえる。
- また、伸縮継目を設置する場合は表層地盤厚が同一であれば、地盤が軟かいほど、すなわちせん断波速度が小さいほど発生断面力は小さい。さらに地盤が軟かいほど一般に伸縮継目の設置が断面力の面では有効である。
- 伸縮継目部の離隔、すなわちトンネルブロック間の離隔は一般に10~30 mm程度であるが、本解析の範囲でも所要変形性能(伸縮、回転)よりみると、解析ケースにより異なるが10~40 mm程度である。伸縮継目部の離隔は具体的には個別設計によるべきであるが、 $N=1$ 程度の地盤では30~40 mm、 $N=5$ 程度の地盤では20~30 mm、 $N=10$ 程度の地盤では20 mm程度としておけば良いと思われる。
- トンネルを異種構造物に取付ける場合は、本解析では異種構造物の地震時挙動を無視しているが、スライド構造は極端に大きい断面力が発生するため避けるべきである。また、ピンサスライド構造もトンネル標準部に比べ過大な断面力が発生するため、極力フリーを構造とすべきである。

4. あとがき

内削トンネルの伸縮継目設置に関しモデル解析により耐震性についての考察を加えたが、本考察の範囲でも地震を考慮した場合は地盤条件(特にせん断波速度、表層地盤厚等)が伸縮継目設置間隔に大きな影響を与えることは明瞭である。また、伸縮継目はその設置間隔によっては設置したことがトンネル構造上不利になることもあるので慎重な配慮が必要である。

伸縮継目設置においては設置間隔以外にその構造が内題となる。一般に用いられている伸縮継目構造としては、突合せ式、カラー式、ソケット式等があるが、伸縮継目構造は継目部の所要強度(主としてせん断力に対する強度)および所要変形性能(伸縮、回転)上の構造以外に、施工性、経年性はもとより水密性、耐久性等をふまえた構造でなければならぬ。

また、伸縮継目は内削トンネルの縦断方向(トンネル方向)設計の一環であるが、伸縮継目の設置に関する設計にあたっては、伸縮継目内のトンネルブロックの縦断方向設計、具体的には配筋設計が必要となる。

なお、本報告は直線線形の内削トンネルに関する報告であるが、さらに条件を変えた解析を進め伸縮継目設置間隔の標準化をはかるとともに、内削トンネル縦断方向設計の標準化を進めている。またミールドトンネル等についても現在検討を進めている。

以上