

I - 4 山岳トンネルの地震時挙動に及ぼす周辺地盤の挙動の影響 に関する基礎的検討

日本大学工学部 学 ○南部 理
日本大学工学部 正 中村 晋

1. はじめに

一般的にトンネルは地山で取り囲まれているため、その挙動も周辺地山の挙動に支配される。このことより周辺地山が地震時に安定しているならば、トンネル覆工も耐震性に富む構造物と見なされてきた。このため地震による影響はあまり考えられてこなかった。しかし、兵庫県南部地震における山岳トンネルは、開削トンネル等と比べ少ないものの、覆工コンクリートの剥離、ひび割れ等の被害を受けていた。しかし、山岳トンネル覆工の力学的挙動に関しては覆工に常時作用する地山の圧力でさえ不明な点が多く静的外力を受けた時の挙動も詳細にわかっていないのが現状である。その一方で、土被りの小さい地山に施工したり、第2東名高速並びに第2阪神高速の交通量確保による扁平な超大断面トンネルが施工されていることなどから、耐震性能を評価・検討することが必要になってきている。兵庫県南部地震被災以降、山岳トンネルの耐震に関する研究が行われてはきたが、まだSH波の入射方向は2方向からの解析しか行われていない。

そこで、本研究は山岳トンネル¹⁾のさらなる耐震性能の把握、および耐震設計法の確立を目的とし、地山と覆工を簡易にモデル化できる FEM 応答変位法²⁾を用いてSH波を入射時の主ひずみ方向の変化を考え、その主ひずみの方向と覆工の挙動との関係を示すための検討する。

2. 解析方法

FEM 応答変位法は地盤を連続体とし地中にある構造物に外部から伝わった応力を連続体を通して地中構造物に静的な外力として作用させる手法である。

図-1はSH波を鉛直から入射してきた時と45°の方向より入射してきた場合の主ひずみの方向を示している。図に示した地盤内に生じる主ひずみ ε_1 （引張ひずみ）は地震波の入射角により変化する。主ひずみ ε_3 （圧縮ひずみ）も同様である。一方、トンネル形状は円形ではなく上下で曲率がちがう形状をなすことから地

盤の変形、言い方を換えれば主ひずみ方向に応じて発生する断面力分布は異なる。

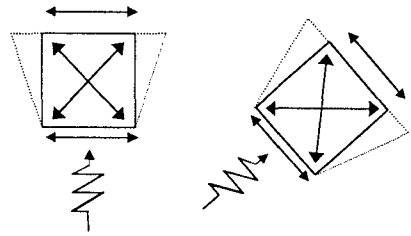


図-1 せん断ひずみと入射角の関係

このことから主ひずみの方向が変化する際のトンネル覆工に発生する断面力を求める。

FEM 応答変位法によるトンネル地盤系解析を行う際、主ひずみの方向の変化を考慮した境界条件つまり入力条件の測定方法を示す。

図-2に示したのは、SH波が入射角 α で伝播している際に地盤内に発生するせん断ひずみを示したものである。ここで入射角 α を基準とする座標系 (X^*Y^*) 内での地盤ひずみ γ_{xy}^* 、 γ_{yx}^* を水平、鉛直軸を基準座標とする xy 軸座標系（以後基本座標系と呼ぶ）で表すと式(1)のとおりとなる。このことは基本座標系における ε_x 、 ε_y 、 γ_{xy} を制御することにより主ひずみと方向および大きさを制御できることを示している。

$$\begin{pmatrix} \varepsilon_x & \gamma_{xy} \\ \gamma_{yx} & \varepsilon_y \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 & \gamma_{xy}^* \\ \gamma_{yx}^* & 0 \end{pmatrix}$$

$$= \begin{pmatrix} -\gamma_{yx}^* \sin \theta & \gamma_{xy}^* \cos \theta \\ \gamma_{yx}^* \cos \theta & \gamma_{xy}^* \sin \theta \end{pmatrix} \quad \dots (1)$$

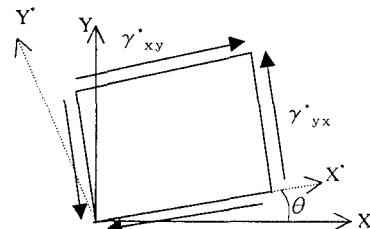
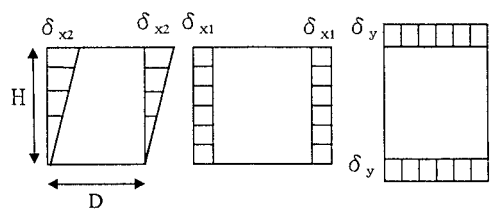


図-2 入射角 θ の時の地盤のせん断ひずみ

ここで、各ひずみは解析の対象となる地盤一構造物モデルのサイズ（高さH、幅D）により式（2）のように表される。

$$\gamma_{xy} = \frac{\delta_{x2}}{D}, \epsilon_x = \frac{\delta_{x1}}{D}, \epsilon_y = \frac{\delta_y}{H} \quad \cdots (2)$$

つまり、解析領域のサイズにより図－3に示すように強制変位 δ_{x1} 、 δ_{x2} 、 δ_y を分布で与えることにより各ひずみを入力することができる。



図－3 強制変位の入力

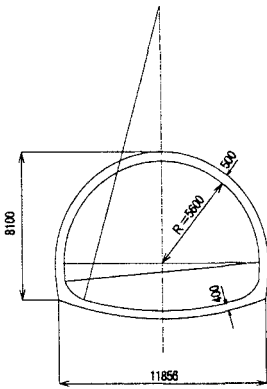
3.解析モデルと諸物性値

解析対象となるのは図－4 に示した道路トンネルである。

FEM の解析モデルはトンネル周辺の地山を高さ幅共に70mの区間を2805の節点、2933の要素で分割を行い覆工とインバートを線形の梁要素モデルで、地山をソリッド要素でそれぞれモデル化したその FEM モデルを図－5 に、地山とトンネルの覆工及びインバートの物性値をそれぞれ表－1、表－2 及び表－3に示す。

表－1 地層の物性値

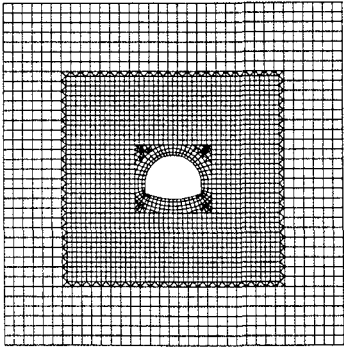
Vs(m/S)	700
γ (t/m ³)	1.9
G(t/m ²)	95000
ν	0.35



図－4 解析対象トンネル

表－2 覆工コンクリートの物性値

Fck(N/mm ²)	30
Ec(kN/mm ²)	28
γ (t/m ³)	2.35
Gc(t/m ²)	1166667
ν	0.2



図－5 FEM メッシュモデル

表－3 覆工及びインバートの断面積等の値

	覆工	インバート
厚さ(m)	0.4	0.5
断面積(m ²)	0.4	0.5
断面2次モーメント(m ⁴)	0.0053	0.01047

参考文献

- 1) 浜田 政則・泉 博允・岩野 政浩・志波 由起夫：岩盤空洞の地震時ひずみの解析と耐震設計（1984）土木学会論文集 第341号 1984年1月 P197-205
- 2) 朝倉 俊弘・志波 由紀夫・松岡 繁・大矢敏夫・野城 一栄：山岳トンネルの地震被害とそのメカニズム（2000）土木学会論文集 NO.659 2000年9月 P27-37