

III-89

3次元効果を考慮した2次元FEM解析による地盤変位の予測手法

竹中技術研究所 正会員○上 田 貴 夫
 ㈱竹中土木 正会員 脇 田 一

1. はじめに

近年、大都市において都市機能の高度化が進展する中で、残された空間資源として地下空間の有効利用が強く要望されている。これに伴い、既設建物直下にトンネル等の地下構造物を施工する工事例が増加してきており、設計、施工法の検討および施工時の計測管理における解析手法の必要性が高まっている。一般にこのような問題を検討する場合、建物の平面形状、トンネル掘削の進捗状況等の3次元的な要素を含んでいるため、3次元モデルによる解析を行うことが望ましいが、現状では3次元解析はその取り扱える範囲に多くの制限があり、またデータの作成・解析・結果の処理に多くの時間と費用がかかるため、2次元解析による検討を行うことが多い。しかし、単純な2次元モデルによる解析を行うと応力・変形等を過大に評価することになり、現状を十分に表現しているとはいえないため、3次元効果を考慮した2次元解析手法の提案がいくつか行われている。本研究は、建物直下にトンネルが建設される場合の建物形状、トンネル切羽の進捗度等をパラメータとして、数種類のモデルについてそれぞれ3次元解析および2次元解析（弾性解析）を行い、相関分析により得られる補正係数を用いて2次元解析結果から3次元的地盤変形を予測する手法の提案を行ったものである。

2. 解析モデルと予測手法の概要

解析に用いたモデルは、3次元・2次元とも図-1、図-2に示したような、トンネル中心を通る面で左右が対称なモデルを考え、地盤の物性値および建物分布荷重は3次元・2次元とも同一の値とした。パラメータとしては建物の平面形状・トンネル断面形状・土被り・トンネル切羽の進捗度を選定し、右に示したような手順で弾性解析を行い、両者の関係を比較検討した。予測手法としては、ある切羽進捗時点での3次元解析による鉛直変位量を ΔZ_{3D} 、2次元解析（横断面）による鉛直変位量を ΔZ_{2D} とすると、両者に次の関係があることが明らかとなり、この式から地盤の変形予測を行うものとした。

$$\Delta Z_{3D} = \alpha \times \beta \times \gamma \times \Delta Z_{2D}$$

$$\left[\begin{array}{l} \alpha : \text{建物平面形状による補正係数} \\ \beta : \text{トンネル軸方向の変位分布補正係数} \\ \gamma : \text{切羽進捗度による補正係数} \end{array} \right]$$

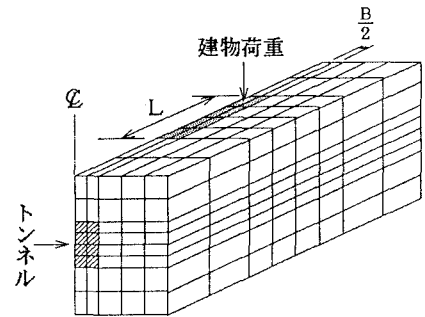


図-1 3次元モデル例

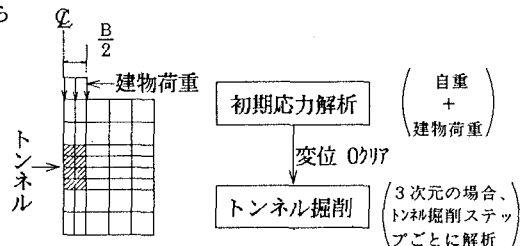


図-2 2次元モデル例

解析フロー

3. 解析結果より得られる各補正係数

以下に、パラメータを変動させて行った解析を上述した補正係数について整理した結果を示す。

(1) 建物平面形状による補正係数 α

α は、トンネル貫通時における3次元解析結果のトンネル横断面上における最大鉛直変位量 ΔZ_{3Dmax} （建物中心直下）と、トンネル横断面の2次元解析結果の対応節点の鉛直変位量 ΔZ_{2D} との関係であり、建物の長さとの比を L/B とすると次のような関係があることが明らかとなった（図-3）。

$$\alpha = \Delta Z_{3Dmax} / \Delta Z_{2D} = 0.85 + 0.05 \times L/B$$

($0.25 \leq L/B \leq 2.75$ について確認)

$\left[\begin{array}{l} L: \text{トンネル軸方向の建物の長さ} \\ B: \text{トンネル軸直角方向の建物幅} \end{array} \right]$

(2) トンネル軸方向の変位分布補正係数 β (貫通時)

トンネル貫通時の3次元解析で、トンネル中心を通る縦断面でのトンネル上部の任意節点の鉛直変位量と、同一深度における最大鉛直変位量の比 β すなわち $\Delta Z_{3D} / \Delta Z_{3Dmax}$ は、縦断面の2次元解析から次の手順で求めることができる。まず、2次元モデル(縦断面)で初期応力解析を行いトンネル天端部に作用している鉛直応力を求める。次に、この鉛直応力を同一モデルのトンネル天端位置に下向きに作用させて再度解析した結果から β_{2D} を求め、これに補正関数 $f(B, A)$ を乗じた値を β とする(図-4)。図-5には以上の手法によって2次元モデルから求めた β の分布と3次元モデルから求めた β の分布を示した。

$\left[\begin{array}{l} \Delta Z_{3D} : \text{トンネル縦断面の任意節点の鉛直変位量} \\ \Delta Z_{3Dmax} : \text{トンネル縦断面の最大鉛直変位量} \\ A : \text{トンネルの断面積} \end{array} \right]$

(3) 切羽進捗度による影響係数 γ

トンネル掘削の進捗に伴うトンネル中心上部地盤の鉛直変位量の変化曲線は、X軸に S/h 、Y軸に $\gamma = \Delta Z_{3DS} / \Delta Z_{3D}$ をとると、図-6に示したように180°回転対称の曲線になる。また、この曲線は、トンネル断面形状 b/h (矩形の場合)および土被り D とトンネル内空高さ h の比 D/h をパラメータとして変動するため、求めるべき変位量 ΔZ_{3DS} は ΔZ_{3D} 、 b 、 h 、 S 、 D を与えることによって得ることが出来る。

$\left[\begin{array}{l} S : \text{トンネル縦断面における切羽から鉛直変位算定点までの水平距離} \\ h : \text{トンネル内空高さ} \\ \Delta Z_{3DS} : \text{トンネル掘削中のある時点での節点の鉛直変位量} \end{array} \right]$

4. おわりに

2次元解析に今回報告した手法を用いることにより、トンネル中心を通る縦断面上の鉛直変位については十分な精度で3次元的な変形挙動の予測が可能であることが分かった。今後は本手法の適用範囲の拡大を図るとともに、各種パラメータを入力することにより、簡易に3次元効果を考慮した2次元解析行なえる地盤解析システムに発展させて行く予定である。

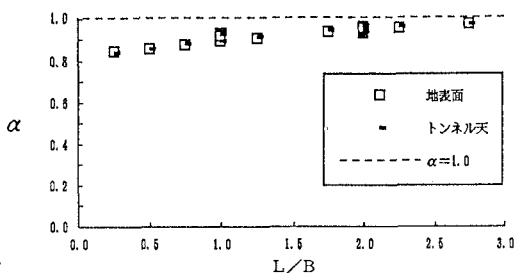


図-3 建物平面形状による補正係数 α

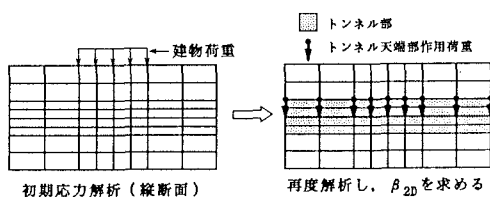


図-4 2次元解析による β_{2D} 算定手順

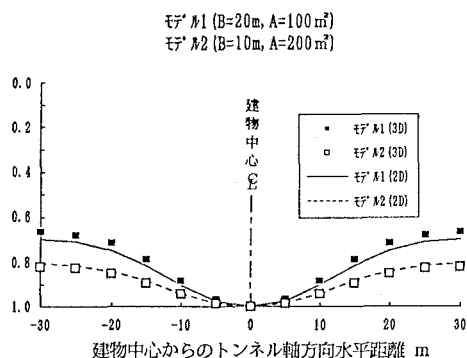


図-5 トンネル軸方向の変位分布補正係数 β

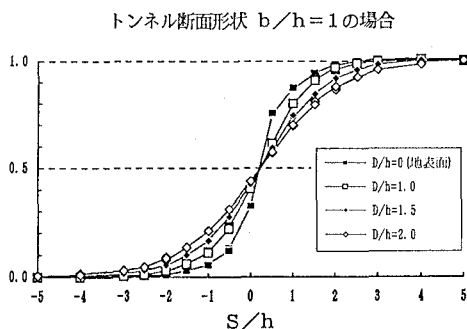


図-6 切羽進捗度による補正係数 γ