

セグメントとコンクリート躯体の 連成解析モデルについて

眞 鍋 尚¹・徐 敏²

¹ みずほ情報総研株式会社 サイエンスソリューション部

(〒101-8443 東京都千代田区神田錦町 2-3)

E-mail:takashi.manabe@mizuho-ir.co.jp

² みずほ情報総研株式会社 サイエンスソリューション部

(〒101-8443 東京都千代田区神田錦町 2-3)

E-mail:min.xu@mizuho-ir.co.jp

近年、高速道路の出入り口部や地下鉄駅舎などではシールドトンネルへの切り開き施工が多くなってきている。そこではシールドトンネルとコンクリート躯体が接続されている場合が多い。継手を有するフレキシブルな構造であるシールドトンネルとコンクリートによる躯体が一体となった際の設計解析モデルが必要とされている。

本論ではコンクリート躯体が接続されたシールドトンネルの設計解析モデルについて基礎的検討を行う。

Key Words : *M-K method, Coupled Analysis, Interaction of the segments with concrete structure, Enlargement of shield tunnel*

1. はじめに

近年、高速道路の出入り口部や地下鉄駅舎などではシールドトンネルの切拡げ工事が増えている。非開削の切拡げ施工では、内部支保工や切梁の設置・撤去、床版の構築などの複雑な施工ステップがある。そこではシールドトンネル開口部とコンクリート床版が接続されている。継手を有するフレキシブルな構造であるシールドトンネルとコンクリートによる躯体が一体となった状態をモデル化する方法がこれまで明示されていないという課題があった。本論はシールドトンネルの設計解析モデルであるはりばねモデルの考え方を考えずに、シールドトンネルと躯体との連成効果を考慮したモデル化方法の妥当性を検討した結果を報告するものである。

で、各種継手をばね要素で表現し、千鳥効果を取り入れた合理的な設計解析モデルである。

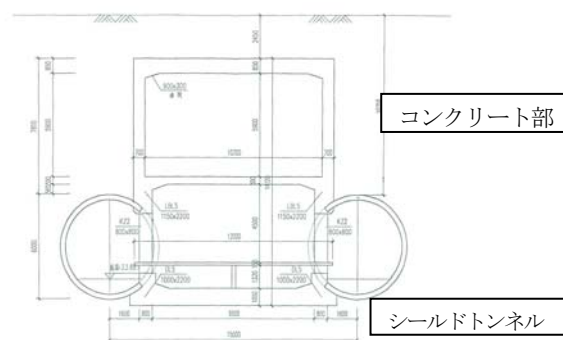


Fig. 1 Shield Tunnel and Concrete Structure

2. 解析モデル

(1) 基本的な考え方

本論では Fig. 1 に示すような切り開きなどによりセグメントとコンクリート躯体が接続しているような構造を解析することを考える。

一般にシールドトンネル単体の横断方向の設計解析では、村上-小泉の方法(以下 M-K 法と呼ぶ)が広く用いられている。M-K 法ではセグメント本体を梁要素

そこで本論では従来通りセグメント本体は M-K 法に従い、梁要素でモデル化を行う。コンクリート部を梁要素でモデル化すると、力の伝達部分が 1 点であるため、その接続部においてセグメントに局所的な応力集中が生じる場合があり、また、変形が過少になりうる。セグメントに対し、コンクリート部の接続が 1 点ではなく、平面的な広がりを持つて接続していることを忠実にモデル化することを考えると、コンクリート部平面歪要素を用いることが妥当と考える。ただし、セグメント本体は M-K 法に従い千鳥効果を考慮しているため、トンネル軸方向に数リングを配した擬似 3 次元である。よって、セグメントに接続するコンクリート部もセグメント本体と

同様に擬似3次元解析モデルとする(Figs. 2, 3を参照).

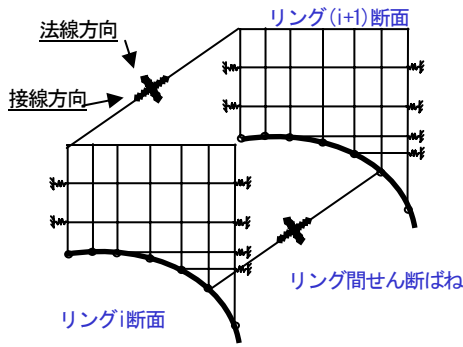


Fig. 2 The connected springs between the rings

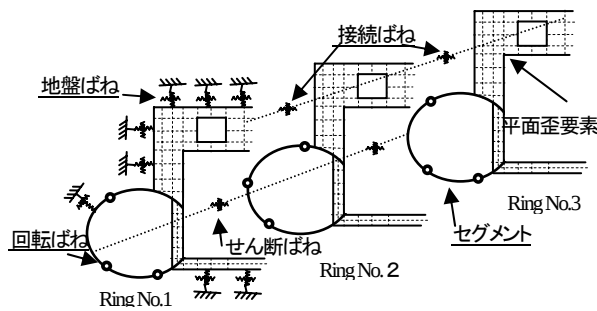


Fig. 3 Analysis model for the interaction the segments between concrete structure

(2) 分割数の検討

本解析モデルでは上述の通り、セグメントである梁要素とコンクリートである平面歪要素が接続する。一般にセグメントは曲率(1/R)を有する円形部材であるため、用いる梁要素も円弧梁要素となる。平面歪要素と円弧梁要素はFig. 4で示す通り節点を共有することで変位を共有することになる。

有限要素法を用いて本解析モデルを解く場合、円弧梁要素の半径方向、接線方向の変位に関する形状関数 $u(s)$, $w(s)$ は軸歪が要素内一定、曲げ歪が線形変化との仮定のもと、それぞれ以下のように与えられる³⁾。

$$u(s) = a_1 \cos\left(\frac{s}{R}\right) - a_2 \sin\left(\frac{s}{R}\right) + a_3 + a_5 R s + \frac{1}{2} a_6 s^2 \quad (1)$$

$$w(s) = a_4 \sin\left(\frac{s}{R}\right) - a_2 \cos\left(\frac{s}{R}\right) + R a_4 + a_5 R^2 - R^2 a_6 s \quad (2)$$

一方、平面歪要素では以下の通りである。

$$u(x, y) = c_1 + c_2 x + c_3 y + c_4 xy \quad (3)$$

$$v(x, y) = c_5 + c_6 x + c_7 y + c_8 xy \quad (4)$$

ただし、式(1)~(4)における係数 $a_1 \sim a_6$ および $c_1 \sim c_8$ は未定定数である。

式(1), (2)より円弧梁要素の場合では半径Rと三角関数を含む弧長Sに依存する2次関数であり、曲げ変形を表現可能である。一方、平面歪要素の形状関数は式(3), (4)双1次関数である。この両者を接続させるとき、形状関数が異なるため、梁要素の変形を平面歪要素で表すためには、半径Rと分割数の関係を調べ、適切な分割数が必要と考える。

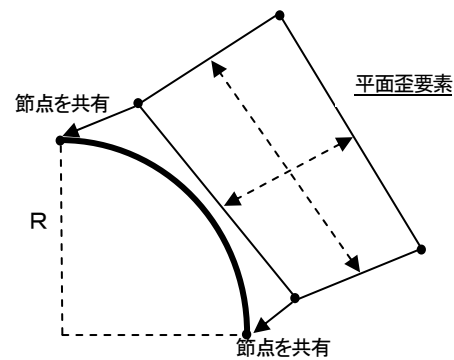


Fig. 4 The connection of Circular beam element and Strain element

そこで、Fig. 5に示すような円弧アーチの集中荷重による変形を再現する平面歪要素の分割数について数値的検討を行った。

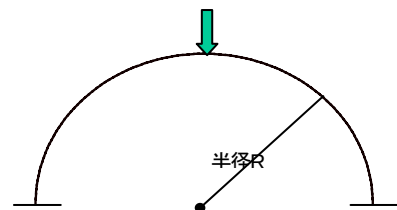


Fig. 5 The arch model for the test

ここでは、半径を2(m)と6(m)の2通りについて検討を行い、円弧梁要素モデルの最大変位を表現するのに必要な平面歪要素モデルの周方向の分割数を調べた。Fig. 6では半径6(m)の場合の平面歪要素と円弧梁要素をそれぞれ用いた変形図を示している。このとき、平面歪要素の周方向分割数は200分割である。Fig. 6より、変形形状は円弧梁要素モデルとほぼ、同一であることがわかる。最大変位値については3%程度の差である。また、半径が2(m), 6(m)の場合における分割数の違いによる最大変位量の違いをTable 1に示す。

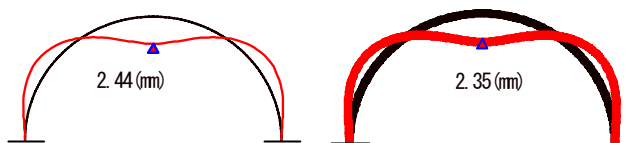


Fig.6 The deformations

Table 1 より半径が2(m)の場合では40, 60, 80分割において顕著な差は見られないが, 半径が6(m)になると分割数によって大きな差が生じていることがわかる。

Table 1 The comparison with the max. displacement

単位:mm

半径 R=2(m)			
平面歪モデル		円弧梁モデル	誤差(%)
分割数	最大変位	最大変位	
40	0.122	0.126	3.3
60	0.130		2.9
80	0.133		5.3
半径 R=6(m)			
平面歪モデル		円弧梁モデル	誤差(%)
分割数	最大変位	最大変位	
80	1.896	2.443	22.4
120	2.174		11.0
200	2.355		3.6

3. 解析例

次に本解析モデルを用いた解析例を示す。Fig. 7 に示すようなコンクリート構造である駅舎を含むセグメントリングの解析を取り上げる。ここでは、その駅舎部を平面歪要素を用い、セグメント本体部を剛性一様な場合（剛性一様モデル）および駅舎部を梁要素（梁モデル）を用いた場合との比較をそれぞれ行う。

本シールドトンネルは外径 6000 (mm)であり、セグメント厚 200 (mm)、幅 1200 (mm)の RCセグメントから構成されている。その作用荷重と千鳥構成図をFig.8に示す。ここではセグメントリング間におけるリング間せん断ばねは 1.0×10^6 (kN/m)としたが、コンクリート間のせん断ばねは数値的無限大(kN/m)とした。コンクリートのせん断剛性から算出した値、セグメントリングでのせん断ばね値および数値無限大値をそれぞれ用いた場合において有益な差が生じなかったため、数値無限大とした。さらに、梁要素と平面歪要素の接続部の周方向分割数はTable1の結果を参考に40分割とした。

まず、本解析モデルと梁モデルとの変位による比較をFigs.9,10に示す。Fig.9では本解析モデルによる2リング目の変形を示しており、Fig.10では同様に梁モデルによる2リング目の変形を示している。

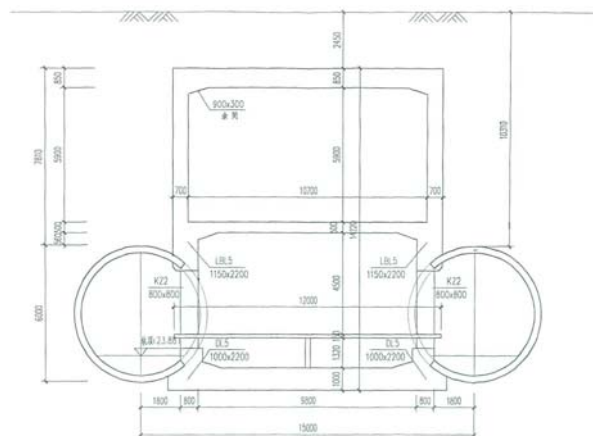


Fig. 7 A station consisted of RC and segments

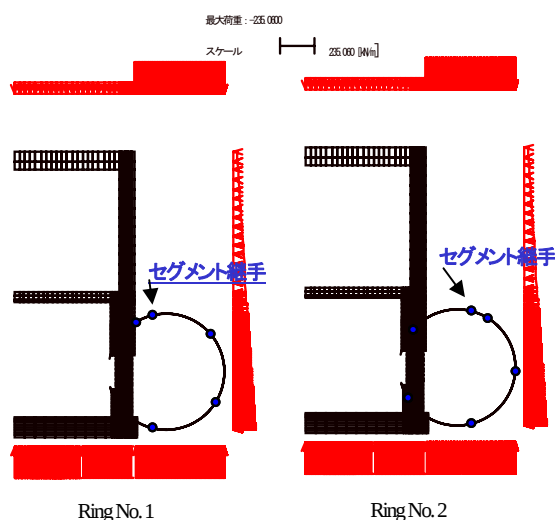


Fig. 8 The load and the alternative rings structure

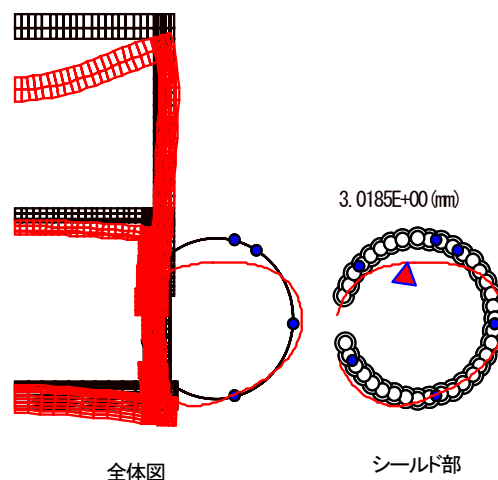


Fig.9 The deformation shapes for proposed analysis model

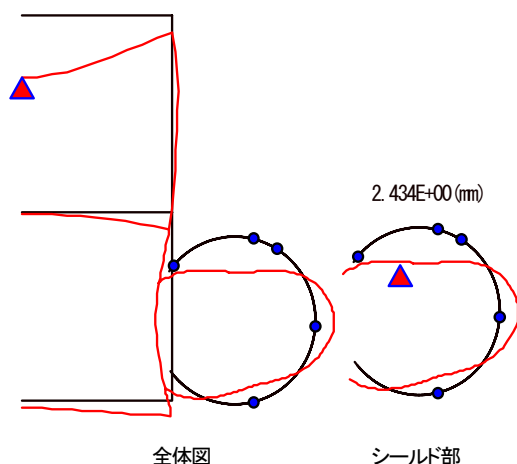


Fig.10 The deformation shapes for frame analysis model

次にセグメントに生じる発生モーメントと軸力の比較を一樣剛性モデルと行う。Fig.11では曲げモーメント、Fig.12では軸力の比較をそれぞれ示す。

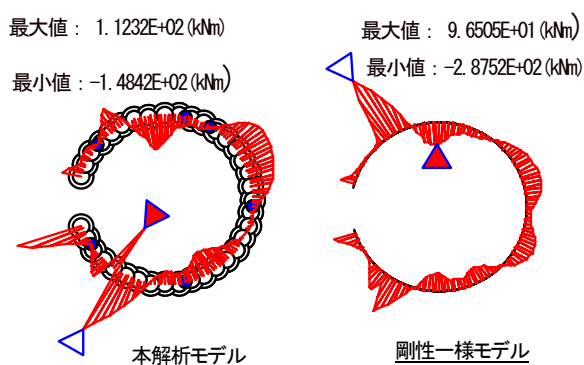


Fig. 11 The Comparison with the bending moments

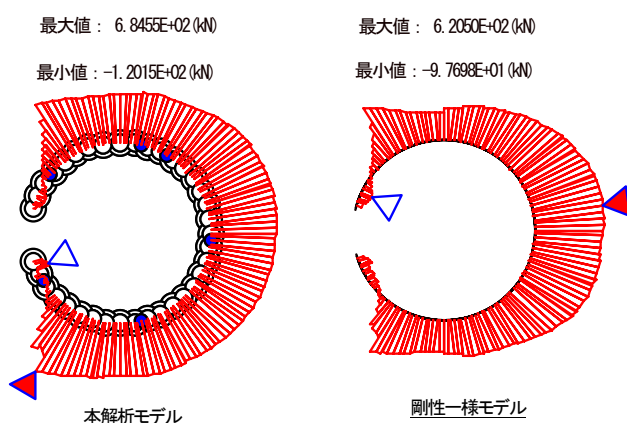


Fig.12 The comparison with the axial forces

Fig.10より、本解析モデルと梁モデルによる変形形状

はほぼ同一であることがわかる。しかし、セグメントの最大変位量の比較では梁モデルによる変位量が少ない。これはコンクリートとセグメントの接続が点で接続されているため、セグメントに伝達する力が過小に評価されているためと思われる。

Fig.11,12より剛性一樣モデルとの比較では、本解析モデルではM-K法に基づいているため千鳥の添接効果により曲げモーメントは隣接リングに受け渡されるが、剛性一樣モデルではその効果がないため、コンクリート接続部で大きなモーメントが発生していることがわかる。

4. おわりに

本論では、セグメントとコンクリート部が接続されているシールドトンネルの設計解析モデルについての検討を行った。セグメント本体はM-K法を用い、コンクリート部は平面ひずみ要素を用いて添接効果を考慮した解析モデルについて考えた。まず、平面歪要素とセグメントをモデル化した円弧梁要素の接続について分割数の検討を行い、セグメントの半径によって分割数を適切に決定する必要があることがわかった。

さらに、駅舎部の解析より梁モデルでは、セグメントの変形量が小さく評価されること。また、剛性一樣モデルではモーメントの伝達がないモデルのため、コンクリートからの力を他のリングに分散できず、大きなモーメントが発生することがわかった。

今後はさらに、計測値などとの比較を行い、モデルの妥当性を検討したい。

参考文献

- 1) 大場 新哉, 小島 直之: シールドトンネル開削切開き工法の概要について, 土木学会第 58 回年次講演会, 平成 15 年 9 月
- 2) 村上 博智, 小泉 淳: シールド工用セグメントのセグメント継手の挙動について, 土木学会論文報告集, 第 296 号, pp. 73~86, 1980 年 4 月
- 3) C.L.Dym, Stability Theory and its Applications to Structure mechanics, Dover Publications, 2002

(2013. 9. 2受付)

THE INTERATION ANALYSIS of SEGMENT with CONCRETE STRUCTURE

Takashi MANABE and Min XU

It is increasing construction of enlargement of shield tunnels on the entrance of expressways or the station of subway. In the non-open-cut constructed method, there are steps of installing or removing additional support, steel beam, RC slab etc.

This paper presents how to analysis enlarged structure of shield tunnel on base M-k method. In comparison with results between beam model and plane strain model analysis, it is has been appeared suitability on these methods.

