

# 多リングシェルを用いたシールドトンネル開口影響についての一考察

パシフィックコンサルタンツ(株)  
(株)ジオ・ソリューション

大阪本社 交通技術部 正会員  
交通技術本部 トンネル部 正会員  
代表取締役 非会員

増野 正男<sup>1)</sup>  
○木谷 努<sup>2)</sup>  
細井 秀憲<sup>3)</sup>

## 1. はじめに

セグメントに開口を設けると、開口周辺のセグメントにその影響が及ぶ。この開口の影響は、3次元であり、現状ではその影響範囲にあるセグメントの設計手法は十分確立されておらず、明確な設計基準も整備されていない。そこで、本報告では、今後の設計手法確立のための基礎資料を得ることを目的とし、継手ばねをモデル化した3次元多リングシェルモデルによる解析を行った。

## 2. これまでの考え方

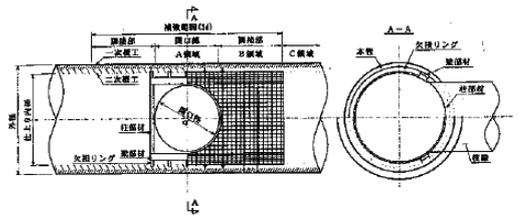
これまで、セグメントを開口するケースとしては、下水道セグメントにおいて本管に枝管を取り付ける場合等比較的小規模なものがほとんどであった。そして、下水道以外のトンネルの開口補強セグメントの設計も主に下水道を対象として策定されたマニュアル<sup>1)</sup>等を参考に2次元解析により行われるのが一般的であった。下水道のマニュアルでは、図-1<sup>1)</sup>に示すように、開口影響範囲を開口が設けられているA領域および開口縁から開口径以下の距離にあるB領域に分類し、開口の影響がA、B領域に及ぶとして開口による荷重の増減を考慮して2次元解析で設計することとしている。

しかし、この考え方は、比較的小規模の下水道を対象に策定されたものであり、特に、開口径が大きい道路トンネルの場合、その開口径以下の距離にある複数リングのセグメントをB領域と称して一律に設計することには問題があるものと考えられる。

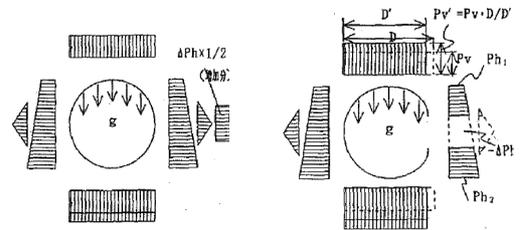
## 3. 多リングシェル解析の概要

本報告は、図-2に示すように、セグメントピース間継手を回転ばね、リング間継手をせん断ばねとしてモデル化した3次元シェル解析を行う。解析では、径D=12.3mで、幅1.5mのリングを12ないしは13リングをモデル化した。

解析ケースとしては、表-1に示す通り、参考ケースである開口がないケースに加え、トンネルスプリングラインに幅3m(2リング幅に相当)、高さ3mの正方形の開口を設けるケースを基本ケースとする。そして、地盤ばね定数、開口幅を変動させ、それぞれ開口の影響がどのように変動するか確認することとした。セグメントは、桁高40cmで厚さ25mm主桁をリング幅1.5mに3本有する鋼製セグメントをシェルとしてモデル化した。荷重条件は、鉛直土圧として1D分の有効土圧(土の水中単位体積重量 $\gamma' = 9\text{kN/m}^3$ )、側方土圧係数を0.35とし、水圧は天端で40m分を考慮した。地盤反力係数は、 $\text{kn} = 50\text{MN/m}^3$ とした。



(a) 開口影響範囲



(b) A領域設計モデル (c) B領域設計モデル

図-1 下水道での開口設計の考え方

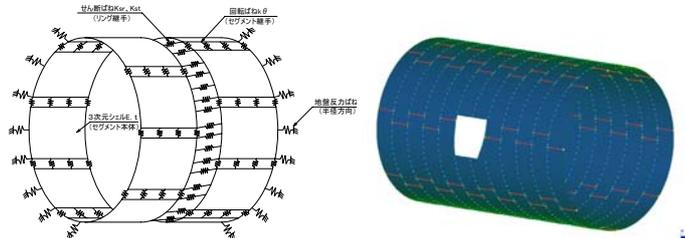


図-2 3次元シェル解析の概要

表-1 解析ケース

ケース	地盤ばね	開口寸法(m)
0	法線 kn	—
1	法線 kn	3×3
2	法線 kn と接線 1/3kn	3×3
3	法線 kn	4.5×3

開口, 多リング解析, シェル解析, 影響範囲, シールドトンネル

<sup>1)</sup> 大阪府中央区安土町 2-3-13 TEL06-4964-2556  
<sup>2)</sup> 東京都新宿区西新宿 2-7-1 TEL03-3344-1759  
<sup>3)</sup> 東京都杉並区成田東 5-15-17 TEL03-3391-1851

## 4. シェル解析の結果

### 4.1 開口の影響

開口のない場合（解析ケース 0）と開口がある場合（解析ケース 1）の比較について述べる。図-3 に軸力コンター図を示す。これによると開口がない場合、均等な軸力が発生しており、リング間での違いはない。一方、開口がある場合、軸力は開口隣接リングの開口側半分程度（0.75m程度）に集中している。逆に開口リング自体および開口隣接リングの開口逆側は軸力が軽減している。また、開口の影響は、隣接する2リング程度で収まっている。このことは、図-4 に示す開口上縁軸線における軸力分布グラフを見るとより明確となる。開口がない場合はトンネル軸方向に一定値であるが、開口がある場合、開口がない場合の最大5倍の軸力が開口隣接リング開口側で発生していることが分かる。逆に、開口逆側では軸力の軽減が認められる。このことから、梁モデルのように、開口隣接リング内の平均的な軸力により設計する場合、開口側については危険側、開口逆側では安全側の設計となる可能性があることが分かる。

### 4.2 地盤反力や開口幅の影響

地盤ばねの影響を把握するため、開口がある基本ケース（ケース 1）とせん断地盤ばね（接線方向地盤ばね）を法線方向地盤ばねの1/3として考慮したケース（ケース 2）について開口上縁軸線における軸力分布の比較を図-5 に示す。図-5 によると、接線方向地盤ばねを考慮することで開口の影響は開口のない場合の2.5倍程度と接線方向地盤ばねを考慮しない場合の約半分となっている。一方、軸力変動の傾向や影響範囲としては、両者に大きな差が見られない。以上のことから地盤の接線方向の地盤ばねは、影響範囲自体を縮小することはないが、その影響の絶対値をかなり小さくすることとなることが分かる。

開口幅3m（幅1.5m×2リング）の基本ケース（ケース 1）と開口幅4.5m（幅1.5m×3リング）としたケース（ケース 3）の開口上縁軸線における軸力分布の比較を図-6 に示す。図-6 によると開口幅が1.5倍となると開口縁の軸力が約1.4倍と大きくなっている。開口の影響範囲としては、開口幅分（4.5m分：中心から6.75m）より小さくなり、開口幅3mの時より開口の影響がやや集中している傾向があることが分かる。このように開口幅と開口影響範囲は、必ずしも比例関係にあるのではないことが認められる。

## 5. まとめ

本報告では、3次元多リングシェルモデルによる解析から開口による影響を把握し、考察した。今後は、より実務的な多リングはりばね解析との比較検討を進め、はりばねモデルによる設計手法の確立のための検討を進めていく予定である。

参考文献：1) 東京都中部建設事務所：下水道仮設設計マニュアル（案）1994.3

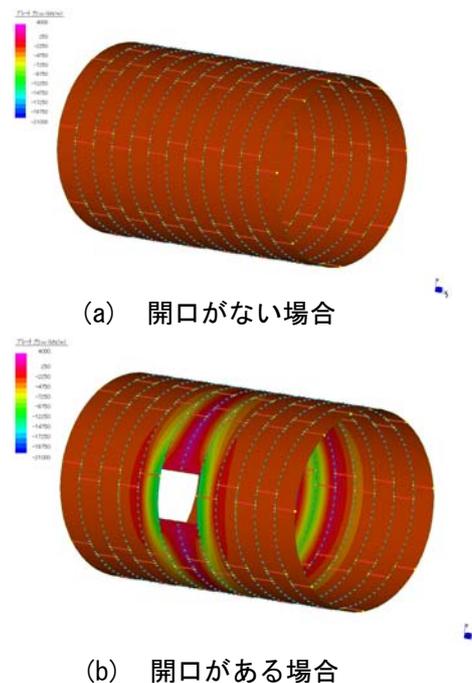


図-3 開口の有無による軸力コンター図

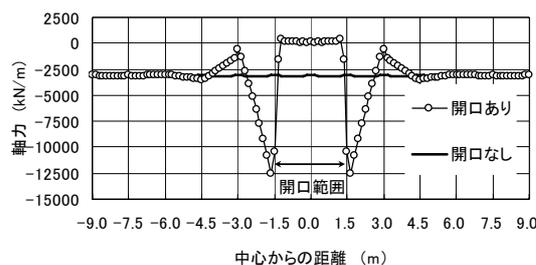


図-4 開口有無による軸力分布図

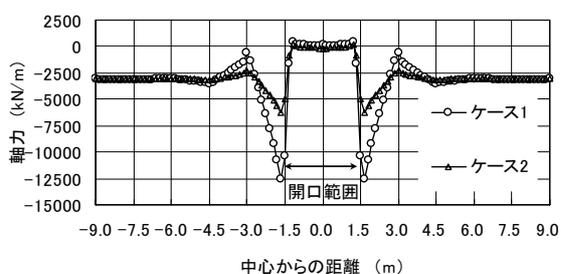


図-5 接線方向地盤反力による軸力分布図

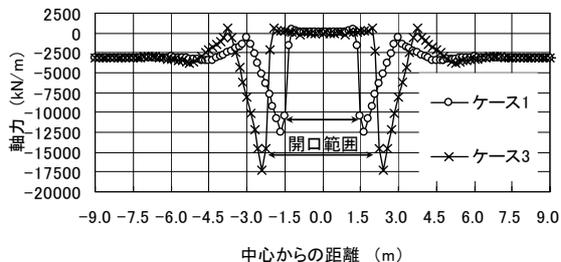


図-6 開口幅による軸力分布図