

# 地下駅空間の大規模拡幅のためのリニューアル技術

構造物技術研究部 トンネル研究室  
副主任研究員 仲山 貴司

## 1. はじめに

都市部の地下駅では、混雑緩和や商業利用等の機能向上を目的として、既設トンネルを大規模に開口し、新設トンネルと接続する拡幅工事が増加している。しかし、拡幅規模が大きくなると、供用中の既設トンネル側への補強が必要となる場合もあり、工期や工事費が増加する要因となっている。

そこで、本発表では、既設トンネルを大規模開口する際の構造解析方法、および既設トンネルの補強量の低減するための新旧トンネルの接続構造を紹介する(図-1)。

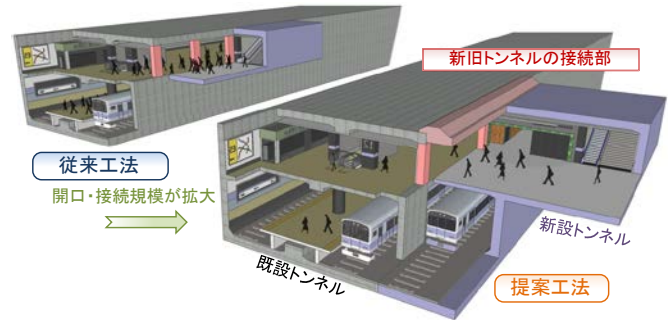


図-1 地下駅の大規模拡幅のイメージ

## 2. 既設トンネル開口部の構造解析

### (1) 提案する方法

一般に、開削トンネルは縦断方向にほぼ一様な形状であるため、設計では横断面をモデル化した2次元フレーム解析を行う。しかし、側壁に大規模な開口を設ける場合、横縦断に広がる変形挙動が生じるため、図-2のように3次元シェル解析を用いた評価が必要となる<sup>1)</sup>。

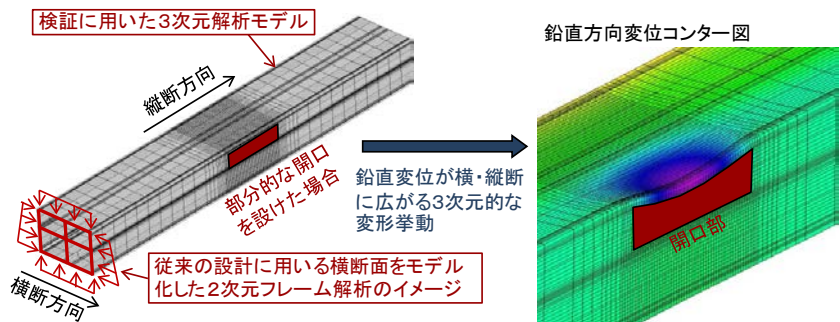


図-2 大規模開口部に生じる局所的な変形挙動の例<sup>2)</sup>

ただし、供用中の既設トンネルの開口工事では、現場状況に応じた設計変更が必要な場合も多く、簡易かつ時間を要さない簡易方法も必要とされていた。そのため、3次元シェル解析と2次元フレーム解析の比較から、図-3に示す設計方法を考案した。

これは、あらかじめ両端固定梁で開口中央部のたわみを求め、横断面の2次元フレーム解析では、このたわみ量と一致するように開口部を低剛性の梁(仮想梁)でモデル化するものである。

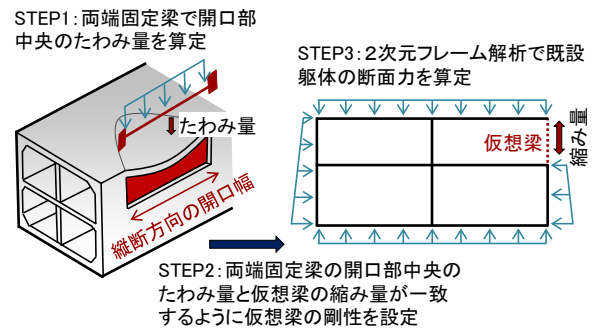


図-3 大規模開口部の簡易設計方法

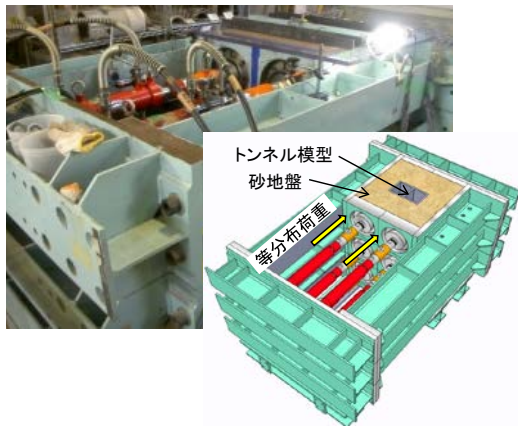


図-4 実験土層と載荷状況

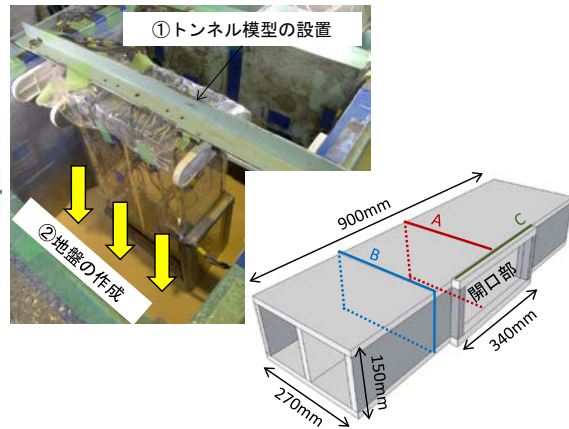


図-5 トンネル模型と地盤作成状況

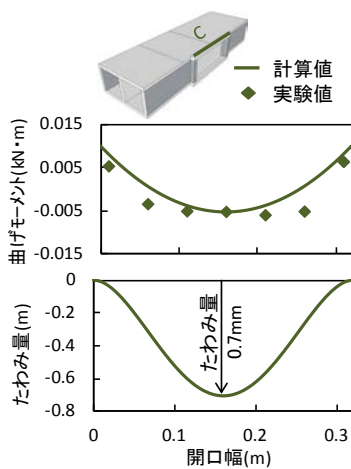


図-6 開口部の縦断面 (C)

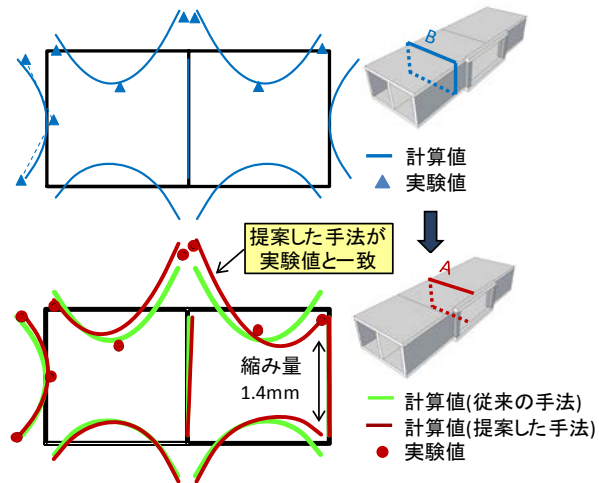


図-7 横断面 (開口あり : A, 開口なし : B)

## (2) 土槽実験による検証

図-4 に示すように、トンネル模型を設置した砂地盤に等分布荷重を作用させる土槽実験を実施し、トンネル模型に発生する曲げモーメントを図-3 の構造解析方法による計算値と比較した。

トンネル模型は、図-5 に示すように、1 層 2 径間のトンネルの側壁を縦断方向に 10m 開口する場合を想定したものである。なお、曲げモーメントは、開口がある横断面 (A) と開口のない横断面 (B)、開口部の縦断方向 (C) に連続的に設置したひずみゲージの測定値から算出した。

図-6 に開口部の縦断方向 (C) の曲げモーメント、たわみの分布を示す。計算値は図-3 の STEP1 にあたる両端固定梁で求めたものであり、曲げモーメント分布は実験値と良い一致が見られた。

また、図-7 に横断面 (A, B) の曲げモーメントを示す。計算値 (提案した方法) とは、図-3 の流れで求めたものであり、計算値 (従来の方法) とは、中柱のモデル化に準拠した小規模開口で利用される方法を用いたものである。この結果から、提案した手法による計算値と実験値による一致が見られるため、大規模開口では図-3 の構造解析方法が有効であると考えられる。

## 3. 新旧トンネルの接続構造

### (1) 提案する構造

図-8 に提案する構造の概要図を示す。従来の接続構造は、新旧トンネルの接続部に 2 段アン

カーを配置するか、既設の鉄筋をはつり出して重ね継手とすることが多く、トンネル縦断方向への抵抗には別途の補強桁を設ける構造とする場合が多い。

これに対し、今回紹介する接続構造は、新旧構造の一体性と縦断方向への抵抗性は、既設トンネルを抱き込む逆梁と、既設床版の側面に設置する水平アンカーと上面に設置する鉛直アンカー（十字アンカー）で確保するものである。

従来との違いは、十字アンカーとすることで、アンカー筋が既設鉄筋と干渉しにくい配置にでき施工効率が向上すること、そして、抱込式の逆梁を配置することで、縦断方向に抵抗するとともに、確実に既設トンネルとの一体化を図れ、既設トンネルの断面力増加の抑止が期待できることにある。

## (2) 実物大模型の載荷試験

1層2径間のトンネルの側壁を縦断方向に10m開口部する場合を想定した接続構造の実物大模型を製作し、図-9に示すように3点曲げ試験を実施した。

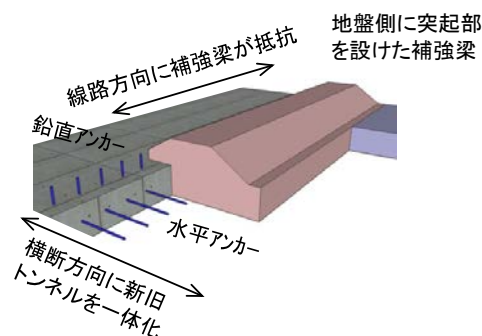
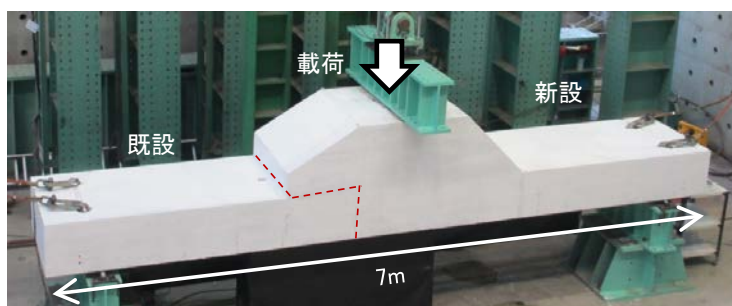


図-8 接続構造の概要図



(a) アンカー配置（既設側）



(b) 載荷状況

図-9 模型実験状況

供試体の作成にあたっては、十字アンカーの本数および逆梁の配筋と断面寸法は、以下のように仮定して、両側の梁部よりも曲げ耐力が高くなるように設定した。

### a) アンカー部（図-10(a)）

安全側に、水平アンカーのせん断耐力と鉛直アンカーの引張耐力のそれぞれが単独でも接続面のせん断力  $S$  を負担する。

### b) 逆梁部（図-10(b)）

前述した図-3の構造解析方法により、既設トンネルの補強が不要となるように、縦断方向の梁としての設計を行うとともに、接続面の曲げモーメント  $M2$  と鉛直アンカーに作用するせん断力  $S$  による曲げモーメント  $M1$  の合力を負担するものとした。

この結果、図-11に示すように、接続部が先行して破壊せず、新旧部材が一体的に挙動すること、また、期待した梁部よりも高い曲げ耐力を有する結果が得ることができ、提案する構造は有効であると考えられる。

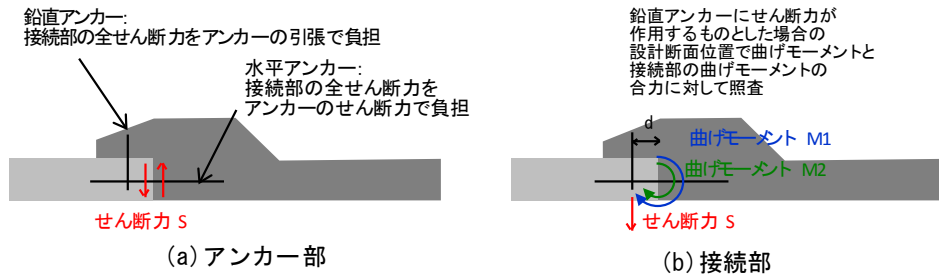
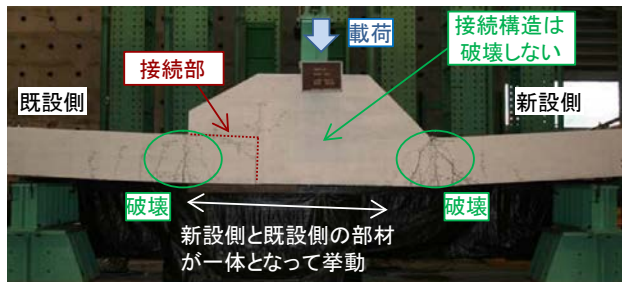
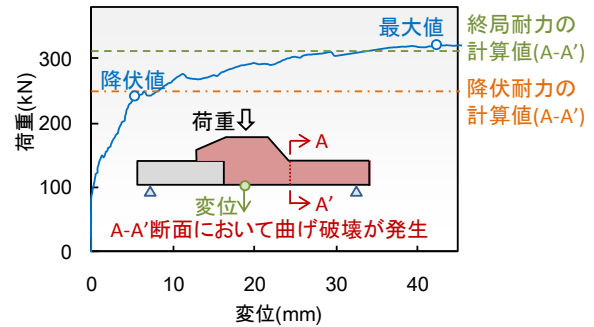


図-10 アンカーおよび逆梁の諸元決定のための仮定



(a) 破壊状況



(b) 荷重-変位

図-11 模型実験効果

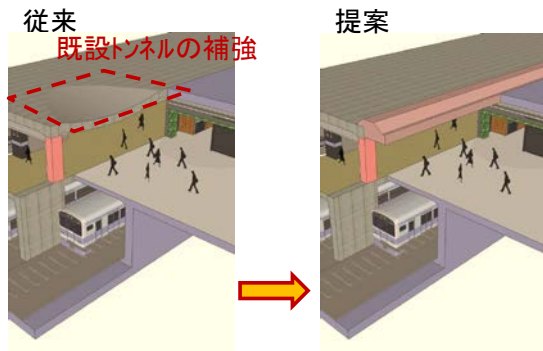


図-12 提案構造の効果の模式図

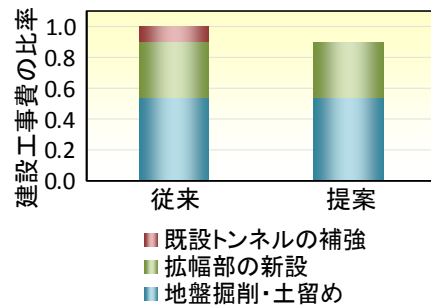


図-13 建設コストの比較

#### 4. 提案技術を用いた場合の建設コスト試算

2層2径間の地下駅の上層階に、1層1径間の新設トンネルを増築する場合を想定して工事費を算出した(図-12)。既設トンネルの負担増分が大きくなる箇所は鋼板接着工法で補強することを想定した場合、全体で約10%のコスト削減が期待できる結果が得られた(図-13)。

#### 5. おわりに

本稿では、地下駅の大規模拡幅のリニューアル技術を紹介した。今後は、より施工効率等の向上を目指して改良を進めていく予定であり、これらの技術が、実施工で役立てば幸いである。

なお、本研究の一部は平成24~26年度国土交通省の鉄道技術開発費補助金を受けて行ったものである。

#### 参考文献

- 1) 仲山貴司, 津野究, 牛田貴士, 焼田真司, 室谷 耕輔: 既設開削トンネル側壁の開口に関する構造解析手法の検討, 土木学会論文集 F1, pp.29-40, 2015.2