

大深度・大口径地下河川トンネルに大開口を構築するための補強構造

- 外郭放水路第4工区のうち大落古利根川連絡トンネル接続部の設計施工工事（その1） -

国土交通省 関東地方整備局 江戸川工事事務所 荒木 茂
 外郭放水路第4工区トンネル新設工事JV（鹿島） 正会員 吉田英信
 鹿島建設(株) 土木設計本部 正会員 玉田康一, 正会員 宅間 朗, 正会員 滝本邦彦
 川崎重工業(株) 鉄構ビジネスセンター 正会員 横山弘善

1. はじめに

首都圏外郭放水路第4工区トンネルは、上流終端付近にて大落古利根立坑からの連絡トンネル(外径 7.54m)に管芯で接続され、その開口率は本管外径(11.8m)に対する比率で64%と、外径10mを越すトンネルでは最大級の接続開口率となっている。開口補強構造の設計では、これまでに前例のない特殊な補強構造を初めて採用した。

本報文では、本管開口補強構造の設計概要について報告する。

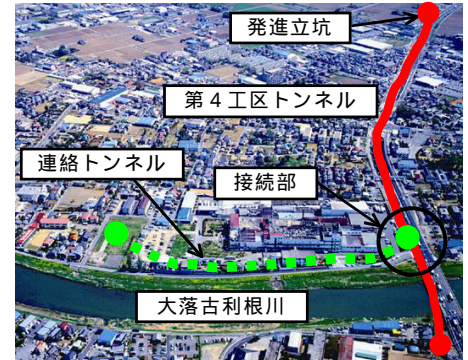


写真 - 1 接続部位置

2. 本管補強構造の概要

写真 - 1 に接続部位置、図 - 1 に接続構造概要、図 - 2 に取付部構造概要、写真 - 2 に、開口補強鋼版を示す。開口補強構造は、本管トンネルの断面欠損する側の開口周りに額縁状の補強鋼版をはめ込み、その反対側の非開口部では一次覆工鋼製セグメントを強度部材とした。

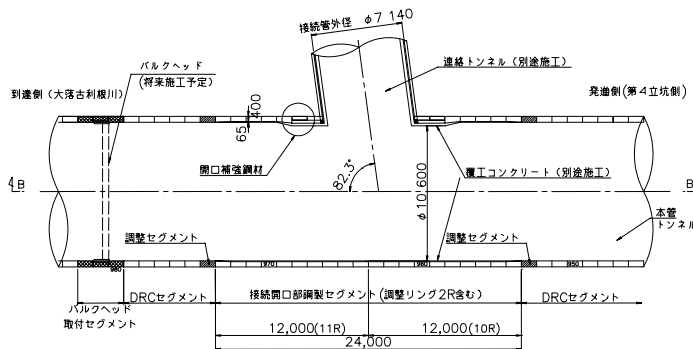


図 - 1 接続構造概要

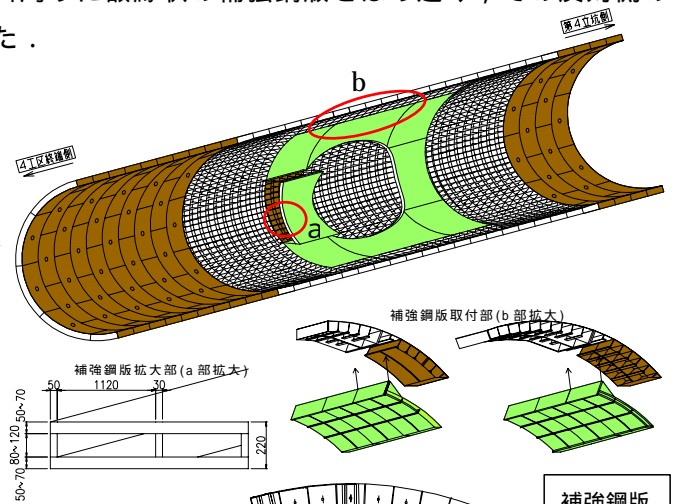


図 - 2 取付部構造概要

3. 設計の考え方

- 本管内空は、直径 10.6m 以上を確保する。
- 開口施工による影響が本管に生じない補強構造を基本とする。
- 本管坑内からの凍結管用孔やその補強を考慮する。
- 本管トンネル開口部周辺の残存セグメントは、開口による継手ずれ等の影響を考慮して本設部材として考慮しない。
- 補強鋼版は本管内で巨大な一枚の円弧状額縁となるように組立てる。本設セグメントとの取付部は開口の影響が比較的軽微な場所に設けることとする。

4. 補強構造の選定

表 - 2 に補強構造選定比較表を示す。本管内空は、必要流量を確保するために直径 10.6m 以上を確保する必要があった。



写真 - 2 補強鋼版仮組み状況

キーワード：シールドトンネル，開口補強，分岐接続，大口径，大深度，地下河川，内水圧

連絡先：〒107-8502 東京都港区赤坂 6-5-30 鹿島 土木設計本部 TEL. 03-5561-2187

補強区間（20Ring）の鋼製セグメント桁高さは400mm，内空は11.0mである．補強部材がトンネル内空を侵さないための設置空間は片側200mmで，既往事例に多い本管内側全部を補強する方法（A案）では部材が厚く内空を確保できない．また，一次覆工自体をリング間ボルトの増設等により補強する構造（D案）では，ボルト本数が大幅に増加し，坑内からの凍結工による凍結管，測温管（160，64本）を考慮するとボルトの現実的な配置が不可能で，締結管理が困難となる．以上より，前述した補強構造形式を選定した（C案）．

表 - 2 構造選定比較表

項目	A案 補強鋼板+アーチ支保工	B案 インゴット補強	C案 補強鋼板+本設セグメント	D案 本設セグメント補強
構造概要				
内空	内空 10.35m，10.6mを侵す。×	内空 10.6mを確保。	開口を開口と反対側に水平方向に135mm偏心させることで確保。	内空 10.6mを確保。
特徴	トンネル内に補強材を新たに円形に組むため構造的に安定している。しかし，補強材とセグメントとの隙間が生じることのないよう確実な間詰と補強材に緩みのない張り方が必要となる。	構造的に安定している。部材が厚いため接合部の溶接量が多くひずみを補正することが困難。	開口周りの補強は構造的に安定している。補強材とセグメントとの隙間が生じることのないよう確実な間詰と補強材に緩みのない張り方が必要となる。	補強部の主部材となるスキムプレートに凍結管挿入孔を予め設置しておく必要があるため，セグメント内に縦横に補強リブが必要。また，補強ボルトの締結および締結管理が非常に難しい。×
施工性	メンブレン鋼板およびアーチ支保工を緩みなくセグメント内面に設置することが難しい。また，鋼材設置時の危険度が高い。	150mmの厚板鋼板は重量がかさみ分割増。全周溶接による接続のため開先が大きく，溶接ひずみも大精度確保が困難。×	開口補強材の設置については左記A案と同様。アーチ支保工が本設セグメントとなった分，施工性は向上している。	開口部周辺の補強ボルトの本数が多い，坑内からの凍結管挿入に対応する補強リブを追加することが必要。締結管理が困難。×
評価	適用不可 ×	適用不可 ×	採用	適用不可 ×

5. 補強構造の設計

(1) トンネル全体解析

本解析の目的は，補強鋼板，セグメント部材の設計及び補強区間の妥当性把握と一般部との接続部仕様の決定である．解析は，NASTRAN を用い，各施工段階を考慮するために逐次解析と結果の重ね合わせを行う方法，および長期的な荷重状態を想定した一斉載荷解析を実施した．解析結果の一例として主応力コンター図を図 - 3 に示す．補強鋼版部材の応力集中箇所，及び開口による周辺への影響について把握し，開口径の3倍とした補強区間の妥当性が確認できた．

(2) 局所解析

特に重要部材である補強鋼版取付部に着目し，局所解析を実施した．解析は，NASTRAN を用いた．局所解析では，全体トンネル解析の取付部の変形曲率を再現した．解析結果の一例として主応力コンター図を図 - 4 に示す．三角リブのつけ根とスキムプレート上側の圧縮応力度が卓越し，それぞれ適切な板厚を決定した．また，内外スキムプレート間に配置した格子リブ間隔やその部材厚についても検証した．

6. まとめ

3次元FEM解析により，トンネル全体応力及び補強部材の局所応力を把握した．これらの解析結果により，補強構造として初めて，補強鋼版と本設セグメントを一体化した特殊な開口補強構造を採用することができた．

開口部の施工は，2004年12月ごろ実施予定であり，今後は計測管理工を実施する予定である．

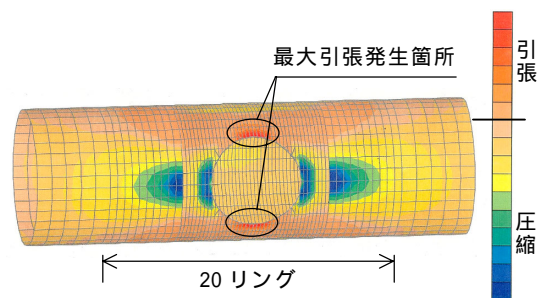


図 - 3 主応力コンター (空水時)

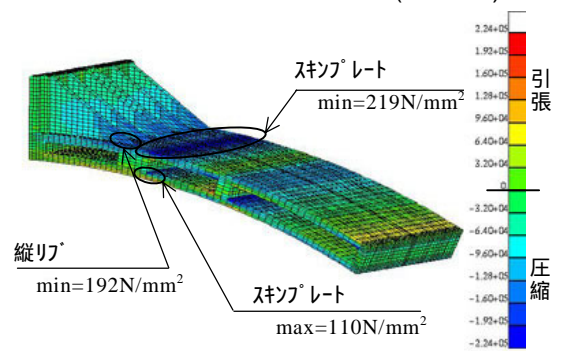


図 - 4 補強鋼版取付部
主応力コンター (空水時)