

二次覆工一体型セグメントの開口補強に関する実験報告

AN EXPERIMENT OF REINFORCEMENT FOR OPENING SEGMENTS COMBINED SECONDARY LINING

串山宏太郎¹⁾・高久 節夫²⁾・守屋 洋一³⁾・田中 秀樹⁴⁾

Koutarou KUSHIYAMA, Setsuo TAKAKU, Youichi MORIYA, Hideki TANAKA

We have developed and introduced new Shield Tunneling Method, “Combined Secondary Lining with 4-part 3hinge Structure” for construction of major branch sewer that is a main part of re-construction plan for sewage system in Tokyo District. “Combined Secondary Lining” is the new concept to have pursued cost performance and is the segment which formed the corrosion protect course of 5 cm thickness inside the primary lining. It is necessary to propose the new design method and the reinforcement method when providing an opening for this segment, because the conventional method could not be applied. We have conducted the load test using full-size model to verify the adequacy of our method. The test result concluded our method, using 2- rigidity model which considered rigidity decline of the opening, the composite segment which is reinforced with the steel plate, is adequate.

Key Words : compact shield, combined secondary lining, reinforcement opning, composite segment

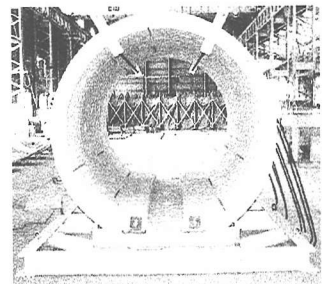
1. はじめに

東京都下水道局では、下水道再構築事業における主要枝線整備に適したシールド工法として、コンパクトシールド工法を開発し、現在台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事において実証施工を行っている。

本工法は、「建設費縮減」、「工期短縮」、「施工環境の多様化への対応」、「環境負荷の低減」、「維持管理の効率化」といった課題に対応するため、4分割3ヒンジ構造の溝付二次覆工一体型セグメント（写真－1）とするとともにシールド設備等にも新しい概念を取入れている。

「二次覆工一体型セグメント」は、一次覆工の内面に5cmの防食層を一体成型したセグメントであり、二次覆工工程の省略、掘削外径の縮小を目的として提案したものである。このセグメントによる上記の課題に対する効果は非常に高く、今後コンパクトシールド工法に限らず、広くシールド工事に展開する予定である。そこで、本年『二次覆工一体型セグメント設計・施工指針（案）』を作成し、基本的な概念、適用範囲、設計、施工法についてガイドラインを示した。

本報では、この指針（案）で取上げていない開口部の補強方法および設計法について、実験的検証を行った結果を報告する。なお、実験は4分割3ヒンジ構造のコンパクトセグメントを用いてリング載荷実験を実施したものである。



写真－1 コンパクトセグメント

1) 東京都下水道局 建設部部長

2) 東京都下水道局 建設部事業調査担当係長

3) 正会員 株式会社 大林組 技術本部 技術第二部 課長

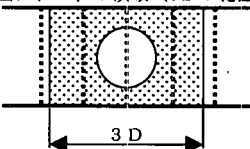
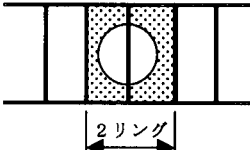
4) 正会員 ジオスター株式会社 技術部 技術開発チーム課長

2. 開口部補強に関する設定条件

東京都下水道局では、本管に枝管を接合する場合の補強方法およびその設計法について、「下水道仮設設計マニュアル（案） 第1編 シールド管渠内枝管直接取付補強構造（以下、現マニュアルと称す。）」により標準化を図っている。しかし、現マニュアルは場所打ちコンクリートによる二次覆工部内での補強策および設計法を示したものであり、二次覆工一体型セグメントでは、下記に示す課題がある。

- ① 二次覆工部が管渠の延長方向および円周方向に対し不連続な構造である。
 - ② 二次覆工厚が5cmと薄く、二次覆工内だけの補強が困難である。
- そこで、筆者らは、現マニュアルの設定条件を整理するとともに、二次覆工一体型のコンパクトシールド用セグメントにおける条件を設定し、合理的な補強方法および設計法を検討した。表－1に現マニュアルと二次覆工一体型のコンパクトシールド工法との設定条件の比較を示す。

表－1 開口補強に関する設定条件

	下水道仮設設計マニュアル（案）	コンパクトシールド用セグメント
施工条件	同時施工：本管の二次覆工前に接続 時差施工：接合箇所に予め補強した後に接続 事後施工：本管の補強が成されていない場合	時差施工のみを対象とする
補強範囲	A領域：開口が設けられている領域 B領域：開口縁から1D以下の領域 C領域：開口径以上離れた領域 補強範囲は、A、B領域（3Dの範囲） 	開口が設けられているリング 
開口条件	原則として開口率が20%～60%の範囲（注2）で直上開口と水平開口	同左（注2）
設計条件	施工時：許容応力度（短期割増し1.5） 完成時：許容応力度（常時）	同左
リング解析法	剛性一様リング（慣用計算法）	ヒンジリングモデル
補強方法	二次覆工内に鋼材、鉄筋で補強	セグメントにジベル付鋼板、鉄筋で補強

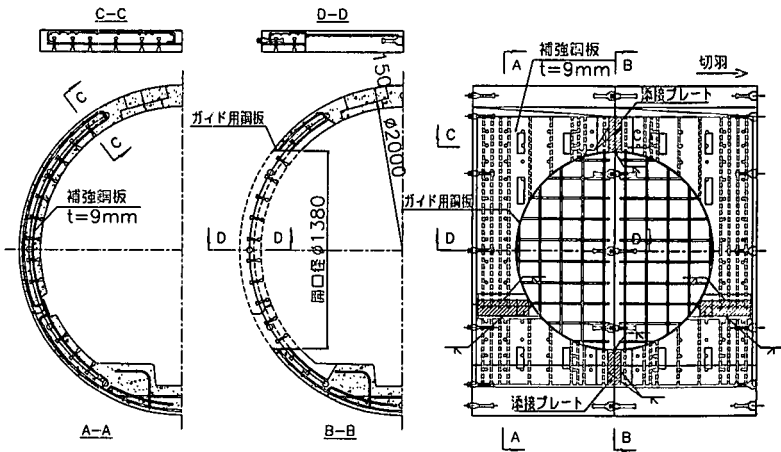
（注1）開口率20%以下は補強不要。60%を超える場合は、必要に応じて流域の分割や特殊構造を検討。

（注2）今回の検討は、水平開口について実施した。

3. 補強方法

図－1に開口補強リングの構造、写真－2に開口部に位置するセグメントの補強鋼板と鉄筋かごの状態を示す。

セグメントリングの内径は2000mm、外径は2300mm、開口率はセグメント外径の60%（1380mm）とした。一般部のセグメントは千鳥組と



図－1 開口補強リングの構造

しているが、開口部の2リングについては、開口による欠損リングが同一の挙動を示すように継ぎとした。

補強方法としては、開口部に位置するセグメントに対して、ジベルを配置した平鋼板を内面側に内蔵し、外面側は鉄筋を配置した。また、開口部を特定することおよび開口施工時の一次覆工部の保護を目的として、ガイドリング鋼材をセグメントに内蔵する構造とした。写真-3は、補強鋼材および鉄筋かごを型枠内にセットした状況である。本補強方法によれば、標準部のセグメントを製作する型枠での製作が可能であり、製作コスト削減が期待できる。

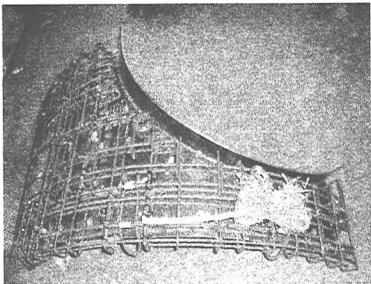


写真-2 開口補強鋼板、鉄筋

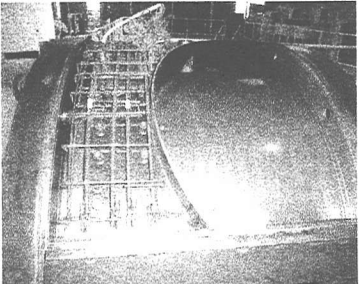


写真-3 型枠セット状況

4. 補強セグメントの設計法

開口部補強に関する設計は、設計手順、設計荷重などの基本的なものは現マニュアルに準拠することとし、リング解析モデルについて、新たに設定した。図-2に開口補強リングの解析モデルを示す。解析モデルは開口前の4分割3ヒンジ構造セグメントリングと同様に、3ヒンジ構造のはりばねモデルとした。解析モデルaは、現マニュアルにおけるA領域に対する欠損リングモデルであり、鉛直荷重は管径の縮小に伴う割り増しを考慮している。解析モデルbおよびcは、今回提案したモデルであり、開口補強部について欠損部を考慮した断面二次モーメント（I2）の梁部材によって剛性を変化させている。なお、現マニュアルでは施工時の水平荷重について、欠損部（A領域）の荷重を両側の領域（B領域）で負担するものとしていたのに対し、今回は対象2リングで負担するため、一般部と同値の分布荷重を考慮した。

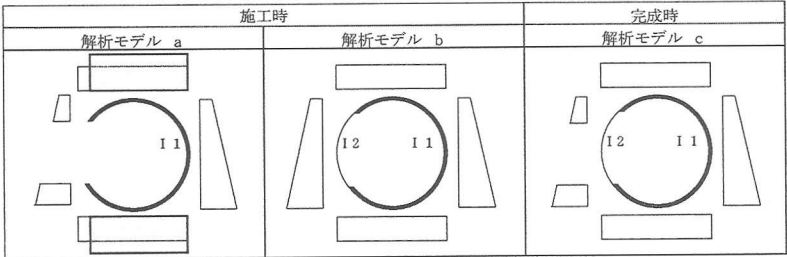


図-2 解析モデル

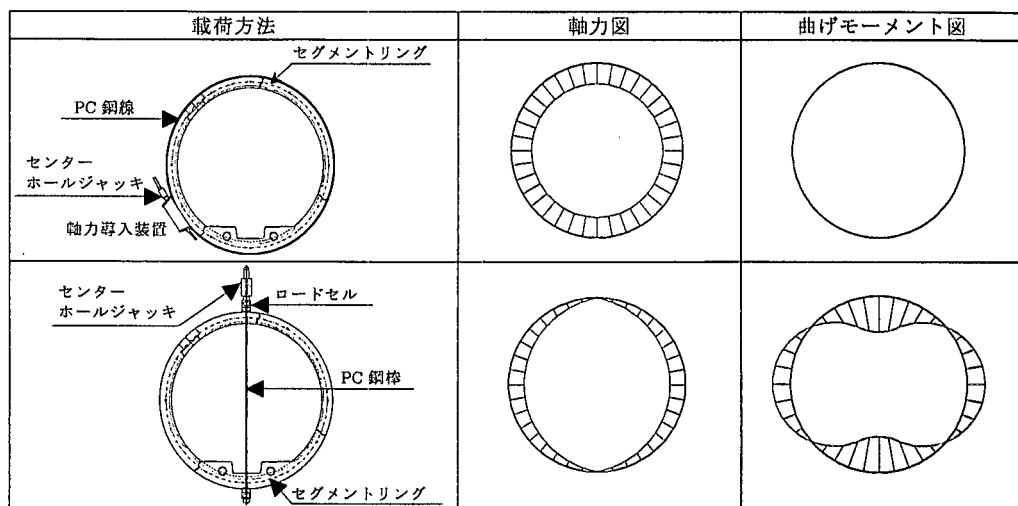
5. リング載荷実験の概要

（1）載荷重の種類と載荷方法

実験装置は、写真-3に示すように軸力および鉛直荷重の2種類の荷重載荷装置で構成されている。図-3に載荷方法と発生断面力の概念図を示す。軸力はセグメント外周にPC鋼線を巻付け、油圧ジャッキによってこれを緊張して導入した。また、曲げモーメントを発生させる外荷重は、載荷梁を上下2本のPC鋼棒によって締付ける集中荷重とした。なお、載荷は設計曲げモーメントに近い分布を示すように鉛直方向からのみの集中荷重（Pv）を載荷した。



写真-3 実験装置全景



図－3 載荷の概念図

(2) 載荷ケース

載荷ケースを表－2に示す。

軸力および鉛直荷重は、台東区三筋二丁目、鳥越二丁目付近再構築工事の設計条件（試設計ケース1：土水分離地盤；土被り6m）の他、土水一体地盤の土被り5m（試設計ケース2）および10m（試設計ケース3）の試

表－2 試験荷重一覧

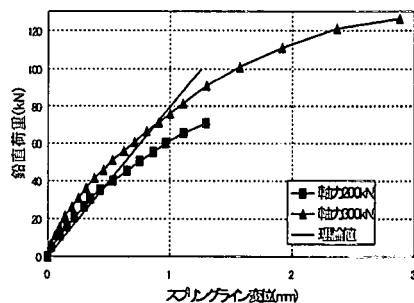
載荷ケース	軸力 (kN)	鉛直荷重 (kN)	備 考
①	300	70	試設計ケース 1 の最大負曲げを再現
②	300	80	試設計ケース 3 の最大正曲げを再現
③	200	40	試設計ケース 1 の最大正曲げを再現
④	200	70	試設計ケース 2 の最大負曲げを再現
⑤	150	40	試設計ケース 2 の最大正曲げを再現
⑥	300	125	試設計ケース 1 の開口補強部曲げを再現
⑦	0	破壊まで	—

算結果から各ケースの正負の最大曲げモーメントが再現できるよう決定した。なお、ケース7では、軸力なしの状態でリングの破壊まで鉛直荷重を加え、その破壊状況を確認することとした。

6. 実験結果

(1) リング変位に対する検討

図－4に鉛直荷重と水平方向（スプリングライン）の変位量との関係を示す。グラフは直径の変位量を示しており、図中の実線は理論値を表している。理論値は、軸力による部材の円周方向弾性変形の影響は無視している。鉛直荷重の増加にともない若干理論値を上まわっていく傾向が見られる。これは、ヒンジ部の目違いの影響を受けているためと考えられるが、その影響を考慮すれば、ほぼ理論値に近似すると考えられる。



図－4 鉛直荷重と水平変位の関係

(2) セグメント本体強度の検討

図－5は軸力200kN、鉛直荷重40kN作用時（載荷ケース③）、図－6は軸力300kN、鉛直荷重125kN作用時（載荷ケース⑥）の曲げモーメントの実測値および理論値を示したものである。実測値はコンクリートにひびわれが発生する前の状態であったことから、コンクリートひずみにより推定した。実測値は分布状

況およびその値についてはほぼ理論値と一致している。

(3) 開口部の応力状態

図-7に軸力 300kN 時における開口部（スプリングライン位置）の内縁側コンクリート、補強鋼板および外縁側鉄筋のひずみを示す。各ひずみともにほぼ弾性的な変化を示しており、ひび割れの発生が無く、また鋼板および鉄筋の付着が十分に保持されていることが確認される。

試設計においても、ヒンジ位置の影響により開口部側スプリングラインに発生するモーメントは小さく、クラウン部のRCセグメントの許容耐力に達する鉛直荷重 125kN 時においても、コンクリートの応力および鉄筋の応力は、 6N/mm^2 と 30N/mm^2 程度であった。各応力度は、補強鋼板を圧縮部材としたRC理論によって算出したが、実測値もほぼ一致している。

補強部材の設計については、今後破壊耐力について補強部材の曲げ実験により再確認する必要があるが、鋼板を鉄筋に換算した曲げと軸力を受ける鉄筋コンクリート部材として設計できるものとする。

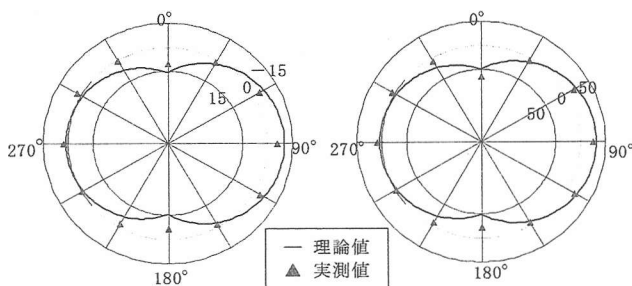


図-5 荷重ケース③

図-6 荷重ケース⑥

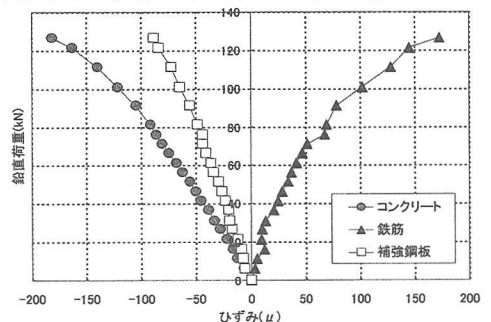


図-7 鉛直荷重と開口部ひずみの変位の関係

(4) 破壊性状

破壊は、軸力ゼロの状態では鉛直荷重 99 kN で生じ、破壊箇所は、最大曲げモーメントが発生するクラウン部に近いBK間継手部であった。写真-5、写真-6に継手部破壊状態を示す。また、写真-7は、破壊荷重時の開口補強部の状態であるが、異常は認められなかった。

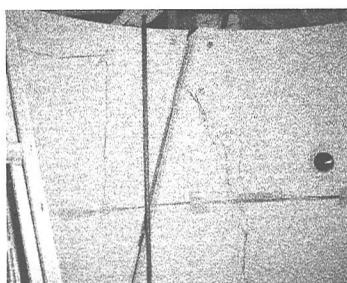


写真-5 継手部破壊状況①

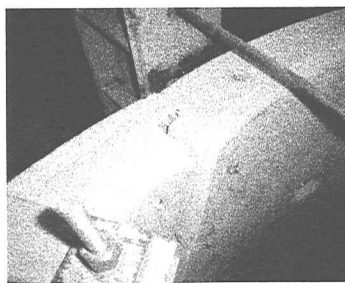


写真-6 継手部破壊状況②

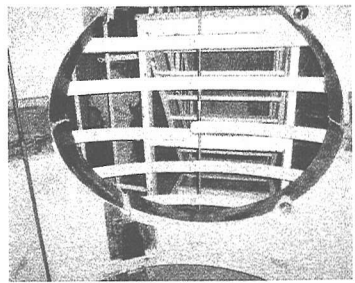


写真-7 破壊荷重時開口補強部

7. 隣接リングへの影響

コンパクトシールド工法では施工時の安定性などを考慮して、4分割3ヒンジリングを千鳥組みすることを原則としている。そこで、剛性の異なる開口部リングの隣接リングへの影響について検証した。開口部リングを乙組、隣接するリングを甲組とするリング千鳥組モデルをはりばね解析により算出し、一般部の甲乙それぞれのリングについて、曲げモーメントと変位を比較した。解析に用いたリング間継手のせん断ばね定

数は、リング継手のせん断ばね定数の実測値（5000 kN・m/rad）とした。図-8は、一般部の乙組と開口部リングを、図-9は隣接するそれぞれの甲組を比較したものである。結果、乙組については剛性変化の影響が見られるのに対し、隣接する甲組どうしの比較では、大きな差は現れていない。

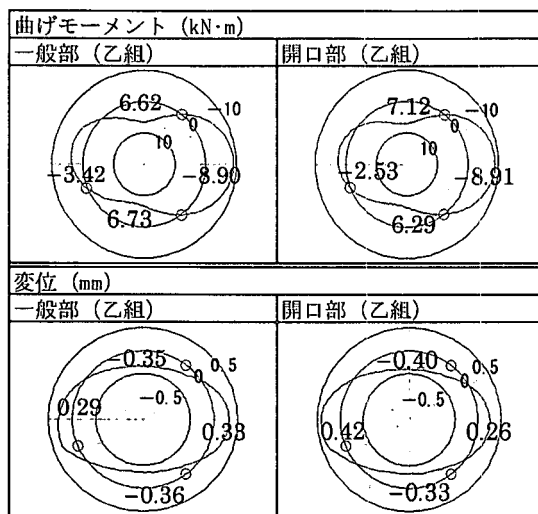


図-8 乙組

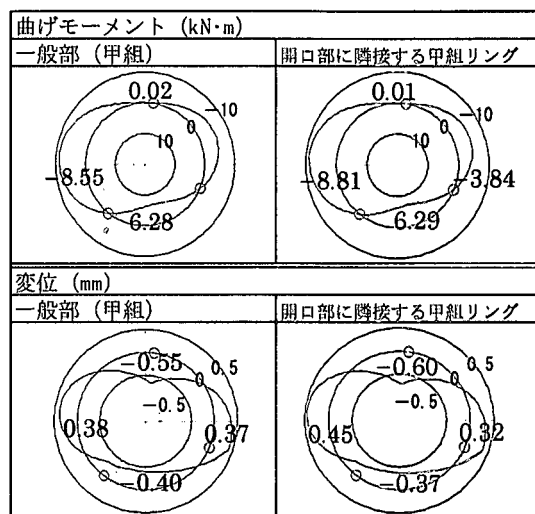


図-9 隣接するそれぞれの甲組

8. まとめ

従来、本管に枝管を接合する場合、「下水道仮設設計マニュアル（案）第1編 シールド管渠内枝管直接取付補強構造」に基づき設計し、二次覆工部内での補強が一般的に行われている。しかし、管渠軸方向および円周方向に不連続であり、また、二次覆工部 5cm を標準とする二次覆工一体型セグメントに直接適用することができない。そこで、開口部の剛性低下を考慮したリングモデルによる解析および鋼板との合成構造とする開口補強方法を検討し、4分割3ヒンジセグメントリングによるリング載荷実験を実施した。その結果、以下のことを確認し、設定した条件の妥当性を実証した。

- (1) 発生断面力およびリング変位量は、欠損部の有効幅を考慮し、剛性を変化させた3ヒンジのリングモデルによって解析できる。
- (2) 開口部のリングモデルの、隣接するリングへの影響は小さく、補強範囲は、開口対象となるリングについてのみとすることができる。
- (3) 開口部に位置するセグメントは、二次覆工部にジベルを配置した鋼板で補強することができ、補強セグメントの応力度は、合成構造としての設計が可能である。

〔謝辞〕

本検証の実施に際して、協力を戴いたコンパクトシールド工法研究会の委員をはじめとする関係各位に、感謝の意を表します。

〔参考文献〕

- 前田正博・串山宏太郎：コンパクトなシールドシステムの開発と実用化；トンネルと地下 2001.8
 田中秀樹・焼田真二 他：溝付二次覆工一体型セグメントの載荷実験 第56回年次学術講演会 2001.10
 守屋洋一・串山宏太郎他：開口部を有する4分割3ヒンジセグメントのリング載荷実験 第57回年次学術講演会 2002.9
 東京都下水道局：下水道仮設設計マニュアル（案）第1編 シールド管渠内枝管直接取付補強構造設計マニュアル
 東京都下水道局：二次覆工一体型セグメント設計・施工指針（案）2002.5
 山本稔・遠藤浩三・福井正憲：多ヒンジ系セグメントリングの設計計算法；土木学会論文報告集、第150号