

炭素繊維補強パネルを用いた下水幹線シールドの吊防護

— (13号相直) 渋谷駅建設二期工事 (土木工事) —

大成建設(株)東京支店	東急渋谷作業所	正会員	○亀元	邦英
大成建設(株)東京支店	東急渋谷作業所	正会員	吉田	真悟
大成建設(株)東京支店	東急渋谷作業所	正会員	茅野	秀徳

1. まえがき

東京急行電鉄(株)が実施中の渋谷～代官山間地下化事業のうち渋谷駅建設二期工事においては、都道明治通り直下を開削トンネル工法で新駅を建設中である。当工区においてはさまざまなライフラインが輻輳しており、掘削に伴う吊防護が必要となる。なかでもRCセグメント大口径下水幹線シールドの吊防護は、施設管理者である東京都下水道局内で前例がなかったため、工事期間中にシールドに悪影響を及ぼさないよう慎重な施工を要求された。当工事では下水幹線シールドを炭素繊維補強パネルで外側を補強し、リアルタイムに変位を計測しながら慎重に吊防護を実施した。本稿では計画から施工実績について報告する。

2. 工事概要

工事名称：(13号相直) 渋谷駅建設二期工事 (土木工事)

工事場所：東京都渋谷区渋谷3丁目地先

工事数量：RCセグメントφ3.55m下水幹線シールド吊防護 延長206m

3. 計画概要

1) 下水シールドの概要

シールドは、外径3,550mm、内径2,800mmで、セグメントは幅が900mm、桁高150mmの鉄筋コンクリート製で、内側に225mmの二次覆工がある。セグメント間はボルトで固定されている。図1に断面詳細を示す。内水位は降雨等により頻繁に増減しており、通常は半分程度の水位であるが降雨があると急激に水量が増しほぼ満管となる。

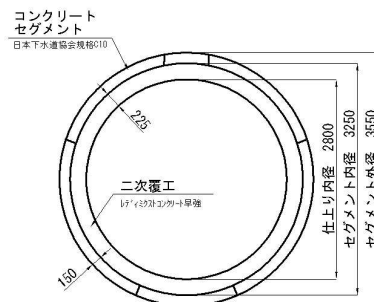


図1 シールド断面

2) 吊防護時の留意点

通常の吊防護では、吊防護する管材の継ぎ手に可撓性があり、ある程度吊防護時に変位があっても変位に追従できるため管本体に大きな断面力を生じさせることがない。ところが、シールドでは軸方向にセグメント同士がボルトで固定されているため軸剛性が高く、変位に追従できないため軸方向に大きな断面力が発生する。このため、施工時のステップや完成時の影響を想定し、発生しうる最大断面力に対してシールドの健全性を確保する必要がある。

3) 吊防護方法の概要

図2に吊防護標準図を示す。3m支間の中間杭で支持するものとし、鋼製吊材と振れ止め鋼材による構造とした。シールド外周部には炭素繊維補強パネルを貼り付け、吊防護施工時に発生するシールド断面方向・縦断方向の外力に対する耐力を確保した。

4) 吊防護工の解析

本吊防護の検討では、荷重集中による断面方向の影響確認と合わせ、軸方向についてシールドを梁部材とみなした断面力計算を行った。シールドの変形の再現には、縦断方向のリング継手を考慮した等価換算曲げ剛性:EI_{eq}を用いた。(*1)

吊防護時のシールドへの影響因子としては、施工途中の地山から吊防護への支持方法の変化、支持杭を覆工桁と共有していることから路面覆工荷重の影響、管内の内水位、掘削に伴う中間杭の根入れの変化による支持杭の弾性沈下などが挙げられるが、いずれの場合もシールド曲率が最も小さくなる場合にシールドに発生する断面力が最大となる。本工事の場合、路面覆工荷重の載荷で支持杭が即時沈下するケースにおいて吊防護の支間が大きくなることがあり(図3)その際、シールドの断面力が最大になる結果となった。この場合、既存のままではシールドの許容耐力を超過するため、補強による対策が必要となった。

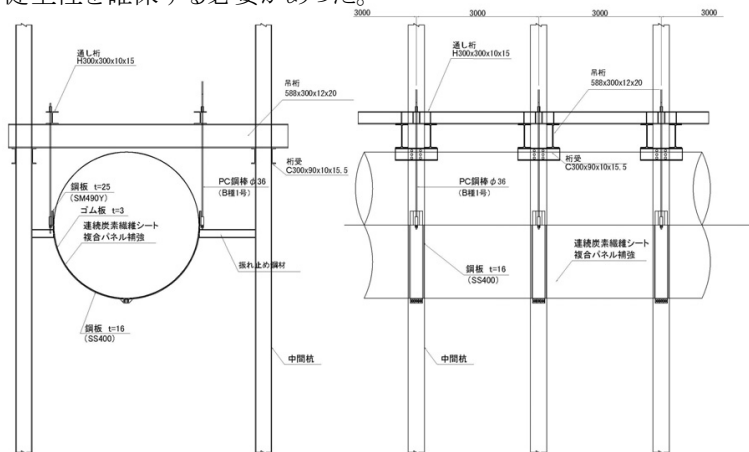


図2 吊防護標準図

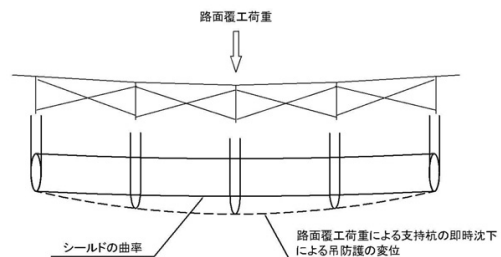


図3 路面覆工荷重による吊防護支間の増大の例

キーワード 吊防護 開削トンネル 下水管 シールド 炭素繊維補強パネル

連絡先 〒150-0002 東京都渋谷区渋谷3-11-7 8F 大成建設(株)東急渋谷作業所 TEL03-5467-3150

5) 補強（対策）方法

管内の流量を確保しながら、当該条件に対するシールドの耐力を確保する必要があるため、土木学会「連続繊維シートを用いたコンクリート構造物の補修補強指針」に基づき、セグメント外側を炭素繊維補強パネル（商品名



図4 N' パネル外観

N' パネル) で補強を行い吊防護することとした。パネルの外観写真を図4に示す。N' パネルは炭素繊維シートを繊維強化セメント板で挟み込んだ工場製品で、1枚あたり1m×2m、重量は20kg程度と狭い坑内でも人力で取り扱い可能なものである。N' パネルはメカニカルアンカーでセグメントに仮固定した後、エポキシ樹脂を注入しシールドと一体化を図る。パネル内の炭素繊維シートは縦断方向・横断方向両方を重ねて配置が可能のため、現場での施工手間を増やすことなく断面・縦断両方向の補強ができ、パネル同士は現場接合が可能で繊維シートの連続性を確保できる。通常の炭素繊維シート施工時に比べ、凸凹面への施工性に優れ接着剤の養生期間を必要としないため工期が短くなり、表面はそのままの状態に耐候性に優れる等のメリットがある。

また、N' パネルでセグメント外周を隙間なく覆うことで、セグメント継ぎ手間からの漏水があった場合にも漏水防止に役立つものと考えられる。

断面計算では、検討断面において引張力を全て炭素繊維で負担するものとして計算を行った。本計画の場合、発生する最大断面力に対し N' パネルに 300g/m² 目付の炭素繊維シートを縦横方向にそれぞれ1枚貼付したものを使用した。N' パネルの補強により、シールドの軸方向抵抗モーメントは補強前 540kN・m に対して、補強後は 3,870kN・m と大幅に向上する結果となった。

6) 掘削方法

吊防護の際には吊防護箇所のみ部分的に先行して人力掘りし、炭素繊維補強パネル取付・鋼製吊バンドを設置し吊防護が完了したのちに下部全体を掘削した。図5に吊防護完了時の状況写真を示す。



図5 吊防護状況写真

4. 問題点と対策及び施工実績

吊防護では、施工時ならびに吊防護中における埋設物の変位を出来るだけ少なくする配慮が必要がある。当工事では以下の対策を行った。

- ① 吊防護時にそのまま管下部を掘削すると、吊桁のたわみや吊材の伸びにより管が沈下する。この初期沈下を防止し、吊防護中の管の変位調整を可能にするため、吊材頭部にねじを切りセンターホールジャッキで容易に張力調整ができる構造とした。吊防護箇所を掘削する前に、吊材に対し通常時水位の荷重相当のプレロードを実施し、吊桁のたわみや吊材の伸び等が原因で起こるシールドの沈下が極力小さくなるように配慮した。実際は下部掘削後、想定した水位と実際の水位の差と見られる影響により最大2mm程度の沈下が見られたが、常時計測による変位の掌握により吊材をジャッキアップ修正し、直ちに元の状態に復帰することができた。

また、掘削に伴う支持杭の弾性沈下やクリープ、リバウンド、気温による鋼材の伸び縮みといった影響においても、適切なタイミングでジャッキ操作することにより変位を修正することが可能である。実際は掘削の進捗により1～2mm沈下しているが、支点間の相対変位は僅少であるためジャッキ調整は行っていない。

- ② 下水幹線は他の埋設と違い内水位が時々刻々と変化する。最大水位となった場合にも初期値からの変位量が管理値を満足するよう、専用桁および吊桁・吊材等は発生応力度とともに水位による変形量で決定した。実績として集中豪雨等により下水幹線の変位は最大で5mm程度の沈下が見られた。
- ③ 地震時においては、下水シールドは重量物のため他の埋設に比べて慣性力が大きい。地震時の影響を考慮して水平震度0.3に対して許容応力度を満足するよう、振れ止め鋼材部材の諸元を定めた。
- ④ 吊防護の際の下水幹線の挙動を把握するため、山留杭付近では3m毎、掘削中央部では6m毎に水盛式沈下計を配置し常時変位をモニターする事とした。配置間隔は、埋設管路の吊防護における過去の事例より山留壁による拘束が原因で埋設管に生じる断面力が大きくなる傾向にあることを参考に設定した。実施工における変位の管理値は、施設管理者である下水道局の管理値である絶対変位±10mmと、計算上の許容曲率半径である3m毎の相対沈下量3（mm）を合わせて管理しており、現在のところ管理値の50%程度以内で推移している。

5. あとがき

平成19年10月から開始した下水シールド幹線の吊防護であるが、掘削工事とともに順調に進捗し、平成21年5月に全線無事吊防護を完成することができた。施工例が少ないことから事前の計画検討および協議の時間を要したが、ほぼ予定通りの施工ができた。駅躯体工事が完了し埋戻しが完了するまで気を抜くことなく引き続き変位観測・吊防護の管理に努めたい。

最後に、本工事の完成にあたっては発注者である東京急行電鉄㈱殿、施設管理者である東京都下水道局殿をはじめ関係各位に多大なるご協力とご指導を賜った。この場をお借りして厚く御礼を申し上げる。

(※1)「建設省土木研究所；シールドトンネルの耐震性に関する研究(その1)、シールドセグメントの等価剛性の評価および応答変位法の適用、昭和60年、土木技術研究所資料第2262号」