

大断面シールド工事におけるツイストロック式把持軸の破断に関する報告

清水・五洋特定建設工事共同企業体
JIM テクノロジー(株)

正会員 ○神保 誠二 古井 正弘 安井 克豊
勝本 直樹

1. はじめに

東京国際空港では、訪日外国人の増加や東京オリンピック・パラリンピック大会の円滑な開催、さらにその先の国際競争力の強化を見据え、機能強化および機能拡充事業等を進めている。本工事は、機能拡充事業の一環として、国際線ターミナル（令和2年3月14日より第3ターミナルと改称）と国内線ターミナルを連絡する「際内トンネル」を築造することで、ターミナル間の移動時間を短縮し、乗り継ぎ利便性の向上を図ることを目的としている。本稿では上記のうち、泥水式シールド工事のツイストロック式セグメント把持軸の破断事象について報告し、原因の推定及び今後の改善策について述べる。

2. 工事概要

〔工事名称〕 東京国際空港際内トンネル他築造等工事
〔発注者〕 国土交通省関東地方整備局
〔施工者〕 清水・五洋特定建設工事共同企業体
〔工事場所〕 東京都大田区羽田空港内
〔工期〕 平成28年6月7日～令和2年5月29日
〔主要工種〕 泥水式シールド工 $\phi 11.93\text{m}$, $L=1,854\text{m}$
発進立坑 $L=28.7\text{m} \times W=16.7\text{m} \times H=18.45\text{m}$
函渠部 $L=62.95\text{m}$, U型擁壁部 $L=156.5\text{m}$

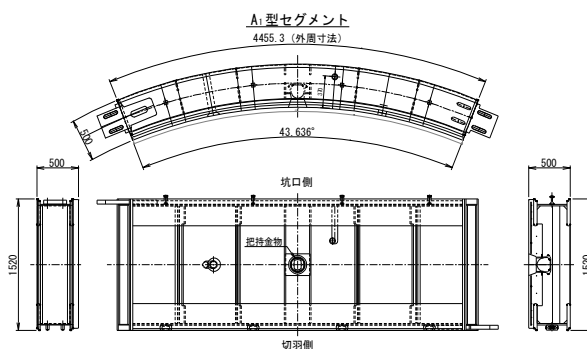


図-1 セグメント構造図

3. セグメント概要

セグメントは、外径11.7mの耐火型NMセグメントを採用している。長さは直線区間が1.5m、曲線区間が1.2mで、分割数は9分割である。1ピースあたりの重量は、直線区間のAピースが最大で、約9.4tである。リング数は、NMセグメントの1.5m幅が652リング、1.2m幅が708リング、その他に鋼製セグメントが5リング、可とうセグメントが2リングで、合計1,367リングである。

セグメント構造図を図-1に示す。エレクターによる把持部は、把持金物が埋め込まれており、写真-1の把持軸を挿入して90度回転する事でセグメントを把持する、ツイストロック式を採用した。

4. 把持軸破断の発生状況

シールド工は、平成30年8月27日より掘進を開始した。令和元年9月21日、968リングのセグメントを組み立て時、1ピース目を把持し、セグメントフィーダーからシールド機テール部に降ろす際に破断が発生した。

破断の発生が組立の1ピース目であり、テール部はジャッキを引いた状況であったこと、セグメントフィーダーから降ろす作業中で落下高さが低かったことから、幸いにも作業員に怪我は無く、セグメントおよびシールド設備にも損傷は発生しなかった。

キーワード 泥水式シールド工法、セグメント、エレクター、ツイストロック、把持軸、破断

連絡先 〒104-8370 東京都中央区京橋2丁目16番1-10号 清水建設(株)土木東京支店土木部第三部 03(3561)8657



写真-1 エレクター把持軸



写真-2 把持軸破断状況

5. 破断発生原因の推定

把持軸は、セグメントの把持金物に挿入される箇所を根本で破断していた。破断の原因が旋回力だと仮定した場合、最も強度が厳しい位置は破断箇所の少し上の部分となる。そこで、この位置で組立動作ごとに発生応力を算出し、許容応力との照査を行った。結果を表-1 に示す。安全率の最も小さい値は、長期で1.6、短期で2.0 と比較的小さい値であったが、いずれの場合も発生応力は許容応力内であった。

破断した把持軸に対し材料調査を行った。
素材の成分調査の結果からは、使用鋼材の規格値に適合する成分が確認され、材質に問題が無い事が確認された。
外観検査の結果は、破断はやや斜めに生じており、その方向はトンネル断面方向であった。この結果と、旋回力に対しては安全率が確保されていることから、旋回力以外の想定外の荷重が、断面方向に作用したことが推察された。荷重の発生要因としては、組立リングと前リングとの間に僅かな位置の差異があるときに、NM セグメントのリング間の嵌合の際に面が合う様に動くことで、把持軸にねじれの力が作用したと推定した。

破断部の近傍に周方向のき裂（サブクラック）が複数確認された。同様のき裂は新規手配した未使用の把持軸からも確認されており、把持軸とセグメントとの摩耗対策として焼き入れを行った際に発生したものもあると推察された。

破面の観察結果からは、微視的な形状の特徴である「へき開破面」が確認されたことから、脆性破壊により破断が発生したことが推察された。

断面の観察結果からは、外観検査で確認されたき裂の深さが80～250 μmであることが確認された。また破面が段差を伴っていることから、き裂の進展が複数回に亘り発生したことが推察された。

上記の結果から、①組立（嵌合）時に想定外のねじれ力が作用、②初期のき裂の進展もしくはき裂の発生、③想定外の荷重が繰返し作用してき裂が進展、④破断、というメカニズムで損傷が進行したものと推定した。

6. 作業の継続

シールド工事を継続するに際し、同じ条件で作業する限り同様の破断が発生するリスクが伴う。そこで、交換した把持軸に対して浸透探傷試験を行い初期のき裂を確認し、研磨にてき裂を除去した。また、セグメント組立完了ごとに浸透探傷試験を実施し、き裂の発生および進展の状況を把握しながら施工を継続した。

7. 今後の改善策について

セグメントに埋め込まれる把持金物は、いずれのメーカーでも同様の形状であり、把持軸の仕様もこれまでは一様であるとのことであった。一方、トンネルの大断面化、セグメント分割数の減少などから、セグメント1ピースの重量は増加傾向にあり、相対的に安全率が下がってきていると推察される。本工事では合成セグメントを採用して重量は比較的重い。シールド機の仕様決定時には、既存の把持金物の仕様に対して想定計算上で問題がないことの確認はしているが、従来実績と比べて相対的な安全率の低下は否めない。今後は、施工条件に基づき把持軸の照査を行い、想定外の荷重も考慮した安全率を確保する形状とする必要があると考える。

当工事では非常に幸運で人的・物的な損傷は発生しなかった。しかし、一たび同様の事象が生じれば、甚大な被害が発生する事が想像される。本稿が、今後の同様な事例発生抑止の一助となれば幸いである。

表-1 応力計算結果のまとめ

荷重条件	最大発生応力 (N/mm ²)	許容応力 (N/mm ²)	安全率
昇降ジャッキ引き力	85.1	(長期) 544.0	6.4
摺動ジャッキ押し力	245.9		2.2
旋回方向の接線力	341.5		1.6
昇降ジャッキ引き力 + 旋回方向の接線力	424.9	(短期) 835.0	2.0
摺動ジャッキ引き力 + 旋回方向の接線力	420.7		2.0

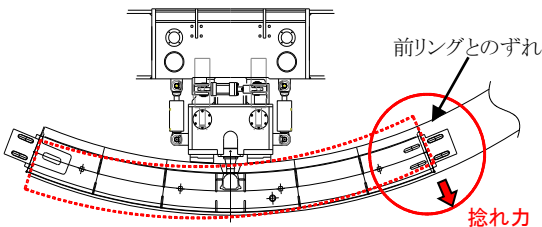


図-2 嵌合時のねじれ力発生イメージ

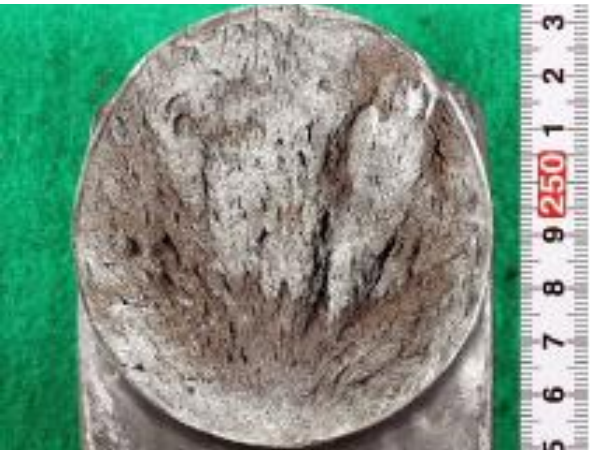


写真-3 破面拡大(除錆後)