

3.7 調査・検討等により明らかになった主な事項

倉敷市の事故に関する現地調査、施工データの調査、事故発生時のシミュレーション解析について検討した結果とともに、施工関係者のヒアリング結果による施工状況等から明らかになった主な事項を整理した一覧を表 3.7.1、表 3.7.2 に示す。

表 3.7.1 設計図書の調査（確認）により明らかになった主な事項

調査項目	明らかになった主な事項	想定される現象
セグメントの設計図書等の調査（確認）	厚さが160mmと薄い	セグメントの耐力に余裕代が少なかった可能性
	幅が1400mmと広い（長い）	セグメント組立時にBセグメントが垂下がりやすかった可能性
	セグメント継手が突合せ構造で締結力がない	セグメントのリング方向の軸圧縮力によりKセグメントが切羽側へ動きやすかった可能性
	Kセグメントの挿入代が小さめで、挿入角度が大きい	
	リング継手の埋込インサートの箇所内で内側の鉄筋を配置していない	リング継手の破壊形態がインサートのかぶりコンクリートのせん断破壊という脆性的なものとなった可能性
	セグメントの分割数が少ない	セグメント組立時のジャッキ引抜きの影響（シールドの姿勢変化）が相対的に大きかった可能性 セグメント組立時にBセグメントが垂下がりやすかった可能性
シールドの設計図書等の調査（確認）	海底で高水圧が作用する条件下でテールシールドが2段	テールシールドの機能が十分でなかった可能性
	テール部の長さが短い（セグメントのテール内でのかかり代が小さい）	テール部からセグメントへ作用する荷重の作用点が切羽側となり、競り荷重等による影響が通常より大きかった可能性
	形状保持装置が装備されていない	セグメント組立時にBセグメントが垂下がりやすかった可能性

表 3.7.2 調査・検討等により明らかになった主な事項

調査項目	明らかになった主な事項	想定される現象
回収されたセグメントの調査	110R、111Rの天端付近のセグメント内面に軸方向に伸びる曲げひび割れ	トンネルの上部から下方へセグメントが押し付けられた可能性
	111RのKセグメントの抜出しの痕跡	111RのKセグメントが抜出した可能性
引揚げられたシールドの調査	111RのKセグメント付近におけるシールドテールがトンネル内空側に変形	111RのKセグメントが抜出した後にシールド上部の土砂等が突発的に流入した可能性
	シールド側のテールグリスの配管内部の閉塞	シールド側のテールブラシヘテールグリスが注入されていなかった可能性
	切羽に向かって4時と10時の方向のテールブラシから裏込め注入材が検出	固着した裏込め注入材の存在によりセグメントに対して部分的にテールシールからの拘束圧が高くなっていた可能性
施工状況・施工データの調査	シールド発進直後からトンネル計画線に対して水平方向に概ね200mm程度の偏差	トンネルの計画線に戻すためのシールド掘進が行われた可能性
	裏込め注入を掘進リングから3リング後方のリングで実施	シールドテールを抜けて、地山側に出たセグメントリングが浮力により浮上がる可能性
	28Rからテールグリスマaterialを一般的な材料から特殊な材料に変更（テールシーラークレーショックシーラー）	十分な止水性が確保できていなかった可能性
	85R付近を施工時に裏込め注入材がシールドの下側から漏出	テールシール内に裏込め注入材が流入し、テールシール内で裏込め注入材が固着しシールドの挙動が制約された可能性 固着した裏込め注入材の存在によりセグメントに対して部分的にテールシールからの拘束圧が高くなっていた可能性
	85R以降の左右のテールクリアランスがほぼ同様な値	
	2月6日夜（109R掘進完了）では、シールドは2月6日昼に比べて4～7mm下がり、セグメント高さより11mm低く、セグメントの真円度は、左右に拡大する変形状態がさらに進行	シールドとセグメントとの位置関係を把握できていなかった可能性 2月7日の施工時にはトンネル上部をシールドのテール部で押さえる力が作用した可能性
	事故直前にB2セグメントを組立てるために111RのKセグメントを含む範囲の9本のシールドジャッキを引抜いた	111RのKセグメントの抜出しに対する抵抗力が不足してKセグメントが抜出した可能性 27本中9本のシールドジャッキを引抜いたことにより、シールドの姿勢が上下方向に挙動する可能性
三次元有限要素法によるセグメント挙動の検討	テール部に側部もしくは上部から偏圧が作用し、KセグメントとBセグメント間の摩擦係数が0.1と小さい場合は、111RのKセグメントのリング継手に作用する軸方向の引張力がボルトの降伏点を超える	112RのB2セグメント組立時に111RのKセグメントを含む範囲のシールドジャッキを引いたことにより111RのKセグメントの抜出しに対する抵抗力が不足してKセグメントが抜出した可能性
三次元浸透流解析による切羽圧変化の検討	111RのKセグメントが約10cm程度抜出した場合、事故時に記録された短時間における切羽圧の急激な低下の傾向と一致	111RのKセグメントが抜出した可能性
K-B間のセグメント継手面の摩擦係数試験	現場で使用されていたセグメントの部分供試体を用いた摩擦係数試験により、実際の施工で行われていたシールド材に滑剤を塗布した状態での摩擦係数は、0.1以下と非常に低い	111RのKセグメントを含む範囲のシールドジャッキを引いたため、111RのKセグメントが抜出した可能性