

土木学会関西支部
共同研究グループ

「内水圧が作用する地下貯留 トンネルの力学挙動に関する 調査・研究」

平成 29 年度報告書

序

近年、大都市では、豪雨に伴って発生する局所的な浸水被害に対処するため、地下貯留シールドトンネル（地下河川、放水路等）が建設されている。完成後の地下貯留シールドトンネルでは、その使用目的から長期にわたる高度な耐久性・機能性が要求される。

首都圏で供用中の「首都圏外郭放水路」や「神田川・環七地下調整池」は、二次覆工を省略した RC セグメントによる大断面地下貯留シールドトンネルである。ところが、これらのシールドトンネルでは、RC セグメントにコンクリートの剥離、ひびわれ、漏水などの損傷発生が報告されており、その原因として、外水圧に匹敵する内水圧の繰り返し载荷に伴う覆工の軸力減少、シール材の膨張、シール溝の設置位置の影響などが指摘されている。

一方、関西では、「寝屋川地下河川」や雨水増補幹線の完成、大阪市の「淀の大放水路」等の放水路、下水道幹線、耐水池（貯留管）の完成に向けて事業が進められているが、供用後のトンネル覆工の損傷実態、損傷原因、損傷に対する対策については未解明な部分が残っているのが実情である。

そこで、本研究グループでは、内水圧が繰り返し作用する地下貯留シールドトンネルについて、損傷実態の把握、損傷原因となる力学挙動の解明、および対策手法の開発を行うことを目的として、2 年間にわたって以下の研究活動を実施することにした。

- 平成 29 年度は、公表されている資料、管理者からの聞き取り、および現地調査等に基づいて損傷の実態を分析し、応力計算や FEM 解析によるシミュレーションによって損傷原因を特定する。
- 平成 30 年度は、初年度の研究成果を基に、内水圧トンネルの設計法の検討、ならびに損傷に対する有効な補修・補強方法の開発を行い、浸水対策施設の管理運営方法への提言をまとめる。

本報告書は、この活動計画に沿って平成 29 年度に実施した現地調査 3 箇所、聞き取り調査 1 箇所、セグメント工場視察 1 箇所の結果に基づいて損傷実態を整理するとともに、実態を踏まえた損傷原因の分析方針、ならびに内水圧によるシールドトンネルの変形挙動に関する考察をまとめたものである。

最後に、本研究グループの活動にご協力いただいた管理者の皆様、ならびに研究会活動に積極的に参加されたメンバーの皆様に深く感謝の意を表するものである。

土木学会関西支部共同研究グループ
「内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究」
代表 東田 淳

「内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究」 H29 年度報告書 目 次

頁

1. 研究グループの活動報告	1-1
1.1 研究成果	1-1
1.2 構成員	1-3
1.3 研究会と幹事会の議題	1-4
(1) 第1回幹事会(H29.3.17)	
(2) 第1回研究会(H29.4.26)	
(3) 第2回幹事会(H29.5.10)	
(4) 第2回研究会(H29.7.19)	
(5) 第3回研究会(H29.9.7)	
(6) 第4回幹事会(H29.10.10)	
(7) 第4回研究会(H29.12.6)	
(8) 第5回研究会(H30.2.21)	
2. 現地視察による実態調査報告	2-1
2.1 東京都 神田川・環七地下調節池（第一期、第二期） 実態調査報告	2-1
2.2 大阪府古川調節池・北島調節池 実態調査報告	2-7
2.3 大阪市地下貯留管 実態調査報告	2-12
2.4 首都圏外郭放水路 実態調査報告	2-17
2.5 セグメント工場視察報告	2-22
3. 損傷実態の整理	3-1
3.1 既往報告の紹介	3-1
3.2 実態調査の整理	3-2
4. 損傷原因の分析	4-1
4.1 既往のセグメントの動向整理	4-1
4.2 実態調査に基づく損傷要因の整理	4-7
4.3 数値解析による損傷原因の分析方針の検討	4-18
5. 内水圧によるシールド管渠の変形と損傷に関する考察	5-1
6. 残る課題と来年度の活動方針	6-1

■ 付録

・研究会・幹事会 議事録

1. 研究グループの活動報告

1.1 活動成果

現地視察を5回、研究会を5回、幹事会を3回、WSを1回開催し、以下の成果を得た。

- ① 東京都神田川・環七地下調整池、国交省首都圏外郭放水路、大阪府寝屋川地下河川に関する現地調査、大阪市北浜逢坂貯留管の聞取り調査、およびセグメント工場視察を実施し、地下貯留シールドトンネルの損傷の実態について以下を明らかにした。
 - ・ 損傷を確認できたのは、RCセグメントを使用した神田川・環七地下調整池第一期と首都圏外郭放水路であり、合成セグメントを使用した大阪府寝屋川地下河川、および神田川・環七地下調整池第二期では損傷が見られなかった。RCセグメントを使用した北浜逢坂貯留管では、損傷の有無を把握するための詳細な調査は実施していないとのことであった。
 - ・ 損傷が確認されたトンネルの内径とセグメントの種類は、内径10 m以上のRCセグメントに限定される。内径10 m未満のRCセグメントで損傷が発生しているかどうかは不明である。合成セグメントではトンネル径に拘わらず損傷が発生していない。
 - ・ 累積損傷数は供用年数の経過とともに増加する傾向を示す。
 - ・ 損傷形態はRCセグメントの端面の浅い剥離が多いが、鉄筋やシール溝に達する深い剥離も見られる。
 - ・ 損傷発生位置は延長方向と断面方向の両方であるが、断面方向の方が卓越している。断面方向の損傷は、管頂付近のKセグメントに集中するケース(外郭第3工区)と傾向が明瞭でないケース(環七第一期)がある。
- ② 損傷原因を分析するために以下の活動を行い、実態調査において確認された代表的な剥離損傷を対象とし、試行実施した数値解析を踏まえてトンネル規模や継手形状に着目した剥離損傷の要因を分析するための数値解析手法を立案した。
 - ・ 内圧トンネルをはじめとするシールドトンネルに使用されるセグメントの形式や規模(寸法)の動向ならびにセグメントの設計手法について整理した。
 - ・ 実態調査に基づいて損傷原因を抽出し、そのうち内水圧の繰り返し作用に起因するものと推察されたセグメント継手面に発生した剥離損傷を分析の対象とすることに決定した。
 - ・ 既往の研究ならびに実態調査結果を踏まえ、剥離損傷の発生機構を再現可能な数値解析の実施方針を整理し、FEM解析ならびに骨組構造解析(はりーばねモデル)によりセグメント継手部の挙動を把握し、損傷原因の分析を実施することに決定した。
- ③ 模型地盤中に埋めた剛な円形模型管渠を遠心場で強制的に引上げた過去の実験の結果から、内水圧の繰り返し载荷によるシールド管渠の変形に関する考察を行い、シールドセグメントの損傷メカニズムとして以下を提示した。
 - ・ 内水圧が無い場合、シールド管渠に働く有効土圧は釣り合っているが、外水圧による浮力が不平衡力として管渠に上向きに作用して、管渠の上半分に働く下向きの反力土圧とバランスし、管渠は横長に変形する。
 - ・ 管渠に外水圧に匹敵する内水圧が载荷されると、浮力が消滅し、管渠は内水圧が無い場合よりも縦長に変形する。

- ・ この内水圧の除荷・载荷の繰返しによって生じるシールド管渠の変形が、これまで指摘されてきた軸力の増減と相まって RC セグメントの損傷を生じさせていると推定した。

1.2 構成員

表-1.1 に構成員名簿を示す。

表 1.1 構成員名簿

	氏名	所属
代表	東田 淳	大阪市立大学客員教授 Buried Pipe Research Center
幹事長	山本 和広	中央復建コンサルタンツ(株)
幹事	井上 裕司	中央復建コンサルタンツ(株)
幹事	今井 一彦	(株) 建設技術研究所
幹事	團 昭博	中央復建コンサルタンツ(株)
委員	岩田 和実	ジオスター (株)
委員	大杉 朗隆	クリアウォーターOSAKA (株)
委員	神谷 拓夫	西松建設 (株)
委員	島津 多賀夫	(株) アサノ大成基礎エンジニアリング
委員	寺田 武彦	中央復建コンサルタンツ(株)
委員	松本 貴士	中央復建コンサルタンツ(株)
委員	三品 文雄	エースコンサルタント株式会社
委員	村上 秀作	ジオスター (株)
委員	安岡 政光	大阪府 茨木土木事務所
委員	矢野 博彦	積水化学工業 (株)
委員	楊 雪松	(株) 建設技術研究所
委員	吉田 公宏	(株) 大林組
委員	吉村 洋	(独) 国立高等専門学校機構 阿南工業高等専門学校

1.3 研究会・幹事会の議題（議事録と資料集は付録参照）

(1) 第1回幹事会

日 時：平成29年3月17日（金）15:30～17:30

場 所：中央復建コンサルタンツ株式会社大阪本社

議 事：

1. 挨拶および自己紹介
2. 研究活動方針案について
3. 初年度の活動計画案について
4. 当面の日程と初回研究会議題案について
5. その他

(2) 第1回研究会

日 時：平成29年4月26日（水）14:00～16:30

場 所：土木学会関西支部

議 事：

1. 代表挨拶、自己紹介
2. 研究テーマ、幹事・WG構成、初年度活動計画（案）の説明
3. 損傷実態分析WG（WG①）の活動方針について
4. 損傷原因特定WG（WG②）の活動方針について
5. 次回の開催日について

(3) 第2回幹事会

日 時：平成29年5月10日（水）14:00～17:30

場 所：土木学会関西支部

議 事：

1. 第1回研究会議事録の確認
2. 配布資料の説明と現地視察の計画について
 - ・大阪市の貯留管の概要、なにわ大放水路の参考文献
 - ・東京都 神田川・環七地下調節池の概要・損傷実態
 - ・大阪府 地下河川トンネルの概要
 - ・先端建設技術センター資料より内水圧が作用するシールドトンネルの剥離現象
 - ・現地視察の計画について
3. 内水圧による損傷原因についての討議
4. 次回研究会の開催と議題案

(4) 第2回研究会

日 時：平成29年7月19日（火）16:50～17:40

場 所：大阪府寝屋川水系改修工営所

議 事：

1. 神田川・環七地下調節池 現地視察・ヒアリング報告
2. 貯留管用セグメントの動向
3. その他意見交換など
4. 次回現地視察、研究会の開催日について

(5) 第3回研究会

日 時：平成 29 年 9 月 7 日（木）16:10～17:20

場 所：ジオスター株式会社橋本工場

議 事：

1. 第2回研究会議事録の確認
2. 大阪府地下河川 現地視察・ヒアリング報告
3. 研究会中間報告書、来年度継続申請の提出について
4. WGの研究スケジュールについて
5. 内水圧が作用するセグメントの設計手法について
6. 次回 幹事会・研究会開催について

(6) 第3回幹事会

日 時：平成 29 年 10 月 10 日（火）14:00～17:00

場 所：土木学会関西支部

議事：

1. 第3回研究会議事録の確認
2. WG①の今後の活動方針
3. WG②の今後の活動方針
4. 土と構造物の相互作用としての土圧の考え方
5. 次回研究会の日程と議題について

(7) 第4回研究会

日 時：平成 29 年 12 月 6 日（水）14:00～17:15

場 所：土木学会関西支部

議 事：

1. セグメント工場現地視察報告
2. 第3回研究会議事録、前回幹事会議事録の確認
3. RC セグメントに働く外荷重と断面力について
4. 今後の研究会活動計画
5. 次回研究会の開催

(8) 第5回研究会

日 時：平成 30 年 2 月 21 日（水）14:00～17:00

場 所：土木学会関西支部

議 事：

1. 第4回研究会議事録の確認
2. 大阪市ヒアリング議事録の確認
3. 首都圏外郭放水路現地視察報告
4. 川崎市での内圧トンネルの紹介
5. WGの研究方針について
6. 研究会活動計画について（山本幹事長）
7. 次回研究会、幹事会の開催

2. 現地視察による実態調査報告

2.1 東京都 神田川・環七地下調節池（第一期、第二期） 実態調査報告

内圧が作用するトンネルの実態調査として、東京都建設局が管理する神田川・環七地下調節池（以下、「環七地下調」と言う。）の現地確認と事業者ヒアリングを行った。実態調査は、初めに善福寺川取水施設の会議室にて環七地下調の概要を説明していただき、当該施設の設計条件、損傷状況、今後の管理方針等をヒアリングした。次いで善福寺川取水施設の立坑（善福寺立坑）より地下に降り、梅里立坑まで環七地下調（第一期）の本管トンネルを徒歩にて踏査し、環七地下調（第一期、第二期）の損傷状況を確認した。

調査日時：平成 29 年 6 月 27 日（火）13:00～16:00

調査対象：神田川・環七地下調節池（第一期）、同（第二期）

事業者：東京都建設局（管理：同第三建設事務所）

出席者（敬称略）：

（東京都建設局第三建設事務所） 伊藤、西野

（研究会委員） 東田、山本、井上、寺田、矢野、吉田、村上



写真-2.1.1 善福寺取水施設の建屋入口（左）と昇降用立坑（右）

2.1.1 概要説明

東京都建設局より環七地下調の概要が模型を用いて説明され、第一期は平成 9 年、第二期は平成 17 年に供用を開始したこと、取水施設より流入した河川水がドロップシャフトにて落下し、減勢工から連結管を通じて本管に流入すること等が説明された。



写真-2.1.2 環七地下調節池の模型（左）と説明状況（右）

(主な討議内容)

- 1) 供用開始以降、どれぐらいの頻度で河川水の流入と排水が行われているのか？
→ 平均して年に2回程度、河川からの流入と排水がある。
- 2) 河川水の流入から排水までどの程度の期間があるのか？
→ 次の流入に備えるため、できるだけ早期に排水するのが基本であり、満水状態からすべての水を排水するまで約2日間要する。
- 3) 排水時に急激な水圧変動があるか？
→ ポンプにより強制排水しても水位はゆっくりと下がるため、急激な水圧変動はないと想定される。
- 4) これまで満管状態になったことがあるか？
→ 平成25年に一度だけ満管になったことがある。

2.1.2 設計条件等に関するヒアリング

東京都建設局に対し、事前に送付した質問事項に沿って、環七地下調の設計条件、損傷傾向、運転・管理の留意点、今後の課題等についてヒアリングした。

(主な討議内容)

- 1) 設計ではどの程度の内圧（水頭高）を想定されたのか？
→ 第一期は昭和年代に設計されているため、当初設計では内水圧を考慮していなかったが、後に内水圧が作用した場合の耐荷力を照査し、セグメントのコンクリートや鉄筋、継手ボルトの径などを決定した。第二期は内水圧を考慮した設計をした。第一期で内外水圧の差が最大となるケース（ケース4）の設計条件は、内面管頂 A.P.±0.0m、内水圧最高水頭 A.P.+33.7m、低地下水位 A.P.+20.0m である。なお、検討した第一期の4通りの設計条件は配布資料を確認頂きたい。
- 2) 止水用の水膨張ゴムはどのような仕様のものを用いたのか？
→ 本日までに止水用の水膨張ゴムの仕様が確認できなかったため、確認でき次第、回答する。
- 3) セグメントどのような仕様のものを用いたのか？
→ 第一期はRCセグメント、第二期は合成セグメントである。第二期での合成セグメントの採用は先駆的であり、セグメント厚を薄くすることで掘削断面が小さくでき、コスト縮減効果が見込めることから学識者による委員会での審議を通じて採用した。
- 4) 地盤条件はどのようなものか？
→ 土層縦断図を渡すのでご確認いただきたい。なお、環七地下調の周辺はN値50以上の非常に良い地盤である。
- 5) RCセグメントのコンクリートの剥離損傷に断面や縦断方向の発生位置に傾向があるか？また増加傾向があるか？
→ 概ね5年周期にて健全度調査を実施し損傷を確認しているが、まだ傾向分析はできていない。前回の健全度調査を平成26年度に実施しており、次の健全度調査を平成31年度実施する予定であるため、今後の調査結果をみて損傷の傾向を分析する予定である。なお平成26年度の健全度調査は満管状態となった後に実施されている。
- 6) RCセグメントのコンクリートの剥離以外に損傷はあるか？
→ ひび割れがある。
- 7) 施設はどのように運転しているのか？
→ 基本的に河川の水位が下がれば速やかにポンプによって河川に排水している。
→ 環七地下調の特別なオペレーションとして、消防庁と協定を結び、渇水期に消防用水を貯留している。具体には通常時に取水堰を下げて河川水を地下調内に貯留し、必要な時にポンプにて揚水して河川に戻すことで河川の水位を挙げ、消防が下流にて堰止めした河川水をポンプ車で汲み上げている。これまで実際に運用されたことは無いが、訓練はおこなっている。

8) 管理上の課題はあるか？

→ 現時点では土木施設について管理上の課題は特に無く、5年ごとの健全度調査と毎年の清掃は今後も継続して実施する予定である。一方、第一期が供用開始から約20年経過することから、ポンプ等の機器の更新をどのように進めるのが課題である。

9) 設計時の設計計算書などは閲覧可能か？

→ 設計条件、計算条件、計算結果などは工事記録誌に記載されている通りである。工事記録誌が一般に貸し出し可能かは後日確認して回答する。ただし本工事記録は、施工時の不具合などについては記載されていない。

2.1.3 損傷状況の現地確認

善福寺立坑のエレベータにて地下に降り、連結管を通して第一期の本管を第二期に接続する梅里立坑まで踏査し、第一期と第二期の損傷状況を現地確認した。

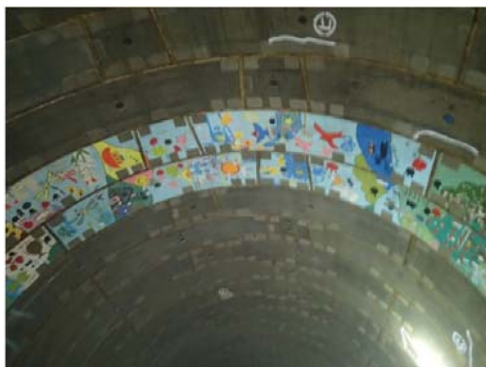


写真-2.1.3 連結管（コンクリート中詰め鋼製セグメント）の内部（右）と本管との接合部（左）



写真-2.1.4 第一期（左：RCセグメント）と第二期（右：合成セグメント）の本管内部



写真-2.1.5 損傷状況の現地確認状況

(主な損傷状況)

- 1) 連結管では中詰めコンクリートにひび割れが散見された。また本管の連結管との接合部の反対側には網目状のひび割れが全面に生じていた。



写真-2.1.6 本管の連結管との接合部の反対側の網目状ひび割れ

- 2) 第一期のRCセグメントは隅角部に剥離（欠損）が散見され、鉄筋や止水用水膨張ゴムが露出している箇所もあった。



写真-2.1.7 RCセグメント隅角部の剥離（欠損）

- 3) RCセグメントは隅角部の剥離（欠損）以外では、ひび割れや漏水、遊離石灰の析出が生じていたがいずれも軽微であった。
- 4) 第一期と梅里立坑の接合部ではRCセグメントの断面が確認でき、セグメント内面から内側の止水溝までの距離が 50mm、セグメント外面から外側の止水溝までの距離が 150mm であった。



写真-2.1.8 第一期と梅里立坑の接合部（左）とRCセグメントの断面（右）

- 5) 第二期の合成セグメントには隅角部の欠損が見られず、ほぼ健全な状態であった※。

※第二期は内部に水が溜まっていたため梅里立坑からの目視のみ。

2.1.4 質疑

善福寺取水施設に戻り、改めて質疑をおこなった。

(主な討議内容)

1) 未整備である石神井川区間の整備に向けて、管理や運営を見直す予定があるか？

→ 環七地下調（第二期）で特に不都合が生じていないことから、未整備の石神井川区間は第二期の設計・施工を踏襲し、合成セグメントとする予定である。

2.1.5 参考：事前に送付した質問事項と回答

番号	質問	回答
3-6.	裏込め注入について、注入方法(同時注入、即時注入)、注入位置、注入材の種類、注入圧の管理値、注入量(または率)の管理値について教えてください。	テールシールドは、裏込め注入材および泥水が機内に流入するのを防止するため、高水圧下での耐久性が高いワイヤブラシ型シールドを後胴後端に3段設け、内側シールドマシンは交換可能としており、シールド間に常時シールド材が給脂できるようシールドマシン側に注入装置を設けた。また、テールボイドを早期充填するため、同時裏込め注入装置をシールド本体上方に3系統設置した。
3-7.	工事中にトンネル(セグメント)、周辺地盤の挙動を把握するために、現場計測を実施されましたか？実施された場合、どのような計測を実施したのか教えてください。	出来形管理のみ
4.	(地盤)※土層縦断図等の提示でも結構です。	
4-1.	最大の土被りは何mですか？	
4-2.	地盤の地下水位はG. L. 何mですか？	
4-3.	土層はどのような構成になっていますか？	
5.	(損傷)コンクリートの剥離※一期に対してご回答ください。	
5-1.	セグメントコンクリートの剥離はどのような原因によると想定されていますか？	水膨張シールド材の膨張圧等セグメント間継手近傍で発生。
5-2.	断面方向の位置に損傷数に違いがありますか？あればどの方向が多いのでしょうか？	不明です。
5-3.	縦断方向の位置に損傷数に違いがありますか？あればどの付近に多いのでしょうか？	不明です。
5-4.	損傷数は現在でも増えていますか？	不明です。次回の健全度調査による。
5-5.	どのような対策(補修等)をおこなっていますか？	一部モルタル充填により補修。
5-6.	今後、どのように管理する方針ですか？	5年に1度健全度調査を行い、その結果を踏まえ補修計画を検討。
6.	(損傷)コンクリートの剥離以外)	
6-1.	コンクリートの剥離以外にどのような損傷が生じていますか？	ひび割れ
6-2.	コンクリートの剥離以外は、これまでどのような対策(補修等)をおこなってきましたか？	補修はしていない。
6-2.	コンクリートの剥離以外は、これからどのような管理をする方針ですか？	5年に1度健全度調査を行い、その結果を踏まえ補修計画を検討。

7.	(施設の運転)	
7-1.	通常、施設はどのように運転(稼働)されていますか？	下流の水位を監視して、一定の水位に達したら河川から取水し、トンネル内に貯留している。
7-2.	供用開始以降、雨水の進入・排水は何回行われましたか？※概数で結構です。	39回
7-3.	今後、運転方法の見直し等を予定されていますか？	予定していない。

番号	質問	回答
8.	(施設の管理)	
8-1.	施設の点検はどのような方法、頻度でおこなっていますか？	土木構造物は5年に1回健全度調査を実施。
8-2.	施設の清掃はどのような方法、頻度でおこなっていますか？	年1回
8-3.	貯留時のトンネルの挙動を監視するために、現場計測等は実施されていますか？	実施していない。
8-4.	その他、管理上の課題はありますか？	トンネルについては、特段なし。
9.	(その他、懸案事項等)	
9-1.	その他、施設の管理・運営における現状の課題や今後の方針等があればご回答ください。	設備について、今後の補修計画を検討する必要がある。

2.2 大阪府地下河川（古川調節池、北島調節池） 実態調査報告

内圧が作用するトンネルの実態調査として、大阪府寝屋川水系改修工営所が管理する寝屋川北部地下河川・古川調節池および北島調節池（以下、「古川地下調、北島地下調」と言う。）の現地確認と事業者との意見交換会を行った。実態調査は、初めに古川取水立坑の管理室にて寝屋川流域総合治水対策と地下河川計画の概要を説明していただき、古川取水立坑より地下に降り、取水連絡管路を通り、古川地下調および北島地下調の本管トンネルを徒歩にて踏査し、状況を確認した。次いで、寝屋川水系改修工営所会議室に移動し、当該施設的设计条件や今後の管理方針や新たに建設する地下河川の設計施工方針等をヒアリングした。

調査日時：平成 29 年 7 月 19 日（水）現地調査 13:00～15:00，意見交換会 16:00～16:45

調査対象：寝屋川北部地下河川・古川調節池および北島調節池

事業者：大阪府寝屋川水系改修工営所

出席者（敬称略）：

大阪府寝屋川水系改修工営所 工務課 企画防災グループ：渡部 グループ長（課長補佐）、
矢野 課長補佐

（研究会委員）

東田、山本、井上、團、岩田、矢野、島津、吉村、吉田、安岡、楊（オブザーバー）



図-2.2.1 古川取水立坑位置図（集合場所）

2.2.1 概要説明

大阪府寝屋川水系改修工営所より“寝屋川流域総合治水対策”概要を記載したパンフレットを基に当地区の治水対策の事業概要や、貯留管として運用されている地下河川トンネルの供用開始からの貯留回数などの説明を受けた。

見学対象の北部地下河川古川調節池は平成 15 年より調節池として供用開始され、これまでの貯留回数は約 30 回であり、昭和 61 年より供用開始された南部地下河川では約 80 回の貯留回数であるとのことであった。

2.2.2 現地確認

古川取水立坑の管理用階段にて地下に降り、連結管を通して古川調節池本管に入り北島調節池との接続部まで踏査し、トンネル内の損傷有無やセグメント継手の目開きの状況などを現地確認した。



図-2.2.2 古川調節池（NMセグメント）の現地状況



図-2.2.3 古川調節池と北島調節池接続部（古川調側から北島調を撮影）



図-2.2.4 北島調節池（コンクリート中詰合成セグメント(HCCPセグメント)）の現地状況

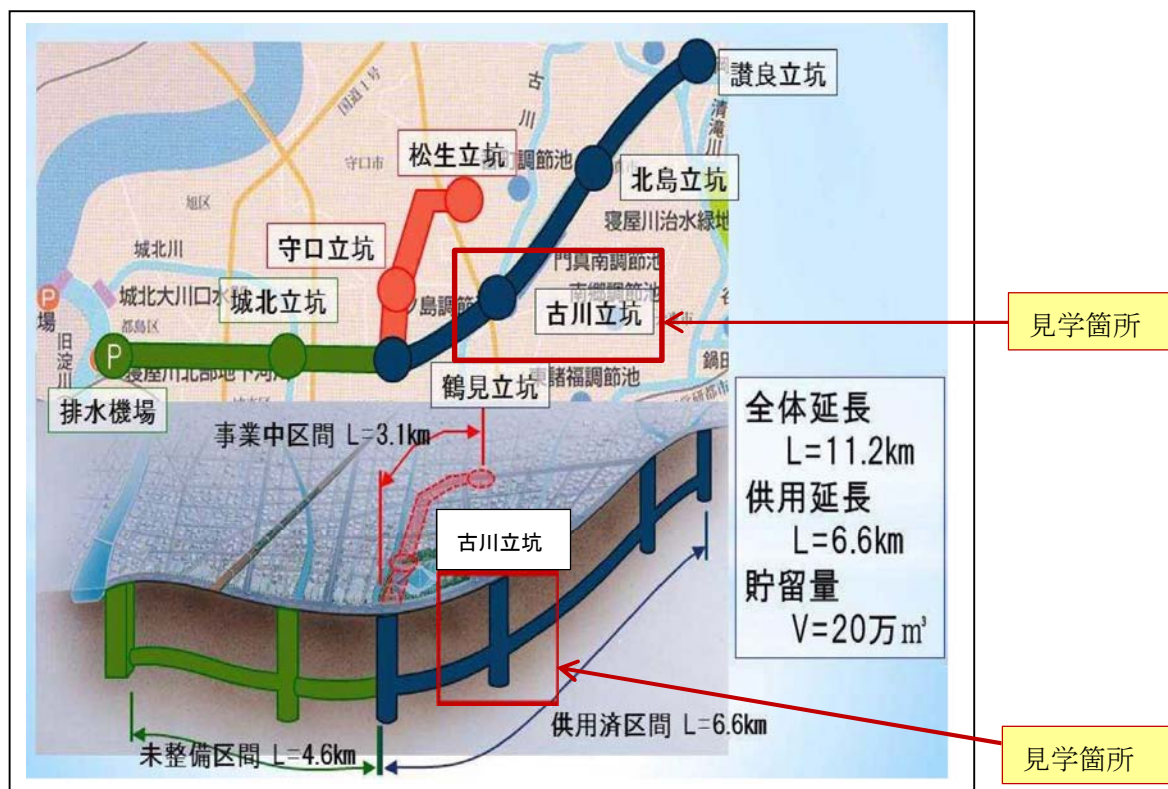


図-2.2.5 北部地下河川概要

(主な現地状況)

古川調節池セグメント、北島調節池セグメントとも目視する限り、セグメント本体や隅角部の損傷および継手部の大きな目開きなどは確認されず健全といえる状況に見えた。

(参考：セグメント種類)

損傷が確認されていない古川調節池と北島調節池のセグメントの種類は、何れも合成セグメントであり、名称、構造概要は下記の通りである。

古川調節池：嵌合式継手合成セグメント（製品名：NM セグメント）

セグメント外径φ8240mm，内径φ7500mm

北島調節池：コンクリート中詰式 RC 一体型合成セグメント（製品名 HCCP セグメント）

セグメント外径φ5900mm，内径φ5400mm

2.2.3 設計条件他に関するヒアリングの内容

現地見学後、大阪府寝屋川水系改修工営所で、事前に送付した質問事項に沿って、地下河川（調節池）の設計条件、運転・管理の留意点、今後の課題等についてヒアリングした。

（主な質疑応答内容）

1) 設計ではどの程度の内圧（内水位）を設定されたのか？

→ 地下河川（調節池）に接続する流域下水道増補幹線へ分水する流域下水道幹線の堰の高さのうち、最も低い堰高を基準に設定している。

2) 異常時を想定した内水位を考慮しているか、また異常時内水位高はいくらに設定されたか？

→ 異常時内水位は地表面高に設定した。設計手法は、「内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き」（先端建設技術センター）に準拠して設計した。

3) セグメント継手の止水用の水膨張シール材はどのようなものを用いたか？

→ 各調節池や使用したセグメント種類により異なるが、最近の設計事例（守口調節池）では、

材質：単体型吸水性高分子系ゴムシール、形状：台形、メーカー：信明産業

性能：体積 200%膨張タイプ（水膨張性ウレタン系シール材）

厚さ：t=5mm、幅：W=20mm

4) シール材の設計時に設定された仕様（許容値）はあるか？

→ 最近の設計事例（守口調節池）では、

施工時水圧：0.48MPa、供用時水圧：0.38MPa、設計目開き・目違い：各 3mm

5) セグメントの構造計算は、どのような方法を用いているか？

→ 常時計算は、「内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き」（先端建設技術センター）に準拠し、はりーばねモデルを採用した。

地震時は、「下水道施設耐震計算例－管路施設編」に準拠し、等価一様剛性モデルで実施している。

6) セグメントの設計時に採用した外力は？

→ 土圧（鉛直・側方）、地下水圧、自重による反力、内水圧

7) セグメントの設計時に検討した施工時荷重はあるか？

→ 施工承諾段階で中詰合成セグメントに対して、ジャッキ推力に対する照査を実施した。

8) 裏込め注入の注入方法などは？

→ 注入方法は即時注入、注入材の種類は二液性可塑状型注入材、注入圧の管理値は間隙水圧+0.2MPa、注入率は掘削内径（マシン外径）とセグメント外径の空隙に対し 100～130%。

- 9) 施工中のセグメントや周辺地盤の挙動を把握するための現場計測は実施されたか？
- 鉄道交差部や橋梁近接施工部において、トライアル計測（沈下計測、温度計測、土圧水圧計測）やレベル計測を実施。
- 10) トンネルの最大土被りや地下水位、土層構成は？
- 北部地下河川は、土被り約 30～40m、地下水位は GL-3～5m、土層構成は、トンネル上部が沖積粘性土層（軟弱土層）、トンネル以深が洪積土層（大阪層群）
- 11) これまで見られたセグメントの損傷などは？
- 施工後には特に確認されていない。昨年度の外部視察時にも北部地下河川（合成セグメントの箇所）、南部地下河川（二次覆工有り RC セグメントの箇所）ともに損傷は確認されていない。
- 12) 現在、施設はどのように運用されているか？
- 貯留施設として運用
- 13) 供用開始以降、雨水の進入・排水は何回行われているか？
- 平成 28 年度末時点で、貯留回数は、北部地下河川が 14 年間で 35 回、南部地下河川が 31 年間で 81 回。
- 14) 今後、施設の維持管理、清掃、点検などの方針はあるか、また管理上の課題はあるか？
- 現時点で決まった管理方針は無い。管理上の課題としては自動昇降設備（エレベーター等）が無いため点検時に不便を生じている。今後、新たに大深度でトンネルを計画のため課題になると考えている。また、貯留水の排水方法（河川排水への水質や排水量など）について検討中である。
- 15) その他、現状の課題や今後の方針等があるか？
- 課題としては計画中のトンネルで急勾配区間があり水流の減勢方法などを水理実験も行い検討中である。また、セグメント種類は合成セグメントを採用する方針となっている。将来的には老朽化対策(リニューアル)の検討が必要になるとの認識はあるが、まだ具体的には行っていない。

2.3 大阪市北浜逢坂貯留管 実態調査報告

本研究グループの活動内容や、首都圏外郭放水路のセグメント損傷事例などを説明した後、大阪市の北浜逢坂貯留管について以下の質疑応答（ヒアリング）を行った。

ヒアリング日時：平成 30 年 1 月 22 日（月）16:30～18:00

場所：クリアウォーターOsaka 株式会社 会議室

出席者（敬称略）

大阪市役所建設局下水道課（クリアウォーター出向者含）：

大杉課長（研究会会員）、上村 担当係長、中西 担当係長

研究グループ：東田、山本

2.3.1 実態の確認

1) RC セグメントの設計条件と損傷の有無

（大阪市）内水圧を作用させた構造設計は実施している。

（大阪市）外郭放水路の損傷原因は構造設計とは異なるものか。➡（研究グループ）セグメントがリングを形成した状態での構造設計モデルとは異なり、内水圧が外水圧より大きく作用した時に、リング間がわずかに目開きすることに起因するものと報告されている。各工区でセグメントの継手形式、シール材、シール溝の寸法と位置が異なることから、損傷箇所数も異なっている。

（大阪市）大阪市の貯留管は、今までの立入での目視や維持管理作業から聞いた限りでは、損傷は確認されていない。

2) セグメントの損傷に対する対策

（大阪市）これまで損傷の発見や報告が無いことなどから、特に考えていない。

（大阪市）他の管理者では対策などを考えているのか。➡（研究グループ）二次覆工での補修が可能な様に、あらかじめ内径を大きく設定しているということを聞いたことがある。

3) 北浜逢坂貯留管以外のRCセグメント貯留管の二次覆工

（大阪市）古いものは全て二次覆工を行っている。また近年での中詰め式合成セグメントを使用した箇所は二次覆工無しであるが、継手部に目地コーキングを施しており、漏水なども無いようである。

2.3.2 質問書の回答の確認（事前質問書・回答は別添）

1) セグメント設計上の最高内水位

平常時、異常時とも最高内水位をOP+3.50m（セグメント天端+44.50m）で設定している。

2) セグメントの止水材の仕様

事前回答の通りであり、体積膨張率は 200%で、2 条使用している。寸法等が解る図面は後日提供可能である。

3) セグメントの寸法

外径φ6.6m、内径φ6.0m、厚さ0.3mである。

4) セグメントの種類

総延長約4.7kmで、約7割がRCセグメントである。

5) 裏込め注入圧

水圧+0.1Mpaで、セグメント天端での値である。外圧より高いかは不明である。

6) セグメントの損傷

損傷の発見を目的にした調査を行っていないため、気づいていない可能性もあるが、運用約1年後くらいの貯留後の立ち入りでは、明確に確認できるような損傷は発見されていない。また、漏水箇所も発見されていないため、現時点では問題になっていない。現地立ち入りの写真の提供は可能である。

7) 北浜逢坂貯留管への立ち入り

立入口のポンプ施設部の管理マンホール蓋の撤去、スクリーン部の堆積物の事前撤去や換気などの安全面から、容易ではない。

8) 維持管理面の課題

流入水での洗浄を期待しているが、その効果の確認や堆積物の状況などが不明確であり、今後の浚渫などの維持管理に課題がある。

9) 今後の調査予定

他に老朽化している下水道幹線などが数多くあり、その調査や補修が優先されているため、比較的新しい北浜逢坂貯留管の調査予定は無い。現時点では、内水圧の作用による影響などが問題視されていないため、老朽化の調査が優先されている。

10) 今後の運用方法の見直し

長期計画では流下管運用であるが、現時点では構想段階である。

11) 既存の大口径の貯留管、下水道幹線のセグメント仕様

淀大放水路では、合成セグメント（SSPC）を使用している。また、都島第2幹線ではRCセグメント、φ6000mm、二次覆工無し、土被り20～30m程度を使用している。

2.3.3 参考：事前に送付した質問事項と回答

番号	質問	回答
1.	(設計内水位)	
1-1.	設計上の平常時の最高内水位はどのような状態を想定し、何mに設定されたのでしょうか？	内水位OP+3.50m セグメント天端+44.50m
1-2.	設計計算ケースとして、平常時の最高内水位を一時的に超える「異常時」を想定した内水位を設計にて考慮されていますか？考慮されていれば、異常時内水位はどのような状態を想定し、内水位高を何mに設定されたのでしょうか？	内水位OP+3.50mセグメント天端+44.50m
2.	(セグメントの止水材(水膨張シール材))※異なる材質が使用されている場合は、すべてご教示ください。	
2-1.	セグメントの止水材には水膨張シール材を使用しているかと思いますが、どのような材質、形状、メーカーを使用されていますか？	【RC】アデカウルトラシールKMU-1804D14 材質： メーカー：(株)ADEKA 【ST、SSPC用】 ポリシーラー1000W-L 材質：クロロプレン合成ゴム メーカー：スリーボンドユニコム(株)
2-2.	水膨張シール材に要求した性能(膨張倍率、圧縮応力、耐水圧等)を教えてください。	水膨張性ウレタン系シール材(体積200%膨潤タイプ)
2-3.	シール材の設計時に設定された仕様(許容値)があれば教えてください。(体積変化率、圧縮率、許容目開き・目違い、反発力(圧縮応力)等)	特になし。
3.	(セグメント)図面等の提示でも結構です。	
3-1.	セグメントの外径と内径は何mでしょうか？	外径φ6.6m、内径φ6.0m
3-2.	セグメントにはどのような種類のものを使用されていますか？(材質、名称等)	・RCセグメント 内面平滑型ワンタッチ継手 KLセグメント (継手：セグメント間コンネクター、リング間フッシュクリップ) ・コンクリート中詰鋼製セグメント(曲線区間等に使用) ・鋼製セグメント(開口補強区間に使用)
3-3.	セグメントの構造計算は、どのような方法を用いていますか？	はりばねモデル
3-4.	セグメントの設計時に採用した外力を教えてください。	設計荷土圧、水圧、内水圧、自重、地震時荷重、施工時荷重
3-5.	セグメントの設計時に施工時荷重に対する検討を実施していれば、どのような荷重を考慮されたのか教えてください。	ジャッキ推力による検討
3-6.	裏込め注入について、注入方法(同時注入、即時注入)、注入位置、注入材の種類、注入圧の管理値、注入量(または率)の管理値について教えてください。	注入方式：同時注入 注入位置：頂部2か所 注入材：エア系可塑状固結材 注入圧：水圧+0.1MPa 注入量：130%以上
3-7.	工事中にトンネル(セグメント)、周辺地盤の挙動を把握するために、現場計測を実施されましたか？実施された場合、どのような計測を実施したのか教えてください。	鉛直変位計測等

4.	(地盤)※土層縦断面図等の提示でも結構です。	
4-1.	最大の土被りは何mですか？	【研究会調べ】約50m
4-2.	地盤の地下水位はG. L. 何mですか？	GL-3.3～5.5m(RCセグメント区間)
4-3.	土層はどのような構成になっていますか？	洪積砂質土層及び洪積粘性土層が主体の大阪層群
5.	(損傷_コンクリートの剥離)	以下該当なし
5-1.	セグメントコンクリートの剥離はどのような原因によると想定されていますか？	
5-2.	断面方向の位置に損傷数に違いがありますか？あればどの方向が多いのでしょうか？	
5-3.	縦断方向の位置に損傷数に違いがありますか？あればどの付近に多いのでしょうか？	
5-4.	損傷数は現在(補修直前)でも増えていますか？	
5-5.	どのような対策(補修等)をおこなっていますか？	
5-6.	対策(補修等)を施工するにあたり、どの様な設計・検討をされましたか。	
5-7.	今後、どのように管理する方針ですか？	
6.	(損傷_コンクリートの剥離以外)	以下、該当なし
6-1.	コンクリートの剥離以外にどのような損傷が生じていますか？	
6-2.	コンクリートの剥離以外は、これまでどのような対策(補修等)をおこなってきましたか？	
6-2.	コンクリートの剥離以外は、これからどのような管理をする方針ですか？	

7.	(施設の運転)	
7-1.	通常、施設はどのように運転(稼働)されていますか？	貯留管運用
7-2.	供用開始以降、雨水の進入・排水は何回行われましたか？※概数で結構です。	年間数回程度
7-3.	今後、運転方法の見直し等を予定されていますか？	長期計画では流下管運用
8.	(施設の管理)	
8-1.	施設の点検はどのような方法、頻度でおこなっていますか？	
8-2.	施設の清掃はどのような方法、頻度でおこなっていますか？	
8-3.	貯留時のトンネルの挙動を監視するために、現場計測等は実施されていますか？	
8-4.	その他、管理上の課題はありますか？	
9.	(その他、懸案事項等)	
9-1.	その他、施設の管理・運営における現状の課題や今後の方針等があればご回答ください。	

2.4 首都圏外郭放水路 実態調査報告

内圧が作用するトンネルの実態調査として、国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所が管理する首都圏外郭放水路（以下、「外郭放水路」と言う。）の現地確認と事業者ヒアリングを行った。実態調査では、まず庄和排水機場にて外郭放水路の概要の説明を受けた後、調圧水槽を見学した。次いで第三立坑に移動し、セグメントの損傷状況と二次覆工による対策工事を視察した。その後、庄和排水機場内に戻り、会議室にて意見交換と質疑応答を行った。

調査日時：平成30年1月31日（水）13:30～18:00

調査対象：首都圏外郭放水路

事業者：国土交通省関東地方整備局（管理：江戸川河川事務所）

出席者：（江戸川河川事務所）小宮山工務第一課長

（研究会委員）東田、井上、島津、寺田、矢野、吉田、松本



写真-2.4.1 庄和排水機場内（左）、調圧水槽（中央）第三立坑から第二工区側のシールド（右）

2.4.1 外郭放水路の概要説明

江戸川河川事務所内の会議室にて小宮山工務課長より資料等を用いて外郭放水路の概要が説明され、工区が第一から第五の5つに分かれていること、同じ工区内でもセグメントや止水材の仕様が異なっていること、剥離損傷は第二工区が最も多く、セグメント内面から止水材までの距離が短いこと、大きな内水圧が繰り返し作用したことが主な原因と想定されること等が説明された。



写真-2.4.2 資料等による説明（左）、小宮山工務課長（中央）、見学用模型による説明（右）
（主な内容）

- 1) 外郭放水路は全長 6.3km で約 1.5km ごとにシールド発進立坑が設置されており、立坑区間に合わせて第一から第五に工区割されている。第五工区のみシールドで横接合されており、シールド内径は第一工区から第四工区が約 10m、第五工区は約 6.5m である。
- 2) 流入施設は固定越流堤方式であり、年平均 7 回程度、流入している。
- 3) 第五立坑はオープンケーソン工法であるが、第一立坑から第四立坑が逆巻工法で施工された。後者では打継目からの漏水が見られる。
- 4) 排水ポンプはガスタービン式 4 台で周辺住宅への騒音が小さい。ただし運転の関係で燃料費が高くなっている。

- 5) トンネルは地表面から約 50m 下で安定した洪積層に入っている。なお、当施設は大深度法の適用外である。
- 6) 流入土砂は機械搬出しているが、設計時の想定より土砂量が多い。
- 7) R Cセグメントの剥離損傷は第二工区が 6,946 箇所、第一工区 139 箇所、第三工区（箇所数不明だが第二工区より少、第一工区より多）と、第二工区が他の工区よりはるかに多い。シール溝からセグメント表面までの距離が第一工区 58mm、第三工区 63mm なのに対して、第二工区のみ 35mm と短いことが損傷要因の一つと考えられる。
- 8) R Cセグメントの剥離は同じ工区でも採用したシールメーカーによって異なっており、資料の調査時点で第一工区のうちB社製の範囲は剥離が 0 に対し、膨張速度の速いA社製（水膨張性ウレタン系シール材）の範囲は剥離が 139 箇所も生じていた。第三工区でもA社製の範囲では損傷が発生している。
- 9) 剥離損傷形状は、第一、三工区が深くて大きいものに対して、第二工区は浅くて小さい。
- 10) シール材の充填率が、施工時に押し込まれて高くなるKセグメントと屈曲部が合わさって構造上高くなる隅角部で剥離が発生しやすい傾向がある。

2.4.2 セグメントの損傷と二次覆工対策状況

第三立坑に移動し、現在対策工事として二次覆工を実施している第三工区におけるR Cセグメントの剥離損傷と二次覆工の対策工事の状況を見学し、説明を受けた。

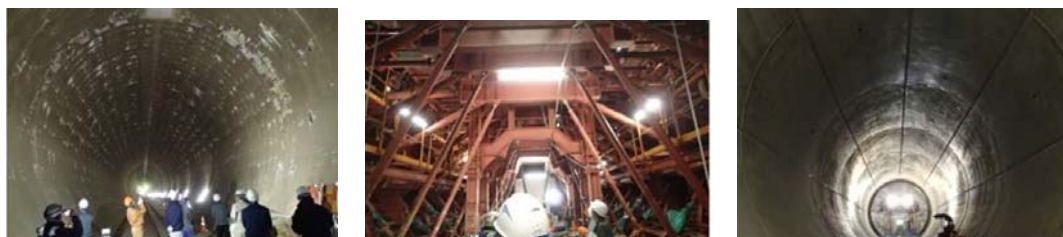


写真-2.4.3 損傷確認状況（左）、二次覆工対策中（中央）、二次覆工対策後（右）

（R Cセグメントの剥離損傷状況）

- 1) 当該工区ではR Cセグメントの剥離損傷はKセグメントに集中していた。
- 2) 剥離はセグメントの断面方向接合面の隅角部に生じていた。
- 3) コンクリートの剥離面では鉄筋とシール材が露出し、シール材は飛び出しているものもあった。
- 4) シール溝からセグメント内面までの距離は約 60mm であった。

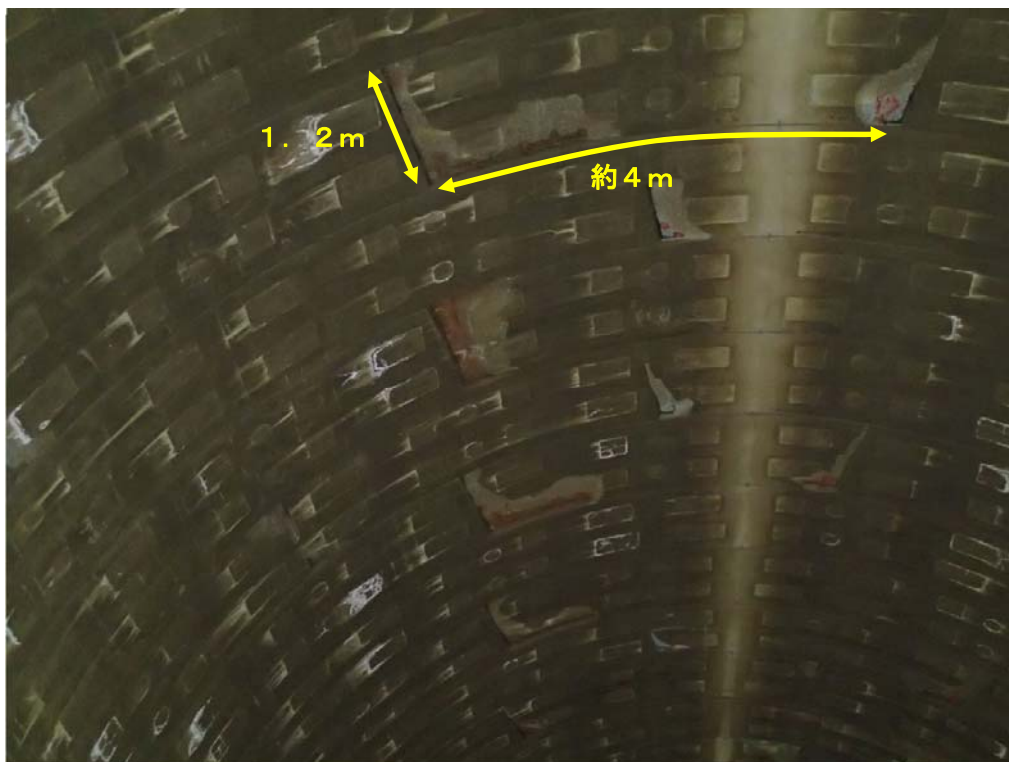


写真-2. 4. 3 剥離損傷の発生箇所



写真-2. 4. 4 剥離損傷状況



写真-2.4.5 シール溝までの厚さ

(二次覆工対策状況)

- 1) 二次覆工には断面方向と縦断方向に誘発目地が施されていた。
- 2) 二次覆工はトンネル内の水圧を二次覆工背面にも作用させるための導水口が設置されていた。
- 3) 二次覆工にはD13 の用心鉄筋を 300mm ピッチで配置し、誘発目地部には防錆処理が施されていた。



写真-2.4.6 誘発目地 (左)、導水口 (中央)、用心鉄筋 (右)

2.4.3 意見交換と質疑応答

庄和排水機場に戻り、会議室にて意見交換と質疑応答を行った。

(主な内容)

- 1) 外郭放水路は計画時点では二次覆工する予定であったが、設計段階で二次覆工を省略することになった主な理由はコスト縮減か？
→ 基本的にはその通りであるが、大きな内圧がかかるため、二次覆工の設計が技術的に困難であったことも理由の一つである。
- 2) 東京都の神田川環七地下調節池は第一期がRCセグメント、第二期が合成セグメントで、第二期にはほとんど損傷が見られないことから、現在の計画も含めて今後は合成セグメントとする方針であ

った。外郭放水路では今後どのようなセグメントを用いる予定か？

→ 現時点で特に方針が定まっている訳ではない。第一工区のうちB社製の止水材を用いた区間では、RCセグメントでもほとんど損傷が生じていない。合成セグメントや鋼製セグメントにすれば剥離が生じないが、RCセグメントでも止水材の選定などを慎重に行えば、セグメントの剥離はかなり抑制できていると考えている。

3) 合成セグメントと比べるとRCセグメントはコストメリットがある。関西の地下貯留トンネルの内径は5m～6m程度であり、首都圏の地下貯留トンネルの内径10m程度よりも小さいが、この程度の径であればRCセグメントでもセグメントのディテールや止水材を慎重に設計することによって剥離損傷が抑制できるか？

→ 基本的には可能と考えているが、施設の運用方法にも依る。外郭放水路は立坑も含めて可能な限り水を流入させるが、神田川・環七地下調節池や川崎市では本管が満水になった時点で流入を止めると聞いた。このような運用をすれば過度な内圧がかからなくなるためRCセグメントでも損傷を抑制できると思われる。

→ なおセグメントの選定では単価だけでなく、施工性や品質にも留意する必要がある。施工を見てみると、RCセグメントではひび割れが生じないように慎重にセグメントを組み上げるのに対し、合成セグメントや鋼製セグメントはひび割れの生じる危険性がないため組み立て速度が速い。

4) 第一工区でB社製の止水材を用いた区間はほとんどセグメントの剥離損傷が生じていないとのことであったが、この区間も二次覆工対策を施す予定か？

→ 第一工区のB社製止水材採用区間は剥離損傷が少ないが0ではなく、今後生じる可能性もあることからこの区間も二次覆工対策を施す予定である。

2.5 セグメント工場見学 報告

内圧が作用するトンネルの研究の一環として、製作工場でセグメントの製造過程や工場試験の見学および製作会社への意見交換を行った。ジオスター株式会社橋本工場にて、工場内ストック中のRCセグメント、合成セグメントのセグメントピースやコンクリート打設状況等の製造過程、組立試験を見学、質疑応答を行った。次いで、工場内の会議室に移動し、これまでの製作実績や使用材料の詳細、製作および工場内試験での課題等をヒアリングした。

尚、セグメント工場内では製品所有者より撮影等の承諾を得ていないため見学会時の撮影写真は存在せず、本報告書にはカタログ等からの引用のみの図・写真を使用する。

見学日時：平成 29 年 9 月 7 日（木）工場見学 13:30～15:00, 意見交換会 15:30～16:00

見学場所：ジオスター株式会社 橋本工場

出席者（敬称略）：

ジオスター株式会社：齋藤技術課長、岩田リーダー（研究会委員）、村上課長（研究会委員）、他
研究会委員：東田、山本、團、岩田、矢野、島津、吉村、吉田、松本

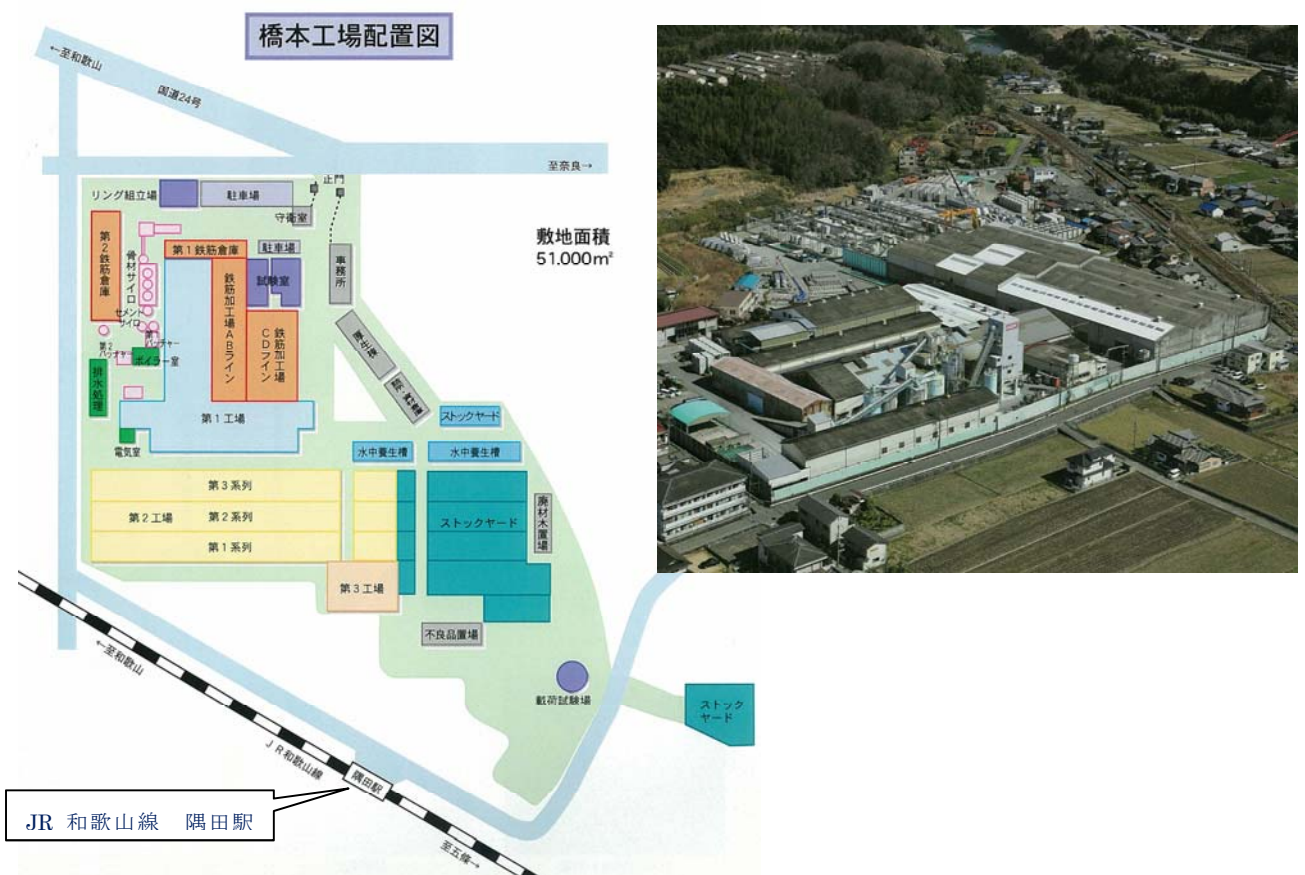


図-2.5.1 セグメント工場配置図・航空写真¹⁾

2.5.1 見学内容

1) セグメントピースの見学

①RCセグメント

工場内で製作中、ストックされているRCセグメントのセグメントピースの見学を行った。

- ・セグメント使用箇所：大阪府下の雨水貯留管
- ・セグメント径：5850mm
- ・セグメント厚：300mm
- ・セグメント幅：1300mm
- ・継手形式：ボルトレスタイプ（くさび式）



図-2.5.2 セグメントストック状況¹⁾

②P&PCセグメント

工場内にストックされているP&PCセグメントのセグメントピースの見学を行った。

- ・セグメント使用箇所：徳島県下の用水トンネル
- ・セグメント径：5000mm
- ・セグメント厚：250mm
- ・セグメント幅：1200mm、900mm

セグメントピース間のずれ止めに鋼製のボールが使用されていることが特徴的であった

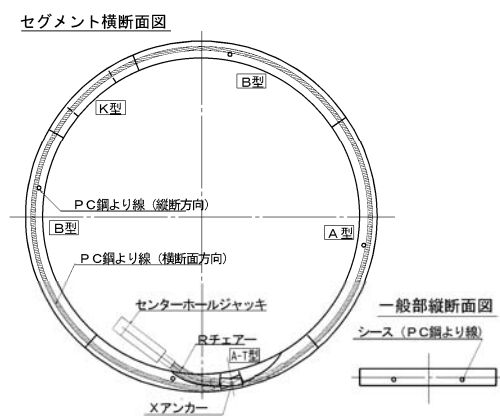


図-2.5.3 P&PC セグメント概要図²⁾

③中詰めコンクリート式鋼製セグメント（合成セグメント）

工場内で製作中、ストックされている合成セグメントのセグメントピースの見学を行った。

- ・セグメント使用箇所：大阪府下の地下調節池
- ・セグメント径：5400mm
- ・セグメント厚：250mm
- ・セグメント幅：1200mm
- ・継手形式：ボルト式



コンクリート充填前：鋼殻



コンクリート充填後：SSPC

図-2.5.4 合成セグメント概要写真³⁾

2) コンクリート打設・養生状況の見学

工場内でRCセグメントのコンクリート打設・養生状況を中心に製造過程の見学を行った。



コンクリート投入



表面仕上げ



蒸気養生



脱型

図-2.5.5 RCセグメントコンクリート打設・養生状況¹⁾

3) セグメントリング水平仮組試験の見学

工場内でセグメント水平仮組試験の装置、試験状況の確認を行った。



図-2.5.6 セグメントリング水平仮組試験状況¹⁾

4) 各種試験装置の見学

その他、セグメント載荷試験装置、コンクリート圧縮試験装置などの見学を行った。



図-2.5.7 セグメント載荷試験状況¹⁾

2.5.2 ヒアリングの内容

工場見学後、工場内会議室において、これまでの製作実績や使用材料の詳細、製作および工場内試験での課題等についてヒアリングした。

(主な質疑応答内容)

1) 見学させて頂いたRCセグメントの用途や大きさをお教えてください。

→ 大阪府建設局の下水道幹線のものであり、外径 5850mm、厚さ 300mm、幅 1300mm。
施工現場はシールド掘進中で合成セグメントの使用区間もある。

2) 水平仮組試験ではシール材が設置されていない様であるが、実際の現場とどの様な差があるものか。あるいは、実際の現場に合わせるために計測の仕方に工夫があるものか？

→ 工場の仮組試験は製品の寸法精度や継手の位置が合っているかを確認するためのものであるため、シール材を設置しての計測は行っていない。現場での組み立て精度とは異なるものである。(シール材を張った状態では現装置では組めない。)

3) シール材は御社では製作販売されているのか。あるいは、どの様なシール材を使用するかを指定するものか？また、シール材の耐久性等のデータは所有されているか？

→ シール材は製作していない。現場で使用するシール材を選定している。
→ データはシール材メーカーのパンフレット等があるため提供可能である。(研究会委員)

4) こちらの工場では製造能力では最大どのぐらいの径に対応できるものか？

→ 最大径は、合成セグメントでは阪神高速大和川線での外径 12.3m、RCセグメントでは大阪市建設局平野川調節池の外径 11.3mでの実績がある。

5) 工場からの振動や騒音の周辺への対策などはあるか？

→ 新しい民家なども増えているので注意している。

6) 工場の製作稼働時期に制限はあるのか？

→ 施主によっては製作時期に制限があるが、概ね制限は無くメーカーで判断している。

7) 型枠は1台あたりどのぐらいの価格か。またどの程度の転用か？

→ サイズ、継手の使用などにより異なるが、2～3mの径で1リング 3000～4000万程度である。シール溝の削り出しなど細部に費用がかかる。

→ 転用もサイズによって異なるが 350～400 リング程度である。

〔第3章 参考文献〕

- 1) ジオスター株式会社：橋本工場の紹介カタログ
- 2) シールド工法技術協会：P&PC セグメント工法、技術資料、平成 23 年 8 月、pp. 2
- 3) 日本シールドセグメント技術協会：SSPC セグメントカタログ

3.2 現地視察の損傷実態の整理

3.2.1 トンネルとセグメントの諸元

(トンネル内径とセグメントの種類)

実態調査の結果より、セグメントの内径と種類別に損傷の発生状況を整理した結果を表-3.2.1に示す。これより、セグメントの剥離損傷は内径 10m 以上の RC セグメントで発生していた。なお、内径 6m 程度の中口径トンネルでは合成セグメントの使用頻度が高く、唯一 RC セグメントを使用した北浜調節池は実態調査が行われていないため損傷の発生状況は不明である。

表-3.2.1 セグメントの内径と種類別、損傷発生状況

施設	環七地下調節池		外郭放水路		古川	北島	北浜
	第 1 期	第 2 期	第 1～3 工区	第 4 工区			
内径	12.5m	12.5m	10.6m	10.6m	7.5m	5.4m	6.0m
種類	RC	合成	RC	DRC※ ¹	合成	合成	RC
剥離	有	無	有	無	無	無	不明

DRC※¹：ダクティルセグメント

(セグメント形状)

セグメントの形状と剥離損傷の発生状況を整理した結果を表-3.2.2に示す。これより、セグメントの剥離損傷はセグメント内面とシール溝までの距離（縁幅）が短いほど多く発生していた。ただし、縁幅が 60mm 程度でも剥離損傷は発生している。

表-3.2.2 セグメントの形状と剥離損傷状況（外郭放水路）

セグメント の形状	外郭放水路			
	第 1 工区	第 2 工区	第 3 工区	第 4 工区
厚さ	600mm	650mm	600mm	—
溝幅	64mm	51mm	54mm	—
縁幅	58mm	35mm	63mm	—
備考	・止水材の種類によって剥離数に差がある。	・剥離損傷が最も多い。 ・剥離規模は小さい。	・K セグメントに剥離が集中。 ・現地確認工区。	剥離数調査時点で未注水。

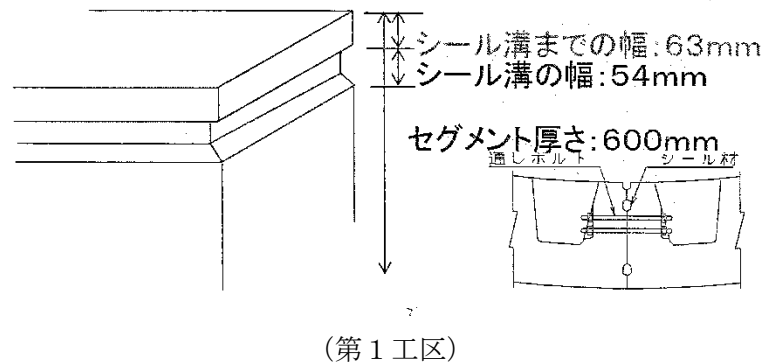
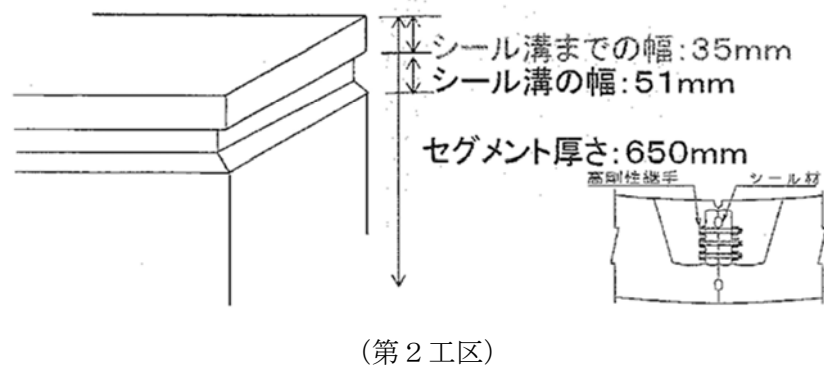


図-3.2.1 外郭放水路におけるセグメントの形状²⁾

(止水シールの材質)

セグメントに用いられていた止水シールの材質と剥離損傷の発生状況を整理した結果を表-3.2.3に示す。これより、セグメントが同じであっても止水シールの材質によってセグメントの剥離損傷数が大きく異なっている。

なお、止水シールの材質によって損傷箇所数が異なる理由の一つは膨張速度の違いと推察される。

表-3.2.3 止水シールと剥離損傷状況（外郭放水路）²⁾

項目	外郭放水路				
	第1工区		第2工区		
止水材	A社	B社	C・D社	B社	C社
リング数	50	1,105	210	100	1,280
剥離箇所数	139	0	1,850	376	4,720
1リング当たりの剥離箇所数	約 2.8/R	0/R	約 8.8/R	約 3.8/R	約 3.7/R

以上より、セグメントの剥離損傷は内径 10m 以上の RC セグメントで発生している。そのため、トンネルとセグメントの諸元については以下の観点から損傷発生状況の整理・分析を進める。

＜損傷発生状況の整理・分析の観点＞（セグメントの内径と種類）

- ・ 内径 10m 未満でも RC セグメントの内圧 TN は剥離損傷が起きるのか？
- ・ 内径 10m 以上の RC セグメントでは必ず剥離損傷が起きるのか？
- ・ RC セグメントで剥離損傷を起こさせないためには、どのようにすればよいのか？

3.2.2 剥離損傷の発生位置

現地調査の結果より、剥離損傷の発生位置には以下の傾向が確認された。

- ・ 剥離損傷の発生位置は、一定の傾向が見られない場合（環七第1期）と頂部の K セグメントに集中している場合（外郭放水路第三工区）がある。
- ・ 剥離損傷は、セグメントのトンネル断面方向（セグメント継手）と延長方向（リング継手）の両方の継手面で生じているが、断面方向接合部の方が損傷は多い傾向が見られる。
- ・ 外郭放水路第三工区の K セグメントでは、トンネル断面方向接合部（セグメント継手）の剥離損傷は短辺側（坑口側）の方が長辺側（切羽側）より多い傾向が見られる。



図-3.2.2 外郭第三工区頂部Kセグメントの剥離状況

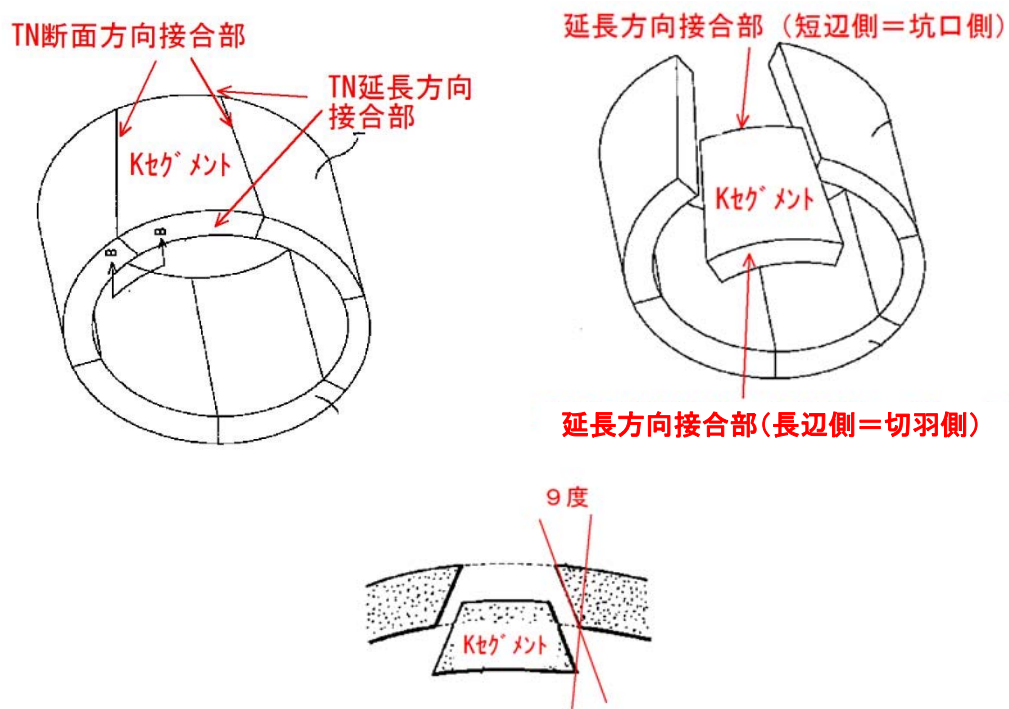


図-3.2.3 Kセグメント

以上より、セグメントの剥離損傷の形態は多様で、傾向が明らかでない。そのため損傷の発生位置については以下の観点から損傷発生状況の整理・分析を進める。

＜損傷発生状況の整理・分析の観点＞（損傷の発生位置）

- ・ 剥離損傷が頂部Kセグメントに集中している理由は何か？
- ・ 剥離損傷が TN 断面方向接合部で多い傾向が見られる理由は何か？
- ・ K セグメントの短辺側の方が長辺側より多く剥離している理由は何か？

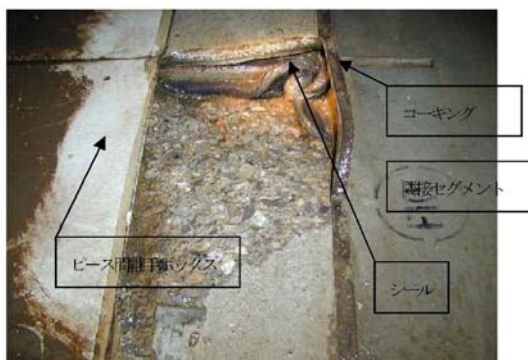
3.2.3 剥離損傷の形態

現地調査の結果より、剥離損傷の形態には以下の傾向が確認された。

- ・剥離損傷の深さは浅く、セグメント内面に対して 10° 程度の小さい角度で剥離面が生じている。
- ・剥離損傷の深さはシール溝に達している場合と達していない場合がある。
- ・外郭放水路では頂部から剥離したコンクリート片も破砕せずに残存していたことから、水中に落下し、沈下したと推定される。



(環七地下調節池 第1期)



(外郭放水路 第二工区)²⁾

図-3.2.4 剥離損傷の形態

以上より、セグメントは内面のコンクリートが薄く剥離したものが多いことが確認された。そのため剥離損傷の形態については以下の観点から損傷発生状況の整理・分析を進める。

＜損傷発生状況の整理・分析の観点＞（剥離損傷の形態）

- ・どのような力が作用すればセグメントの内面が薄く剥離するのか？
- ・シール溝に達していない軽微な剥離損傷が生じている理由は何か？
- ・このような剥離損傷が内圧TNのみで生じている理由は何か？

[第3章 参考文献]

- 1) 高柳、山藤、佐々木、佐藤: 内水圧が作用するセグメントの剥離現象の考察, トンネルと地下第 37 巻 3 号, pp53-59, 2006
- 2) 国土交通省関東地方整備局江戸川河川事務所提供資料

4. 損傷原因の分析

4.1 既往のセグメントの動向整理

4.1.1 近年のセグメントの動向整理

シールド工法技術協会のシールド工事実績表を基に、2001 年度から 2015 年度に発注された内水圧が作用する管きょ（貯留管・調整池・調節池・放水路等、以下、内圧トンネルと呼ぶ）に着目して現状の調査を行い、発注状況やトンネルの規模、セグメント種別について整理した。

(1) 内圧トンネルの発注状況

5 年毎にまとめた内圧トンネルの発注件数、ならびに同期間に発注された全シールド工事に対する割合を図-4.1.1 に示す。

シールド工事全体は、2001 年度～2005 年度が 594 件、2006 年度～2010 年度が 373 件、2011 年度～2015 年度が 236 件と減少する傾向にあり、2011 年度～2015 年度の発注件数は 2001 年度～2005 年度の 40% 以下となっている。

このような状況の中、内圧トンネルの発注は年間 3～4 件程度が発注され横ばい状態にあることから、ゲリラ豪雨対策等の社会的なニーズが高いことが分かる。

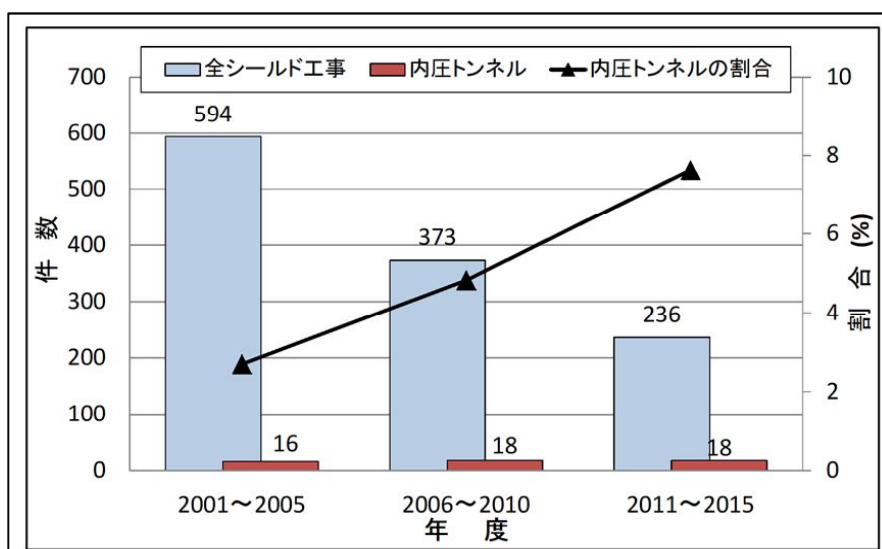


図-4.1.1 内圧トンネルの発注件数の推移とシールド工事に占める割合

(2) 内圧トンネルの規模

内圧トンネルの規模（トンネル外径）の構成を図-4.1.2 に示す。

本研究グループで現地調査を行った大断面内圧トンネルである、神田川・環状七号線地下調節池は一期工事が 1988 年度発注、二期工事が 1995 年度発注であり、首都圏外郭放水路は 2000 年度発注のため本整理には含まれていない。

内圧トンネルの外径は、 $\phi 3\text{m} \sim \phi 7\text{m}$ が全体の 70% 以上を占めており、中口径トンネルが主流である。これは、2000 年度までに首都圏の大口径貯留管（神田川・環状七号線地下調節池、首都圏外郭放水路）の発注が一段落したためであると考えられる。なお、環状七号線地下調節池については、2016 年度に石神井川区間（内径 $\phi 12.5\text{m}$ 、施工延長 5.4 km）が発注された。

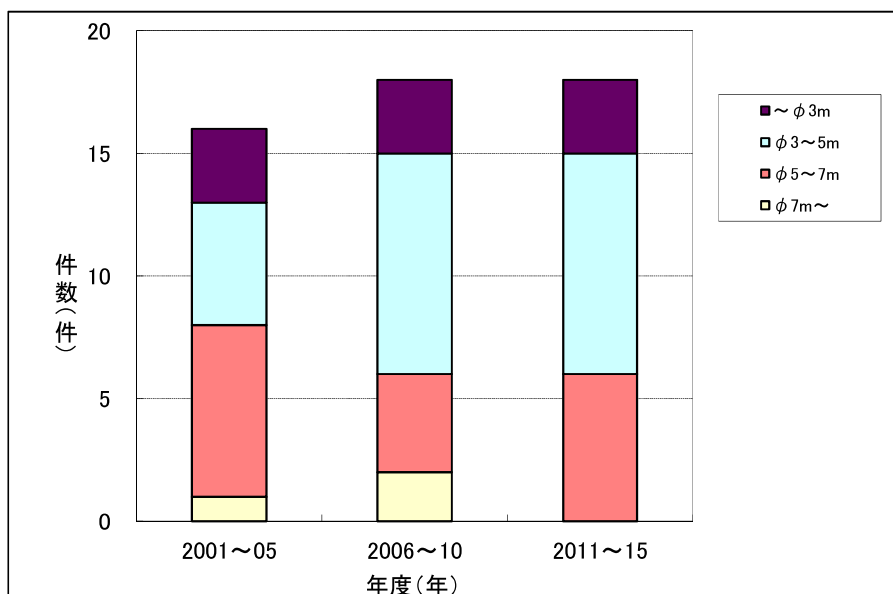


図-4.1.2 発注時期別にみた内圧トンネルの規模の構成

(3) 内圧トンネルのセグメント種別

各期間に発注された内圧トンネルのセグメント種別構成と二次覆工省略型（二次覆工一体型を含む）の割合を図-4.1.3に示す。

内水圧が作用するシールドトンネルの設計指針¹⁾が1999年3月に発行され、その後、二次覆工を省略する下水道シールドトンネルの基準類^{2),3)}が、順次、発行される等、内水圧に関する設計上の考え方や二次覆工を施さない場合の鉄筋かぶりの設定が整備された。これにより、2011年度～2015年度に発注された18件の内圧トンネルすべてにおいて、二次覆工省略型セグメントが採用されている。

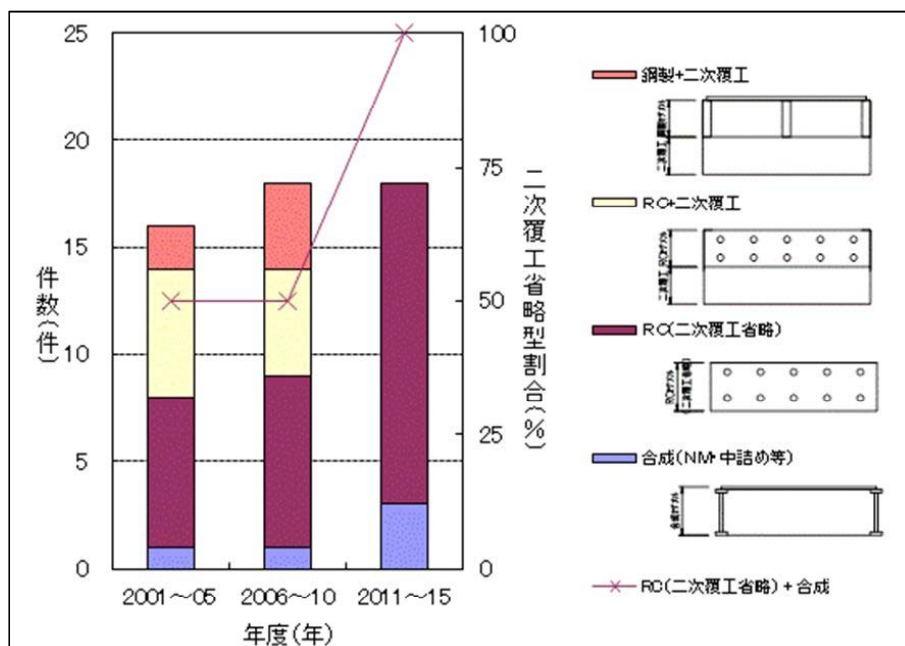


図-4.1.3 内圧トンネルに使用されたセグメント種別

以上より、近年の内圧トンネルに使用されるセグメントには、以下のような特徴があるといえる。

- ・ シールドトンネル工事全体の発注件数は減少傾向にあるが、貯留目的の内圧トンネルについては、平均して 3～4 件/年のペースでコンスタントに工事が発注されている。
- ・ 内圧トンネルの外径は、 $\phi 3 \sim \phi 7\text{m}$ の中口径トンネルが全体の 70%程度を占めている。
- ・ 2011 年以降に発注された内圧トンネルは、すべて二次覆工省略型（二次覆工一体型含む）であり、今後もこの傾向が続くと考えられる。

4.1.2 セグメント設計手法の整理

シールドトンネルの設計基準の変遷と主な施工事例を表-4.1.1に示す。シールドトンネル用セグメントの設計に用いる構造解析手法には、表-4.1.2に示すように以下の4通りが用いられている⁴⁾。

- ・慣用計算法
- ・修正慣用計算法
- ・剛性一様リングー地盤ばねモデル
- ・はりーばねモデル

慣用計算法は、セグメントリングを完全剛性一様なはりとして扱う解析手法であり、4種類の構造解析手法の中で最も簡便な手法である。このため、国内では下水道、鉄道、電力、通信など、多くの事業者において採用されており、国内では最も採用実績のある構造解析手法である。

しかし、セグメントリングの構造を考えた場合、剛性一様モデルとしている慣用計算法では、以下のような構造解析上の問題がある。

- ・セグメント継手に発生する断面力を直接求めることができないため、継手構造に特徴のあるワンピース（ボルトレス）セグメントの部材照査に必要な断面力を得られない。
- ・セグメントリングを組立てる場合、構造上の弱点となるセグメント継手が連続しないように千鳥組によって組立てられているが、この千鳥組による添接効果によって隣接リングから曲げモーメントが分担されることによる本体曲げモーメントの増加を表現できない。

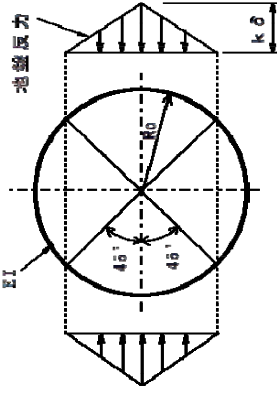
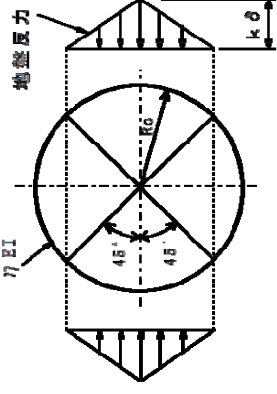
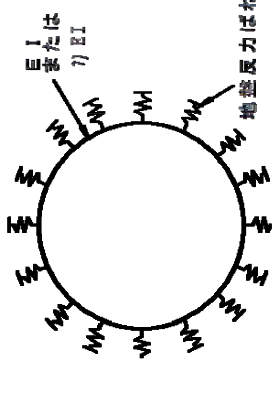
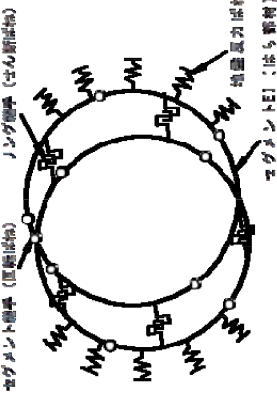
また、慣用計算法では軟弱地盤に対して構造解析を行うと発生断面力を過小に評価する傾向にあると言われており、特に二次覆工を省略する場合には、想定した以上の変形が生じることが懸念される。

これらの問題を解消するための手段として、慣用計算法と同様にセグメントリングを完全剛性一様なリングに対し、継手によるセグメントリングの剛性低下と千鳥組による添接効果を、曲げ剛性有効率 η と曲げモーメントの割増し率 ζ を用いて評価する修正慣用計算法が提案され、鉄道や電力等のシールドトンネルで適用する事例が増加した。昭和60年に設計された神田川地下調節池Ⅰ期事業や平野川地下調節池においても、修正慣用計算法が適用されている。

しかし、同一セグメント形式においても、地盤（荷重）条件あるいは継手金具剛性によって η 、 ζ の値も異なるものと考えられており⁵⁾、このことが修正慣用計算法の弊害となって、これまで実績の多いセグメント形式では慣用計算法を採用する傾向にあった。

1970年代後半より、セグメント本体を梁、セグメント継手を回転ばね、リング継手をせん断ばねにそれぞれモデル化し、千鳥組による添接効果も考慮できる「はりーばねモデル」に基づく解析手法の研究が進められ、セグメント継手の挙動を力学的に算定する手法が提案された⁶⁾。さらに鉄道事業者において、「はりーばねモデル」による設計が初めて採用され、1997年に制定された鉄道基準⁷⁾では、セグメント自重、水圧の作用形態あるいは地盤ばねの取り扱いが変更された。これにより、様々な地盤条件に対しても各セグメントの有する特徴を生かした形で、且つ合理的なセグメントを採用することが可能となっている。この頃より、シールド工事においてコスト縮減あるいは工期短縮を図るために二次覆工を省略する事例が増加し、鉄道シールドトンネルよりも大規模となる道路シールドトンネルには、はりーばねモデルを採用する事例が多くなった⁸⁾。

表-4.1.2 セグメントリングの構造解析手法

	慣用計算法	修正慣用計算法	剛性-様リング-地盤型モデル	はり-ばねモデル
モデル図				
概要	セグメントリングをセグメント本体と同一の剛性を有する完全剛性一様のリングとして評価するもので、セグメント継手の存在を無視している。 また水平方向の地盤反力については、リングの頂部から左右 $45^\circ \sim 135^\circ$ に分布する等変分布(三角形)荷重に仮定している。	慣用計算法と同様にセグメントリングを完全剛性一様なリングとして評価する方法であるが、継手によるセグメントリングの剛性低下と千鳥組による添接効果を、曲げ剛性有効率 η と曲げモーメントの割増し率 ζ を用いて評価している。 - 曲げ剛性有効率: η $\eta \cdot EI$ ($0 < \eta < 1$) - 曲げモーメント割増し率: ζ $(1 + \zeta) \cdot M$ ($0 < \zeta < 1$)	セグメントリングの評価方法は慣用計算法または修正慣用計算法と同様であるが、地盤反力の大きさと分布をWinklerの仮定に基づく地盤ばねで評価する。 - 曲げ剛性有効率: η $\eta \cdot EI$ ($0 < \eta < 1$) - 曲げモーメント割増し率: ζ $(1 + \zeta) \cdot M$ ($0 < \zeta < 1$)	セグメント主断面を円弧(はり)または直線(はり)に、セグメント継手を曲げモーメントに対する回転ばねに、リング継手をせん断ばねにモデル化して継手の曲げ剛性の低下及び千鳥組による添接効果を評価する。 2) リングにモデル化することが多い。 回転ばね定数を無限大とすれば剛性一様リングと一致するため、慣用計算法の考え方を包含する方法と考えられる。 - 同一荷重条件下では、セグメント継手回転ばね定数を小さく評価するほどセグメント本体の曲げモーメントは大きくなる傾向がある。 - リング継手せん断ばね定数を大きくするほど添接効果による影響を受けやすくなる。 - 地盤反力は、地盤を Winkler の仮定に従いセグメントの半径方向変位に対応する圧縮のみに有効なばねとすることが多い。
特徴	- 最も簡便な構造解析手法である。 - 地盤反力の期待できる良好な地盤では過大な断面力が得られ、逆に地盤反力が期待できない軟弱地盤では小さな断面力が得られる。	- 慣用計算法の問題点を解決するために提案された方法である。 η を小さくするほど、リングの変形とセグメントの縁応力が増す。 - 地盤反力の取り扱いについては、慣用計算法と同様である。	η を小さくするほど、リングの変形とセグメントの縁応力が増す。 - 地盤反力は、地盤を Winkler の仮定に従いセグメントの半径方向変位に対応する圧縮のみに有効なばねとすることが多い。	新しい継手形式に対しては、回転ばね定数を求めるための実験を必要とする。
問題点	- 軟弱地盤では危険側の設計結果を与えるため、これに基づいて構築されたトンネルでは想定した以上の変形が発生する可能性がある。 - リング継手に生じる断面力を直接求めることができない。	η や ζ の算定は、現状では定性的な評価にとどまり、経験や実験に基づいて推定しているため、その設定には十分な検討を要する。 - リング継手に生じる断面力を直接求めることができない。	同 左	
実績	下水道事業者で幅広く採用されている	下水道、電力、鉄道トンネルでの実績が多い	神田川地下調節池 I 期事業ははじめ内圧トンネルでの実績がある	内圧トンネル、鉄道、道路トンネル等の大断面トンネルでの実績が多い

4.2 実態調査に基づく損傷要因の整理

4.2.1 実態調査により確認された損傷パターンの抽出

これまでのシールド工事で確認されたセグメントの主な損傷状態は、表-4.2.1 に示すパターンが挙げられる。これらのうち、本研究の対象としている内圧トンネルの実態調査ならびに文献調査により確認された損傷状況は、以下のとおりである。

表-4.2.2 内圧トンネルで確認された損傷状況

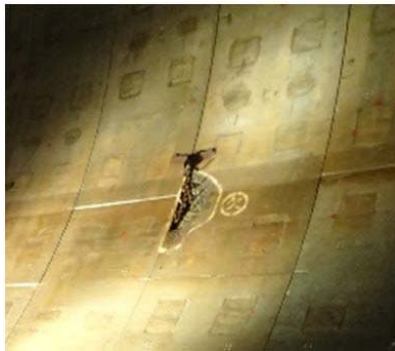
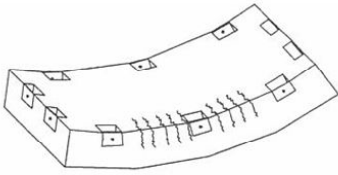
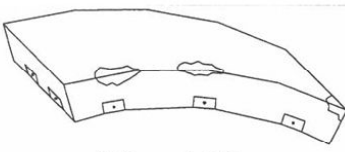
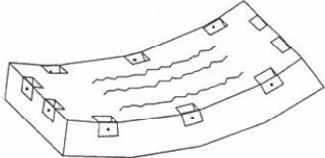
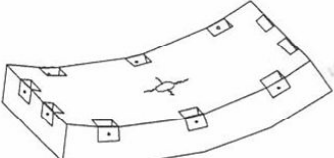
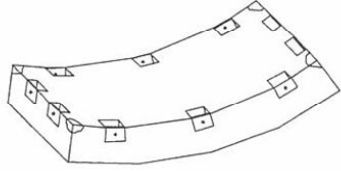
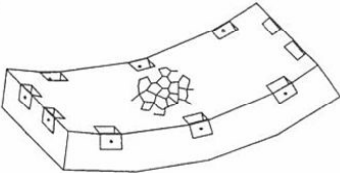
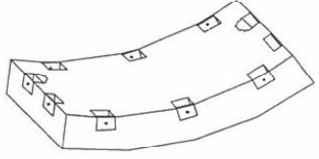
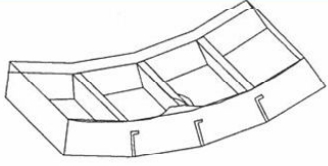
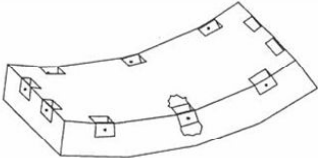
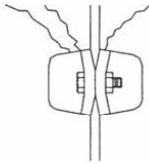
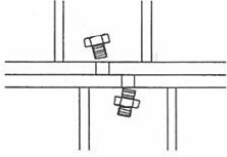
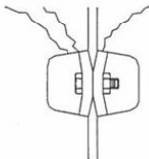
No.	損傷の状況	
1	【剥離①】 リング継手面に発生した剥離 (神田川Ⅰ期、外郭放水路)	
2	【剥離②】 セグメント継手面に発生した剥離 (神田川Ⅰ期、外郭放水路)	
	神田川・環七地下調節池第Ⅰ期 外郭放水路第三工区	
3	【ひび割れ（亀甲状）】 トンネル内面に亀甲状のひび割れが広範囲に発生 (神田川Ⅰ期：本管の連結管との接合部の反対側)	
4	【ひび割れ（本体部）】	(写真無し)
5	【継手ボックス等からの漏水】	(写真無し)

表-4.2.1 一般的な損傷パターンと実態調査にて確認された損傷⁹⁾

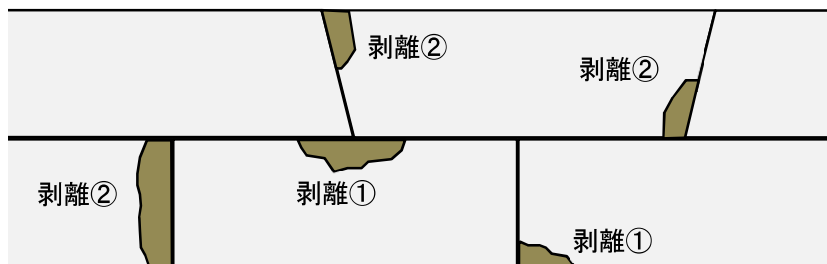
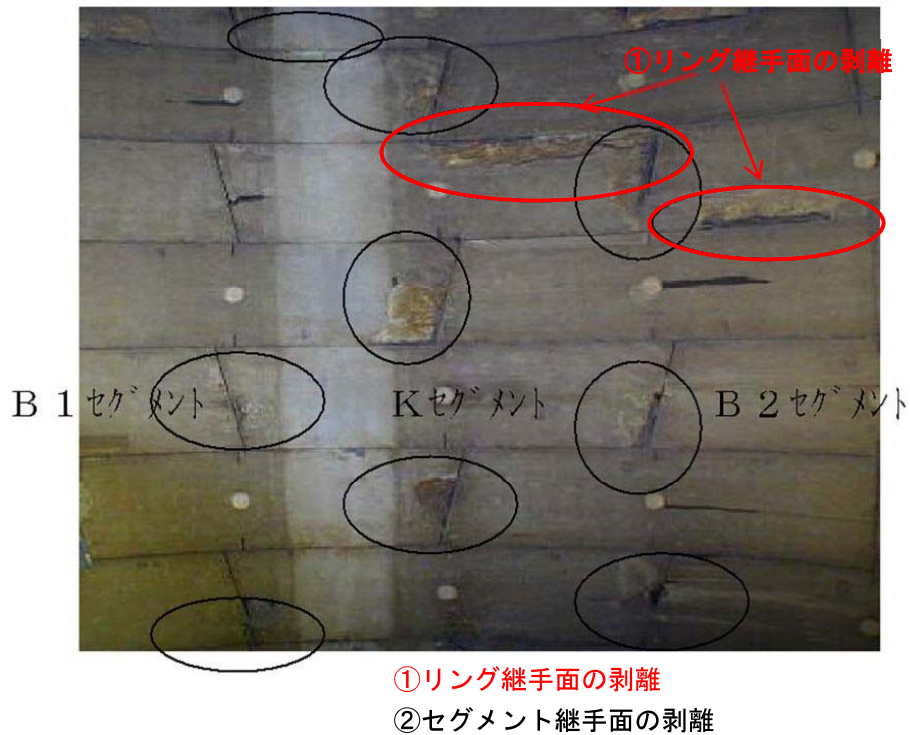
損傷パターン		該当の有無	損傷パターン		該当の有無
①		—	⑧	 (ジャッキ面)	—
	トンネル縦断方向ひび割れ			セグメント背面の割れ、剥離	
②		—	⑨		—
	トンネル周方向ひび割れ			補修の必要性がない微小ひび割れ	
③		●	⑩		●
	セグメント隅角部の欠け			潜在的なひび割れの顕在化	
④		●	⑪		—
	セグメント継手部コンクリート剥離			鋼製セグメントの縦リブの座屈など	
⑤		●	⑫		—
	リング継手部コンクリート剥離			鋼製セグメントの継手板の変形など	
⑥	 継手版の塑性変形	—	⑬	 ボルト破断	—
	リング継手ボルトボックス部ひび割れ、剥離				
⑦	 継手版の塑性変形	—	⑭	その他	—
	セグメント継手ボルトボックス部ひび割れ、剥離				

4.2.2 損傷パターンに対する損傷要因の整理

内圧トンネルで確認された損傷パターンは、剥離、ひび割れならびに漏水に大別される。このうち剥離については、その発生要因が損傷箇所によって異なるものと考えられることから、損傷要因を整理するに際しては発生位置を考慮して次の2つに分類し、それぞれに対して損傷要因を考察することとした。

【剥離の分類】

- ・剥離①：リング継手面に発生した剥離
- ・剥離②：セグメント継手面に発生した剥離

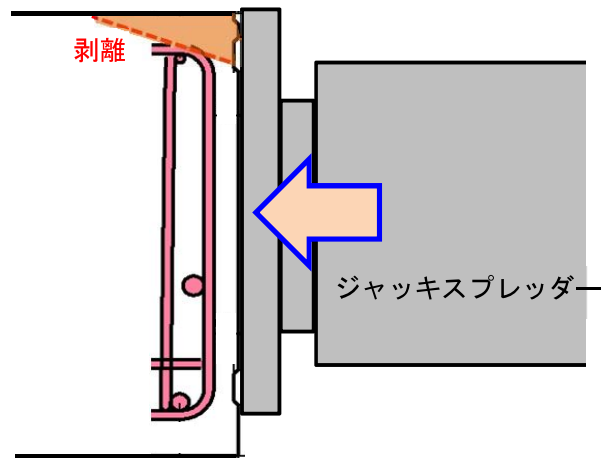
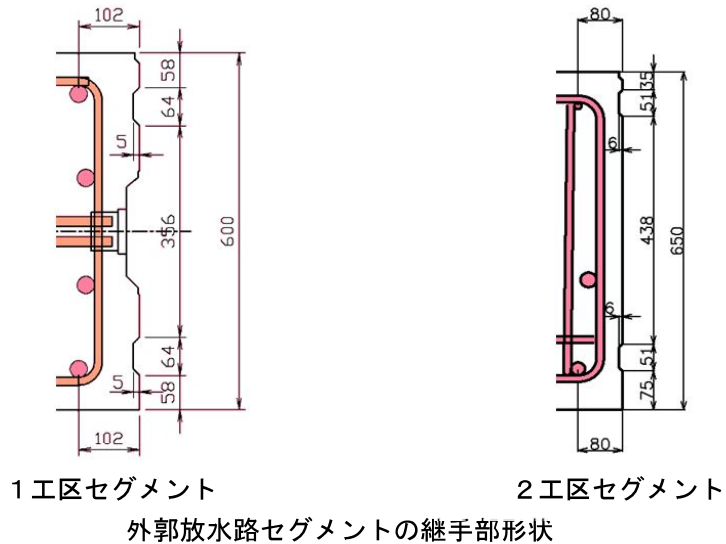


- ・剥離①：リング継手面の剥離
- ・剥離②：セグメント継手面の剥離

図-4.2.1 剥離の分類

(1) 剥離①：リング継手部に発生した剥離

リング継手面の剥離は、隣接するリングのセグメント継手位置で発生していることが多い。隣接するセグメントの組立誤差（目違い）が生じた状態でセグメントを組立てた後、トンネル施工中に作用するジャッキ推力やシール材の反発力等の影響を受けてコンクリートには潜在的なひび割れが発生していた可能性が考えられる。ただし、既往の研究⁹⁾より、リング継手部の剥離については施工中に作用するジャッキ推力の影響が支配的である可能性が高い。



ジャッキ推力の作用による剥離の概念

図-4.2.2 リング継手部の剥離の要因

表-4.2.3 セグメント隅角部に関連する作用⁹⁾

不具合発生パターン・不具合事象	不具合発生要因	施工時荷重 (作用荷重)					計画設計関連項目 (施工条件)					施工関連項目 (施工状態)					
		直接的荷重			付加的荷重		線形	セグメント構造・形状			シールド仕様	シールドジャッキ	テールクリアランス	オーバーカット	セグメント組立精度		
		ジャッキ 高推力	エレーター 荷重	裏込め 注入・テール クリアランス	ボルト 締結力	拘束力		シールド材 反力	急曲線、 勾配急変	セグメントの幅 広化						セグメントの厚の薄 の大型化	等分割等による Kセグメントの大型化
 セグメント隅角部 コンクリートの 欠け、及び漏水	d. スプレッドの偏圧 	◎	◎								◎						
		◎	◎									◎					
		◎	◎										◎				
 セグメント隅角部 コンクリートの 欠け、及び漏水	e. シールド・緩衝材による圧縮反力 	◎	◎									◎					
		◎	◎										◎				
		◎	◎											◎			
 セグメント隅角部 コンクリートの 欠け、及び漏水	f. 継手面コンクリートへの応力集中 	◎	◎	◎	△					△						◎	
		◎	◎	◎	△												◎
		◎	◎	◎	△												

【凡例】

主原因（直接的要因、非常に相関性が高い）
主原因となる可能性がある（条件的要因）
主原因ではないが発生条件として考慮すべき要因）
潜在的要因（間接的要因、影響度は低い）

◎
○
△

※1) d)については、ジャッキ推力が大きくなるほど不具合事象が顕著となる。

※2) f)については、セグメント形状（幅、厚さ、分割、Kセグメント形状、種別、外径など）により、不具合発生リスクが増大する。

※1) d)については、ジャッキ推力が大きくなるほど不具合事象が顕著となる。

※2) f)については、セグメント形状（幅、厚さ、分割、Kセグメント形状、種別、外径など）により、不具合発生リスクが増大する。

【凡例】
 ◎：主要因（直接的要因、非常に相関性が高い）
 ○：要因となる可能性がある（条件的要因、主要因ではないが発生条件として考慮すべき要因）
 △：潜在的要因（間接的起因、影響度は低い程度によっては発生条件となりうる要因）

(2) 剥離②：セグメント継手面に発生した剥離

セグメント継手面の剥離は、他の剥離とは異なり施工中の影響（施工時荷重の影響）を受ける可能性は低く、トンネル完成後に作用する土水圧に加えてトンネル内への一次貯留に伴う内水圧の作用（载荷-除荷の繰り返し）によりセグメントリングが変形し、シール材の反発力の一時的な増加や継手面同士の接触より継手面に過大な応力が発生し損傷に至った可能性が考えられる。

一方、現地調査により確認されたRCセグメントの剥離は、セグメント内面に対して小さい角度（10度程度）で生じているものが多く、また、シール材の深さに達していない軽微な剥離も生じていることが確認された。このような軽微な剥離は、隣接するセグメントとの局所的な接触によって剥離した可能性も考えられる。

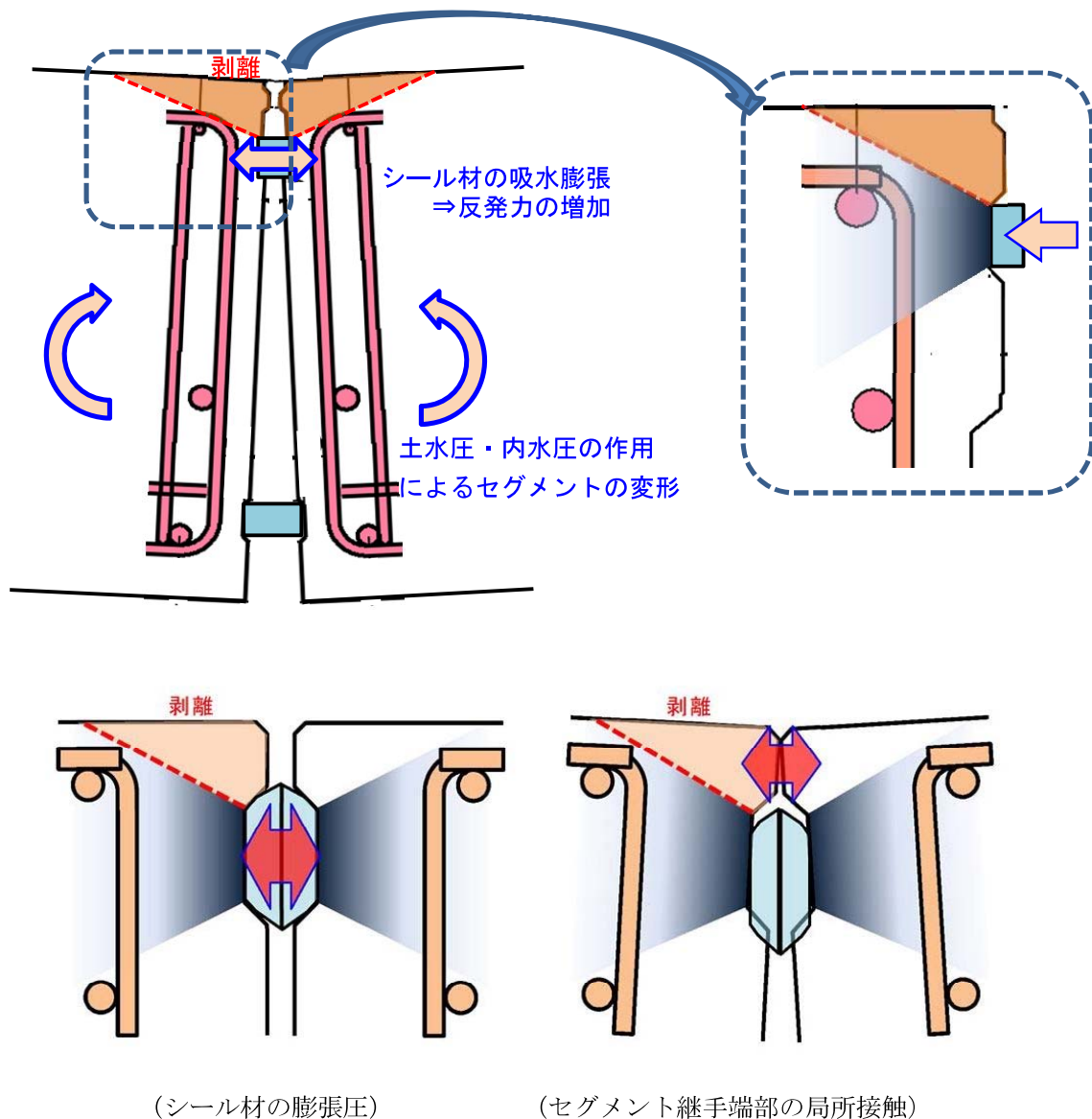


図-4.2.3 セグメント継手面の剥離の要因（例）

(3) ひび割れ（亀甲状）

亀甲状に発生したひび割れはトンネル内面全体に分布していることから、外力等が局所的に作用したことによる損傷とは考え難く、以下の理由が考えられる。

- ・変状トンネルの対策工設計マニュアル¹⁰⁾に示されているひび割れパターンと照合すると、当該のひび割れは次のいずれかに該当する可能性が考えられる。

①骨材中の泥分：コンクリートの乾燥につれて不規則な網目状のひび割れが発生

②長時間の練り混ぜ：運搬時間が長すぎたときなどに発生するひび割れ

- ・当該箇所は現場打ちコンクリート（鉄筋コンクリート構造）のため、一次貯留と排水の繰り返しの伴うセグメント内面の乾燥収縮の繰り返し作用を受け、内面全体にひび割れが発生した。
- ・上記以外の可能性として、発生位置が連結管の反対側であることから、連結管から流入した水の衝撃力が繰り返しダイレクトに作用することにより、床版等で見受けられる疲労破壊的なひび割れが発生した。

表-4.2.4(1) 「ひび割れパターンと変状原因」の該当の可能性評価¹⁰⁾

使用・環境条件に関係するもの

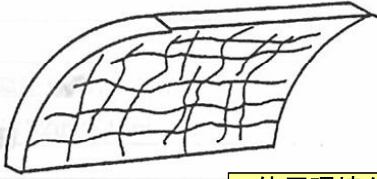
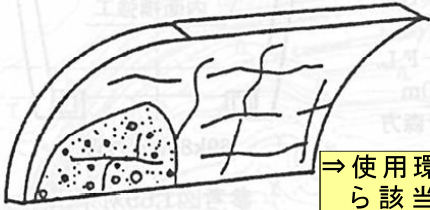
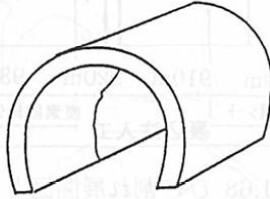
 1 凍結融解の繰返し 隅角部や水平ジョイント部の斜めひび割れや長手方向のひび割れ、スケーリングなどが特徴である。	 ⇒使用環境から該当せず 2 火災、表面加熱 急激な温度上昇と乾燥により網目状の微細なひび割れとともに梁、柱にほぼ等間隔の太目のひび割れが入る。また、部分的に爆裂して剥落することがある。
 ⇒使用環境から該当するが、可能性は低い 3 酸・塩類の化学作用 コンクリート表面が侵され、多くは鉄筋位置にひび割れが生じ、一部コンクリート表面が剥落することもある。露出した鉄筋の進行は激しい。	 4 部材両面の温度・湿度の差 外部が高温または高湿、内部が低温または乾燥の場合、ひび割れは拘束部材隣接部付近の低温または乾燥側に発生する。初期の段階では、ひび割れは貫通していないが、繰返し作用により時間がたつと貫通することがある。
 ⇒使用環境から該当するが、可能性は低い 5 中性化による内部鉄筋の錆、侵入塩化物による内部鉄筋の錆 ひびわれは、鉄筋に沿って発生する。ひび割れ部分からは錆が流出し、コンクリート表面を汚すことが多い。鉄筋の腐食が著しい時にはコンクリートの剥落もある。	

表-4.2.4(2) 「ひび割れパターンと変状原因」の該当の可能性評価¹⁰⁾

材料的性質に関するもの

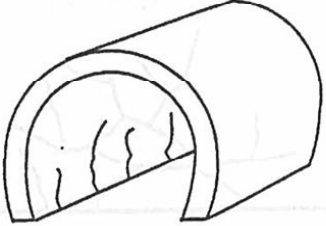
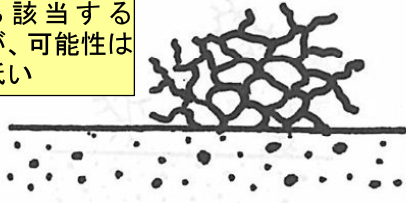
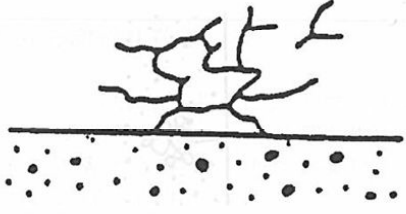
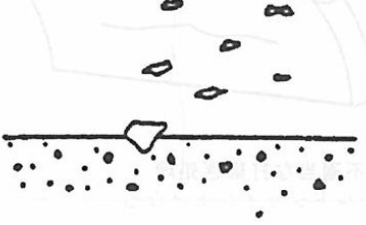
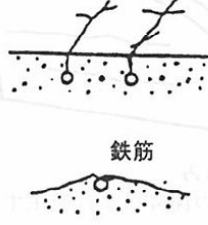
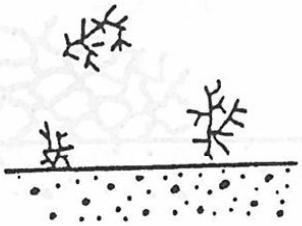
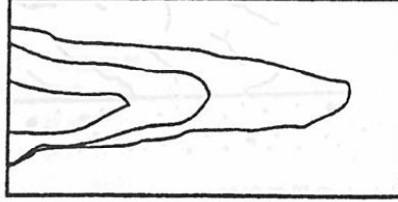
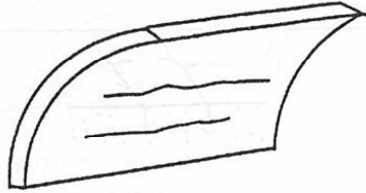
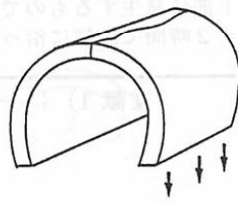
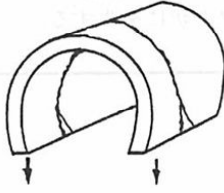
 6 セメントの水和熱 巻厚の厚い (t=80cm 以上) 断面に発生しやすい。	⇒使用環境から該当するが、可能性は低い  7 アルカリ骨材反応 柱・梁などでは軸方向鉄筋の位置にあまり関係なく、その材軸方向にほぼ平行に現れる。また、壁・擁壁などでは方向性のないマップ状に現れる。
 8 セメントの異常凝結 短く、不規則なひび割れが比較的早期に発生する。	 9 骨材中の泥分 コンクリートの乾燥につれて不規則な網目状のひび割れが発生する。 ⇒使用環境から該当する
 10 風化岩や低品質な骨材 ポップアウト状に発生する。	 鉄筋 11 沈みひび割れ 上端鉄筋上部に発生するもので、コンクリート打設後 1 ～ 2 時間で鉄筋に沿って発生する。

表-4.2.4(3) 「ひび割れパターンと変状原因」の該当の可能性評価¹⁰⁾

施工に関するもの

 12 混和材の不均一な分散 膨張性のものと収縮性のものとがあり、部分的に発生する。	 13 長時間の練り混ぜ 運搬時間が長すぎた時などに発生するひび割れで全面網目状となる。 ⇒使用環境から該当するが、品質管理が徹底されており、可能性は低い
 14 不十分な締固め	  15 急速な打込み コンクリートの沈降により発生する。 16 不適当な打継ぎ処理 コールドジョイントとなる。
 17 支保工の沈下（片側脚部の沈下）	 18 支保工の沈下（縦断方向の不等沈下）

(4) ひび割れ（本体部）

実態調査を実施したトンネルは供用後数年が経過していることや坑内の証明が十分ではなかったことから、とくに目立ったひび割れは確認されなかった。このため、本体のひび割れについては本研究会の対象外とする。

(5) 継手ボックス等からの漏水

継手金物や吊り具等より、一部では錆汁を伴う漏水が確認されている。この要因としては、以下のことが考えられる。

- ・継手部からの漏水は、セグメントリングの変形に伴い、継手金物周りのコンクリートとの縁切れ（水みちの発生）や貫通ひび割れの発生等による影響が考えられる。
- ・高水圧条件下にある神田川Ⅰ期や外郭放水路第Ⅱ工区で採用された継手金物の寸法は大きく、トンネル内面の平滑を図るために継手部に埋められたモルタルの乾燥収縮量も大きいことから、地下水の進入に対する止水効果が十分ではなかった可能性が考えられる。
- ・錆汁は、漏水に伴って鉄筋、継手金具、吊り具等の鋼製部材が発錆したことによるものと考えられる。
- ・吊り具周りからの漏水は、吊り具周りの止水性が十分ではなかったために地下水等が進入した可能性が考えられる。

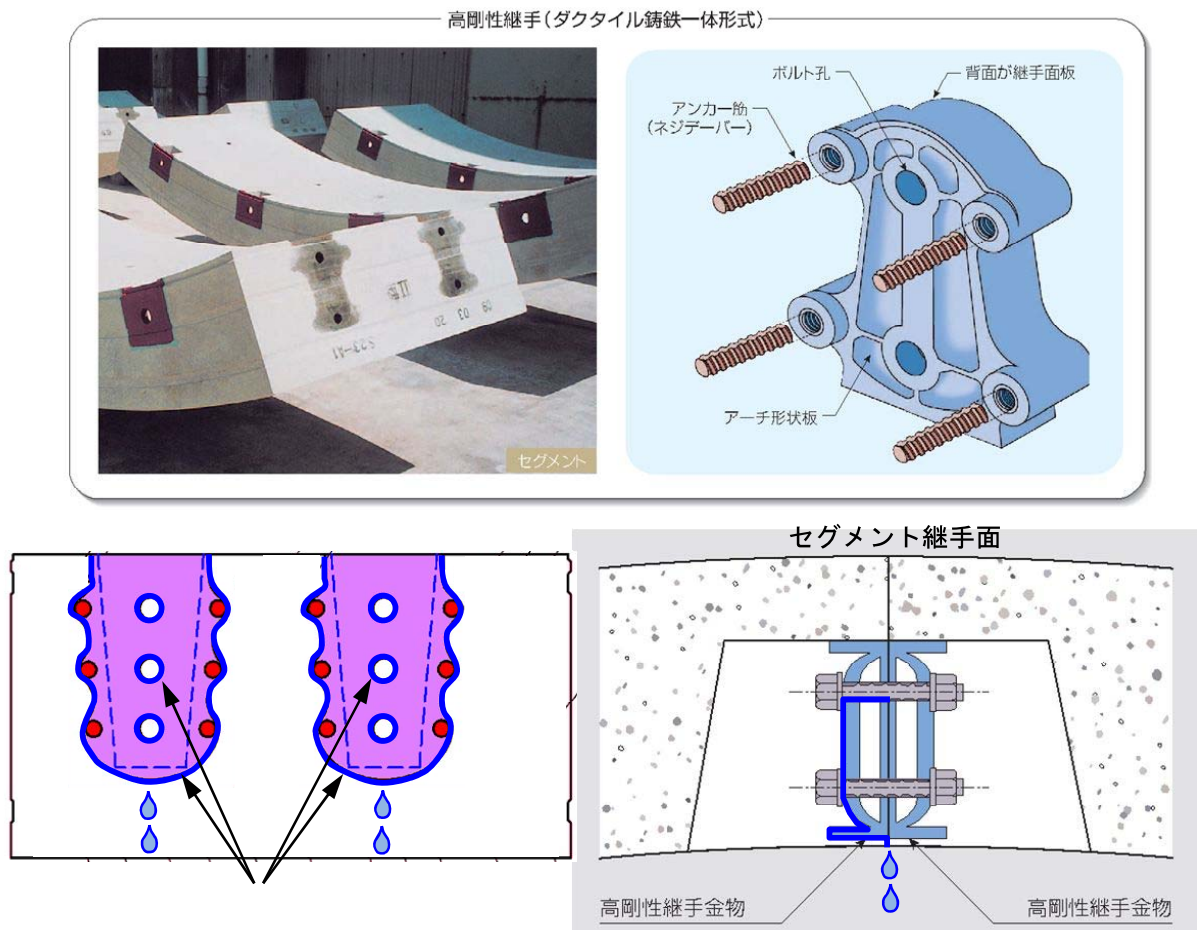


図-4.2.4 漏水の発生経路（水みち）

4.3 数値解析による損傷原因の分析方針の検討

4.3.1 対象損傷

R Cセグメント端部の剥離損傷を解析対象とする。

本研究会は、一時的に内水圧が作用する貯留管である首都圏外郭放水路や神田川・環七地下調節池に供用後生じたR Cセグメント剥離損傷の原因追求と対策検討を目的としている。そのため、このR Cセグメントの剥離損傷を解析対象とする。



(首都圏外郭放水路第三工区)



(神田川・環七地下調節池第Ⅰ期)

図-4.3.1 R Cセグメントの損傷状況

4.3.2 損傷メカニズム

R Cセグメント端部の剥離損傷はシール材の膨張圧と外圧によって生じるとされている。一方、シール材の深さに達していない軽微な剥離も生じていることから、隣接するセグメントとの局所的な接触によって剥離した可能性も考えられる。

R Cセグメントの端部剥離損傷が生じている首都圏外郭放水路や神田川・環七地下調節池のような大深度貯留管では、通常、管内は空水状態のため外圧（地下水圧＋土圧）のみがセグメントに作用するが、洪水時には立坑より上の地表面付近まで水位が上がり管内は満水状態になることから、一時的にセグメントに大きな内水圧が作用する。そのため首都圏外郭放水路では、洪水時の内水圧によってセグメントの継手面が開口し、開口したセグメント間に浸透した水をシール材が吸水膨張することでシール材の反発力は増加し、その状態が保持されたまま管内の排水後に内水圧が無くなり外圧のみの状態に戻ることによって、シール材の膨張圧に外圧による力が作用することにより、R Cセグメントのコンクリートの剥離が生じるとしている。

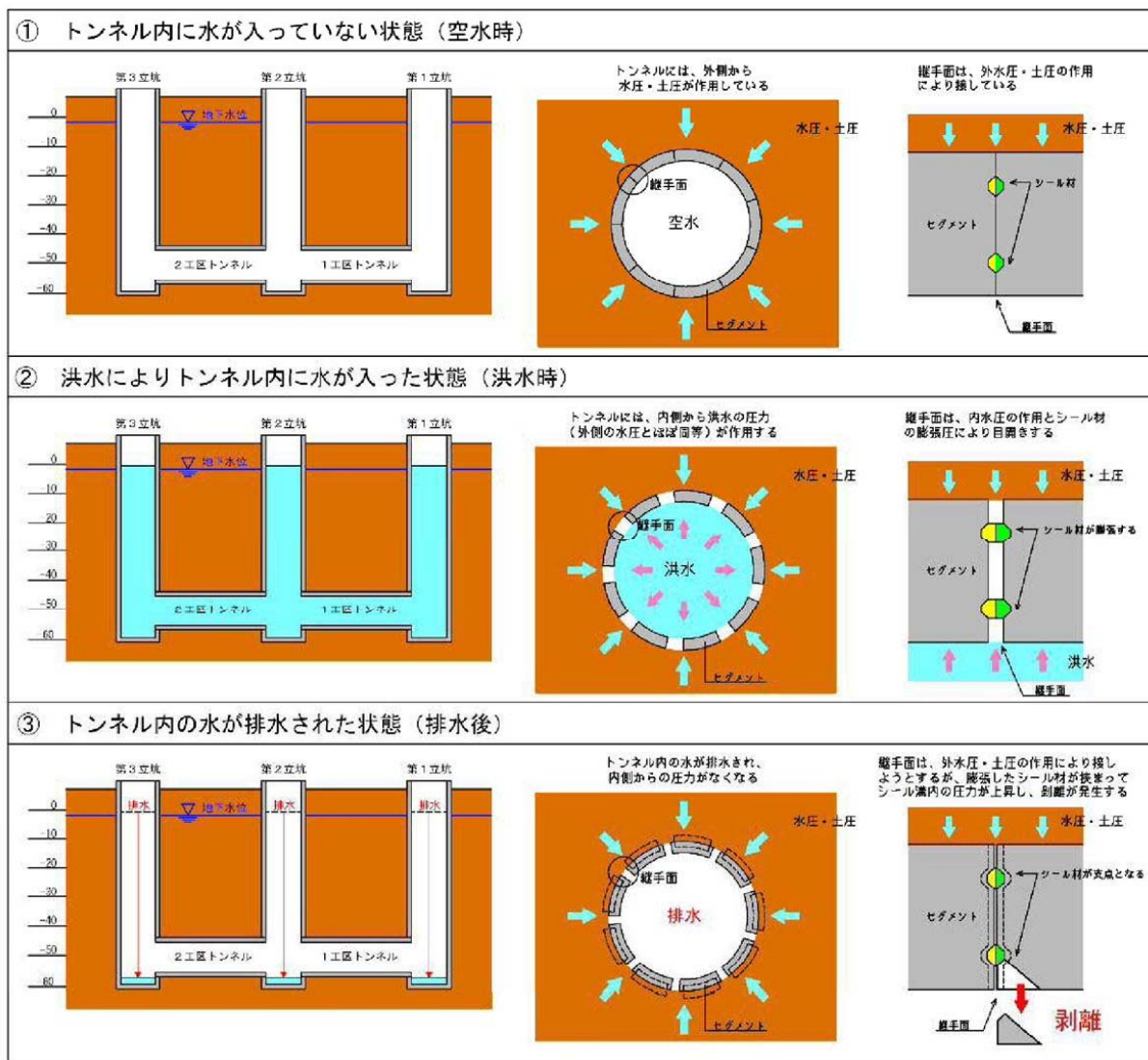


図-4.3.2 首都圏外郭放水路における損傷メカニズムの説明¹¹⁾

一方、RCセグメントの剥離は、セグメント内面に対して小さい角度（10度程度）で生じており、シール材の深さに達していない軽微な剥離も生じていることから、隣接するセグメントとの局所的な接触によって剥離した可能性も考えられる。



図-4.3.3 シール材に達していない軽微な損傷（神田川・環七地下調節池第Ⅰ期）

4.3.3 解析目的

解析は、RCセグメントの剥離損傷の主要因が、①シール材の膨張圧なのか、②セグメントの局部接触なのかを確認することを目的とする。

RCセグメントの剥離損傷の主要因が、①シール材の膨張圧なのか、②セグメントの局部接触なのかによって対応策の対象が異なる。そのため解析では①と②のどちらが剥離損傷の主要因なのかを確認することを目的とする。

4.3.4 解析方針

解析は、以下に示す2つを確認するために実施する。

- ①トンネル規模がトンネル断面の変形に与える影響
- ②セグメントが剥離損傷を起こすために必要な力とその作用位置および方向

①について

首都圏外郭放水路や神田川・環七地下調節池のように内径が10mを超える貯留管においてRCセグメントに剥離損傷の発生が報告されているが、内径が6m程度の貯留管ではこのような損傷の発生は報告されていない。シールドトンネルの内径が大きくなればトンネル断面に対する部材断面が小さくなるため、外力の変化に伴う断面方向の変形の違いがセグメントの剥離に影響を与えている可能性が想定される。そのため、はりばねモデルによるフレーム解析によってトンネル規模の違いがトンネルの断面方向変形に与える影響を確認する。

②について

RCセグメントの剥離損傷の形態は、シール材に至らない浅く軽微なものからシール材に至る比較的深いものまである。また、図-4.3.2に示す首都圏外郭放水路の損傷メカニズムの説明図では、剥離面（せん断面）の角度がセグメント内面に対して45度程度で図示されているが、実際の剥離は10度程度の浅い角度で剥離面（せん断面）が生じている。これは、局所的な外力の作用位置と作用方向の違いによるものと想定される。そのため、二次元FEM解析により、シール材の膨張圧とセグメントの局部接触をした場合に想定される外力の作用ケース設定し、せん断破壊に必要な外力の大きさを確認する。

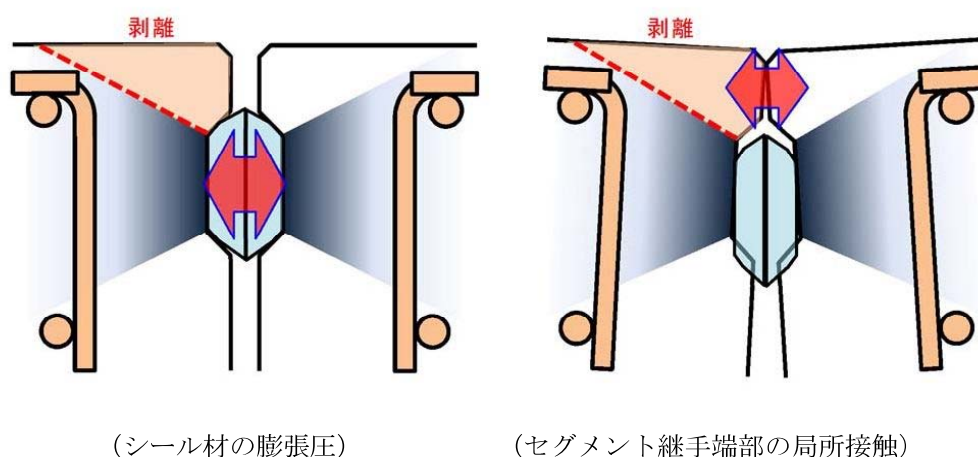


図-4.3.4 二次元FEM解析のイメージ

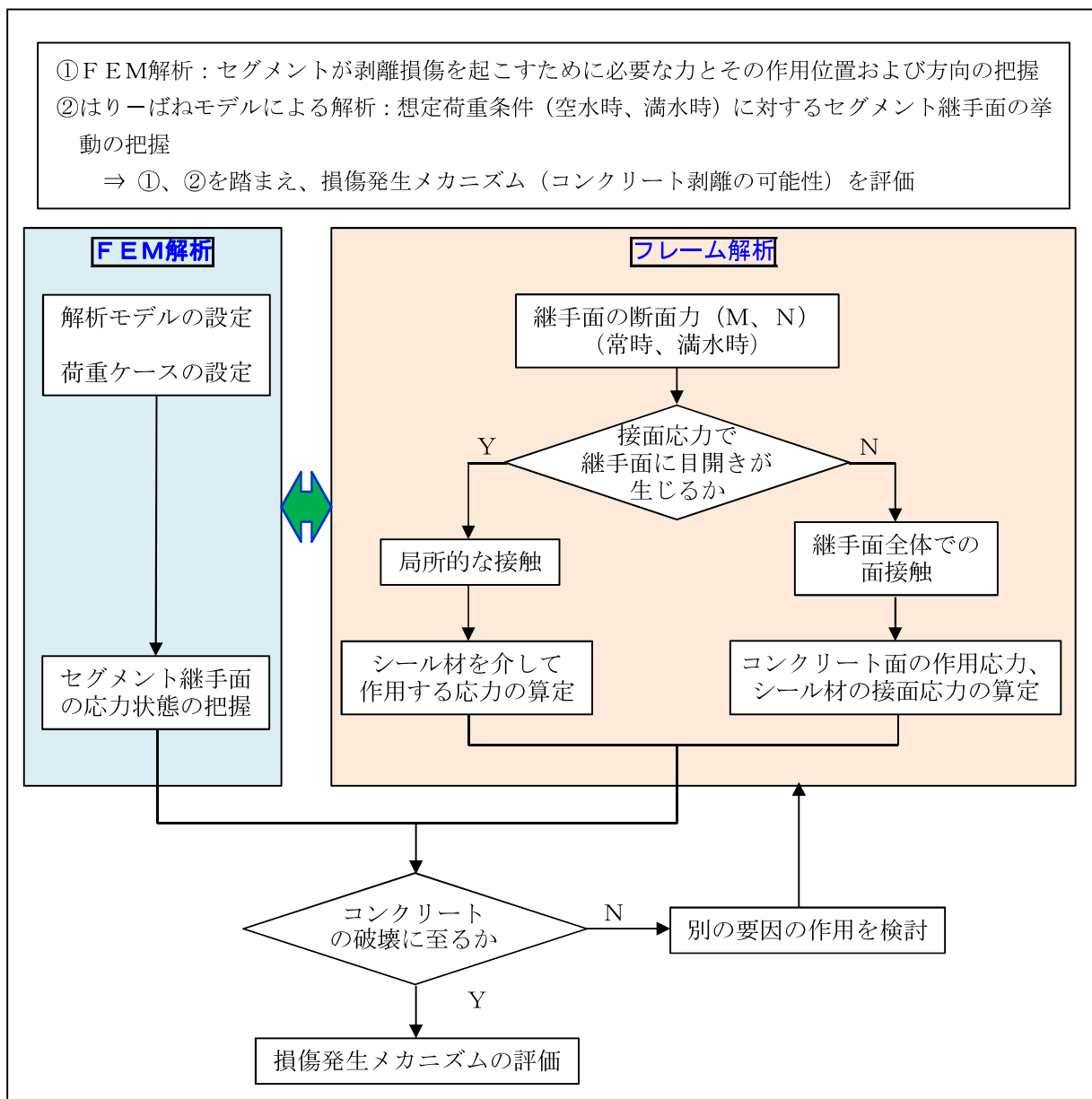


図-4.3.5 数値解析フロー

4.3.5 解析ケース

(1) 内径がトンネル断面の変形に与える影響

内径がトンネル断面の変形に与える影響を把握するためのフレーム解析は、トンネル規模と作用力をパラメータとし、下記ケースに対して実施する。

シールド内径：① 10 m、② 6 m

シールド作用力：①セグメント組み立て時（自重のみ）、②外圧（土圧＋外水圧）作用時、③内水圧作用時

内径がトンネル断面の変形に与える影響を把握するためのフレーム解析では、解析にて考慮するパラメータとしてシールド内径と作用力の2つに着目する。フレーム解析によるトンネルの変形からセグメント間の変形角（回転角）を算出し、セグメント内面縁端での局部接触の可能性を確認するとともに、軸力から二次元FEM解析に用いる作用外力（軸応力）を算出する。

（トンネル規模）

シールド内径は、関東地域でRCセグメントの剥離損傷が生じているシールドトンネルの内径が10 m程度であることと、関西地域で今後計画されているシールドトンネルの内径が6 m程度であることから、この2つを解析対象とする。なお、解析に用いる諸元は、内径10 mのケースでは、実際に剥離損傷が生じている首都圏外郭放水路を対象とし、内径6 mは想定される標準的なシールドを対象とする。

（シールド作用力）

シールドトンネルは、施工中にセグメントの搬入、組み立て、裏込め注入、ジャッキ推進、施工後に土圧及び外水圧の作用と内水圧の作用が繰り返される。本解析では、シールドトンネルへの作用力の変化が断面変形に与える影響を調べるために、セグメントリングの構造解析で考慮されている①セグメント組み立て時（自重のみ）、②外圧（土圧＋外水圧）作用時、③内水圧作用時の3つに着目する。この3つの状態における断面変形からセグメント間の変形角を算出し、次項に示す二次元FEM解析に荷重又は強制変位として反映させる。

(2) セグメントが剥離損傷を起こすために必要な力とその作用位置および方向

セグメントが剥離損傷を起こすために必要な力とその作用位置および方向を把握するための二次元FEM解析は、例えば下記のケースを想定する。

- ・ ケース①：シール材膨張圧

作用力：シール材膨張圧

作業位置：シール溝内面

作用方向：シール溝内面直角方向

- ・ ケース②：シール材膨張圧＋セグメント軸力（シール材接触）

作用力：シール材膨張圧＋セグメント軸力

作業位置：シール溝内面

作用方向：セグメント軸方向（シール材膨張圧＋セグメント軸力）及び軸直角方向（シール材膨張圧）

- ・ ケース③：セグメント軸力（セグメント内面接触）

作用力：セグメント軸力

作業位置：セグメント内面縁端※

作用方向：セグメント軸方向

※作用範囲をセグメント内面縁端からシール溝間と同1／2の範囲と仮定。

- ・ ケース④：シール材膨張圧＋セグメント軸力（シール材とセグメント内面の2点接触）

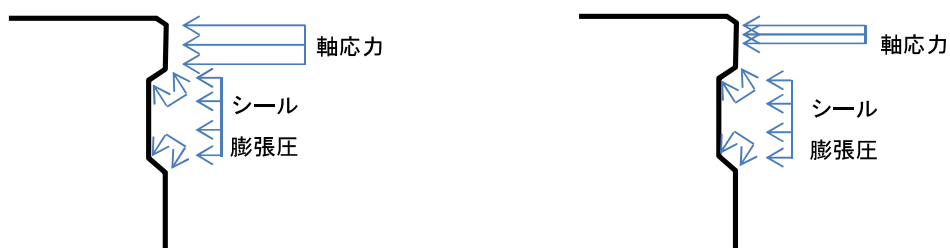
ケース②とケース③の組み合わせ、但しセグメント軸力はシール溝とセグメント内面で1／2ずつ分担するものと仮定。

二次元FEM解析では、セグメントに働く局部応力の分布と大きさを確認する。セグメントに作用する外力の作用位置には、シール溝に作用する場合と内面縁端が接触した場合の2つが想定され、作用力はシール材の膨張圧とセグメントの軸力（軸応力）が想定される。そのため二次元FEM解析では、外力の作用位置と作用力の違いが内部応力に与える影響を確認することを目的に、例えば上記に示すケース①からケース④の解析を実施し、実態調査にて確認されたセグメントの剥離損傷とを比較する。

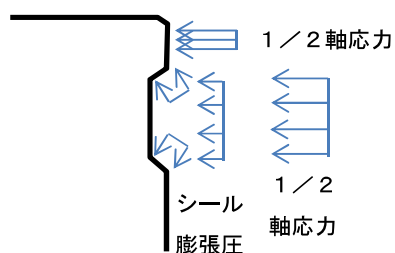


ケース①：シール材膨張圧

ケース②：シール材膨張圧＋セグメント軸力（シール材接触）



ケース③：セグメント軸力（セグメント内面接触）



ケース④：シール材膨張圧＋セグメント軸力
（シール材とセグメント内面の2点接触）

図-4.3.6 作用荷重の例

【第4章 参考文献】

- 1) 財団法人先端建設技術センター：「地下河川（シールドトンネル）－ 内水圧が作用するトンネル覆工構造設計の手引き」, 2016.
- 2) 日本下水道協会：「シールド工事用標準セグメント」, 2001.
- 3) 東京都下水道サービス：「下水道シールド工事用二次覆工一体型セグメント設計・施工指針」, 2009.
- 4) 例えば、土木学会：「2016年制定 トンネル標準示方書（シールド工法）・同解説」, 1999.
- 5) 土木学会：「トンネルライブラリー第23号 セグメントの設計【改訂版】」, pp.65-66, 2009.
- 6) 村上、小泉：「シールド工事用セグメントのセグメント継手の挙動について」, 土木学会論文報告集 第296号, pp73-86, 1980.
- 7) 鉄道総合技術研究所：「SI単位版 鉄道構造物等設計標準・同解説 シールドトンネル」, 2002.
- 8) 首都高速道路株式会社：「トンネル構造物設計要領(シールド工法編)」, 2008.
- 9) 土木学会：「トンネルライブラリー第17号 シールドトンネルの施工時荷重」, pp.70-73, 2006.
- 10) 財団法人鉄道総合技術研究所：「変状トンネル対策工設計マニュアル」, pp.174-176, 1998.
- 11) 高柳、山藤、佐々木、佐藤：「内水圧が作用するセグメントの剥離現象の考察」, トンネルと地下 第37巻 3号, pp53-59, 2006.

5. 内水圧によるシールド管渠の変形と損傷に関する考察

本章では、剛な模型管を遠心場で強制的に引き上げた実験の測定結果^{1)~5)}を用いて、模型管に加えた引上げ力を浮力と見做した時の土圧と管の変形の関係を推定し、外水圧相当の大きさの内水圧が付加された時に RC セグメントに発生する損傷のメカニズムについて考察する。

5.1 模型管の引き上げ実験と測定結果

(1) 模型と実験方法

模型管は外径 D が 9 cm の硬質アルミ製で、図-5.1.1 に示したように二重環構造になっており、剛な内環に固定された受圧部支柱に生じる軸ひずみと曲げひずみから受圧部に対して垂直方向に働く垂直土圧 σ と接線方向に働くせん断土圧 τ を測定できる。管表面は滑らかに仕上げてある。

写真-5.1.1 と図-5.1.2 に模型と実験装置を示す。模型は原型の 1/6.7 の二次元模型で、模型管の土被り高 H は 18 cm、基礎厚 H_b は 10 cm である。遠心加速度 6.7 G 場に対応する原型寸法は、 $D=60$ cm、 $H=120$ cm、基礎厚 $H_b=67$ cm である。

図-5.1.2 に示したように、模型管は 2 本の鋼棒で吊られており、これを遠心加速度 6.7 G 場で油圧シリンダーにより引き上げ、引上げ量と管に働く垂直・せん断両土圧の分布を測定した。また、引上げ過程の地盤変形を写真撮影により捉えた。

実験は、細粒分含有率の異なる 3 通りの地盤材料について、地盤密度をそれぞれ 2 通りに変えた合計 6 ケースについて行った。

(2) 代表的な測定結果

図-5.1.3 と図-5.1.4 に管を引き上げた過程で得られた代表的な測定結果を示す。これらはいずれも細粒分を含まない乾燥珪砂を用いて地盤密度を $\rho_d=1.55$ g/cm³ (密詰め地盤) と 1.43 g/cm³ (ゆる詰め地盤) に変化させた場合の結果である。両図の(a)がロードセルによって測定された引上げ力を管直上の土塊重量で除した値、(b)が地盤変形、(c)が管に働いた土圧 σ と τ の分布を示す。 σ と τ は極座標表示である。

また、管の引上げ過程で撮影した地盤変形を写真-5.1.2 と写真-5.1.3 に示す。これらの写真に付した数値は管の引上げ量を示す。

これらの測定結果から以下が分かる。

- ・ どの段階でも、 τ は σ よりもかなり小さく、管面を土が滑っていることを示す。
- ・ 引き上げ前の①では、管の引上げ力 P_v はゼロで、管に下向きに働く荷重 (= 管の上半分に働く土圧総量 + 管自重) が管の下半分に働く反力土圧の総量と釣り合って、管は地中に静止している。
- ・ 引上げ初期には、管の引上げ力 P_v が管に下向きに働く荷重と等しくなった時点で反力土圧がゼロとなる。管はまだ動いていない。
- ・ 管の引上げにつれて鉛直土圧総量 (= 管の引上げ力) P_v は増大し、③でピークを示した後、減る。 σ は、③までは管頂への集中が増大し、以降は写真-5.1.2 と写真-5.1.3 に示したように、地盤中のせん断面の発達につれて管頂以外で減る。

5.2 実験結果から想定される現象

遠心実験で測定された土圧分布は、引上げ力 P_v を外水圧による浮力と見做した場合にシールド管渠（以下、管渠と呼ぶ）に生じる反力土圧分布のイメージを表すと考えられる。よって、5.1 で述べた実験結果から、以下のようなメカニズムにより RC セグメントの損傷が生じていると推定される。

- ・ 地下水位よりも上に築造された管渠には、管渠の上半分に作用する土圧の総量と管渠の自重が下向きに働き、管渠の下半分に作用する上向きの反力土圧の総量とバランスしている（＝図-5.1.3 と図-5.1.4 の①の状態）。この状態で管渠は扁平となるが、この時点初期状態として管渠が真円であると仮定する。
- ・ 一方、地下水位以下に築造された管渠で内水圧が無い場合、外水圧はバランスせず、管渠には浮力が作用する。その結果、図-5.2.1 に示すように、管渠に働く浮力と管渠の上半分に下向きに働く反力土圧が釣り合うことになる。この状態で、管渠は実線で示した真円から破線で示したように変形して扁平となるので、管渠の内面は管頂と管底で伸び、管側で縮む。
- ・ つぎに、管渠に外水圧相当の内水圧が加わると、図-5.2.2 に示すように、浮力が消滅し、管渠は元の真円に戻る。内水圧が無い場合（図-5.2.1）に比べて、管渠内面は管頂と管底で縮み、管側で伸びる。
- ・ この内水圧の除荷と载荷による変形の繰返しによって RC セグメントの損傷が発生していると想定される。

5.3 現地調査の結果との対応について

「首都圏外郭放水路」の RC セグメントの損傷を考察した文献⁶⁾によれば、「内水圧負荷によってシールド管渠に作用する軸力が減少→管渠断面が均等に膨張→セグメント継手の間隔が拡大→シール材が膨張→内水圧除荷により管渠断面が均等に収縮→セグメント継手の間隔が縮小→膨張したシール材に応力集中→RC セグメントの破損に至る」というメカニズムが示されている。「首都圏外郭放水路」では、2章と3章で述べたように、シール材の膨張スピードが大きい工区で損傷が多発したという事実があり、この推定破損メカニズムは損傷実態をうまく説明できていると考えられる。

一方、この文献⁶⁾に示された推定破損メカニズムによれば、RC セグメントの損傷はトンネル断面のどの位置でも生じる可能性がある。ところが現地調査の結果（2章、3章）によれば、「首都圏外郭放水路」で観察されたセグメントの損傷は管頂付近に集中する傾向があり、トンネルの場所に拘わらず万遍無く損傷が発生している状況には無かった。また、「神田川・環七地下調整池」では、管頂付近と併せて管側付近にも損傷が発生していた。なお、管底部におけるセグメント損傷の有無は、「首都圏外郭放水路」、「神田川・環七地下調整池」とも、インバートコンクリートが打設されていたため、確認できなかった。

以上から、RC セグメントの破損メカニズムとしては、文献⁶⁾に示された軸力減少に加えて、5.2 で述べた浮力の载荷除荷の繰返しに伴うシールド管渠の変形も考慮に入れるのが合理的と考えられる。

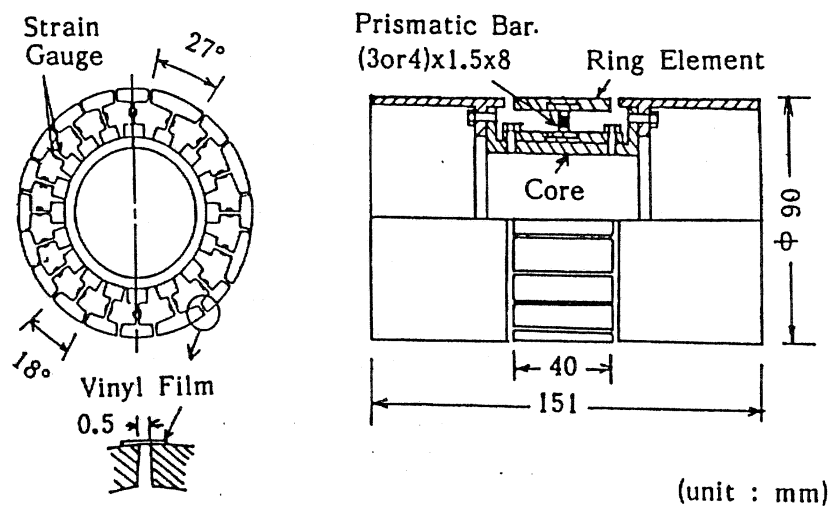


図-5.1.1 模型管

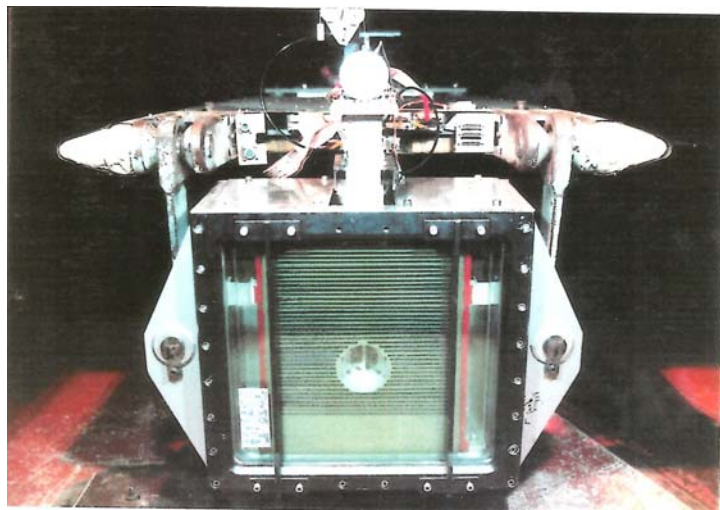


写真-5.1.1 模型と実験装置

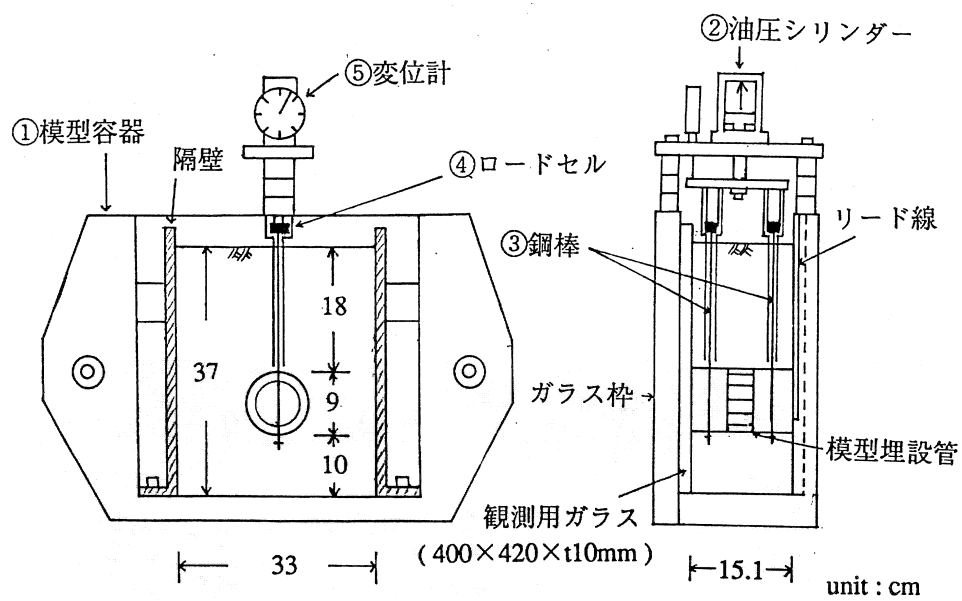
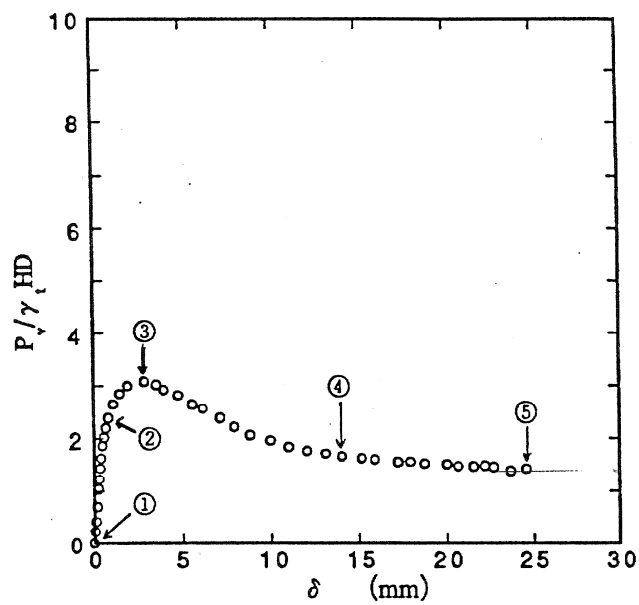
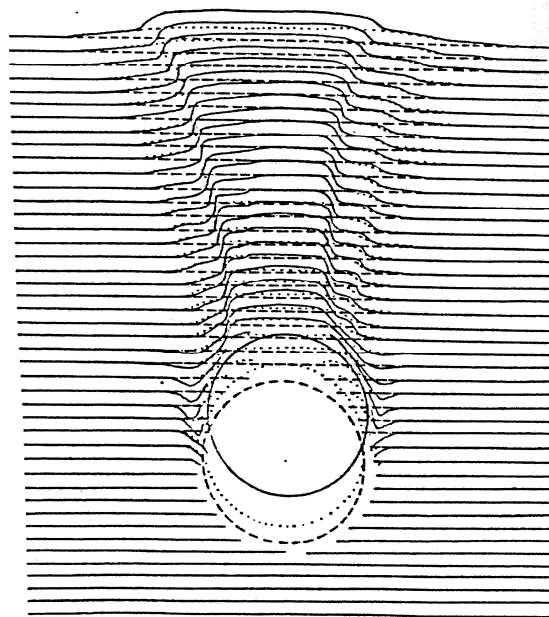


図-5.1.2 実験装置



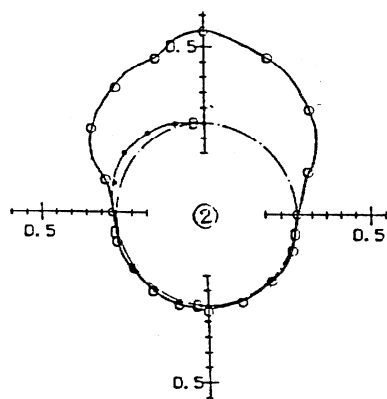
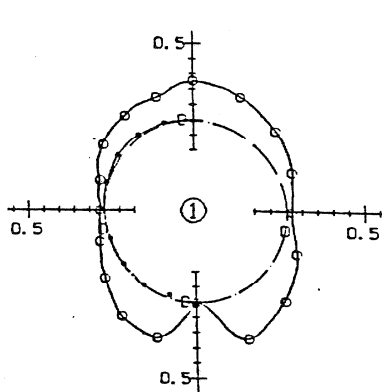
(a) 引上げ量－土圧総量



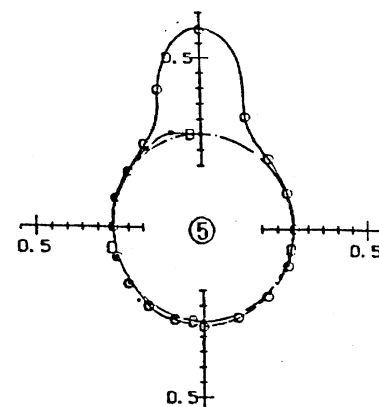
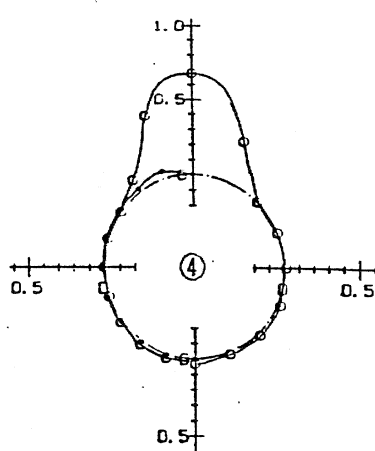
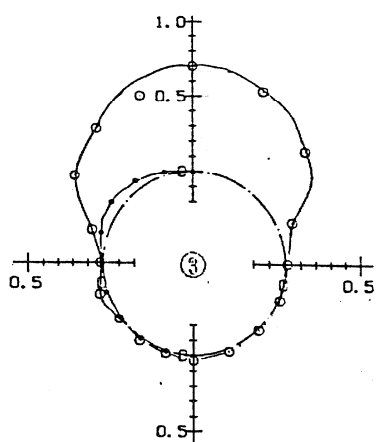
管の引上げ量

----- 0
 0.1D
 ————— 0.3D

(b) 地盤変形

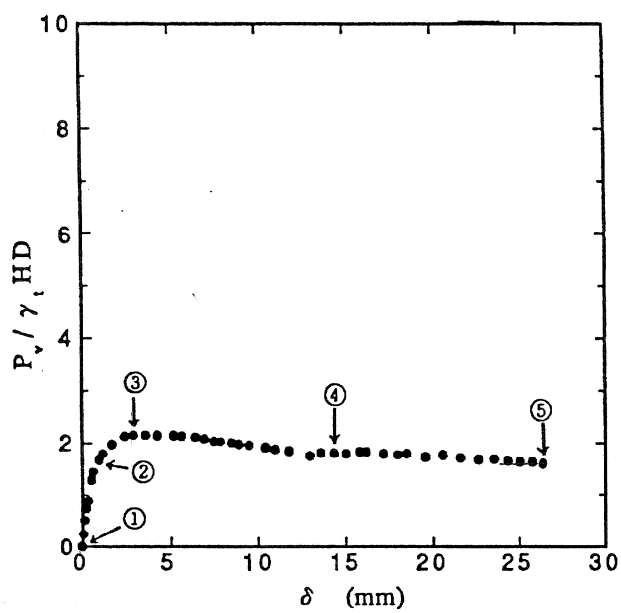


σ τ unit: kgf/cm²
 —○— —●—

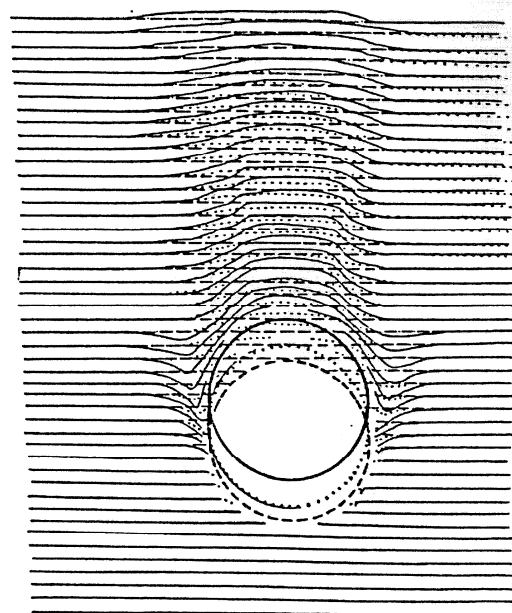


(c) 土圧分布の変化

図-5.1.3 実験結果(乾燥珪砂・密詰め地盤)



(a) 引上げ量－土圧総量



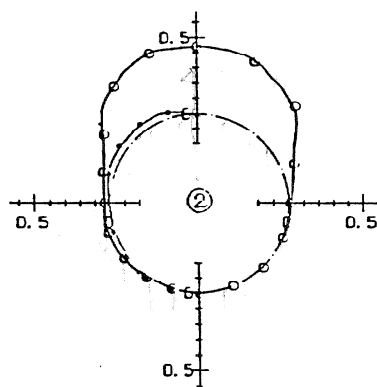
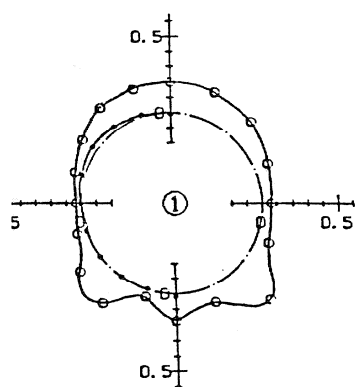
管の引上げ量

----- 0

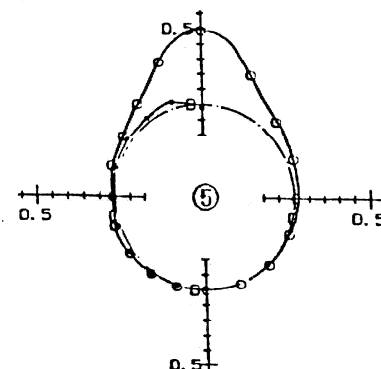
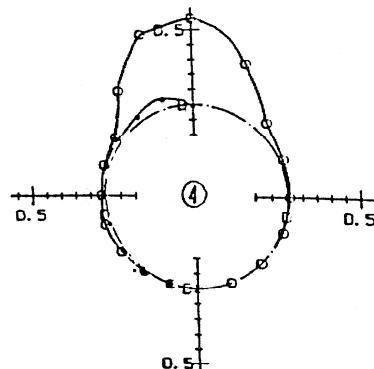
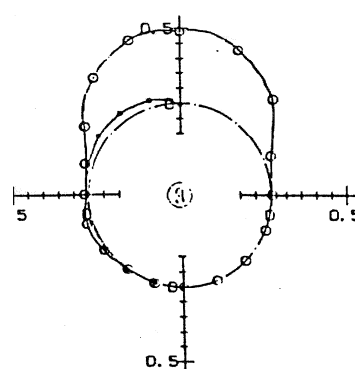
..... 0.1D

———— 0.3D

(b) 地盤変形

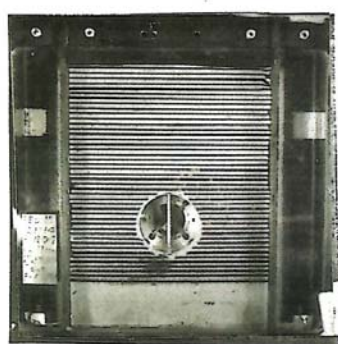


σ τ unit: kgf/cm²

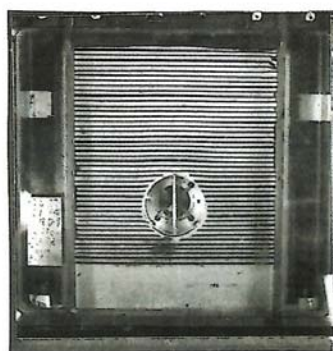


(c) 土圧分布の変化

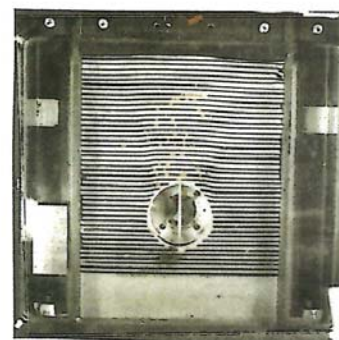
図-5.1.4 実験結果(乾燥珪砂・ゆる詰め地盤)



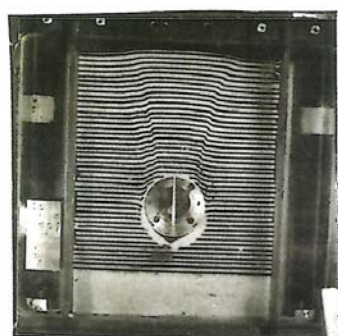
0 mm



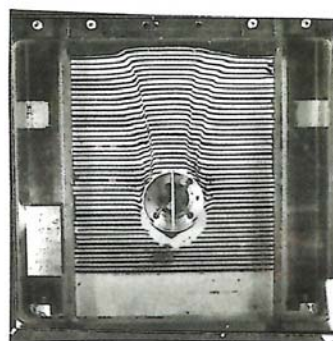
2 mm



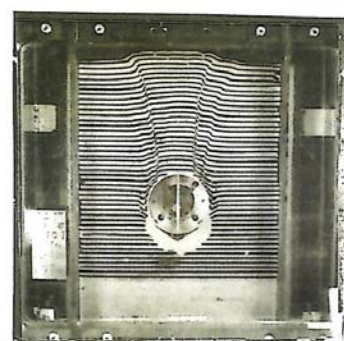
4 mm



12 mm

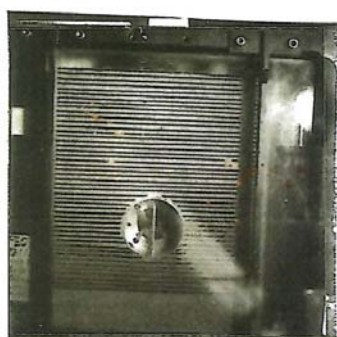


18 mm

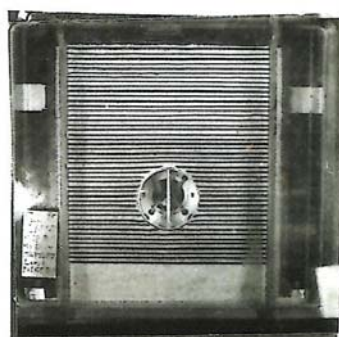


24 mm

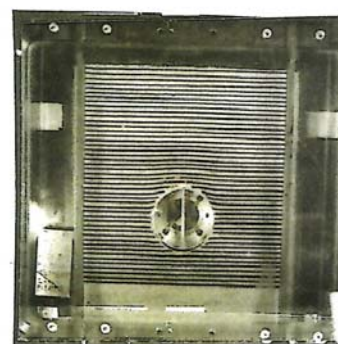
写真-5.1.2 管の引き上げ段階の地盤変形(乾燥珪砂・密詰め地盤)



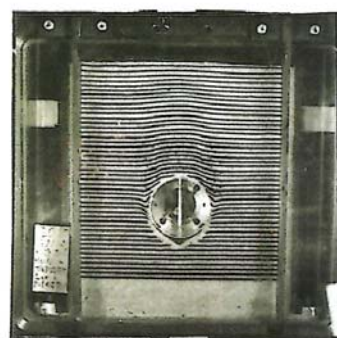
0 mm



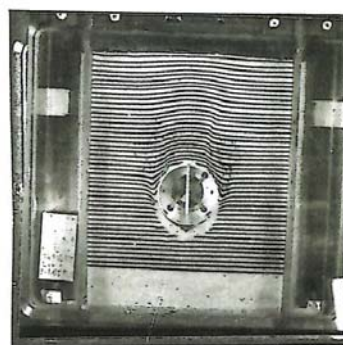
2 mm



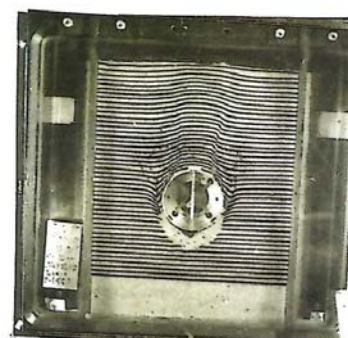
4 mm



12 mm



18 mm



24 mm

写真-5.1.3 管の引き上げ段階の地盤変形(乾燥珪砂・ゆる詰め地盤)

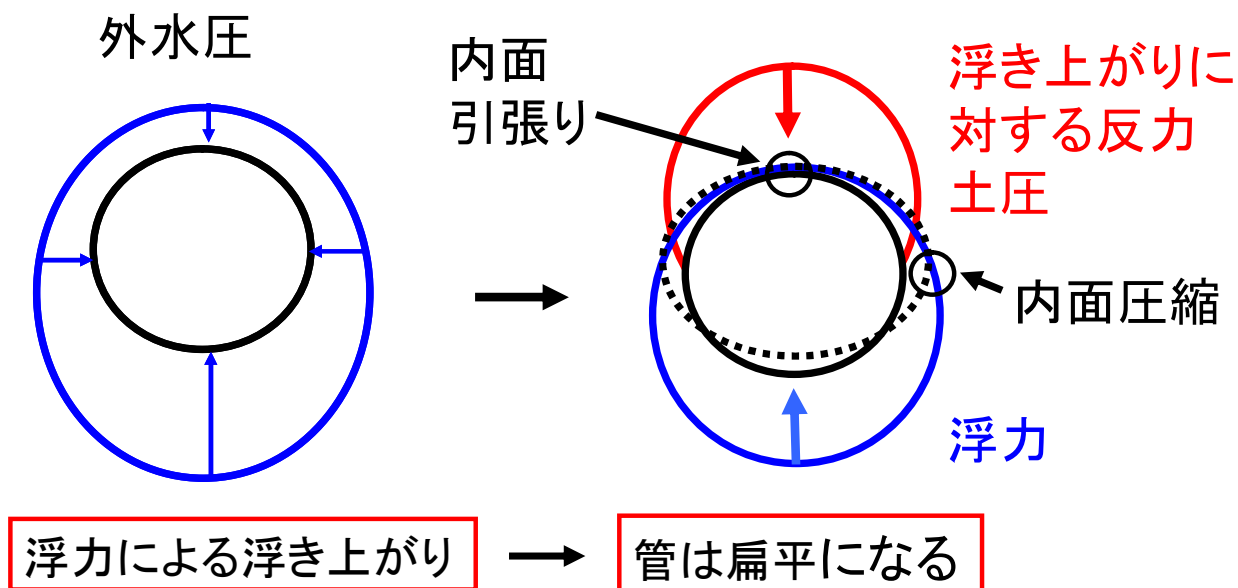


図-5.2.1 浮力と反力土圧によるシールド管渠の変形

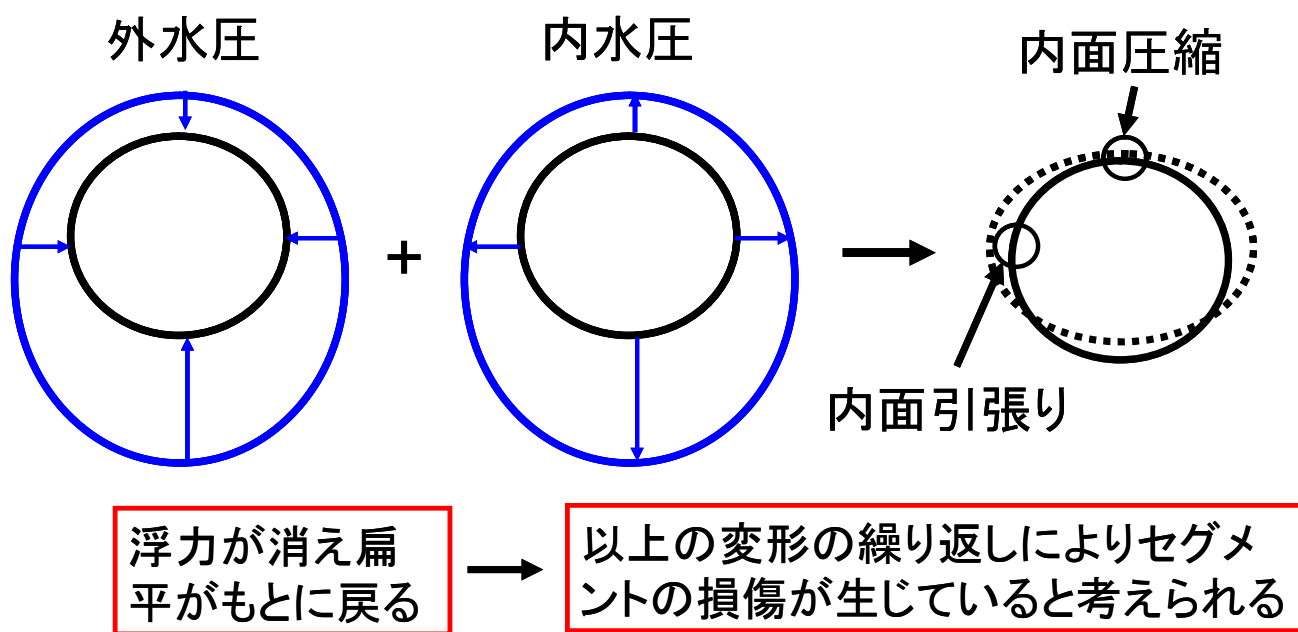


図-5.2.2 内水圧によるシールド管渠の変形

[第5章 参考文献]

- 1) 東田淳、足立邦靖、小川安雄、岡正治郎(1991): 遠心模型による埋設管の引上げ実験、第26回土質工学研究発表会、665、pp.1769-1772.
- 2) 永田常雄(1993): 遠心模型による地中埋設管の引上げ・引下げ実験、大阪市立大学工学部土質工学研究室卒業論文.
- 3) 東田淳、李黎明、永田常雄、小川安雄、清水健司(1993): 地盤が沈下するときに埋設管に働く土圧、第28回土質工学研究発表会、860、pp.2289-2290.
- 4) 矢野博彦、東田淳、佐野洋平、森本和人、新井偉史(2002): 浅埋設される大口径管の浮上抵抗に関する遠心実験と予測モデル、土木学会第57回年次学術講演会、III-215、pp.429-430.
- 5) 東田淳、八谷誠、徳増健、高塚義則、佐野洋平(2005): 遠心模型による埋設管路の軸方向挙動の検討、土木学会論文集、第792号/III-71、pp.45-59.
- 6) 高柳淳二、山藤稔、佐々木一英、佐藤元治(2006): 内水圧が作用するセグメントの剥離現象の考察 ― 外郭放水路 第一工区・第二工区一、トンネルと地下、427号、Vol.37、日本トンネル技術協会、2006.

(文責: 東田 淳)

6. 残る課題と来年度の活動方針

本章では、本共同研究グループの平成 29 年度の活動で残った検討課題と平成 30 年度の活動方針について述べる。

① 損傷実態調査の追加と損傷対策の立案

- ・ 2017 年度の WG1(損傷実態分析 WG)の研究成果を整理し、地下貯留トンネルの損傷実態の調査を追加する。
- ・ WG4(損傷対策 WG)を組織し、損傷実態を踏まえた損傷対策を検討立案し、提案する。
- ・ 例えば、可能な場合には満水前に流入をストップするなどの損傷防止対策の効果について検討する。

② 損傷原因の分析と設計法の検討

- ・ 2017 年度の WG2(損傷原因特定 WG)の研究成果を整理し、剥離損傷原因を分析する。
- ・ WG3(設計法検討 WG)を組織し、剥離損傷原因の分析結果を数値解析によって補強する。
- ・ そのために、トンネル規模や継手部の形状に着目した数値解析(FEM 解析と梁ばねモデルによる解析)を実施し、剥離損傷原因の分析結果を補強する。
- ・ さらに、5 章で提示された知見を取り入れるなど、既往の設計法とは異なる設計法について検討し、提案を試みる。

③ 管理運営方法の提言

- ・ 内水圧トンネルの既往の管理方法を調査整理する。
- ・ WG5(管理運営方法低減 WG)を組織し、地下貯留トンネルの管理運営方法について提言をまとめる。

平成29年度 土木会関西支部共同研究グループ

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

(略称：内圧トンネル研究会)

2017年3月17日 第1回幹事会（初回研究会の事前打ち合わせ）

議事録

■ 開催概要

日 時：平成29年3月17日（金）15:30～17:30

場 所：中央復建コンサルタンツ株式会社 大阪本社（2Fミーティングルーム）

出 席：東田、山本、團、今井、岩田

配布資料：

- ①研究活動方針案、初年度の概略活動計画案、初回研究会の日程と議題案
- ②共同研究グループ制度規則・制度細則
- ③現時点の研究グループメンバー表
- ④研究会の予算差引簿、旅費・交通費受領書一覧の書式（土木学会関西支部提出用）
- ⑤参考資料：「トンネル内剥離、補強に10億円超 首都圏外郭放水路」の記事、および、「内水圧が作用するセグメントの剥離現象の考察 外郭放水路 第一工区・第二工区」（2006年3月“トンネルと地下”より）

■ 議事概要

1. 挨拶および自己紹介

代表の挨拶と出席者の自己紹介を行った。

2. 研究活動方針案について

研究テーマと活動組織（案）について議論し、以下を決定した。

- ・ 代表から「（幹事会の開催）必要に応じて代表と幹事から構成する幹事会を開催し、当面の研究会の運営について議論する。」を追加してはどうかとの提案があり、了承された。
- ・ 岩田委員（ジオスター）が主要な幹事会に参加することを了承した。
- ・ 構成員に研究会に新たに参加決定した2名を加えることを了承した。
- ・ 構成員の各WGの配置案は、現時点では本人の希望などを確認したものではないの

で、WG組織案を第1回研究会前に研究会メンバーに配信し、希望や意見を聞いたうえで配置の変更などの修正を行うことを了承した。

3. 初年度の概略活動計画案について

初年度の概略活動計画案について議論し、活動スケジュールと活動内容を了承した。また、幹事会を研究会の前後に開催することとした。

4. 当面の日程と初回研究会の議題（案）について

以下の日程と初回研究会の議題を決定した。会場はいずれも土木学会関西支部である。

- | | |
|---------|-------------------|
| ①初回研究会 | : 4月26日（水）14時～17時 |
| ②第2回幹事会 | : 5月10日（水）14時～17時 |
| ③第2回研究会 | : 7月12日（水）14時～17時 |

5. その他

- ・ 参考資料に記載されたセグメントの損傷原因について議論があった。

以 上

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

－ 第 1 回研究会 議事録 －

日時：2017 年 4 月 26 日（水）14:00～16:30

場所：土木学会関西支部

出席：東田代表、山本幹事長、井上幹事、今井幹事、團幹事、岩田委員、神谷委員、島津委員、寺田委員、松本委員、村上委員、矢野委員、吉田委員、吉村委員、楊委員（オブザーバー）

欠席：大杉委員、三品委員、安岡委員

【配布資料】

資料 1-1-1 初回研究会の日程と議題（案）

資料 1-1-2 内圧トンネル研究会名簿

資料 1-1-3 研究活動方針（案）

資料 1-1-4 初年度の概略活動計画（案）

資料 1-2 2017 年 3 月 17 日 第 1 回幹事会（初回研究会の事前打ち合わせ）議事録

資料 1-3 WG①「内圧トンネル損傷実態の調査」について

資料 1-4 損傷原因特定 WG（WG②）の活動方針

資料 1-5 参考資料(内水圧が作用するセグメントの剥離現象の考察、トンネルと地下、427 号、Vol.37, No.3, 2006)

【議事内容】

1. 研究テーマ、幹事・WG 構成、初年度活動計画について

山本幹事長から研究テーマ、幹事・WG 構成（案）、初年度活動計画（案）について説明があり、以下を決定した。

- ・2017 年度は、公表資料、管理者へのヒアリング、現地調査等による損傷実態の分析（研究テーマ①）と、損傷実態を踏まえた解析等による損傷原因の特定（研究テーマ②）の 2 テーマについて取り組む方針とした。
- ・上記のテーマごとに WG を設置することとし、各 WG へ参加するメンバーを確認した。
- ・WG メンバーのうち幹事会へ参加する委員は、情報を共有するために両 WG へ参加することとした。
- ・2017 年度は、研究会を 5 回開催することを確認した。
- ・研究会の成果発表の WS は、来年度の関西支部研究発表会で開催することとした。
- ・首都圏外郭放水路の損傷事例に対し、シール溝の形状とセグメントの剥離状況について議論があり、外郭放水路の事例も参考にしつつ関西独自の取組みを進めていくこととした。

2. 損傷実態分析 WG（WG①）の活動方針について

山本幹事長から損傷実態分析 WG の研究課題と方針について説明があり、以下の議論があった。

- ・調査対象は、都市部で運用されている内水圧が作用するシールドトンネルとすることとした。

- ・ 損傷事例等は、トンネルの管理者へのヒアリングを実施することとした。
- ・ 現地調査は、調査対象を早期に決定し、実施することとした。
- ・ 大阪市、大阪府の実態を確認するために、次回の幹事会への出席を要請することとした。

3. 損傷原因特定 WG (WG②) の活動方針について

團幹事から損傷原因特定 WG の研究課題と方針について説明があり、以下の議論があった。

- ・ 内水圧が作用するトンネルに適用されている既往の設計手法の整理、セグメントの製造方法や破壊形態を把握するための性能試験の視察を実施することとした。
- ・ 異常時における水位の設定の考え方を確認することとした。
- ・ 楊委員より中小断面のトンネルは大断面ほど注目されていないが、まずは損傷の実態を把握することが重要であるとの指摘があった。

4. 次回の開催日について

次回の研究会は、7 月 19 日（水）14 時～17 時に開催することとした。

以上

平成29年度 土木会関西支部共同研究グループ

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

(略称：内圧トンネル研究会)

2017年5月10日 第2回幹事会

議事録

■ 開催概要

日 時：平成29年5月10日（水）14:00～17:30

場 所：土木学会関西支部（2Fミーティングルーム）

出 席：東田代表、山本幹事長、今井幹事、井上幹事、團幹事、岩田委員、
大杉委員（16:00～16:30頃）

配布資料：

①第1回研究会 議事録案

②大阪市の貯留管の概要、参考文献（なにわ大放水路）：東田代表

③東京都 神田川・環七地下調節地の概要・損傷箇所の写真：井上幹事

④大阪府 地下河川トンネルの概要：山本幹事長

④先端建設技術センター発表会の資料（内水圧が作用するシールドトンネルのセグメント剥離現象）：團幹事

■ 議事概要

1. 第1回研究会議事録の確認

4月26日の第1回研究会の議事録の内容確認を行い、文言を一部修正することとした。

2. 配布資料②～④の説明と現地見学会の計画

主要な内水圧シールドトンネルの概要が配布資料を用いて紹介され、現地見学について以下を決定した。

- ・ 東京都 神田川・環七地下調節池について、井上幹事より現地調査とヒアリングを申し込むこととした。調査可能な場合日程などは後日調整する。
- ・ 大阪府地下河川トンネルは、トンネル・荷重などを整理したうえで、現地調査に適する箇所を選定し、管理者に調査を申し込むこととした。当地下河川は、合成セグメントの見学が可能のため、二次覆工を省略したRCセグメントの区間が無くても、

現地調査を実施した方が好ましいとの意見があった。

- ・ 大阪市の貯留管については、大杉委員からトンネル内に立ち入るための準備・手続きが困難な可能性があるとの指摘があり、調査可能な箇所を大杉委員が確認することとした。
- ・ 東京都外郭放水路については、損傷・補修を行った箇所の調査可能かどうかを、山本幹事長から管理者（国交省窓口）に確認することとした。
- ・ セグメントの細部構造などを見るために、委員所属先のセグメント工場の見学を計画することとした。
- ・ いずれの現地調査・ヒアリングについても、事前に質問文書を作成し、管理者に配布し回答の依頼をした上で、調査を行うこととした。
- ・ 調査日は幹事中心に設定し、委員に参加可能かを確認して、調査日・参加人数を決定することとした。

3. 内水圧による損傷原因について

損傷事例の要因の一つと考えられる水膨張性シール材について議論があった。シール材の吸水・脱水（乾燥）のメカニズムが不明なため、シール材メーカーから実験などによるデータ入手が可能かを確認することとした。

4. 次回研究会の日程と議題について

以下の日程を決定した。議題は現地調査結果の報告を中心とすることとした。

第2回研究会 ： 7月19日（水）14時～17時（会場：土木学会関西支部）

以 上

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

－ 第2回研究会 議事録 －

日時：2017年7月19日（水）16:50～17:40

場所：大阪府寝屋川水系改修公営所 2F 会議室

出席：東田代表、山本幹事長、井上幹事、團幹事、岩田委員、神谷委員、島津委員、
安岡委員、矢野委員、吉田委員、吉村委員、

欠席：今井幹事、大杉委員、寺田委員、松本委員、三品委員、村上委員、

【配布資料】

資料 2-1 神田川・環七地下調節池 現地見学・ヒアリング報告

資料 2-2 貯留管用セグメントの動向について

【議事内容】

1. 神田川・環七地下調節池 現地見学・ヒアリングの報告

6月27日に実施した東京都の神田川・環七地下調節池の現地見学ならびにヒアリングの内容について、井上幹事より実態調査報告書に基づき説明を行った。

- ・質疑等は特になし。

2. 貯留管用セグメントの動向

岩田委員より、配布資料に基づき貯留管に採用されているセグメント種別数についての説明を行った。なお配布資料は2008年に作成された資料のため、以降の情報は反映されていない。

- ・年度が新しくなるに従い、RCセグメントにおいて二次覆工を施工する事例は貯留管では減少しているが、二次覆工を省略することでセグメントの損傷等が確認されていることを踏まえても、今後も同様の傾向と考えられるか？
→小口径シールドを除けば、内圧トンネルに関わらず殆どが二次覆工を省略する傾向にある。特に大口径シールドでは、初期建設コストから二次覆工の省略が一般的である。
- ・同一条件下で、RCセグメントと合成セグメントの経済比較を示した資料は無いのか？
→年度によりセグメント単価が異なること、およびトンネル外径が異なることによりトンネル工事費も異なるため、一概に比較した資料は無い。設計する際に設計条件毎に仕様を決めて比較している。
- ・RCセグメントと合成セグメントのセグメント厚はどの程度違ってくるのか？
→荷重や地盤条件によるが、岡山の事故以来、RCセグメントの厚さは外径に対して4%以上の厚さを確保する事例が多い。これに対し、合成セグメントの厚さは特に4%以上に拘らないため、一般的にはRCセグメントより2～3割薄くなり、工事費もほぼ同等となるケースが多い。とくに内水圧が作用する大口径トンネルでは、ランニングコストを含め合成セグメントの方が優位と判断される事例が増加している。

3. その他（意見など）

- ・神田川調節池や本日の現地視察の結果ならびにこれまでの文献調査等から、内圧トンネルに関しては二次覆工を省略した大口径RCセグメントのみに多くの損傷が確認され、合成セグメントや二次覆工を有するトンネルでは損傷の報告が無いことは共通する。

- ・ R Cセグメントの損傷原因については、外郭放水路での文献を除き明らかにされていないことから、事業者も今後の内圧トンネルに採用するセグメントは、損傷が確認されていない合成セグメントが有力になると公言している。

4. 次回の開催日について

次回は、9月7日（木）13時頃～セグメント工場見学会および第3回研究会を開催することとした。

以上

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

－ 第3回研究会 議事録（案） －

日時：2017年9月7日（木）16:10～17:20

場所：ジオスター株式会社橋本工場 2F 会議室

出席：東田代表、山本幹事長、團幹事、岩田委員、島津委員、寺田委員、
松本委員、村上委員、矢野委員、吉田委員、吉村委員、

欠席：今井幹事、井上幹事、大杉委員、神谷委員、三品委員、楊オブザーバー

【配布資料】

- ・資料 3-1 第2回研究会議事録案(山本幹事長)
- ・資料 3-2 大阪府地下河川 実態調査報告書(山本幹事長)
- ・資料 3-3 研究会会計中間報告書(山本幹事長)
- ・資料 3-4 来年度継続申請企画書（山本幹事長）
- ・その他（WG2 提供資料） 内水圧が作用するセグメントの設計手法について（團幹事）

【議事内容】

1. 第2回研究会議事録の確認

山本幹事長より、7月19日開催の第2回研究会の議事録案について説明があり、了承された。

2. 大阪府地下河川 現地見学・ヒアリングの報告

山本幹事長より、7月19日に実施した大阪府の地下河川・古川・北島調節池の現地見学ならびにヒアリングの内容について、実態調査報告書に基づき説明があった。

- ・実態調査報告書の写真等はどこかに纏めているかという質問に対し、最終の報告書で整理して添付するとの回答があった。

3. 研究会中間報告書提出について

山本幹事長より、土木学会関西支部事務局に提出予定の当研究会の会計中間報告書および研究会・幹事会の議事録について説明があり、了承された。

4. 来年度継続申請のについて

山本幹事長より、来年度の当研究会の継続申請企画書案の説明があり、了承された。なお、楊オブザーバーの委員変更について異論はないため、本人の希望を確認の上、決定することとした。

5. WGの研究スケジュールについて

山本幹事長と團幹事より、WG1とWG2の活動状況ならびに今後の活動予定が説明された。

6. 内水圧が作用するセグメントの設計手法について

團幹事より、下水道管渠・貯留管における覆工構造の動向、シールドトンネルセグメント設計・基準類の変遷、内水圧の作用する地下貯留管（セグメント）の設計手法について、追加配布資料に基づいて説明があり、次回の幹事会・研究会で議論した上でWG2の進め方を決定したいと

の意向が了承された。

- ・合成セグメントに損傷が確認されていないことから、RCセグメントのセグメントピースのコーナー部などに鋼材を配置して、剥離や欠けを防止したセグメントも考えられるのではないかとの意見があった。
- ・シールドトンネルに作用する外力（土圧・水圧）や地盤反力について、既往の研究事例や現場計測結果を反映した検討が必要と考えられるとの意見があった。
- ・セグメントの設計土圧と実際の作用土圧の違いを明らかにするための取組みも必要であるとの意見があった。
- ・セグメント発生応力の現場計測は、セグメントの分割による影響を受けて連続体とは異なる挙動を示しているとの意見があり、推進用ヒューム管を用いた発生応力の現場計測事例を別途調査することとなった。
- ・セグメントの剥離防止には、短繊維を混入したセグメントが有効であるとの意見があった。

7. 次回の幹事会・研究会開催について

10月の1週目か2週目に拡大幹事会を開催し、今後の研究会やワーキングの運営方針と開催日程を検討することとした。

以上

平成29年度 土木会関西支部共同研究グループ

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

(略称：内圧トンネル研究会)

2017年10月10日 第3回(拡大)幹事会

議事録（案）

■ 開催概要

日 時：平成29年10月10日（火）14:00～17:00

場 所：土木学会関西支部会議室

出 席：東田代表、山本幹事長、今井幹事、井上幹事、團幹事、岩田委員、
吉田委員

配布資料：

- ①第3回研究会 議事録案
- ②神田川・環七地下調節池および大阪府地下河川 実態報告書：山本幹事長
- ③シールドセグメントの設計荷重に対するコメント：東田代表
- ④継続申請書類：山本幹事長

■ 議事概要

1. 第3回研究会議事録の確認

9月7日の第3回研究会の議事録の内容確認を行った。

2. “内圧トンネル損傷実態の調査／WG①での活動”の今後の活動方針

- 1) 外郭放水路の視察日程の調整
 - ・ 管理者の都合により延期していた現地視察、意見交換会を11月頃に実施したいことを再度、幹事長より管理者に依頼する。
- 2) 追加調査について
 - ・ 損傷の事例はいずれも大口径のRCセグメントだが、小口径クラスの損傷に関する情報が乏しいため、今後、大阪府や大阪市に追跡調査を行うことが望ましい。大阪市については大杉委員を通じて大阪市が管理する地下貯留管の現地視察を申し込むこととする。
- 3) これまでの現地視察結果の取りまとめ方針
 - ・ 神田川・環七地下調節池および大阪府地下河川の現地視察結果は、作成済みの実態

報告書に現地写真や考察を加えて整理する。

3. “シミュレーションによる損傷原因の特定／WG②での活動”の今後の活動方針

- 1) WG①の調査結果を踏まえた代表的な損傷の抽出について
 - ・ これまでに実施した現地視察にて確認された損傷結果を踏まえ、想定される損傷要因を列挙し、今後、研究会で議論する。
- 2) 損傷原因特定の手法の研究方針について
 - ・ 損傷原因特定の手法の研究方針はWG②で素案を作成し、今後、研究会ならびに幹事会で議論する。
 - ・ 損傷箇所の多くが隅角部に集中していることを踏まえ、その原因を整理したうえでセグメント構造の改良を含む損傷防止対策の提案もテーマの一つとしてはどうか。との意見があった。

4. 土と構造物の相互作用としての土圧の考え方について

東田代表より、“土と構造物の相互作用としての土圧の考え方”が配布資料とスライドを用いて説明された。現在の設計手法ではシールドセグメントの作用土圧がセグメントと地盤の挙動と無関係に、経験的に決定されている所に最大の問題があることが指摘された。

5. 次回研究会の日程と議題について

以下の日程を予定することとした。議題は今後の予定や報告書の取りまとめ方針についてとする。

第4回研究会 : 11月29日（金）あるいは12月6日（水）
 14時～17時（会場：土木学会関西支部）

以 上

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

－ 第４回研究会 議事録（案） －

日時：2017年12月6日（水）14:00～17:15

場所：土木学会関西支部会議室

出席：東田代表、山本幹事長、今井幹事、井上幹事、團幹事、岩田委員、吉田委員、三品委員、島津委員、村上委員

欠席：吉村委員、矢野委員、大杉委員、安岡委員、寺田委員、神谷委員、松本委員、楊オブザーバー

【配布資料】

- ・資料 4-1 セグメント工場現地視察報告（案）
- ・資料 4-2 第3回研究会議事録（案）
- ・資料 4-3 第3回幹事会議事録（案）
- ・資料 4-4 研究会活動計画表（案）
- ・資料 4-5 H28年度 研究会報告書（案）
- ・資料 4-6 WG1 行動計画の資料
- ・資料 4-7 WG2 行動計画の資料
- ・その他 シールドセグメントに働く荷重と断面力について（東田代表）
- ・〃 シールド管きよの提案設計法の状況（島津委員）

【議事内容】

1. 議事録等の確認

1) セグメント工場現地視察報告案確認

山本幹事長より、9月7日に実施したセグメント工場見学の報告書案について説明があり、討議のうえ、了承された。

<討議内容>

- ・セグメント載荷試験で破壊まで行った試験のデータは公表できるかという質問に対し、載荷試験では規定されている耐荷荷重まで作用させたデータをとっており、破壊まで荷重を作用させているがデータはとっていないとの回答があった。
- ・シール材の材質が把握できる資料はあるかとの質問に対し、メーカー資料など提供できるものがあるとの回答があった。

2) 第3回研究会議事録案確認

山本幹事長より、9月7日開催の第3回研究会の議事録案について説明があり、了承された。

3) 第3回幹事会議事録案確認

山本幹事長より、10月10日開催の第3回拡大幹事会の議事録案について説明があり、了承された。

2. RC セグメントに働く外荷重と断面力について

東田代表より、「シールドセグメントに働く荷重と断面力」について説明があり、現在の設

計手法ではシールドセグメントの作用土圧が経験的に決定されているため地中構造物に作用する土圧の実態を表せないこと、および土圧の実態を再現したFEMによる弾性計算を行う上では、継手を評価したセグメントの構造系の検討が必要なことが指摘された。

さらに島津委員より、「シールド管きよの提案設計法」の研究について説明があり、常時のFEM計算において、RCセグメントでは常時に応力照査を満足しない結果となったので、セグメントの常時挙動についてはまだ考慮できていない事象がありそうだとの説明があった。

3. 今後の研究会活動計画

1) 今後の日程について

山本幹事長より、今後の研究会活動計画についてH29年度下期の研究会活動予定表(案)に基づき説明があり、今年度の研究会と幹事会の開催時期、現地視察・ヒアリングの候補日、ワークショップおよび報告書提出の日程を確認した。

2) WG1の行動計画について

山本幹事長より、WG1(内圧トンネル損傷実態の調査WG)の研究活動方針が説明され、今年度の現地視察およびヒアリングは、残る2箇所(首都圏外郭放水路および大阪市貯留管)で実施することとし、今後の活動は既往報告の損傷実態の整理、現地視察箇所の損傷実態の整理および管理者のヒアリング内容の整理を行うとの方針が示され、了承された。

3) WG2の行動計画について

團幹事より、WG2(損傷原因特定WG)の研究活動方針が説明され、検討対象とする損傷の抽出の整理、および損傷要因を分析・推定するための検討手法(フレーム解析やFEM解析)の整理を実施することとした。

<討議内容>

- ・施工時の影響による損傷の分析とは何を対象としているのかという質問があり、施工時の影響によりクラックなど潜在的な損傷が内水圧の作用により顕在化する事象を対象としているとの回答があった。
- ・配布資料に示されているセグメント継手部が変形してセグメントが剥離した事例が実際に確認されているのかという質問に対し、損傷状態や継手の構造からの想定であるとの回答があった。
- ・施工時にピース間の継手の余裕(遊び)が継手ごとに異なるため、これが原因となってセグメントが損傷する可能性があるとの意見があった。
- ・継手部の局所的な変形がどの程度起こるのかは、はりバネモデルのフレーム計算で検証できそうであるとの意見があった。
- ・均等な内水圧を作用させる数値解析モデルでは、継手部の変形や局部応力を求めることは可能かとの質問に対し、内水圧による影響水準は確認できると考えているとの回答があった。

8. 次回の研究会について

次回研究会は、H30年2月21日(水)に開催する予定とした。

以上

内水圧が作用する地下貯留トンネルの力学挙動に関する調査・研究

－ 第 5 回研究会 議事録（案） －

日時：2018 年 2 月 21 日（水）14:00～17:00

場所：土木学会関西支部会議室

出席：東田代表、山本幹事長、今井幹事、井上幹事、岩田委員、矢野委員、吉村委員、
三品委員、島津委員、神谷委員、寺田委員、松本委員

欠席：團幹事、吉田委員、大杉委員、安岡委員、村上委員、楊オブザーバー

【配布資料】

- ・資料 5-1 第 4 回研究会議事録（案）
- ・資料 5-2 大阪市ヒアリング議事録（案）
- ・資料 5-3 首都圏外郭放水路現地視察報告（案）
- ・資料 5-3-1 川崎市での内圧トンネル例
- ・資料 5-4 WG 研究方針（案）
- ・資料 5-5 H29 年度 研究会報告書目次（案）
- ・資料 5-6 研究会活動計画（案）

【議事内容】

1. 第 4 回研究会議事録の確認

山本幹事長より、H29 年 12 月 6 日の第 4 回研究会の議事録案の報告があり、一部修正のうえ、了承された。

<討議内容>

- ・セグメント工場でのセグメント載荷試験に関する記載について、破壊までは作用させていないという記載は、破壊まで作用させているが、破壊荷重以外のデータは取っていないという記載が正しいとの指摘があり、修正することとした。

2. 大阪市ヒアリング議事録の確認

山本幹事長より、H30 年 1 月 22 日に実施した、大阪市貯留管に関するヒアリング内容の説明があり、討議のうえ、了承された。

<討議内容>

- ・ヒアリング対象の北浜逢坂貯留管の今後の調査予定が無い理由で、他に老朽化している下水道幹線の調査が優先されるためとの記載があるが、どのような調査を行っているかを確認した方が良いとの意見があった。
- ・北浜逢坂貯留管への立ち入りが不可な理由が明確でないが、大阪市（管理者）に理由を再確認すべきとの意見があった。
- ・北浜逢坂貯留管で使用されているシール材は、水膨張性ウレタン樹脂が使用されているが、外郭放水路ではその膨張速度が問題になっているとの意見があった。
- ・ヒアリング議事録を当研究会の報告書に記載するに際して、大阪市の了承を得る必要があるのではないかとの意見があった。

3. 首都圏外郭放水路現地視察報告について

1) 現地視察報告の説明

井上幹事より現地視察報告案に基づいて、視察内容や質疑応答の内容が説明され、討議を行った。

<視察後の質疑応答の追加説明>

- ・トンネルへの流入回数は年平均7回と比較的多い。
- ・トンネルを地表面から約50m下の洪積層に築造したのは、道路管理者からの要望も反映した。
- ・剥離したコンクリート片が割れていないものが多いことから、トンネル内に貯留水が残っている状況で剥離したと考えている。

<討議内容>

- ・損傷部位について、現地視察した第三工区では、シールド天端部のKセグメントの損傷が多かったとの説明があった。
- ・損傷箇所数について、第二工区は他の工区より損傷が多いが、その原因としては、第二工区のみセグメントのシール溝から表面までの距離が35mm（第一工区は58mm、第三工区は63mm）と短いことが考えられるとの意見があった。
- ・コンクリート片の剥離時期について、流入から貯留までの時間とシール材が膨張に要する時間や、排水に要する時間とシール材が膨張から元に戻るまでの時間を明らかにできれば、剥離がいつ起きるのが解明できるのではないかと意見があった。
- ・ヒアリング議事録を当研究会の報告書に記載するに際して、国交省の了承を得る必要があるのではないかと意見があった。

2) 川崎市での内圧トンネルの紹介

寺田委員より、外郭放水路視察時に話題となった「満水になった時点で流入を止める」という施設運用方法を採用している川崎市の内圧トンネルについて、配布資料に基づき説明があった。

<討議内容>

- ・川崎市内圧トンネルについても、視察やヒアリングが可能であれば実施した方が良いとの意見があった。

4. 各WGの研究方針について

1) WG 1の研究方針について

山本幹事長より、WG 1の今後の研究方針として、今まで実施した現地視察に基づいて研究対象とする損傷実態の整理と考察を行うとの説明があった。

2) WG 2の研究方針について

松本委員（団幹事代理）より配布資料に基づき、WG 2の研究方針として、損傷をシュミレーションする数値解析の方針について説明があり、以下の討議を行った。

< 討議内容 >

- ・配布資料での数値解析の方針はフロー化して作成されているが、解析等を行う際には、この数値解析の目的や位置付けを明確にしておかないと、作業が発散して収拾がつかなくなる懸念があるとの意見があった。
- ・現地視察した内圧トンネルの設計計算書や、外郭放水路で損傷原因を究明する際に行われた解析を入手してレビューすることにより、当研究で行うべき数値解析の内容が明確にできるのではないかと意見があった。また、それらを入手する方法として、開示請求があるとの意見があった。
- ・解析モデルや解析方法などの方針が定まらないのは、セグメントの損傷原因として推定されているシール材の反発とセグメント端の接触のいずれがメインなのかが特定できていないためであるとの意見があった。
- ・これまでの活動で判明した損傷実態を踏まえて、解析対象とする損傷内容と解析の位置づけを明確にしたうえで、各WGの主査を中心に研究方針を再設定したいとの方針が示され、了承された。

5. 活動計画について

山本幹事長より、今年度と来年度の活動計画について、活動予定表案を基に、ワークショップの開催予定日や、報告書作成時期の説明があった。また、来年度のWGの活動内容の説明があった。

6. 次回の研究会活動について

次回研究会での活動は、H30年4月初旬の幹事会、4月下旬～5月上旬に研究会を開催する予定とした。

以上