資料２－１

トンネルの維持管理

東京都立大学　都市環境学部
砂金　伸治

本日の内容

1. トンネル工法と技術の変遷

2. トンネルの点検

3. トンネルの変状・劣化

4. トンネルにおける維持管理の今後

本日の内容

1. トンネル工法と技術の変遷

2. トンネルの点検

3. トンネルの変状・劣化

4. トンネルにおける維持管理の今後

トンネルとは

トンネルとは？

「計画された位置に所定の断面寸法をもって設けられた地下の構造物で，その施工法は問わないが，仕上り断面積は2m²以上のものとする」（1970年のOECDのトンネル会議にて定義）

・　山岳工法

掘削から支保工の構築完了までの間，切羽付近の地山が自立することを前提として，発破，機械または人力により掘削し，支保工を構築することにより内部空間を保ちながら建設

・　シールド工法

泥土あるいは泥水で切羽の土圧と水圧に対抗して切り羽の安定を図りながらシールドを掘進させ，覆工を組み立てて地山を保持しながら建設

・　開削工法

土留め工を施しながら地表面から所定の位置まで掘削し建設

（その他，沈埋工法，推進工法など）

山岳トンネルの特徴

- 長所
  - ・基本的には硬岩～軟弱な地山までの施工が可能（補助工法等を併用）
  - ・断面形状の変更が容易で，線形に関する制約が少ない
  - ・比較的安価で施工が可能

- 短所
  - ・地山の変形や地下水に対する配慮が必要で，切羽の安定が重要
  - ・数m/日程度の進行長となることが多い（地山，断面積にも依存）

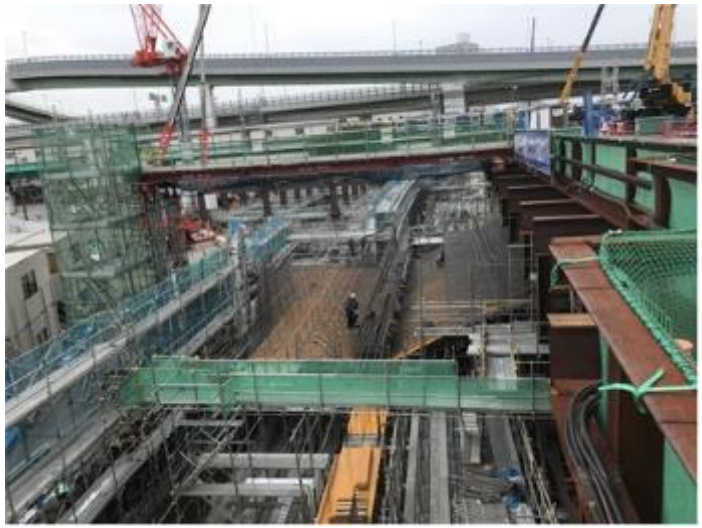
シールドトンネルの特徴

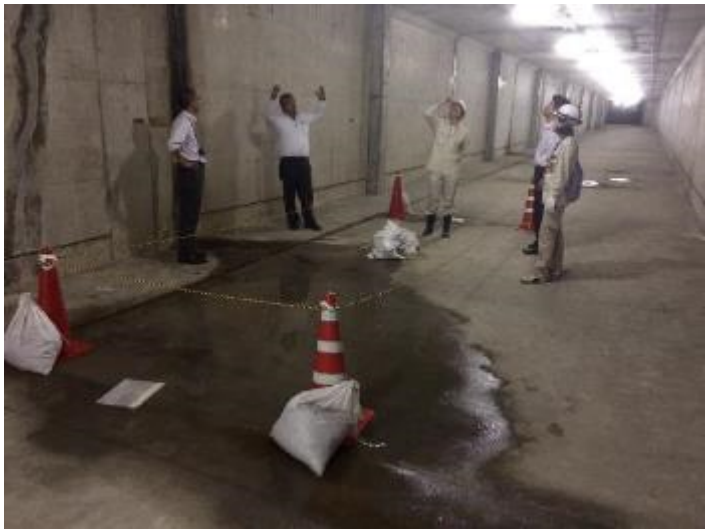
- 長所
  - ・軟弱な地山や地下水が豊富な地山でも施工が可能
  - ・特殊な場合を除き，地下水対策としての補助工法を必要としない
  - ・路上交通への影響は少ないとされており，他との近接も比較的許容される

- 短所
  - ・形状は円形が標準で，施工途中での形状の変更は一般的には困難
  - ・急曲線や急勾配の施工には限界がある
  - ・概して高価であり，マシン・セグメント等の調達には事前の検討が必要

開削トンネルの特徴

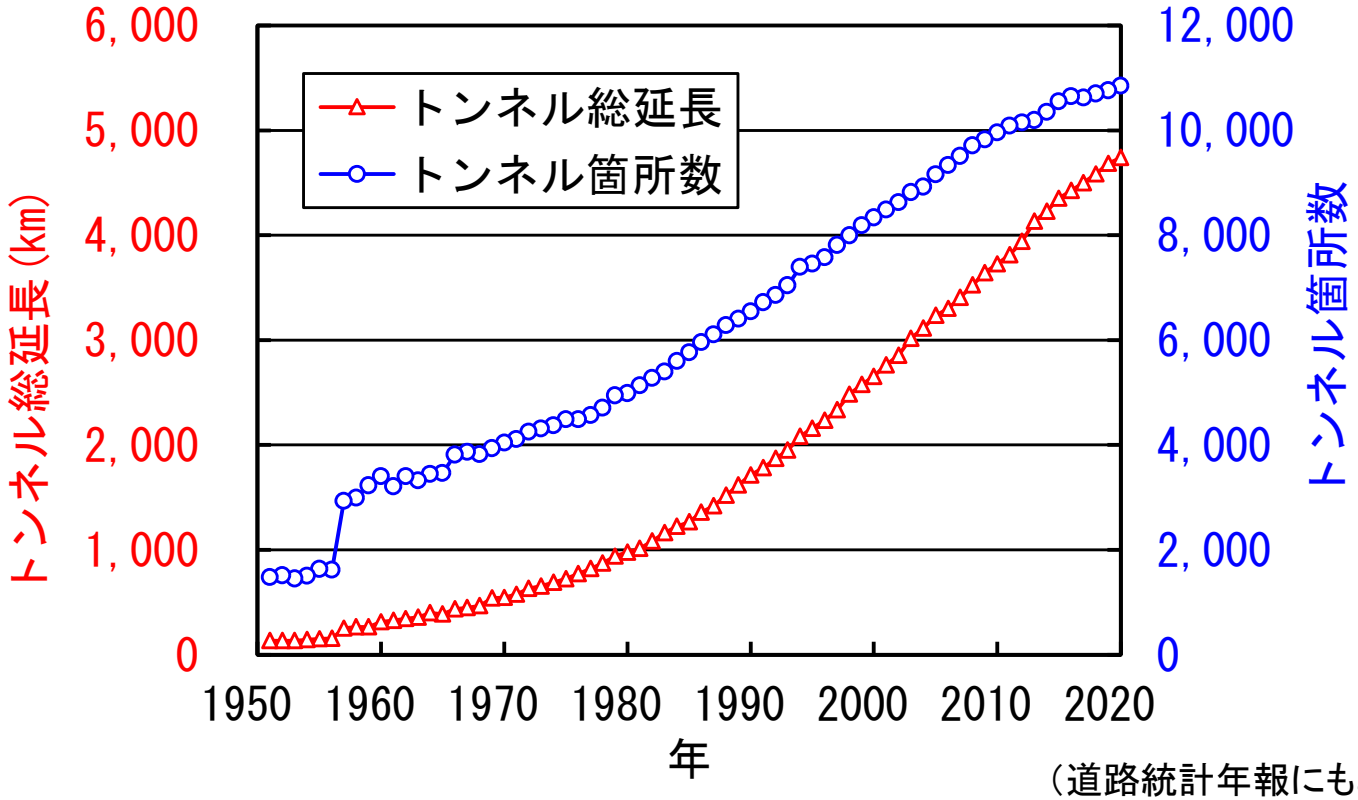
- 長所
  - ・さまざまな形状のトンネル構築が可能
  - ・特別なマシンを使用しないため比較的安価
- 短所
  - ・掘削のための交通規制が必要
  - ・移設が難しい構造物がある場合は対策が必要
  - ・地下水流動を遮断する場合は対策が必要





我が国の道路トンネルの現状

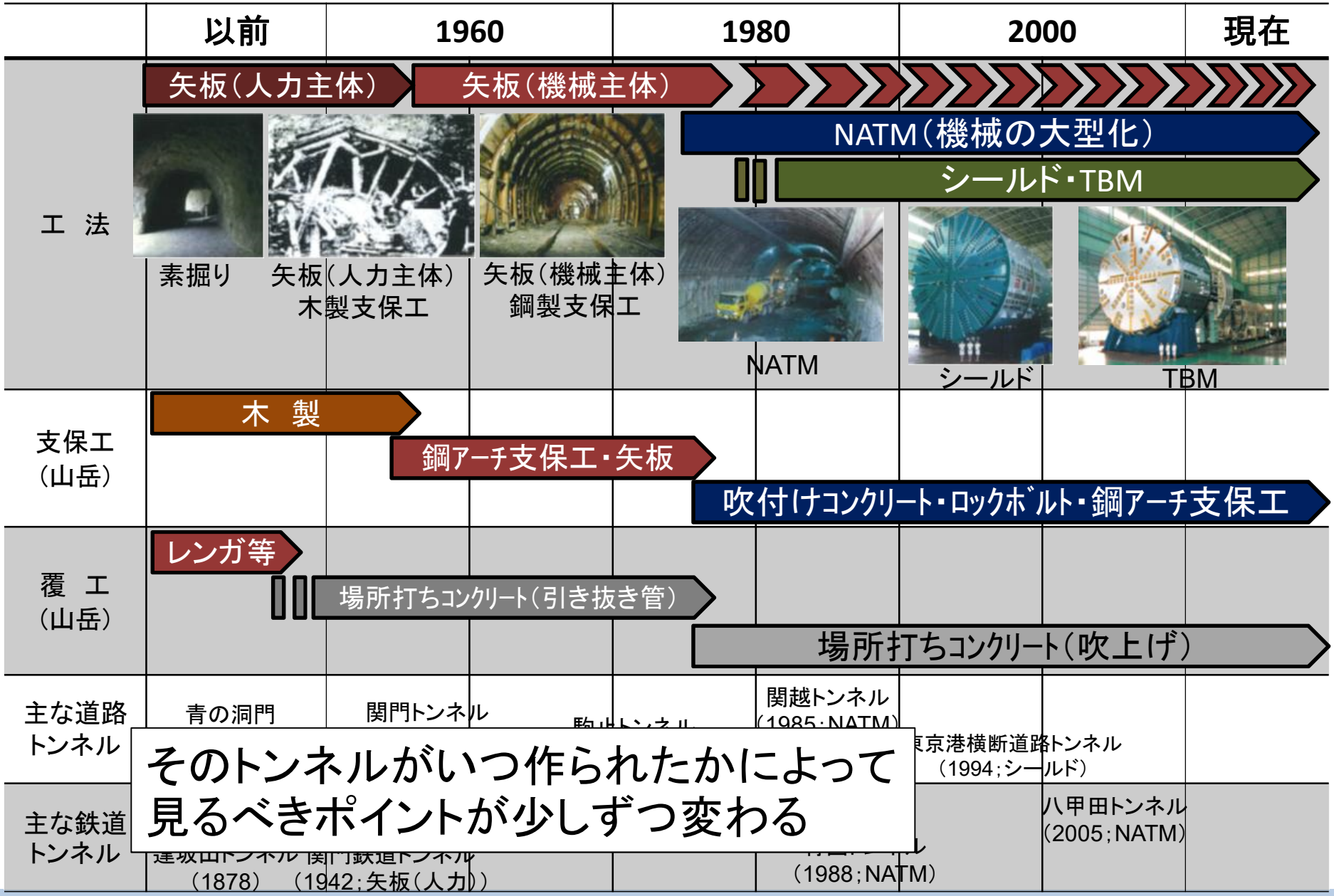
- 道路トンネル総数　10,846箇所
- 道路トンネル累計延長　4,742 km　（令和2年4月現在）



（道路統計年報にもとづき作成）

平成19年(2007年)時点では，鉄道トンネル：2,350km
道路トンネル：3,405km
水路トンネル：4,700km

トンネルの技術的変遷　－建設技術－



そのトンネルがいつ作られたかによって
見るべきポイントが少しずつ変わる

トンネルの技術的変遷　－維持管理技術－

	以前	1960	1980	2000	現在
点検技術（道路）	目視・ハンマーによる打音・漏水・ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査				
				電磁波レーダーを用いた背面空洞探査，レーザーを用いたひび割れ点検技術の開発	
				ｶﾒﾗを用いた覆工ひび割れ点検技術の開発	
補修技術（道路）	導水樋工・金網・ネット工・形鋼当て板工・裏面注入工（ｾﾒﾝﾄﾓﾙﾀﾙ）・補強セントル工（H鋼）				
				補修・補強技術の開発	
点検技術（鉄道）	目視・ハンマーによる打音・漏水・ﾎﾞｰﾘﾝｸﾞ調査				
				電磁波レーダーやレーザー，赤外線等を用いた点検技術の開発	
補修技術（鉄道）	鋼当て板工・裏面注入工（ｾﾒﾝﾄﾓﾙﾀﾙ）・補強セントル工（H鋼）				
				補修・補強技術の開発	

遠望目視

近接目視

打音

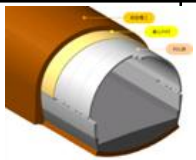
削孔ﾃﾞｰﾀから覆工厚等を測定

ﾚｰｻﾞｰを用いたひび割れ点検

ｶﾒﾗを用いたひび割れ点検

補強セントル工

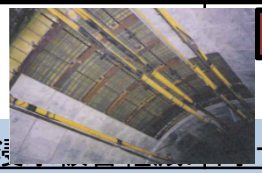
当て板工


薄肉化して補強する技術

補修しつつひび割れを可視化

電磁波を用いた点検

赤外線を用いた点検


プレキャストコンクリートパネルによる補修技術

維持管理技術の進展は速い
しかし，結果を確認するためには時間を要する

本日の内容

1. トンネル工法と技術の変遷

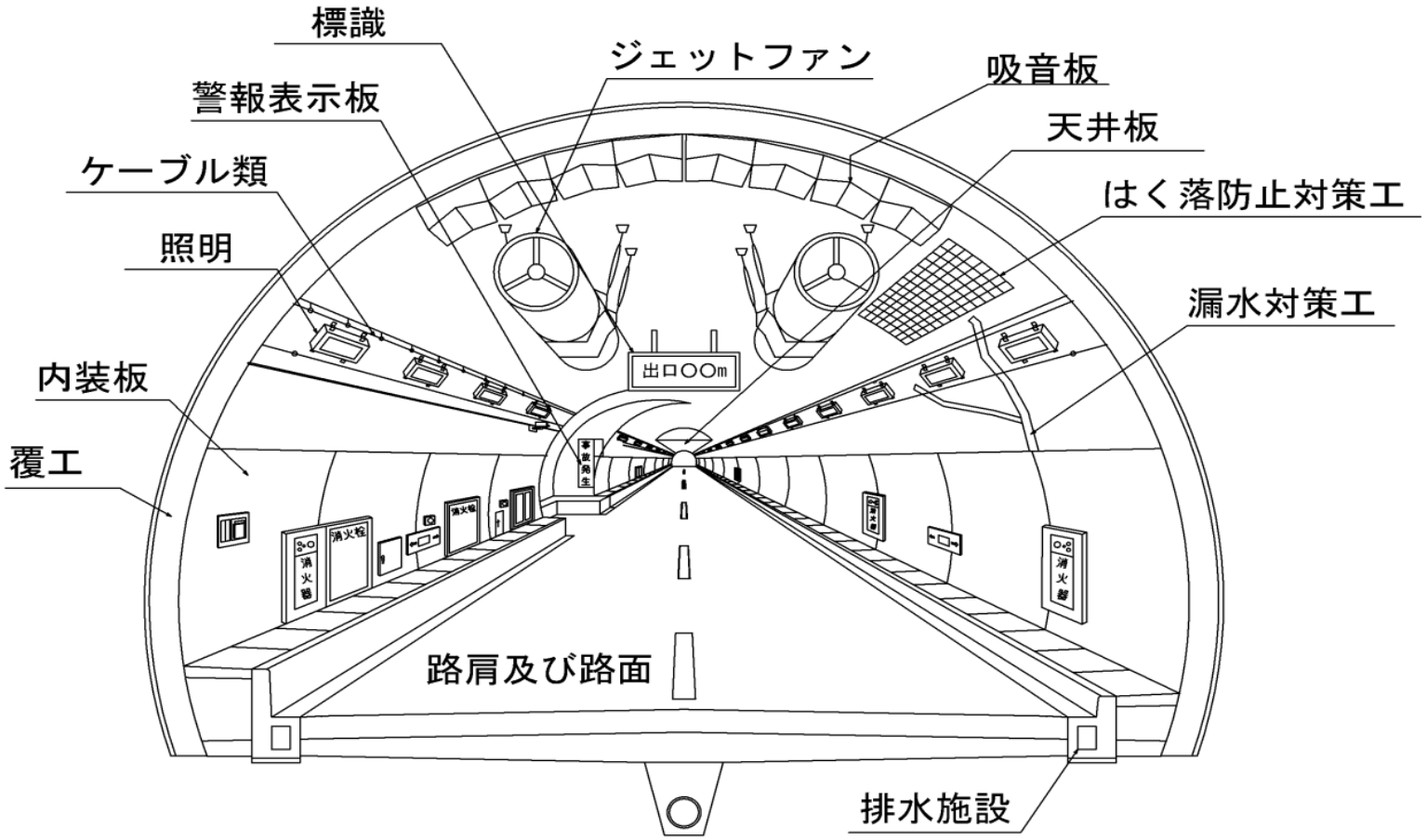
2. トンネルの点検

3. トンネルの変状・劣化

4. トンネルにおける維持管理の今後

トンネルの点検箇所（道路を念頭に紹介）

- トンネル本体工
- 附属物
- 付属施設，付帯設備



近接目視

- 日常的な施設の状態把握では発見しづらい変状・異常がある覆工アーチの上部や，坑門の上部等に対して，トンネル点検車等を用いて肉眼により部材の変状等の状態を把握し評価が行える距離まで接近し，ひび割れ，うき，はく離，漏水の状況，トンネル内附属物の取付状態を観察する

打音検査と触診

- 頭部重量100～300g程度の点検用ハンマーを用いて，打音した際の音（清音・濁音）によりうき・はく離等を検出

- トンネル内附属物の取付状態等については，トンネル点検車等により点検対象物に接近し，直接手で触れて固定状況や損傷の有無を確認

トンネルの点検の種類（道路を念頭）

- **日常点検**

  変状等の早期発見を図るために，原則として道路の通常巡回を行う際に併せて実施するトンネルの全延長を対象とする目視点検

- **定期点検**

  トンネルの最新の状態を把握するとともに，次回の定期点検までに必要な措置等の判断を行う上で必要な情報を得るために行うもので，一定の期間毎に定められた方法で点検を実施し，必要に応じて調査を行うこと，その結果をもとにトンネル毎での健全性を診断し，記録を残す一連の点検

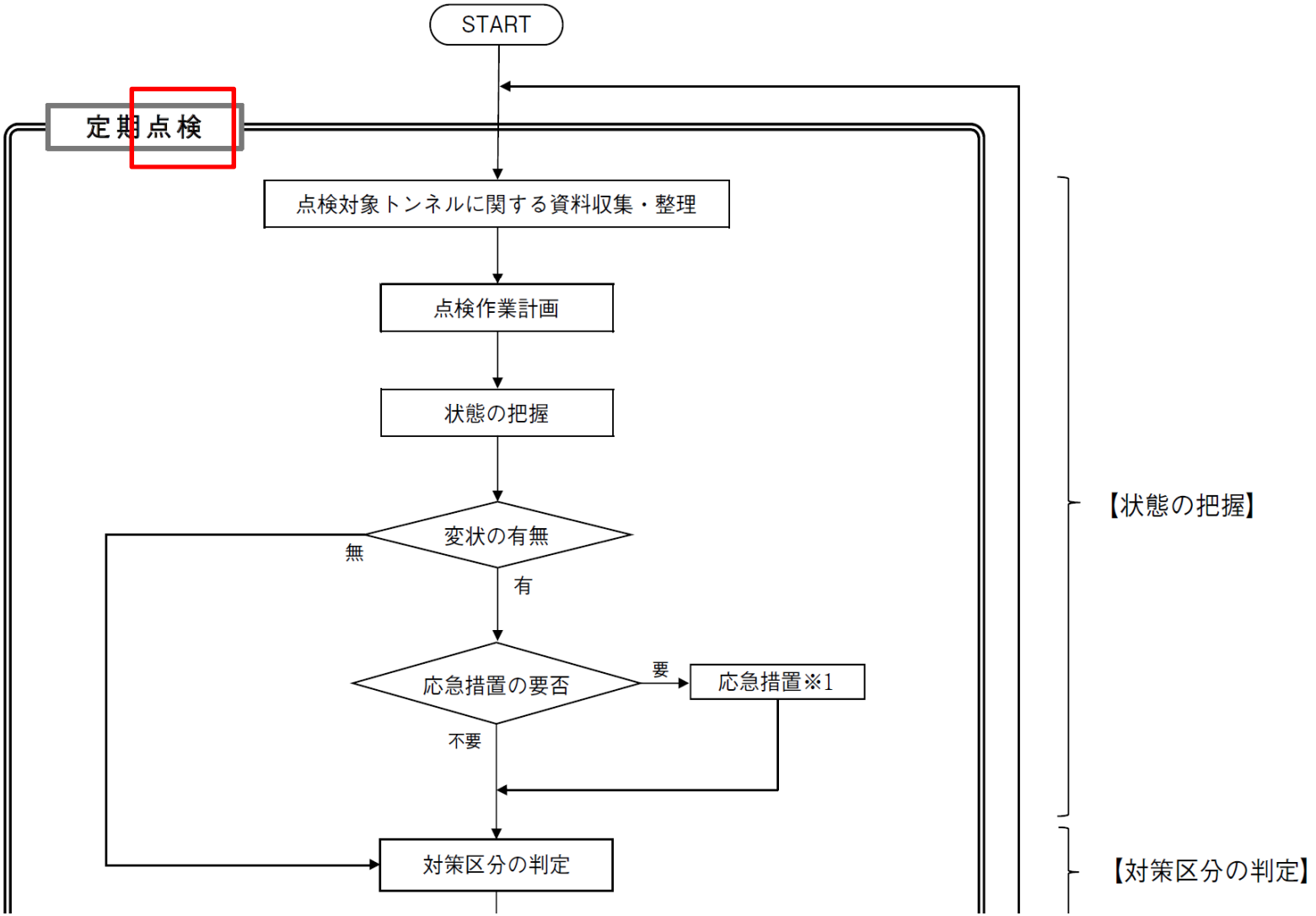
- **異常時点検**

  日常点検や臨時点検により異常が発見された場合に実施する点検

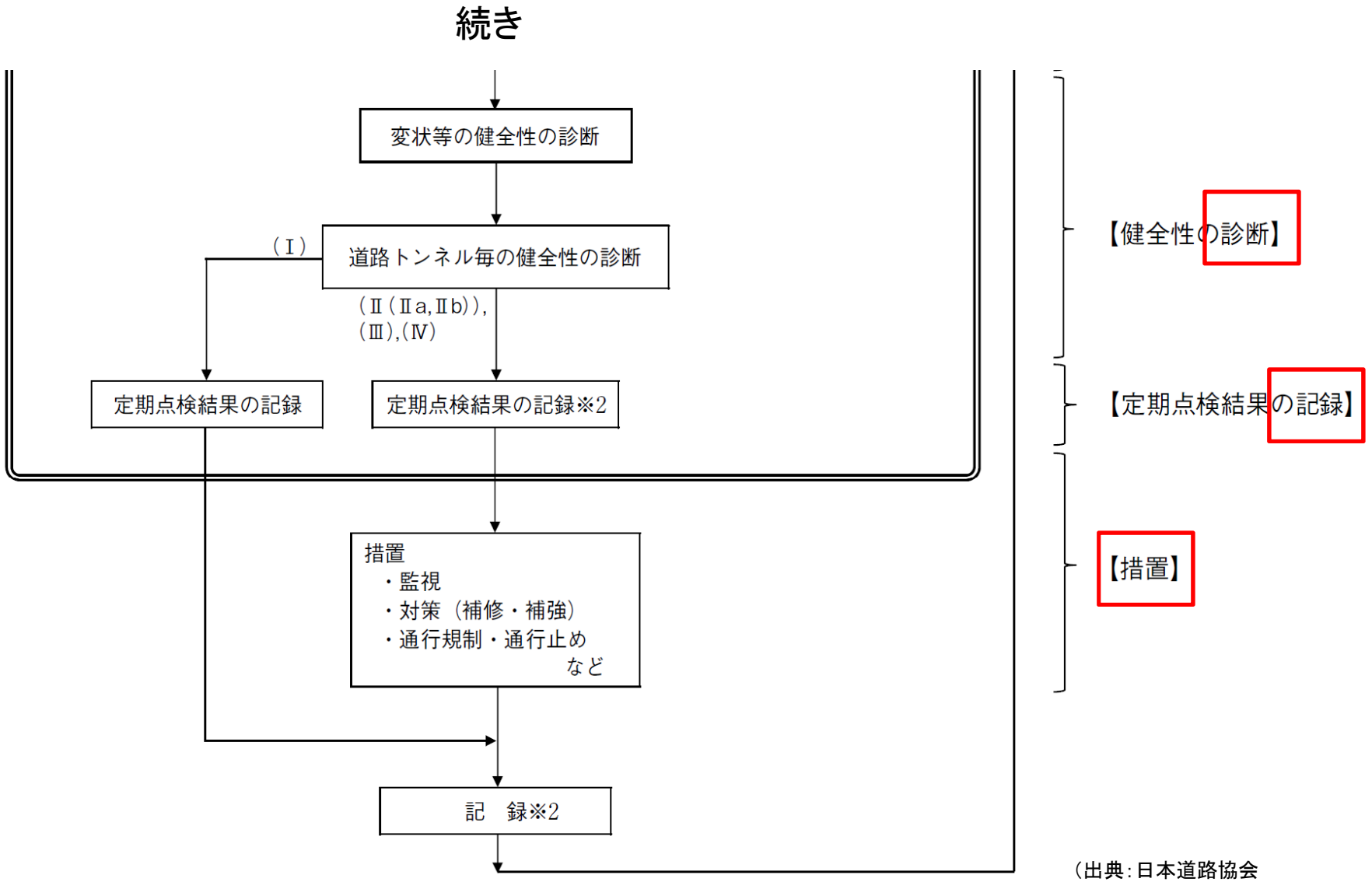
- **臨時点検**

  地震，集中豪雨およびトンネル内の事故災害等が発生した場合，主にトンネルの安全性を確認するために行う点検

定期点検のフロー①


START
定期点検
点検対象トンネルに関する資料収集・整理
点検作業計画
状態の把握
変状の有無
無
有
応急措置の要否
要
応急措置※1
不要
対策区分の判定
【状態の把握】
【対策区分の判定】

定期点検のフロー②



（出典：日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧
【本体工編】 令和2年版）

定期点検の頻度

定期点検は建設後１年から２年の間に初回を行い，二回目以降は，５年に１回の頻度で行うことを基本

トンネル本体工

建設後とは覆工打設完了後のことを指す．これは初期の段階に発生した道路トンネルの変状・異常を正確に把握した記録が，以後の維持管理に有効な資料となるため

道路トンネルの機能を良好に保つため，定期点検に加え，日常的な道路トンネルの状態の把握や，事故や災害等による道路トンネルの変状の把握等を適宜実施

附属物

トンネル本体工と同時にトンネル内の附属物の取付状態を確認
（附属物の機能に係わる点検は別途実施）

道路トンネルの健全性の診断

- 構造物の健全性の状態を判定する区分として，下記のⅠ～Ⅳ区分とする

区分		状態
Ⅰ	健全	道路トンネルの機能に支障が生じていない状態。
Ⅱ	予防保全段階	道路トンネルの機能に支障が生じていないが、予防保全の観点から措置を講ずることが望ましい状態。
Ⅲ	早期措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じる可能性があり、早期に措置を講ずべき状態。
Ⅳ	緊急措置段階	道路トンネルの機能に支障が生じている、又は生じる可能性が著しく高く、緊急に措置を講ずべき状態。

道路トンネル以外の点検

- 用途や使用環境，構造条件などにより，点検から補修･補強までの維持管理における留意点や，それらを実施するにあたっての制約条件が異なる
- たとえば，留意事項の重みとして，

  覆工コンクリートのはく落は，
  　道路＞＞鉄道＞＞通信，送電＞水路，下水
  漏水は，
  　通信，送電＞道路，地下鉄＞鉄道＞水路，下水　など

- トンネルの維持管理の立案，実施にあたってはそれらの特性を十分に考慮する必要がある

本日の内容

1. トンネル工法と技術の変遷

2. トンネルの点検

3. トンネルの変状・劣化

4. トンネルにおける維持管理の今後

トンネルの変状・劣化の原因

①材質劣化によるもの

- 使用材料・施工方法
  温度応力，乾燥収縮の発生
- 経年劣化
  コンクリートの中性化
  (劣化に伴う目地部のうき，はく離，はく落)
- 凍害(凍結融解の繰り返しによるはく離)

温度応力・乾燥収縮

コンクリートの中性化によるはく離

②外力によるもの

- 土圧の作用(緩み土圧，偏土圧，膨張性土圧等)
- 地すべり

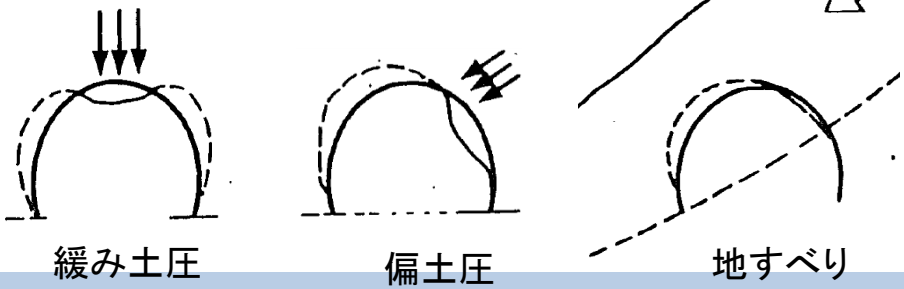
膨張性土圧によるひび割れ

凍結融解による打継目のはく離

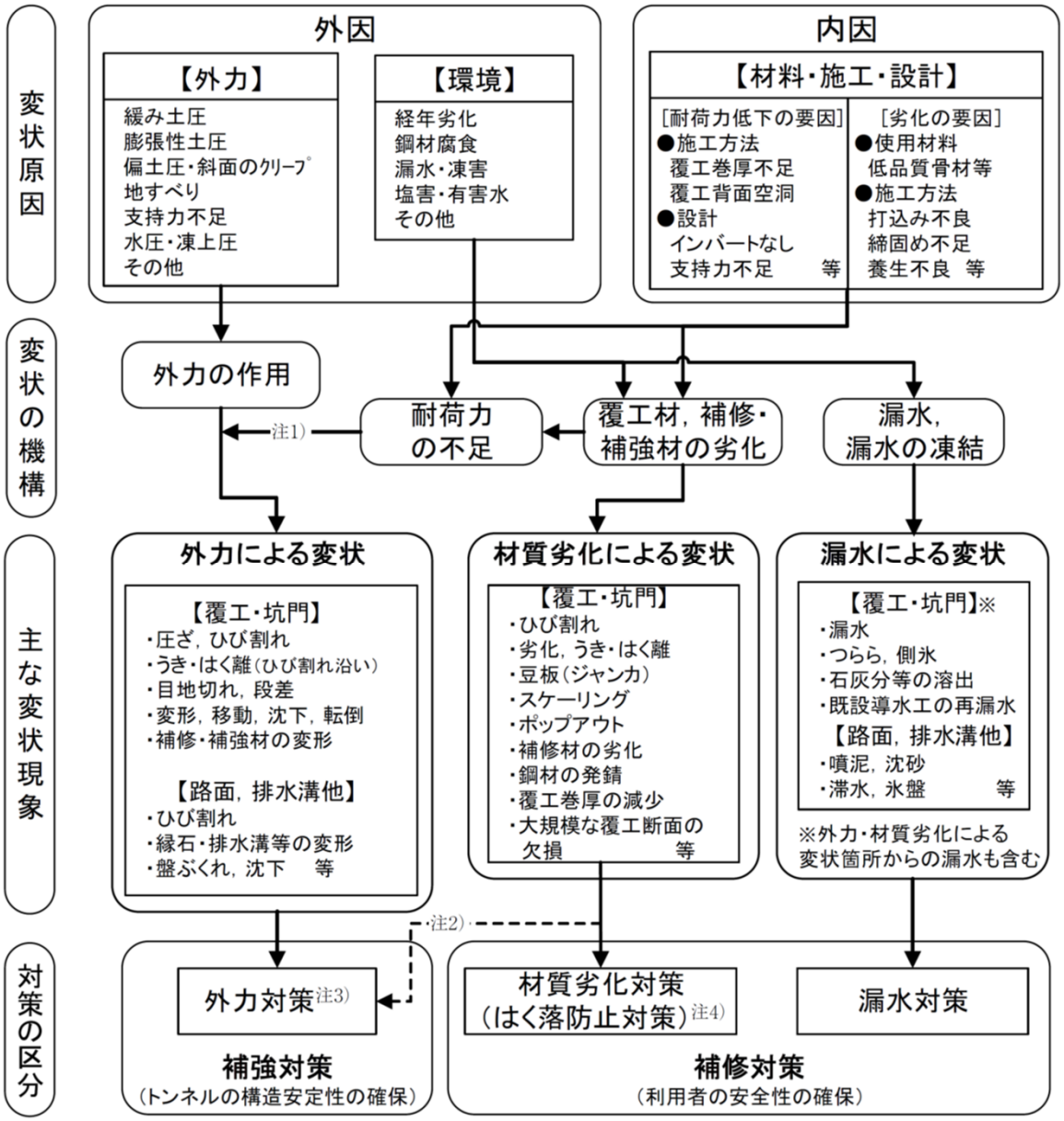
③漏水の発生

- 目地部から漏水
- ひび割れから漏水
  (NATMは防水シートにより止水)
- 酸性水の漏水による中性化(性能不良)

覆工に発生している漏水



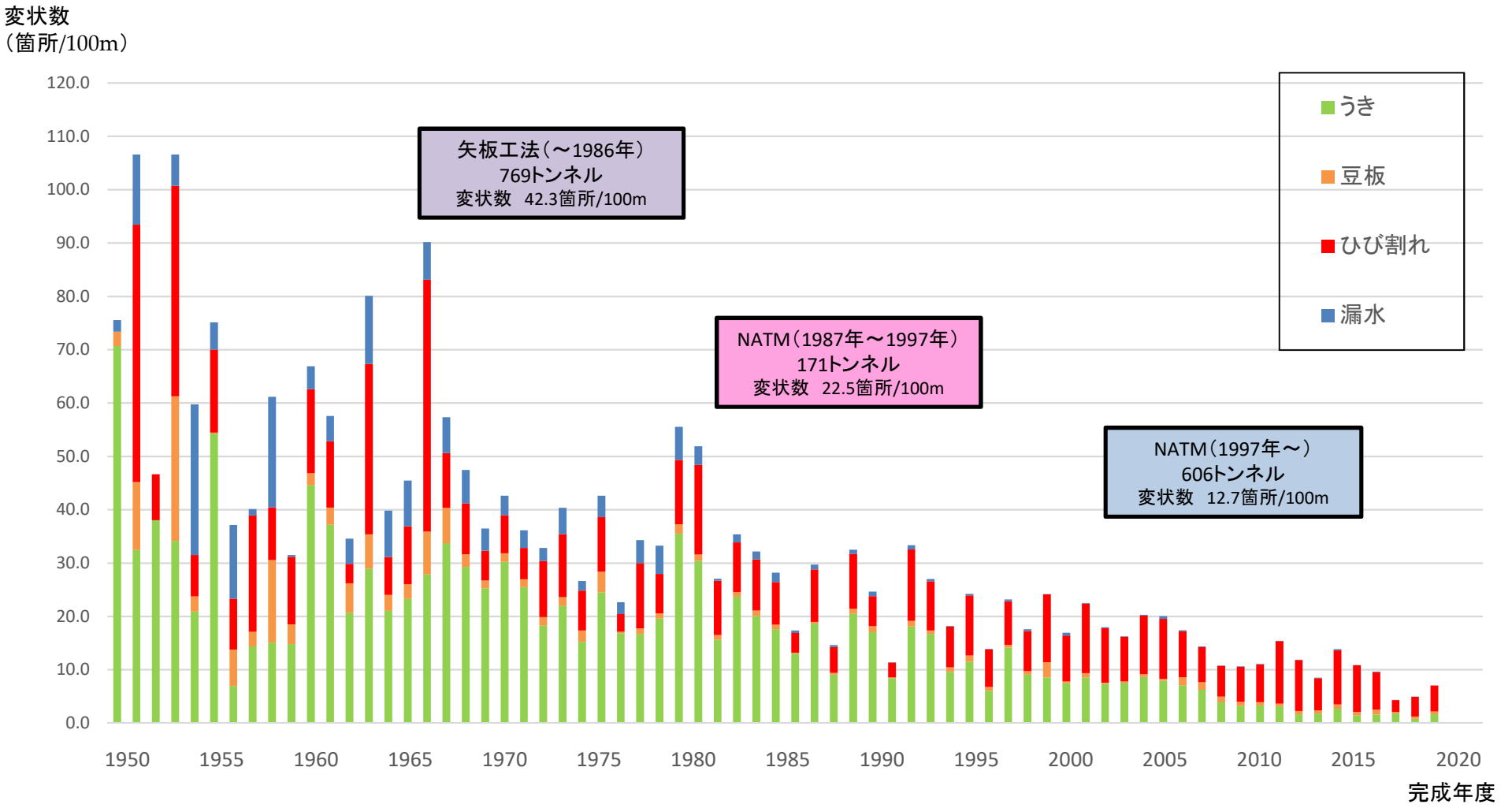
山岳トンネルの変状・劣化の分類



（出典：日本道路協会
道路トンネル維持管理便覧
【本体工編】 令和2年版）

トンネルの変状の年代別発生傾向

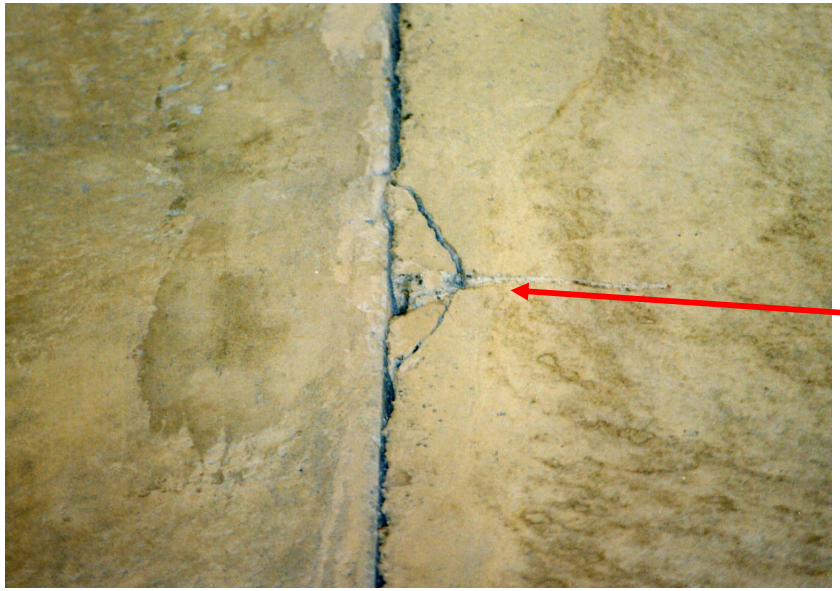
道路の例：覆工に着目しても変状の発生数や種類が違う

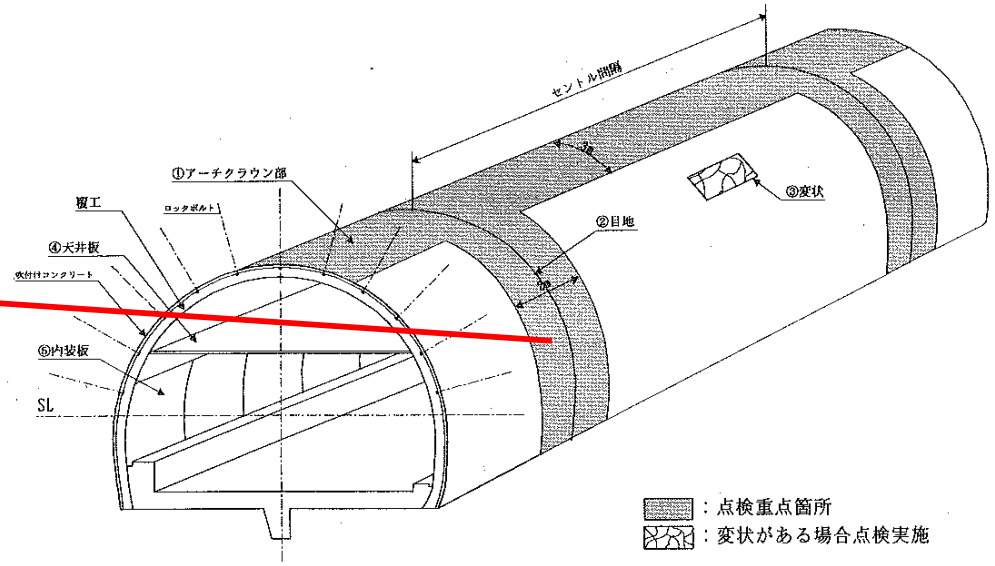


（資料提供：国土技術政策総合研究所・(国研)土木研究所）

山岳トンネルの変状例

- 閉合ひび割れ・うきの例と点検重点箇所





- 変化点におけるよりきめ細かな配慮が施工時点から求められる
- 施工の限界により，うき・はく落の落下を想定せざるを得ない場合がある時はあらかじめ，目地部や覆工材料に何らかの配慮を施す例もある

シールドトンネルの変状例

- 覆工が省略されているセグメントでの漏水の例

- 裏込め注入孔からの漏水例（漏水の中では事例数が多い）

- 極端な流量の増減がない場合は問題となることは少ないが，セグメントや金具等の劣化の進行に与える影響は留意すべき

シールドトンネルの変状例

- 漏水や劣化の例（構造の変化点における例）

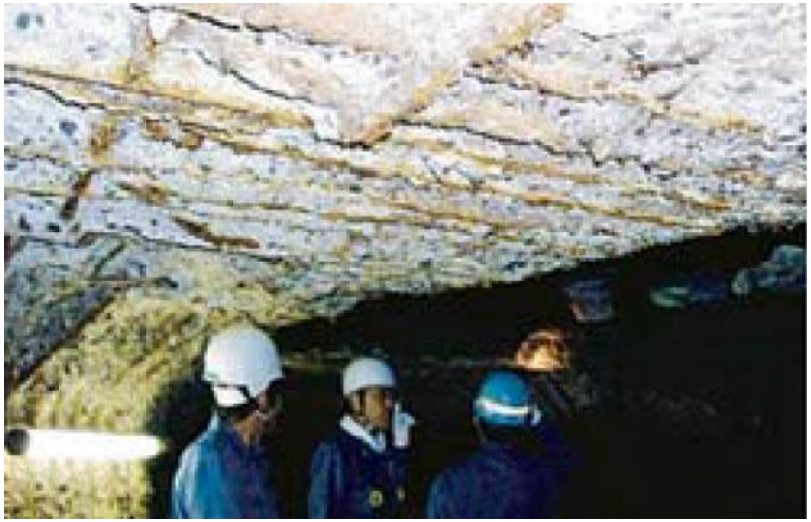
- 変化点におけるよりきめ細かな配慮が施工時点から求められる（山岳と同様）
- 施工がしやすい（ひいては維持管理がしやすい）構造を設計時点から念頭に置いた検討が必要

主な変状現象～シールドトンネル

変状現象	発生位置，要因，メカニズムなど	備考
漏水	一次覆工の継手面 ひび割れ、グラウト注入孔 立坑や分岐シャフト取り付け部　など	覆工自体の劣化，継手材の劣化，トンネル内設備の劣化などにも大きく影響を及ぼす場合があるので注意
コンクリートの劣化	コンクリートの中性化 周辺地盤中の硫黄や強酸による劣化 トンネル内面に発生する硫化水素　など	トンネル内面における硫化水素の発生は，下水道汚水管渠や合流式管渠などで顕著
ひび割れ	想定以上の外力作用や変動 地震荷重の作用など 乾燥収縮によりひび割れ　など	施工時荷重に起因して発生する場合もある．また，立坑取り付け部やトンネル開口部周辺などの構造変化部に発生しやすい
断面欠損	供用後の内水圧作用 近接施工の影響 地震時の覆工変形 漏水に伴う局部的な水圧作用，鋼材腐食　など	RCセグメントの場合，施工時のダメージで潜在的なひび割れや剥離が生じ，供用後の荷重変動などでコンクリートが部分的に崩落する場合もあり
過大な変形	周辺地盤の圧密沈下 近接施工の影響 地震時の地盤液状化　など	可とうセグメント部における地震後の過大な残留変形，周辺地盤の液状化や圧密沈下によるトンネル縦断方向のトンネル勾配変化などもある
鋼材の腐食	地下水や周辺地盤中のイオン等による覆工外面の鋼材腐食 漏水に伴う継手材や構造部材（鉄筋や鋼材）の腐食 トンネル内面使用環境の影響による腐食	地下水中の塩化物イオン濃度が高い臨海部のトンネルで，覆工外面および漏水に伴う覆工内面，継手材の腐食が激しい場合がある

維持管理に対する配慮

【下水道トンネルでの劣化】



Under Reconstruction

After Reconstruction

▲SPR(Sewage Pipe Renewal) Method

対策工の検討も進められている

（資料提供：東京都下水道局）

＝今後，適切な維持管理を行うためには，セグメント本体等の耐久性を向上させるための対策の手法や，トンネル構造全体の監視の手法の確立が課題

＝現在は，シールドトンネルに特化した蓄積がまだ乏しい段階で，要領等も山岳トンネルと比較して知見もとりまとめられておらず，今後の検討が急務

本日の内容

1. トンネル工法と技術の変遷

2. トンネルの点検

3. トンネルの変状・劣化

4. トンネルにおける維持管理の今後

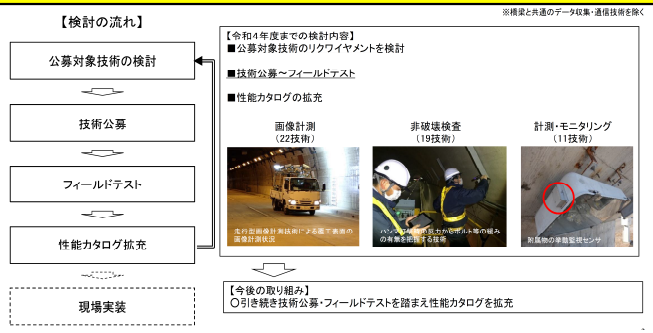
トンネルにおける維持管理

点検の質＝点検実施×【人（技術者）×技量×ツール×計画・基準】

※ツールの拡充

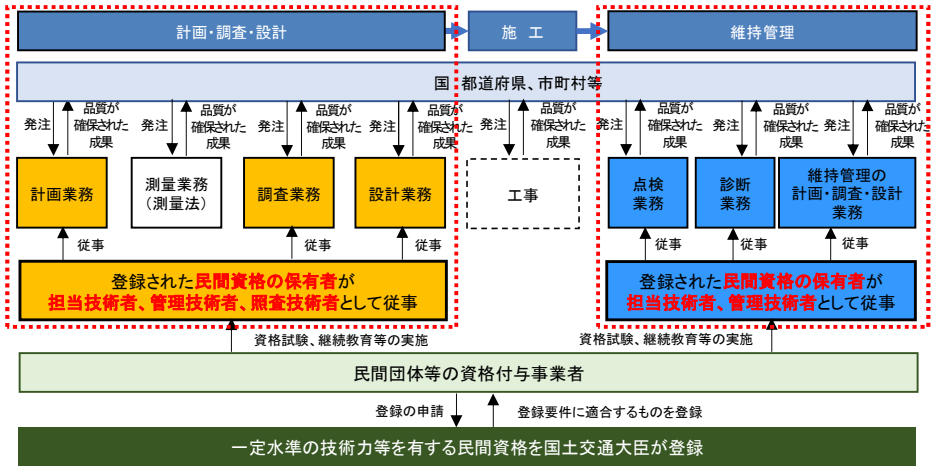
・トンネルの点検支援技術について，フィールドテストを通して性能等を整理，性能カタログを作成

・直轄国道のトンネル定期点検業務において大幅な効率化が期待できる項目について点検支援技術の活用を原則化，カタログ掲載技術から基本的に選定



（出典：国交省ウェブサイト　道路技術懇談会）

※人（技術者）の確保と技量の向上　～民間資格の登録～



（出典：国交省ウェブサイト　技術調査）

※計画・基準等に関する取り組み

1）インフラ長寿命化基本計画の作成の促進

2）点検要領の制定と共通化

・・・管理技術者の義務の明確化・健全度判定統一

3）比較的上位の技術基準類の分野横断的な検討

・・・今までは個別（構造物毎）の技術基準類に検討，制定

→　新設・改築に係る技術基準の審議体制を構築

＝「維持管理への配慮」の文言～技術者の気づきも重要

4）現場で使える「参考事例」「過去の記録」

トンネル維持管理の今後の課題

- 山岳工法以外でのトンネルにおける点検手法
- 適切な対策工の選定手法の確立
- 種々の制約を考慮した現地の点検作業時間の短縮と作業性の向上
- 閉鎖空間での高所作業に対する点検員等の安全性の向上
- 点検員等の経験や能力の個人差による人為的な判定区分の判断の差，変状展開図の精度の向上
- 経年変化の正確な評価・判定方法の確立（再劣化含む）
- リスクアナリシスとアセットマネジメントの融合

ご静聴ありがとうございました