

大栄工機(株)講演会 2023.10.27. 於:長浜迎賓館

インバートの現状と課題

特定非営利活動法人 トンネル工学会

理事長 朝倉 俊弘（京都大学名誉教授）

講演内容

1. はじめに（背景）
2. インバートの設計
3. インバート施工
4. インバートの隆起
5. まとめ（提言or希望）

参考資料 1) トンネルライブラリー（25）「山岳トンネルの
インバート」（土木学会，2013）

⇒講習会資料を朝倉の私見に基づき改変

2) 「北陸新幹線の工程・事業費管理に関する検証委員会
報告書」（鉄道運輸機構提供）

注）学位論文「山岳トンネルの変状メカニズムとその対策に関する研究」完成時に谷本親伯大阪大学教授（当時）に「インバート変状について触れられていない！不十分！」との叱責を受けた。今から思えば、まさに慧眼であった。以降、頻発するインバート変状の現状を見るにつけ、反省させられる。

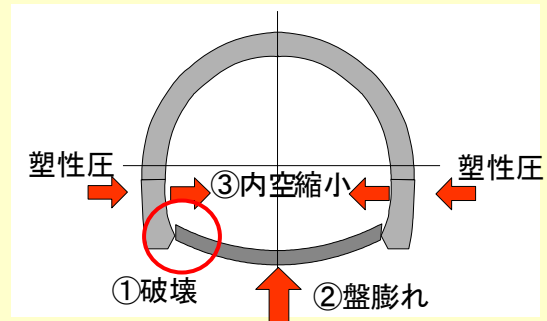
1. はじめに(背景)

供用中に発生した変状の例

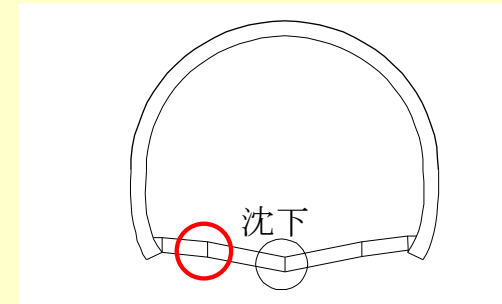
隆起（道路）



隆起（鉄道）



沈下（鉄道）



1. はじめに(背景)

■最近のインバート

- ・「設置基準」(道路, 鉄道)の整備
 - ・・・設置すべき条件が拡大
- ・施工法の発展 (⇒本当?)
 - ⇒変状発生リスクは減少

※ただし……

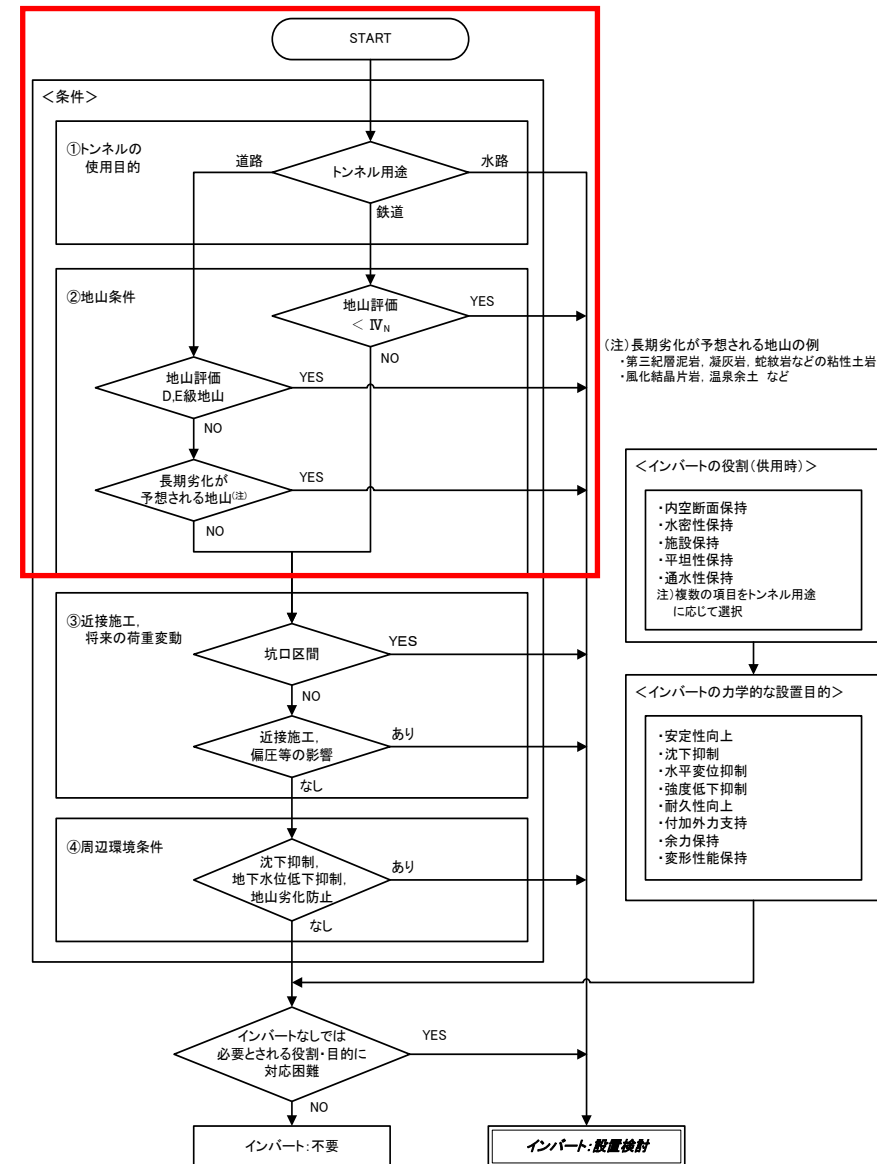
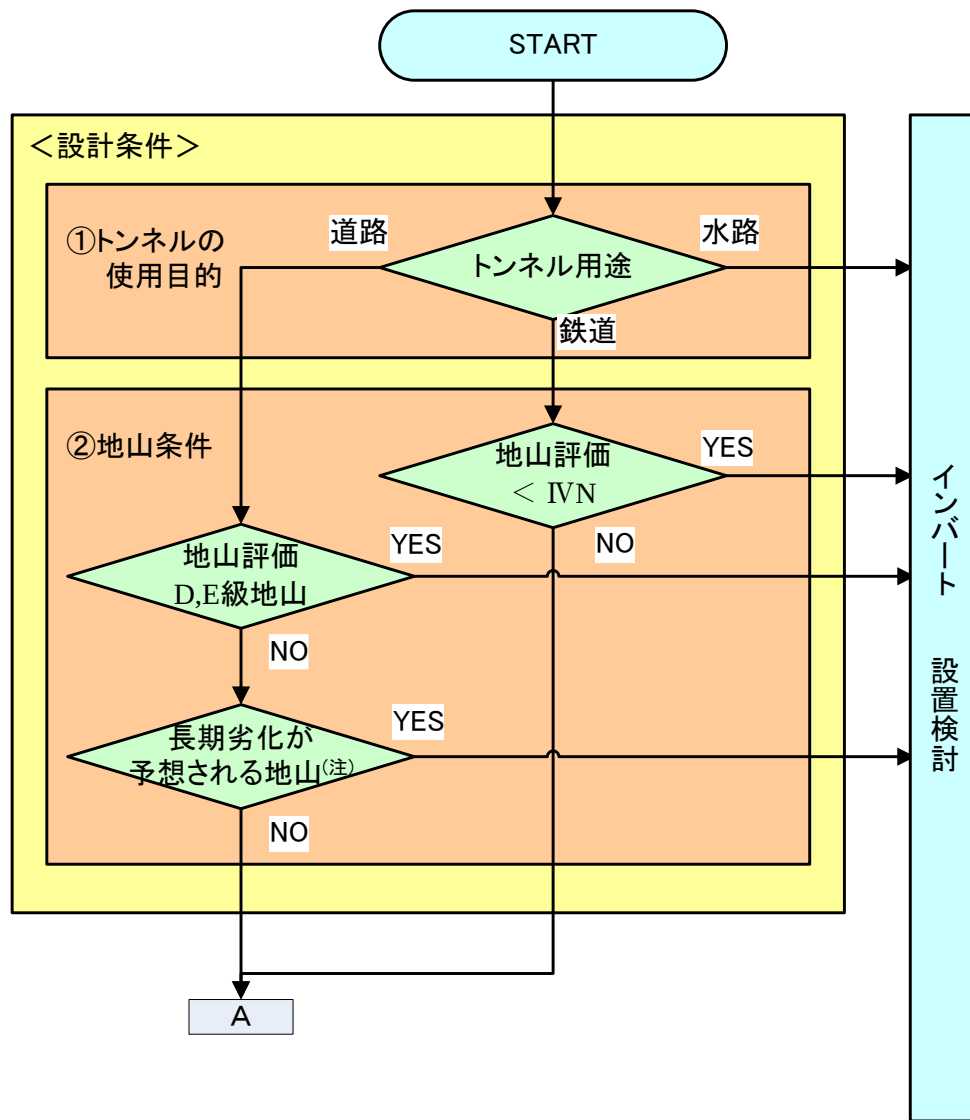
- ・インバートに過大な応力負担となり施工中or供用中に
変状が生じるケースがある.
- ・僅かな変位でも供用中に問題となるケースがある.



高品質で耐久性のあるトンネル建設が求められる時代が到来

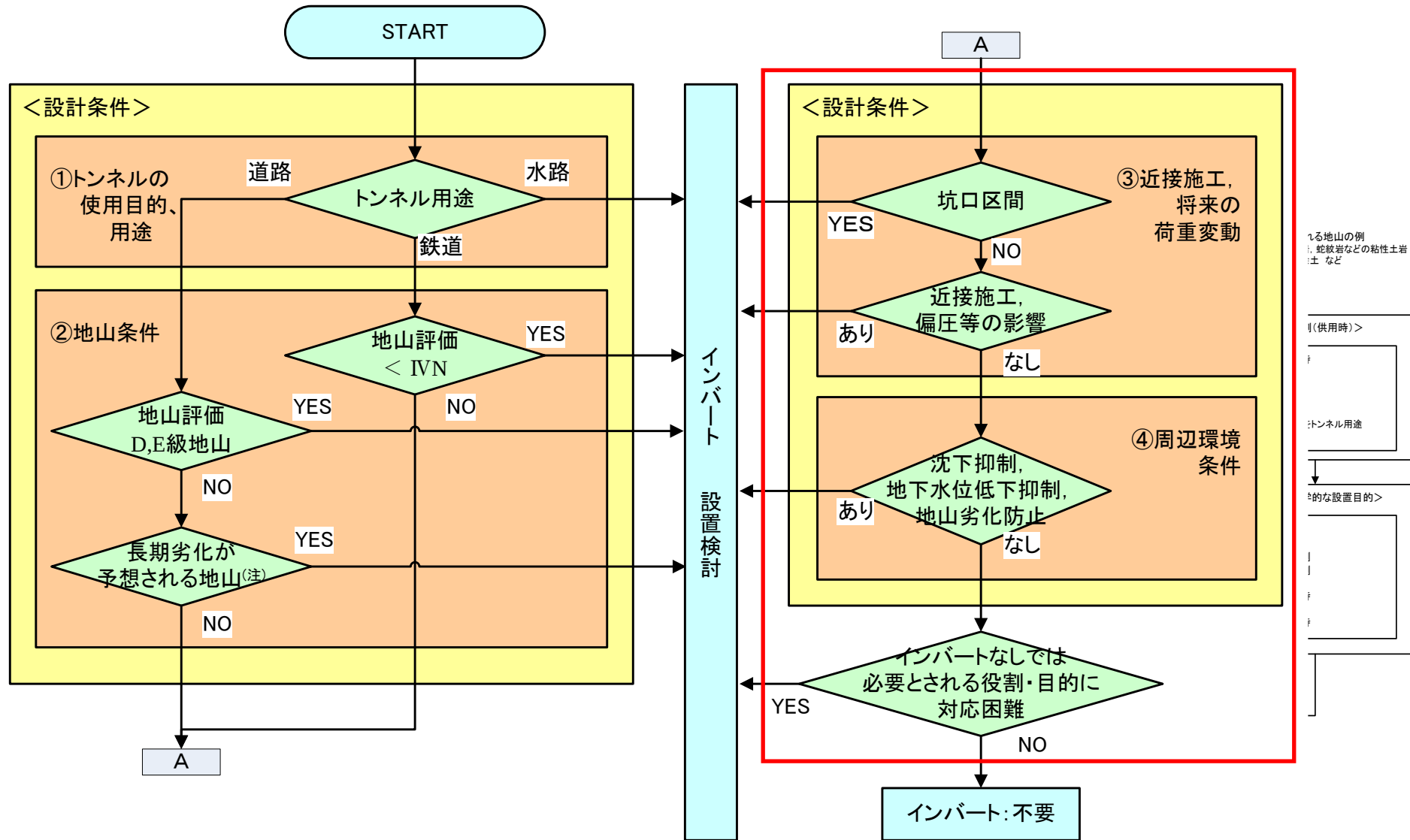
- ・都市部, 小土被り, 膨張性地山
- ・偏平大断面, 超高速鉄道

2. インバートの設計（設置判断の目安①）



2. インバートの設計（設置判断の目安②）

計画段階に的確に評価できているか？
施工段階に正しく修正ができているか？



2. インバートの設計（設計基準の変遷①道路）

＜道路の例＞

	インバートが必要な地山条件	インバート厚
①基準 1962.3	<u>地質が軟弱な場合</u>	規定なし
②基準 1974.11 1975.1	地山等級C以下で、<u>支持力不足や側圧、偏圧の作用が懸念される場合</u>	過去の実績を参考(60cm)
③基準 1989.5	- 地山等級CI, CⅡで<u>泥岩、凝灰岩等で長期的な安定性に問題がある場合</u> - 地山等級DI(条件次第で省略可) - 地山等級DⅡ以下	CI,CⅡ:40cm、DI:45cm、DⅡ:50cm、DⅢ:50cm以上
④基準 2003.11	- 地山等級CI, CⅡで第三紀泥岩、凝灰岩、蛇紋岩等の粘性土岩や風化結晶(片)岩、温泉余土等の場合 - 地山等級DI(条件次第で省略可) - 地山等級DⅡ以下	CI,CⅡ:40cm, DI:45cm, DⅡ:50cm, DⅢ:50cm以上(単鉄筋補強等) •吹付けインバートも厚さに含めることができる(場所打ちの本設インバート厚さ≧アーチ部覆工厚さ)

2. インバートの設計（設計基準の変遷②鉄道）

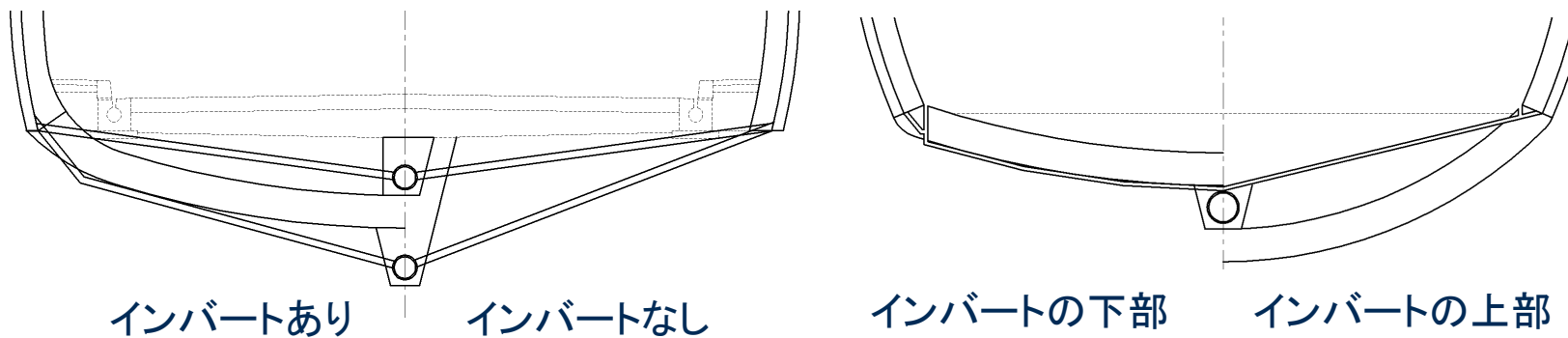
<鉄道(新幹線)の例>

	インバートが必要な地山条件	インバート厚
①基準1983.5 ②基準1987.9	I N, II N(泥岩には設置), <u>特殊地山, 偏圧地形, 二次覆工に力学的機能が必要</u> とされる場合	45cm
③基準1996.2	I N, II N(泥岩には設置), 特殊地山, 偏圧地形, 二次覆工に力学的機能が必要とされる場合, <u>将来著しい底盤部の劣化が懸念</u> される場合	(一般) III N以上: 適宜, II N, I N: 45cm (特殊) I S: 吹付け15cm+30cm(吹付けを施工しない場合は45cm), I L: 45cm, 特S, 特L: 個別対応(形状, 鉄筋コンクリートや鋼繊維補強コンクリートの検討必要)
④基準2008.4	原則設置	(一般) III N以上: 適宜、II N, I N-2, I N-1: 45cm (特殊) I S: 吹付け15cm+30cm(吹付けを施工しない場合は45cm), I L: 45cm, 特S, 特L: 個別対応(形状, 鉄筋コンクリートや鋼繊維補強コンクリートの検討必要) (坑口部) 土被りに応じ荷重設定し検討(鉄筋や繊維による補強等)

遅々たる歩みではあるが、道路でも、鉄道でも設計の改善を続けてはいる。

⇒しかしながら完成後の盤膨れは後を絶たず、さらなる改善が必要

2. インバートの設計（中央排水工の位置）



(a)道路トンネルのインバート
— 上部設置が標準 —

(b)鉄道トンネルのインバート
— 下部設置が標準 —

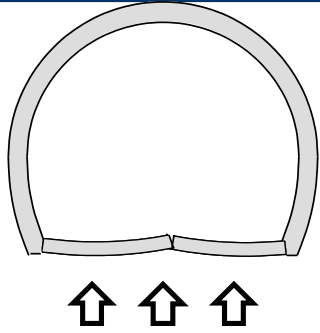
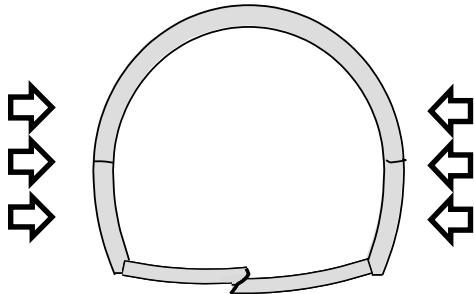
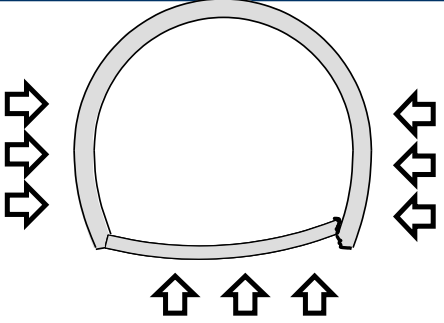
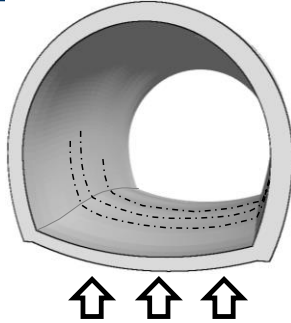
中央排水工の位置を設計上、どのように考えるのか？

→ インバートの形状・寸法が変化⇒縦断方向の構造
変化をどう実現？

掘削量の増減，地山への影響

支保的インバートの設計・仕様に影響

【参考】底盤部の変状(盤ぶくれの変状形態模式図)

底盤中央での曲げひび割れ	 底盤下方から荷重が作用することにより、曲げひび割れが発生する。トンネル全体に同程度の荷重が作用している場合でも、上半下半と比較して半径の大きい底盤でインバートに曲げひび割れが発生しやすい。	底盤でのせん断破壊	 底盤の水平方向軸力が大きい場合にインバートにせん断破壊が発生する。盤ぶくれとともに、側壁の大きな押出しやひび割れも発生する場合が多い。
接続部のせん断破壊 インバートと側壁の	 側方および下方からの荷重により、インバートと側壁の接続部がせん断破壊する。とくにインバートと側壁の接続面の処理が不適切で軸力がうまく伝達しない構造である場合が多い。	輪切りひび割れ	 近接施工やトンネル軸方向での地形、地質の変化等の原因により、トンネル軸方向の不等沈下、不等隆起が発生し、インバートに輪切りひび割れが発生する。底盤から側壁にまで連続した輪切りひび割れが複数発生することもある。

外的要因

- ・ Squeezing
- ・ Swelling
- ・ Slaking

内的要因

- ・ 構造：強度
曲率
厚さ
- ・ 施工：接合部
水処理
泥濘化
長時間

【参考】底盤部の変状（路盤沈下のメカニズムの一例）

- ① トンネル周辺の地下水が豊富である。
 - ② **地下水位**が路盤コンクリートよりも高い
 - ③ 路盤コンクリート下面の地山が**軟質**である。
- +
- ④ 地下水の移動が可能な構造
 - ④ 側溝等の割れ目から路盤下への**水の流入**
 - ⑤ 列車走行による**繰返し荷重**の作用

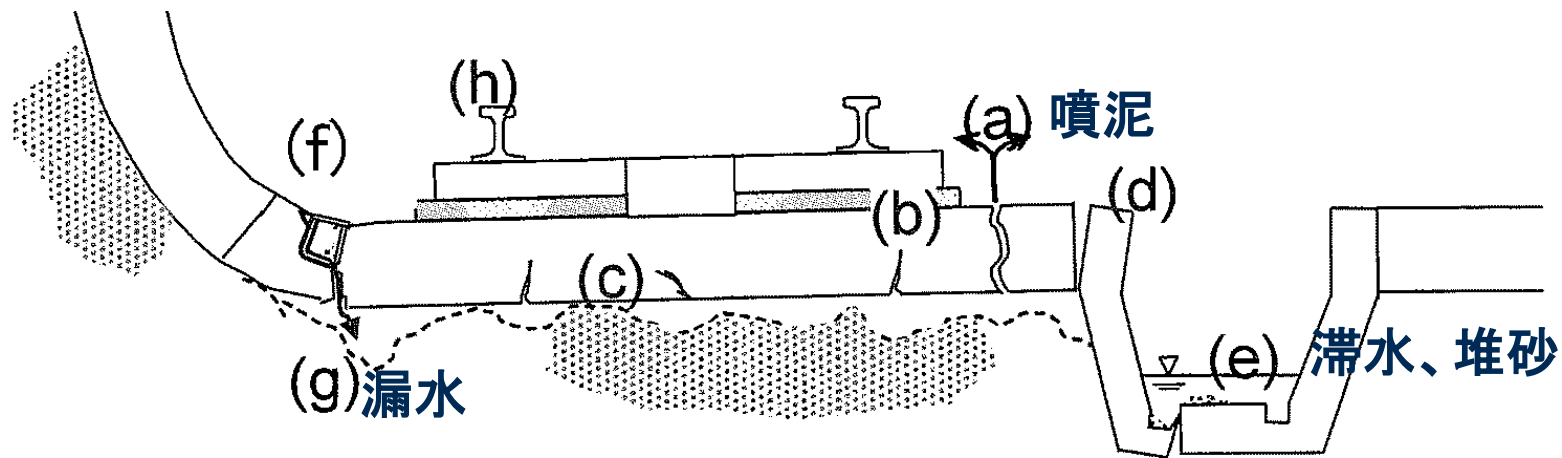


図. 路盤沈下の概要



3. インバートの施工

基準類における「インバート施工」

設計もさることながら
施工面で問題はないのか？

I. NATM設計施工指針（国鉄、1983）

- ・ 第37条 インバートコンクリートの施工時期
 - (1) インバートコンクリートの施工時期については、計測結果に基づいて定めなければならない。
 - (2) 地山区分で特殊地山に該当する場合は、原則として二次覆工前にインバートコンクリートを施工すること。
- ・ 第38条 インバートコンクリートの施工方法
 - (1) 掘削延長（1打設長）は、地質及び地山の挙動を勘案して、定めなければならない。
 - (2) 施工にあたっては、側壁下部との継目に注意するとともに排水を十分に行い、吹付コンクリートのはね返り材及び不良な部分は、取り除かなければならない。
 - (3) コンクリートの打込みは、掘削完了後、速やかに行わなければならない。



3. インバートの施工

Ⅱ. トンネル標準示方書・山岳編（土木学会、1986）

・ 第120条 インバートコンクリートの施工

- (1) コンクリートの打込みに先立ち、掘削面または吹付けコンクリート面の**清掃、排水**を十分に行わなければならない。
- (2) コンクリートの打込みに当たっては、**締固め**を十分に行わなければならない。
- (3) **打継目**は、インバートの軸力が円滑に伝達できるように**適切な方法**で施工しなければならない。

・ 第121条 インバートコンクリートの施工時期

- (1) インバートコンクリートは、インバート**掘削後すみやかに**打ち込まなければならない。
- (2) インバートコンクリートの**一打設長**は、地山条件、施工性、を考慮して決めなければならない。



3. インバートの施工

Ⅲ. トンネルコンクリート施工指針（案）（コンクリートライブラリー102、2000）

・ 10.5.4 打込み

10.5.4.1 準備

- (4) インバートコンクリートおよび側壁コンクリートとアーチコンクリートの打継目の形状が、設計図面どおりであることを確認しなければならない。

10.5.4.2 インバートコンクリートの打込み

- (1) インバートコンクリートは、インバート掘削後速やかに打設しなければならない。
- (2) 一回の打設長は、地山条件、施工性を考慮して定めなければならない。
- (3) インバートコンクリート上面の勾配が急な場合は、型枠を使用してインバートコンクリートを打ち込まなければならない。
- (4) コンクリートの打込みに先立ち、打継目、掘削面または吹付けコンクリート面の清掃・排水を十分に行わなければならない。



3. インバートの施工

IV. トンネル標準示方書・山岳編（土木学会、2016）

・ 9.1 インバートの施工時期、施工方法

- (1) インバートは、地山条件、地山の挙動、施工性等を考慮して適切な時期、方法で施工しなければならない。
- (2) インバートコンクリートの一打込み長は、地山条件、施工条件等を考慮して決めなければならない。

・ 9.2 インバートコンクリート

- (1) インバートコンクリートの打込みに先立ち、打継ぎ目、掘削面または吹付けコンクリート面の清掃、排水を十分に行わなければならない。
- (2) インバートコンクリートは、仕上がり形状に注意して十分に締め固めなければならない。また、打込み後は、埋戻し材による死荷重や埋戻し作業による輪荷重等に耐える強度に達するまで載荷してはならない。
- (3) 打継ぎ目は、適切な方法で施工しなければならない。
- (4) インバートコンクリートの埋戻しは、沈下や凍上のないよう、適切な材料、方法で施工しなければならない。

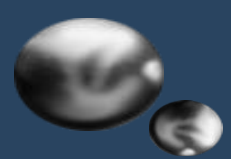


3. インバートの施工

基準類の共通事項

- ・ 施工時期 ⇒ 計測による
- ・ 不良地山 ⇒ 二次覆工前
- ・ 打継目 ⇒ 設計どおり
- ・ 打設 ⇒ 掘削後速やかに
- ・ 掘削面 ⇒ 清掃・排水
- ・ 一打設長 ⇒ 地山条件・施工性
- ・ 曲率大 ⇒ 型枠使用

⇒ 守られているか！？ 定量的な縛りが必要か？

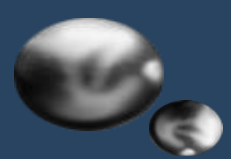


3. インバートの施工

参考 施工の実態(1)

「打設前には、清掃・排水」

⇒泥濘化していないか？



3. インバートの施工

参考 施工の実態(2)

「打設は掘削後速やかに」

⇒2スパン以上掘削して
いないか？

4. インバートの隆起（新幹線の例）



インバートの隆起が発生した新幹線トンネル

事業者	区間	トンネル名	延長
JR東日本	安中榛名・軽井沢	碓氷峠トンネル	8295m
	安中榛名・軽井沢	一ノ瀬トンネル	6165m
	飯山・上越妙高	飯山トンネル	22251m
JR西日本	上越妙高・糸魚川	峰山トンネル	7090m
	上越妙高・糸魚川	松の木トンネル	6777m

さらに、西九州新幹線久山トンネル、北陸新幹線加賀トンネルも！
また、道路トンネルでも！ ⇒ **何が共通する要因か？**

①碓氷峠トンネル

2004年以降の軌道変異による計測や現地調査の結果から、14箇所で軌道隆起を確認（最大で3mm/年）

2006年に下向きロックボルト、2012年に2次対策として下向きロックボルトの増打ちを施工

ロックボルトの配列は、線路方向の打設間隔1.35m

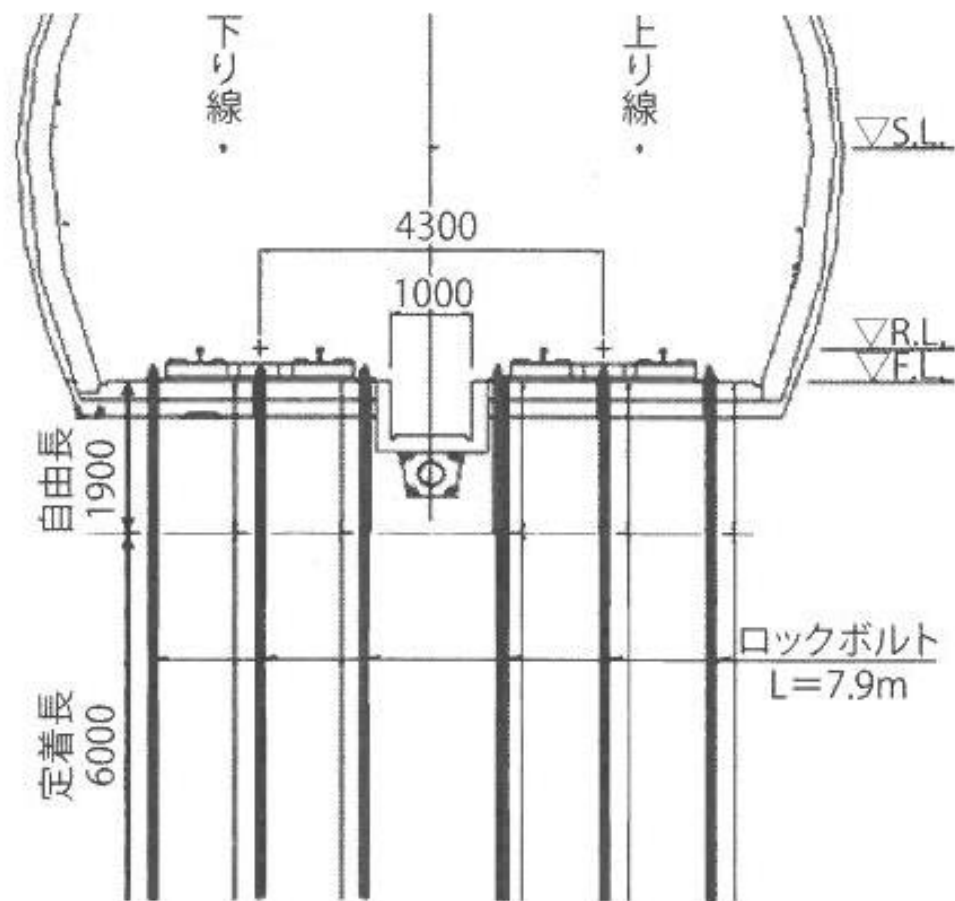


図-3 碓氷峠トンネル(1次・2次対策)のトンネル断面方向のロックボルト配置図

①碓氷峠トンネル

対策実施により、隆起速度は抑制されたことを確認。
ただし、対策を実施した12箇所全てで完全な収束に至らず、
路盤隆起の収束に向けて今後も追加対策が必要。

⇒Rockboltは変位に対して効果を発揮⇒変位させたくないならプレストレスが必須
⇒本来、建設段階で手を打つべき

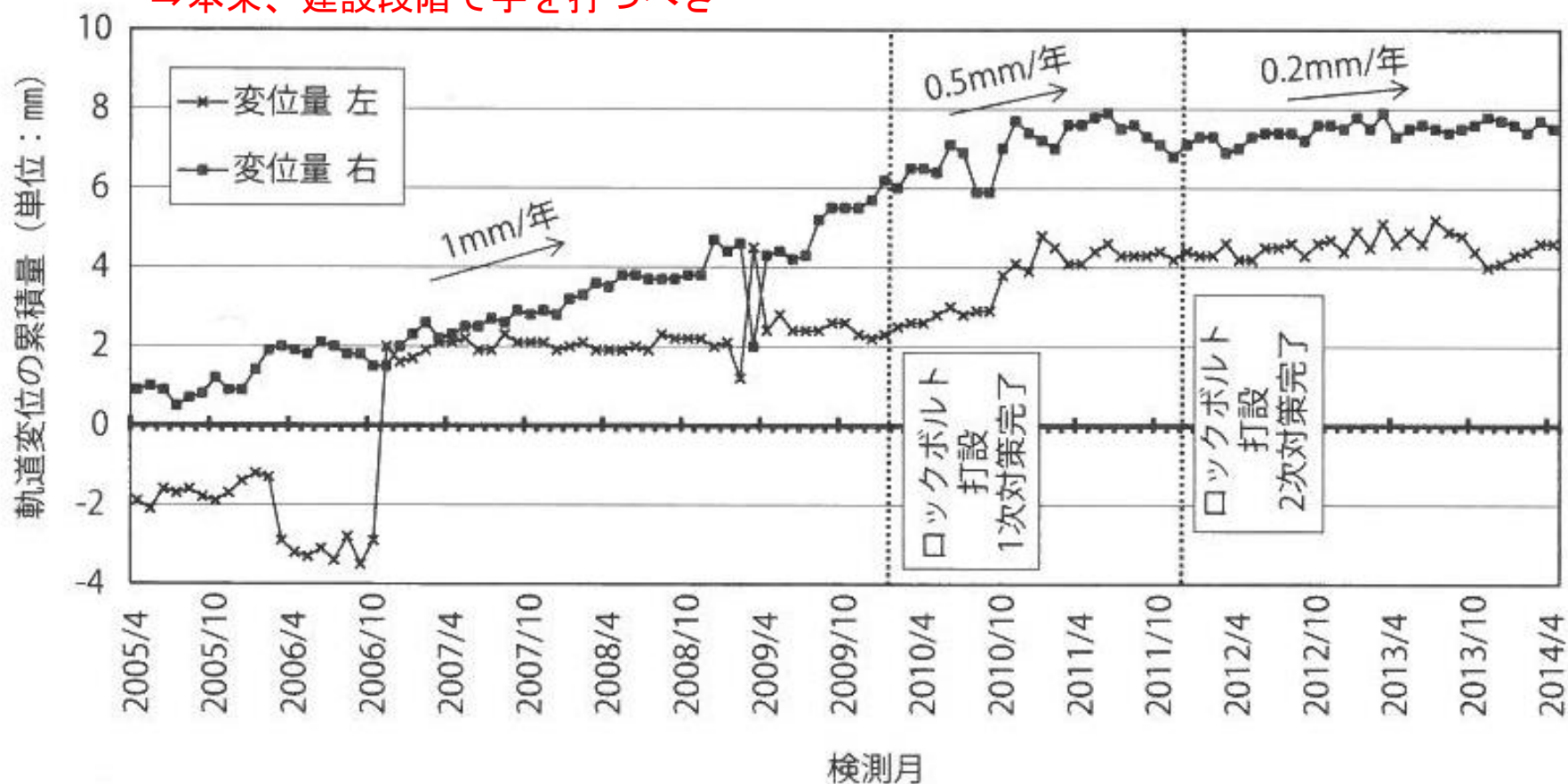


図-4 碓氷峠トンネル軌道計測結果

②一ノ瀬トンネル

1997年の開業以来、一部の区間において1mm/年程度の軌道隆起を確認。

軌道整備による対応を実施。

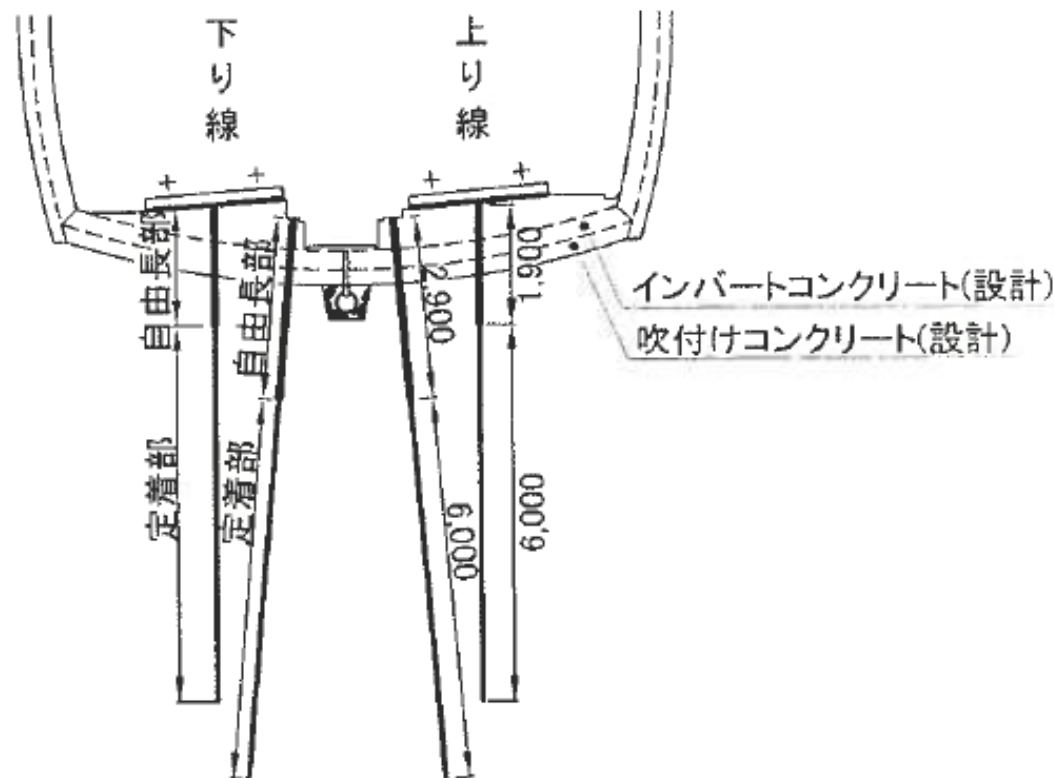
しかし、2004年3月に隆起が1mm/月に急進、開業以来の**累積は20mm**に。



2005年にインバートへの下向きロックボルトを施工

表-1 一ノ瀬トンネル諸元

位 置	北陸新幹線安中榛名・軽井沢間
延 長	6,165m
竣 功	1995年11月
施 工 方 法	NATM
土 か ぶり	最大300m程度 (路盤隆起箇所は200m程度)
地 質	凝灰岩・凝灰角礫岩・火山角礫岩・安山岩質貫入岩
支保パターン	$I_s \cdot I_N \cdot II_N$ (路盤隆起箇所は I_s)
設計覆工厚	30cm
インバート	全線にインバートあり(設計巻厚45cm) 路盤隆起箇所は設計吹付け厚さ25cm インバート設計巻厚30cm



ロックボルトの仕様

材質：AS345 メッキボルト (D25N)

ボルト長：

中央部 $L=9.0m$ (余長 0.1m, 自由長 2.9m, 定着長 6.0m)

線間部 $L=8.0m$ (余長 0.1m, 自由長 1.9m, 定着長 6.0m)

図-2 一ノ瀬トンネル(一次・二次対策)のトンネル断面方向のロックボルトの配置

②一ノ瀬トンネル

一次対策、二次対策終了後も、0.7mm/年程度の隆起が継続。

⇒変位速度は抑制できても進行は止められない！（ロックボルトは発生する変位に対応して地山との剛性比により効果が生じる！）

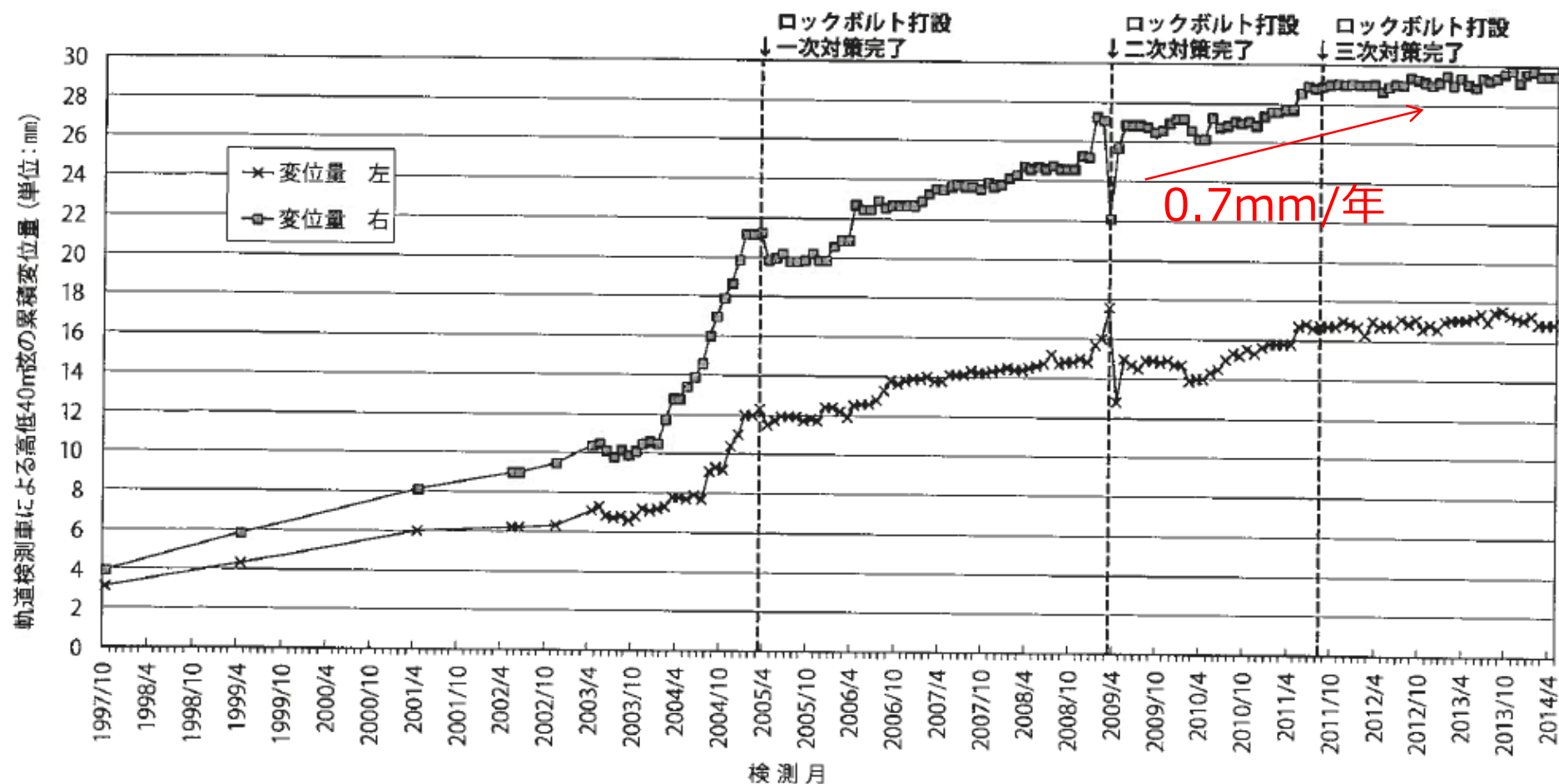


図-4 一ノ瀬トンネル32k029m付近の軌道変位の累積量

②一ノ瀬トンネル

1mm/年程度の速度でトンネル断面の縮小が進行

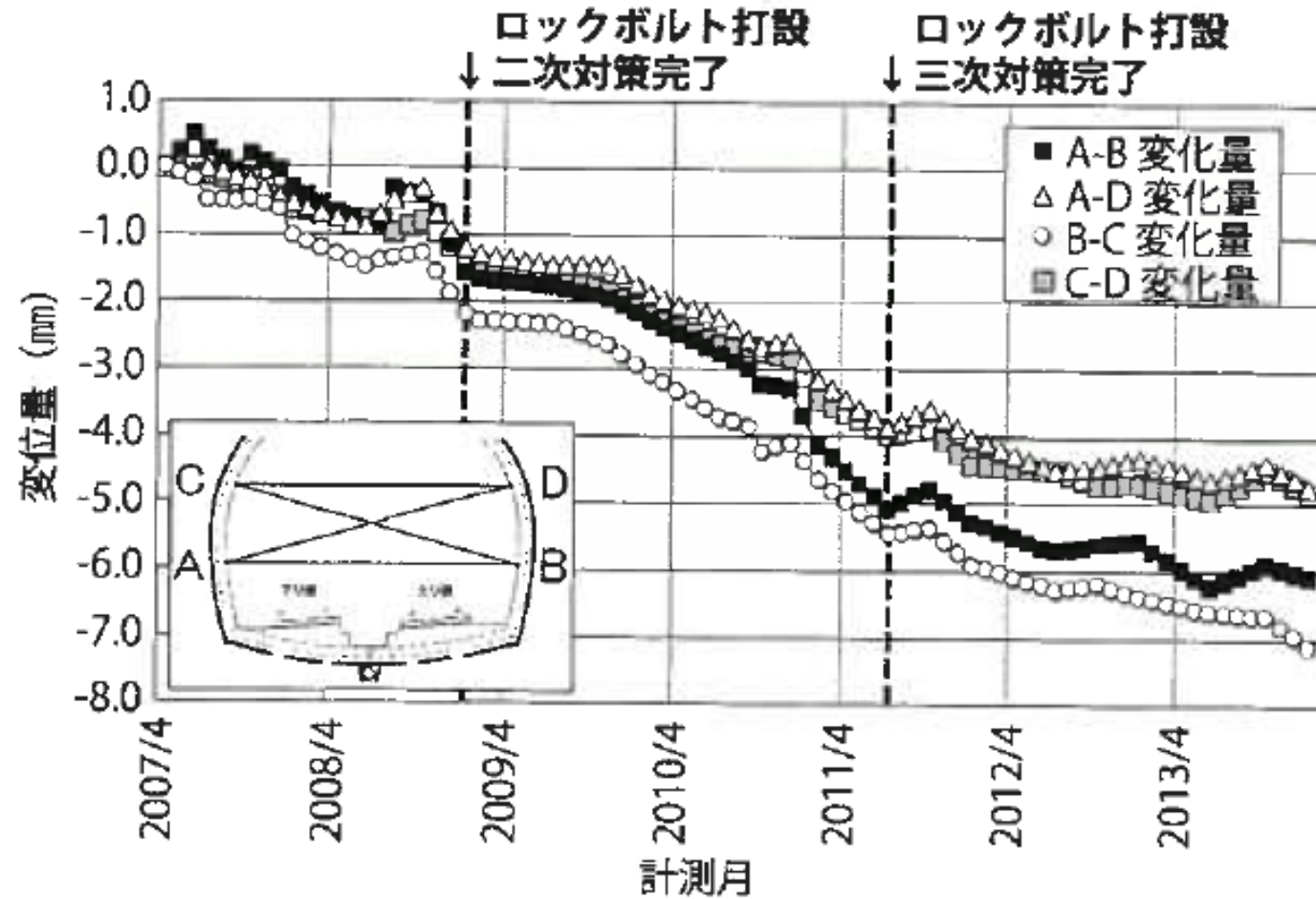
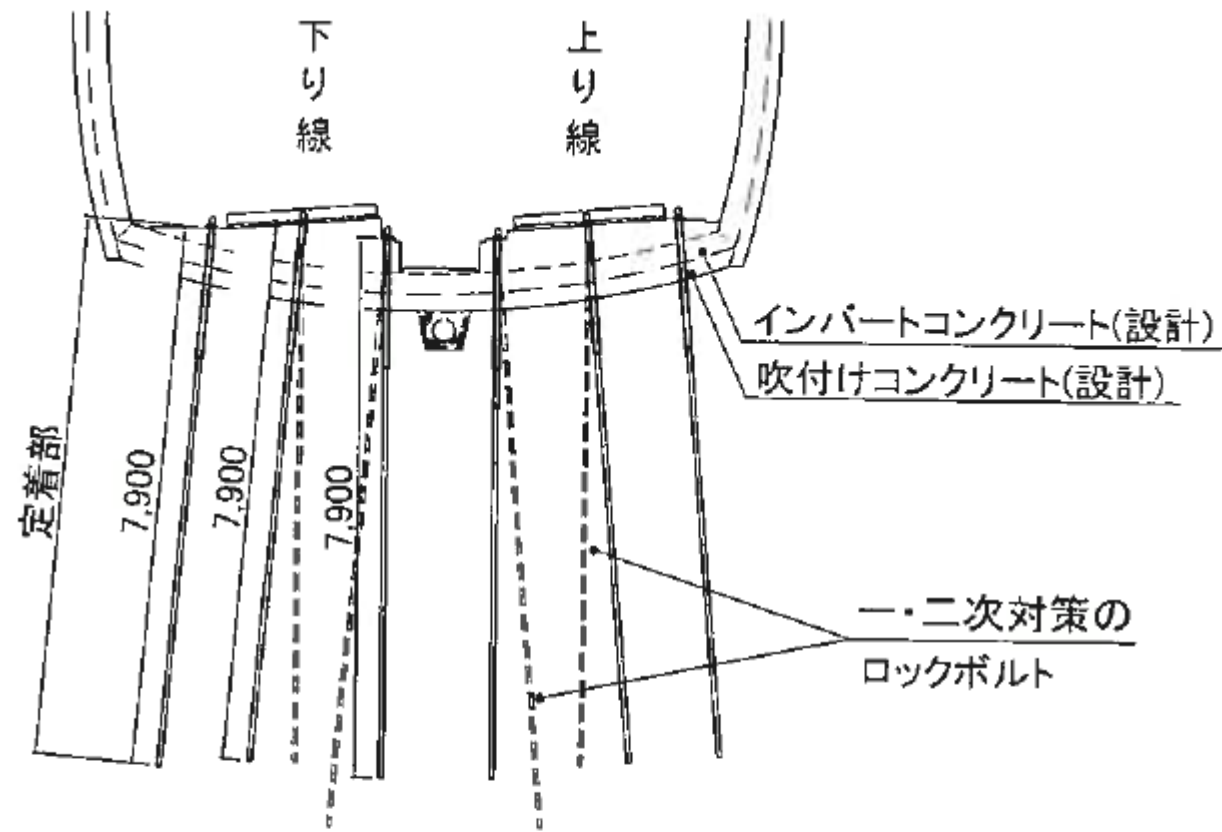


図-5 一ノ瀬トンネル32k027m付近の内空変位の経時変化

②一ノ瀬トンネル



ロックボルトの仕様

材質：A5345 メッキボルト (D25N)

ボルト長：L=8.0m (余長 0.1m, 定着長 7.9m)

図-8 一ノ瀬トンネル(三次対策)のトンネル断面方向
のロックボルトの配置

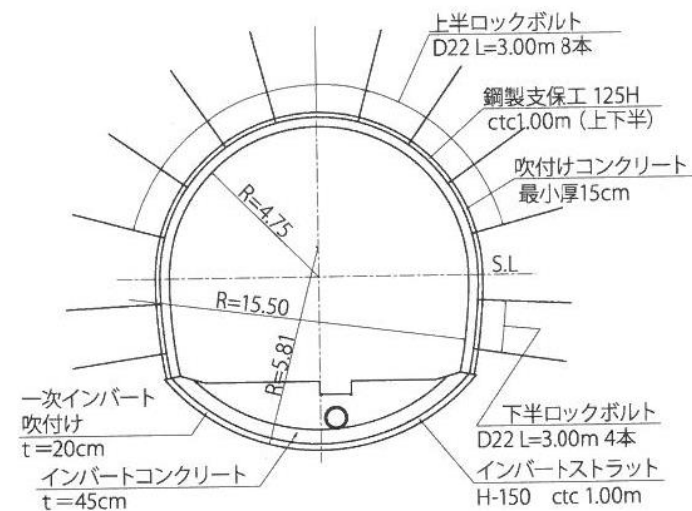
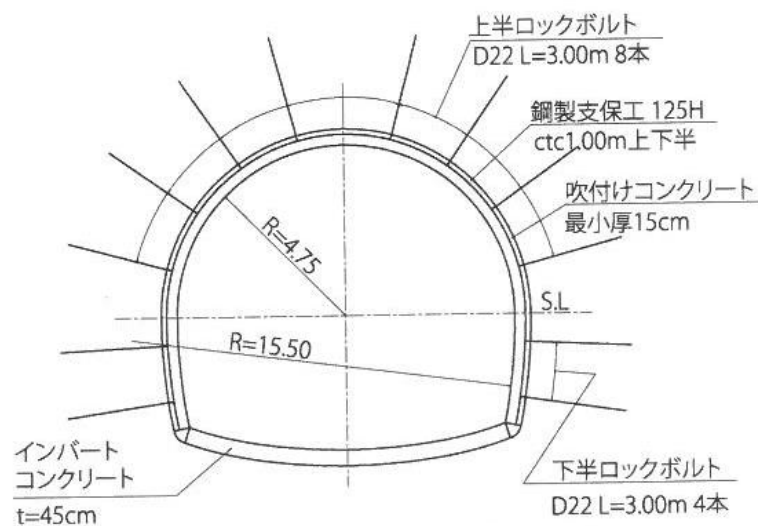
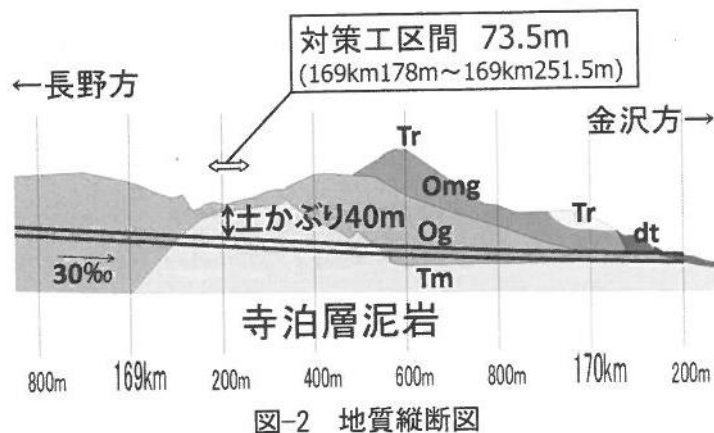
③飯山トンネル

延長22.3kmの長大トンネル

本工事は2000年3月～2011年6月

2012年4月点検時に、インバート
コンクリート中央通路部で、
21mにわたり、しゅん功時にな
かったひび割れを発見

- ・当初図-3パターンを基本に施工。
- ・169k230mより終点方では、天端・内空変位が拡大したため、
図-4（中央集水管抱込み型インバート）と、一次インバート吹付けの施工も実施。



③飯山トンネル

2012年4月に、169k209m～230mの21m間で、インバートコンクリート中央通路側部に最大3mm幅のクラックの発生を確認。



盤膨れの発生が懸念されたため、地質調査ボーリング、室内試験、地中変位計による計測、ひび割れ追跡調査等を実施。

表-2 ひび割れ進行状況

測定位置	ひび割れ幅(mm)		ひび割れ進行(mm)
	2012年 4 月	2013年 7 月	
169km210m	1.6	3.0	1.4
169km225m	3.0	4.0	1.0

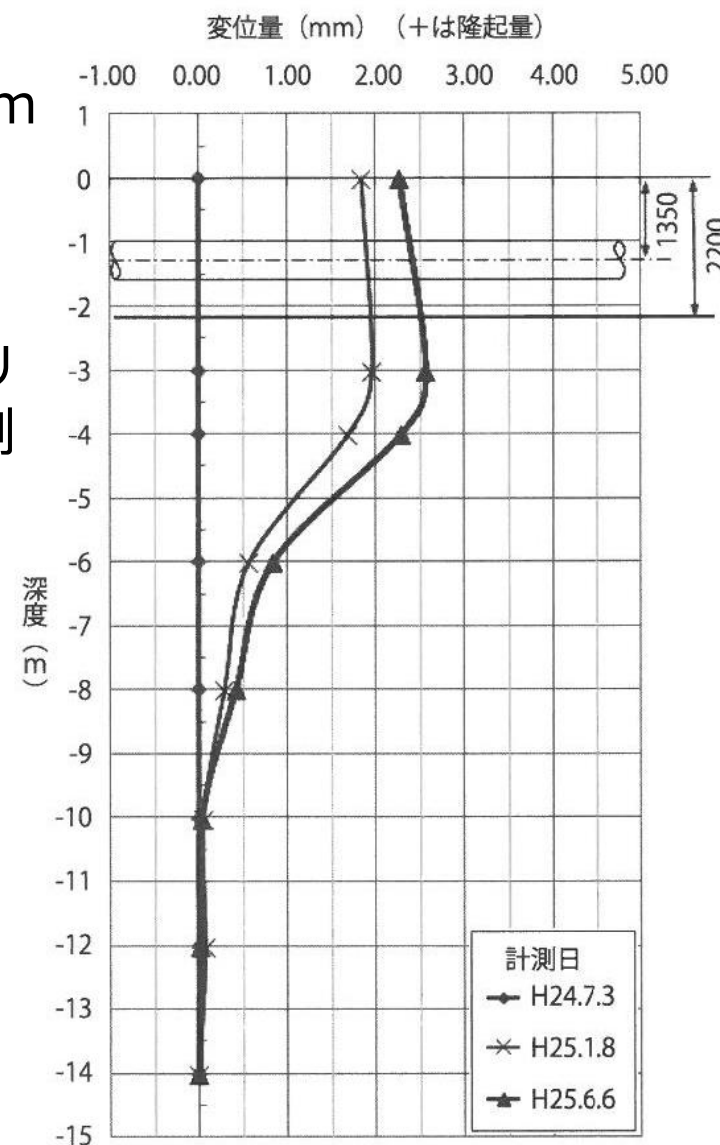
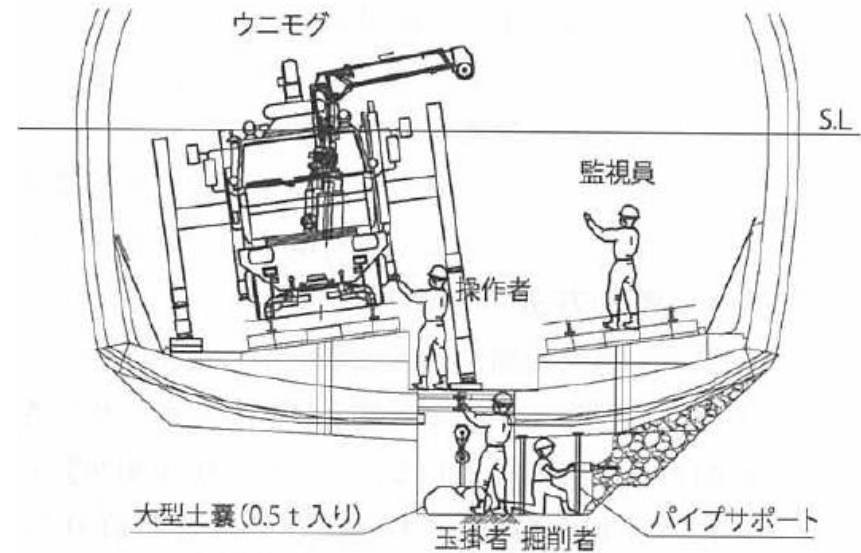
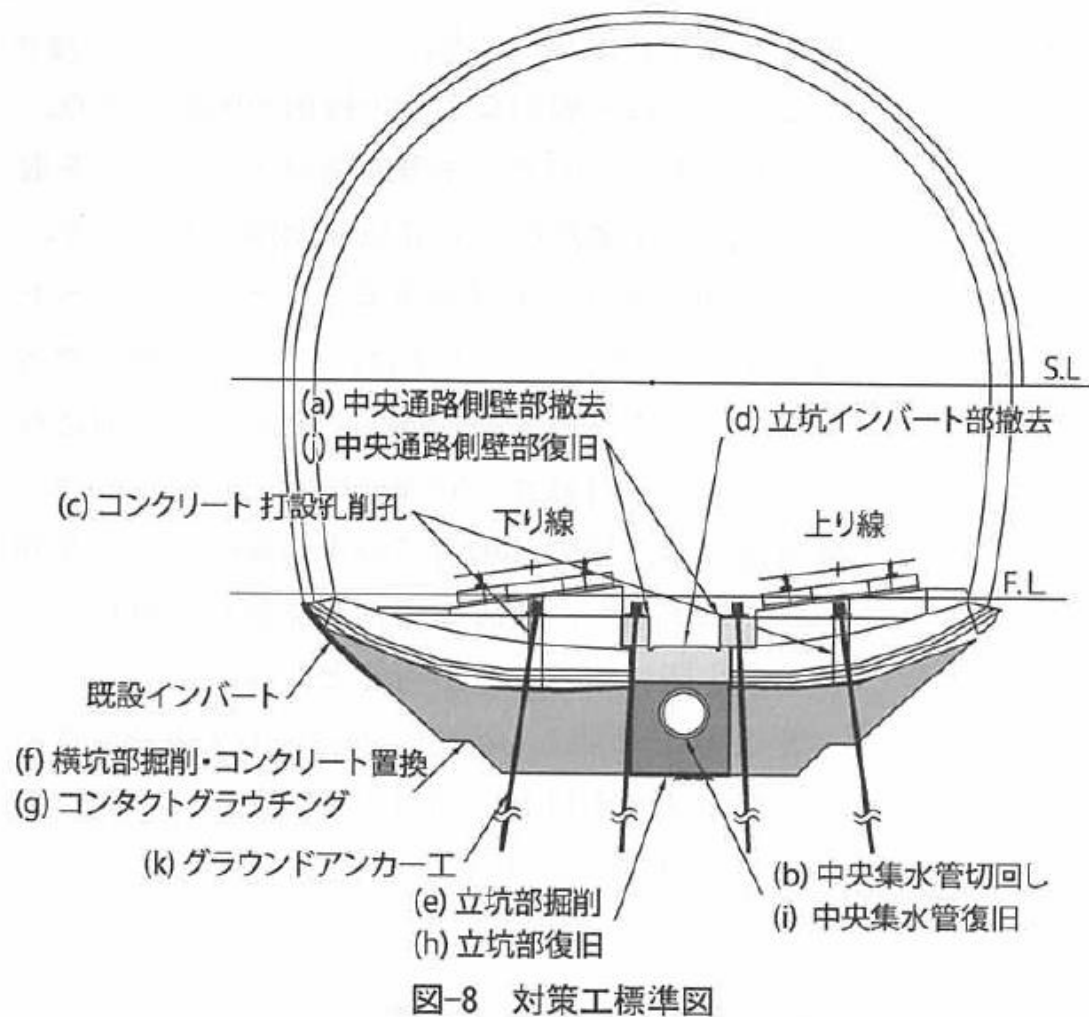


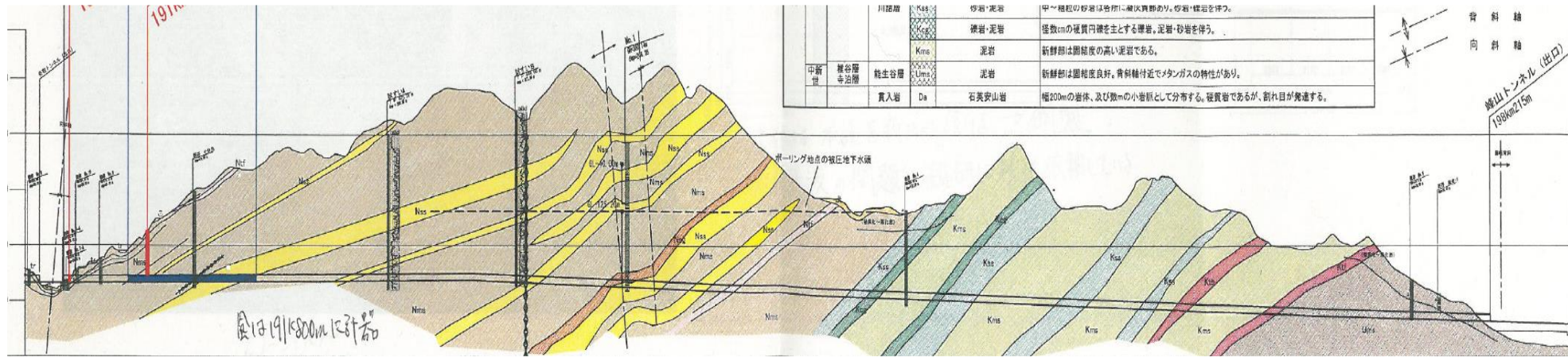
図-6 地中変位計測結果

③飯山トンネル



新長崎トンネルでは、インバートを1スパン取り壊して打ち換えを実施！

④峰山トンネル

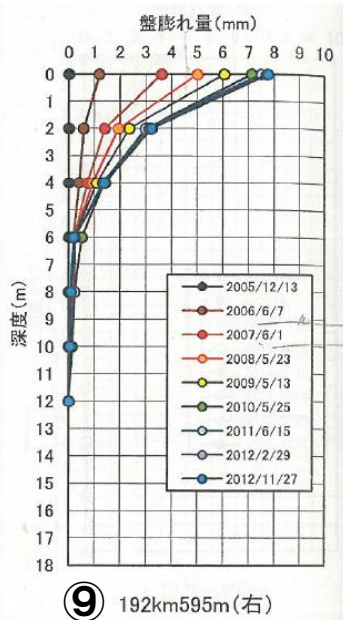
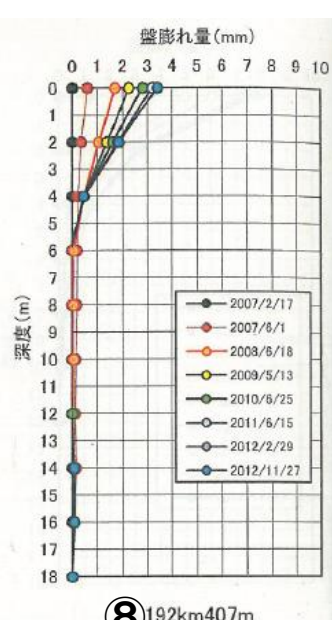
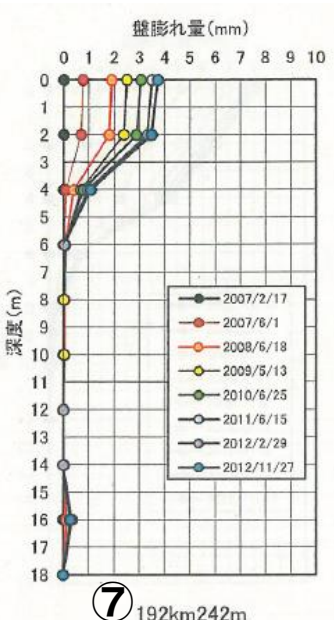
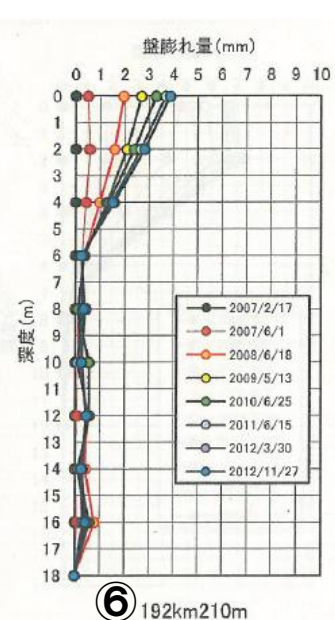
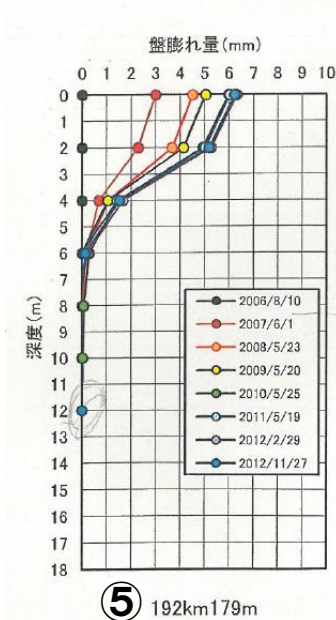
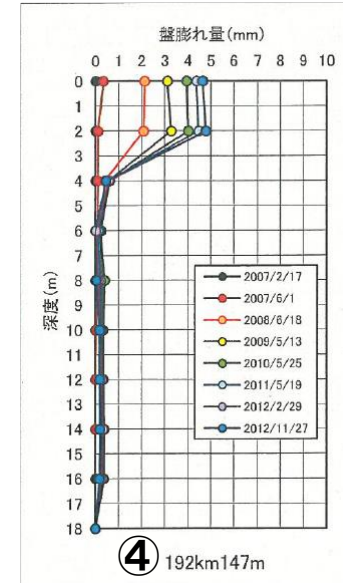
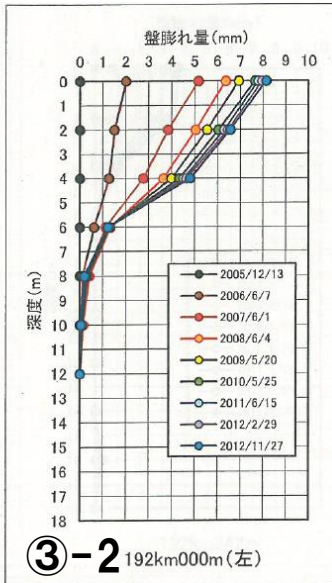
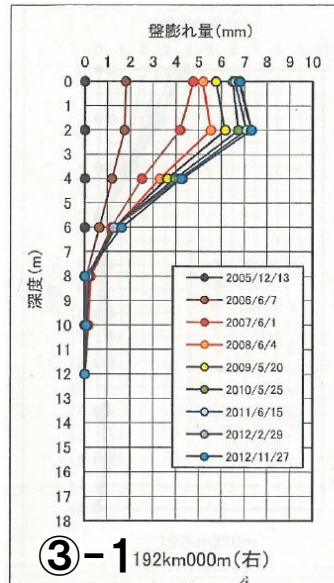
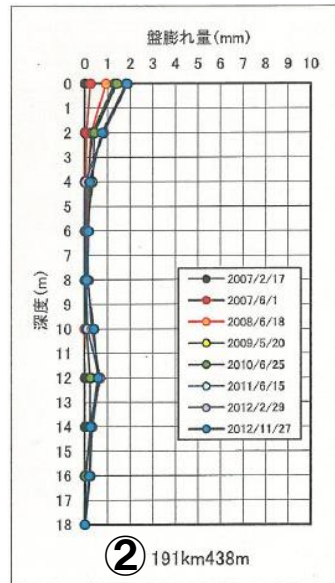
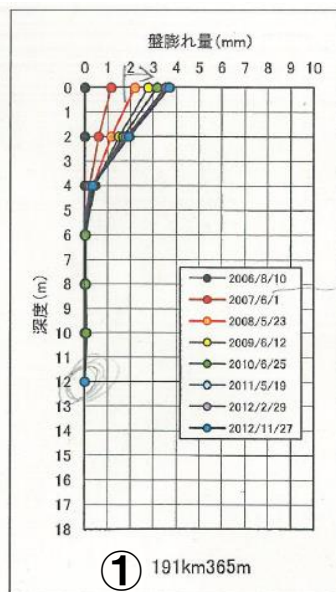


線名: 北陸新幹線
 駅間: 上越～糸魚川間
 キロ程: 191k195m～198k215m(延長7,020m)
 建設時期: 2002.06.01～2009.03.31
 掘削工法: ベンチカット工法(NATM)
 地山等級: I N～I S(一部特S区間有)
 覆工巻厚(1次覆工厚): 30cm(15cm)
 インバート厚: 45cm(無筋コンクリート)
 覆工構造: 一部鉄筋コンクリート(坑口付近)



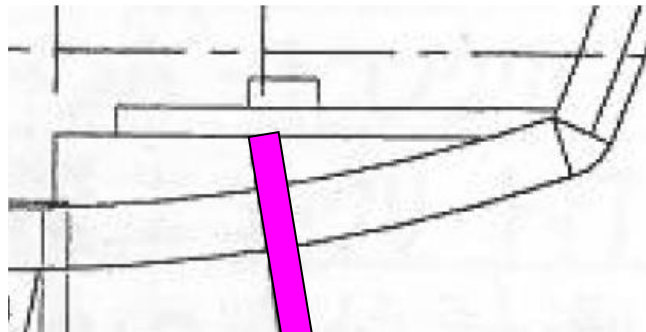
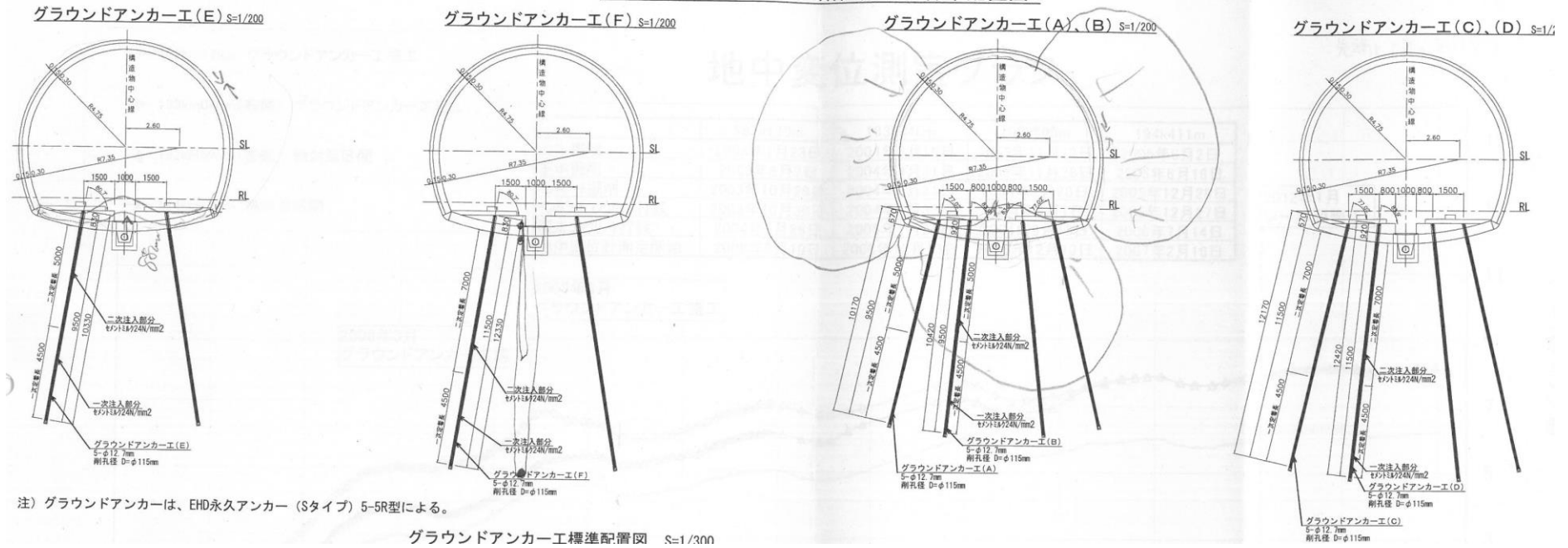
④峰山トンネル

地中変位計の分布図

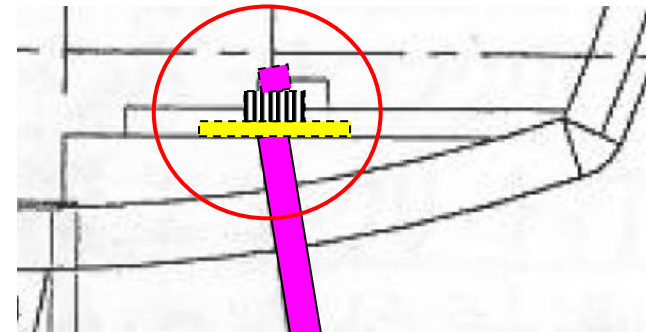


④峰山トンネル

機構が実施した対策標準図



定着部の頭は切断し、摩擦定着のみで施工

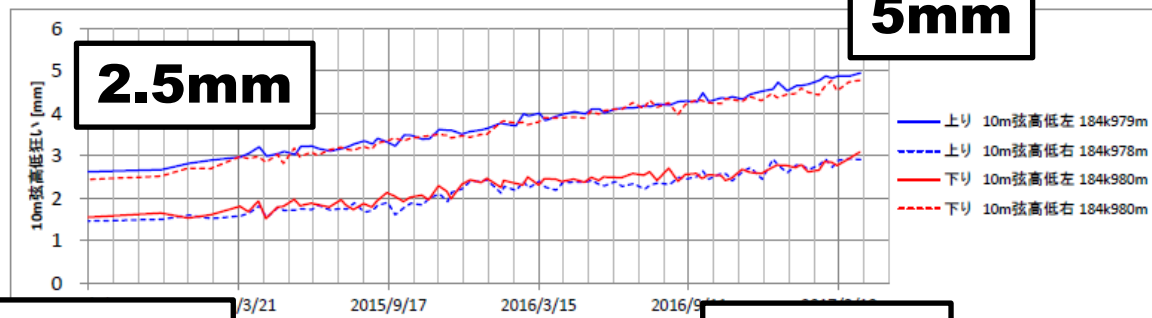


JR東日本の実施例イメージ 32

⑤松ノ木トンネル

松ノ木トンネルでの変状

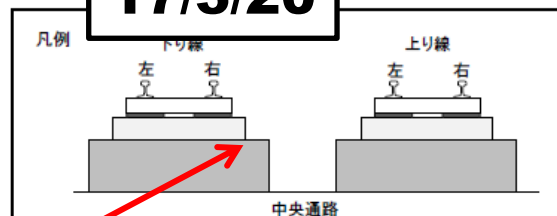
北陸新幹線 184k980m付近(松ノ木トンネル) 高低狂い推移表



14/9/22

軌道狂い 進み	上り線			
	10m弦 高低左 184k980m	10m弦 高低右 184k980m	10m弦 高低左 184k979m	10m弦 高低右 184k978m
[mm/180日]	0.55	0.58	0.68	0.43
[mm/365日]	1.13	1.17	1.38	0.88
[mm/2年]	2.25	2.34	2.77	1.76
[mm/3年]	3.38	3.51	4.15	2.64

17/3/20



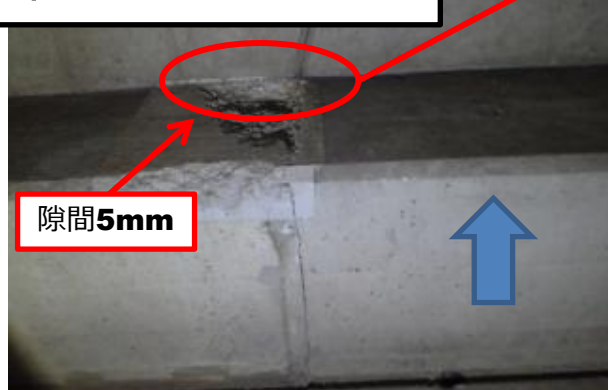
○北陸新幹線 184k990m
上下線の中央通路側レールで
進行性の高低狂いが発生

1mm/年

○周囲の路盤に**下から
持ち上げられる**ような変状

トンネルの盤膨れ
が疑われる

下り184k979m



下り184k983m



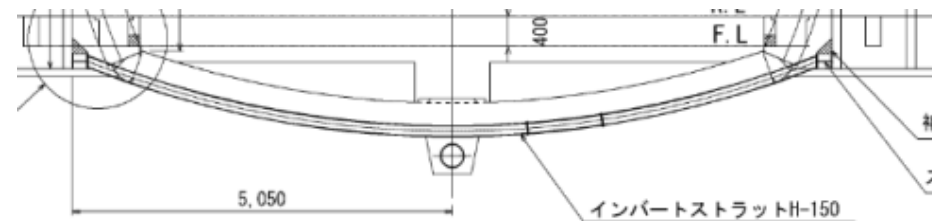
⑤松ノ木トンネル

変状箇所(184k979m～983m)の構造

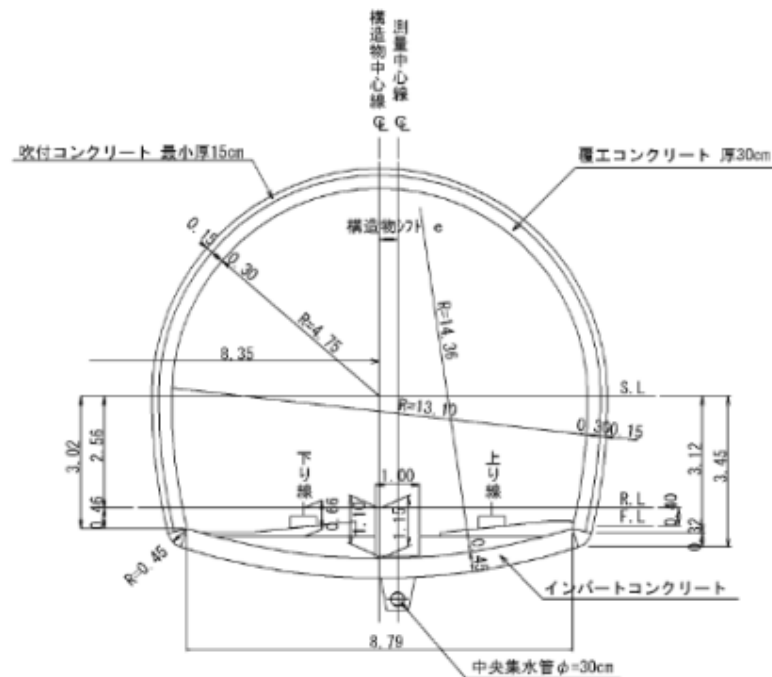
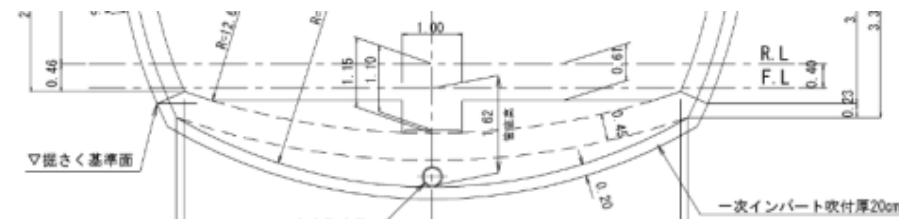
182km401m00 ～ 183km249m00 184km136m00 ～ 184km260m00
183km479m00 ～ 183km579m00 **184km793m00 ～ 185km893m00**

○前後の構造

184k959m～184k969m(器材坑あり)
インバートストラット(H150)施工



184k983m～185k011m
一次インバート(20cm)施工



厚さ450mm

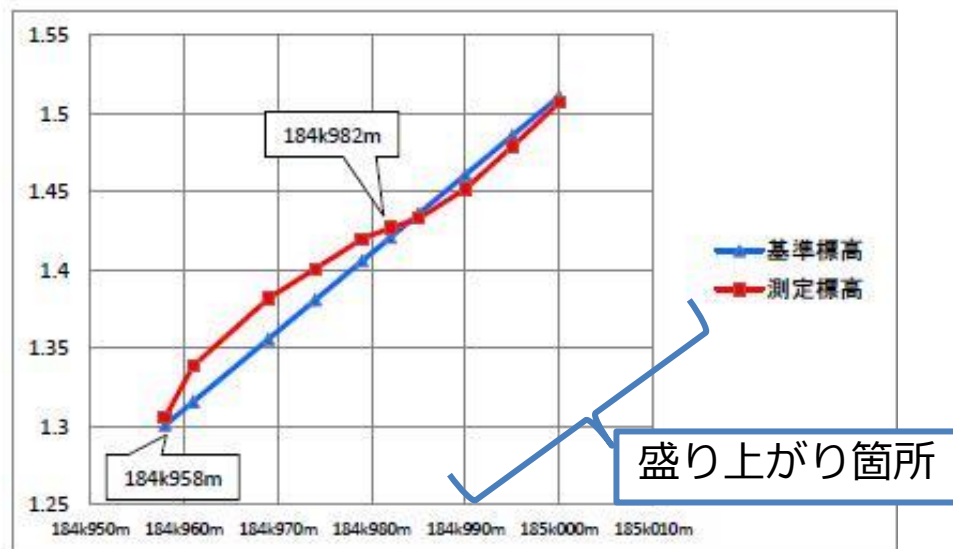
変状箇所では**ストラットや一次インバートは施工されていない**

施工中の対応には限界があるのか？⇒もしそうなら標準設計の修正が必要ではないか？
⇒例えば、新第三紀泥岩・凝灰岩等では、吹付けの標準化、曲率の増大を標準化する

変状箇所の現地確認状況

水準測量

設計上の路盤高さより
膨れていることを確認



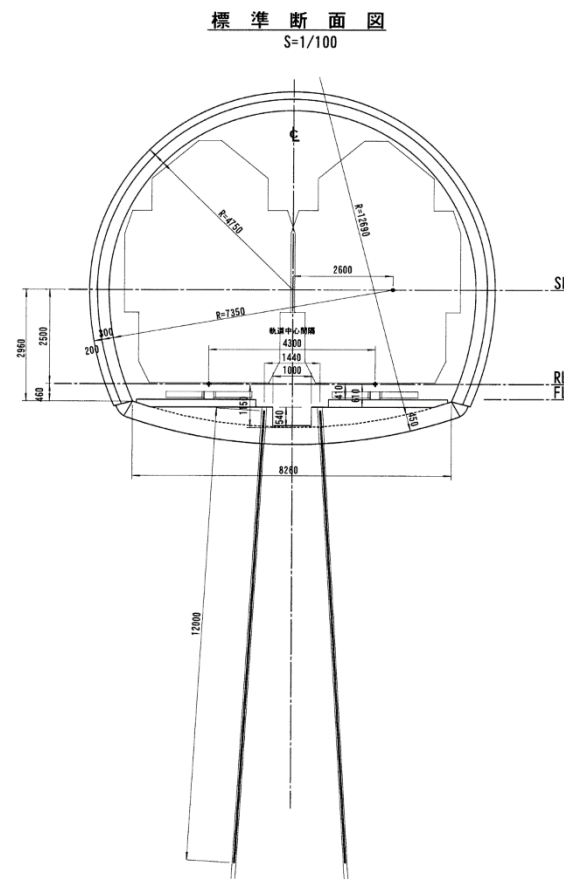
クラックゲージ取り付け

クラックゲージの取り付け
初期値測定→継続監視



噴泥の採取

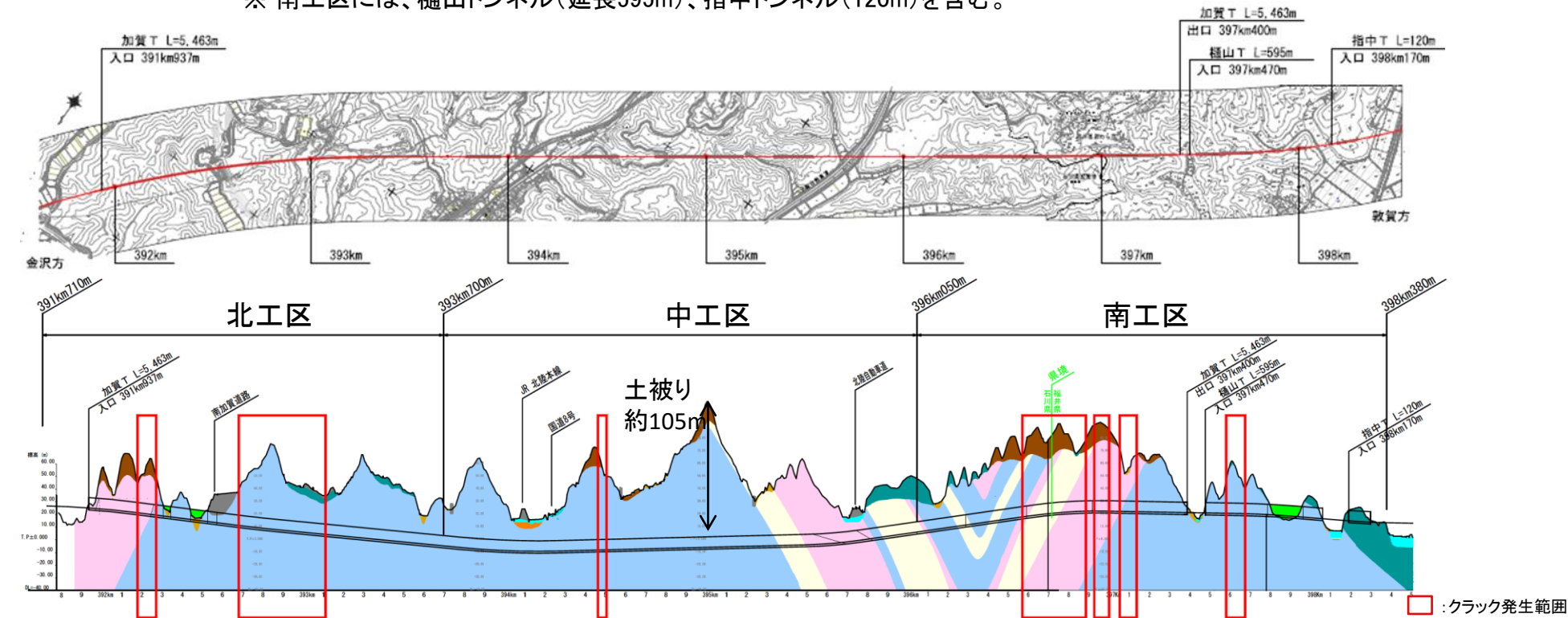
噴泥の採取を実施



6. 加賀トンネルのインバート隆起 ートンネルの概要ー

加賀トンネルは、石川県と福井県の県境に位置する全長5.5kmのトンネルである。
3工区(北・中・南※)に分けて工事を行っており、土被りは加賀T(中)で最大約105mとなっている。

※ 南工区には、樋山トンネル(延長595m)、指中トンネル(120m)を含む。



○施工の経緯

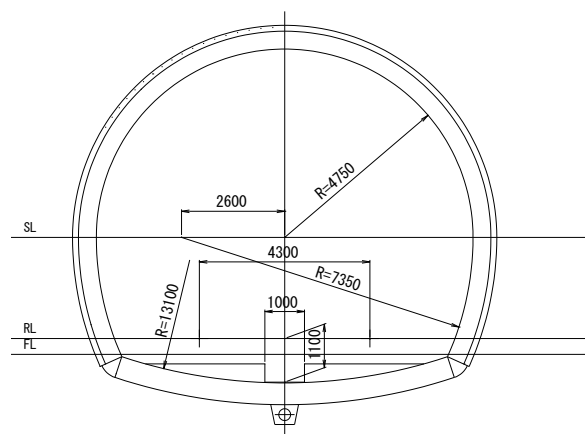
工区	受注者	掘削開始	掘削完了	覆工完了
加賀T(北)	大林・東洋・宮地JV	平成29年4月	平成30年12月	令和2年6月
加賀T(中)	佐藤・みらい・IMK JV	平成29年1月	令和元年10月	令和2年8月
加賀T(南)	清水・加賀田・大鉄・高野JV	平成29年11月	令和元年5月 (樋山T: 令和元年10月) (指中T: 平成30年11月)	令和2年4月 (樋山T: 令和2年5月) (指中T: 令和2年3月)

地質凡例 注)キロ程:〇〇〇km〇〇〇mは高崎を起点とした位置を示す

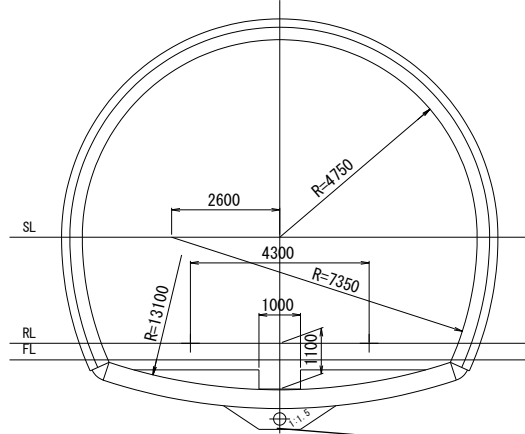
地質時代		地層名	記号	岩相・層相
第四紀	完新世	盛土	b	礫・砂・シルト・粘土
		沖積層	a	礫・砂・シルト・粘土
		崖堆積物	dl	礫・砂・シルト・粘土
		低位段丘堆積物	trl	礫・砂・シルト・粘土
	更新世	中位段丘堆積物	trm	礫・砂・シルト・粘土
		高位段丘堆積物	trh	礫・砂・シルト・粘土
新第三紀	中新世	大聖寺層	Kss	砂岩・泥質砂岩・凝灰質砂岩
		花房凝灰岩層	Ktf	凝灰岩・火山礫凝灰岩・砂質凝灰岩
		細坪泥岩層	Hm	泥岩・砂質泥岩

加賀トンネルのインバート構造の当初設計

加賀トンネルでは、掘削当初より盤ぶくれに対応したインバート構造を採用



標準

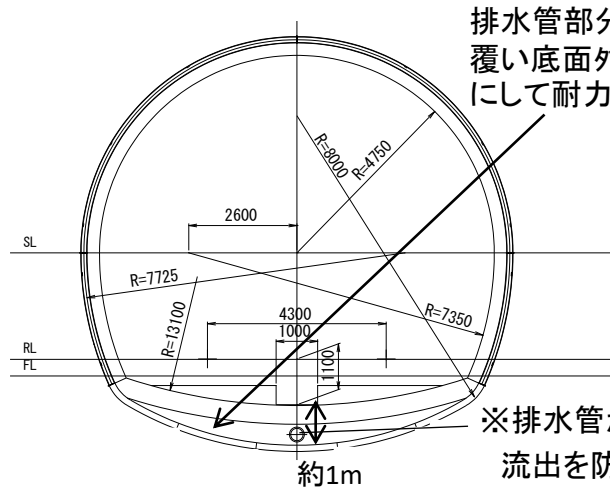


事前盤ぶくれ対応-1

各インバート構造において、クラックが発生すると想定される上向きの荷重は以下の通り。

標準	: 約 40kN/m ²
事前盤ぶくれ対応-1	: 約 80kN/m ²
事前盤ぶくれ対応-2	: 約 120kN/m ²
事前盤ぶくれ対応-3	: 約 240kN/m ²

※排水管から地盤への水の流出を防止し、地盤の劣化を防止

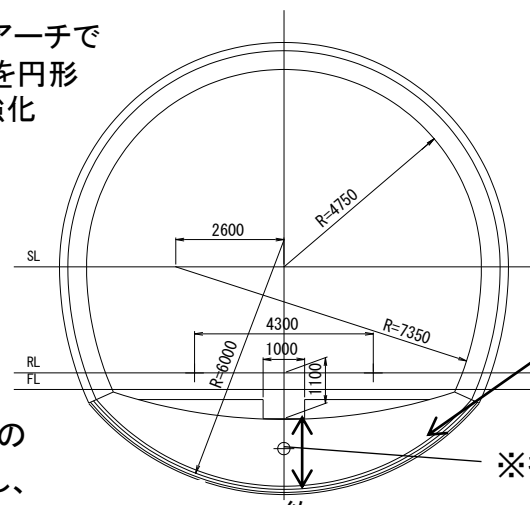


事前盤ぶくれ対応-2

排水管部分もアーチで覆い底面外縁を円形にして耐力を強化

※排水管からの流出を防止し、地盤の劣化を防止

約1m



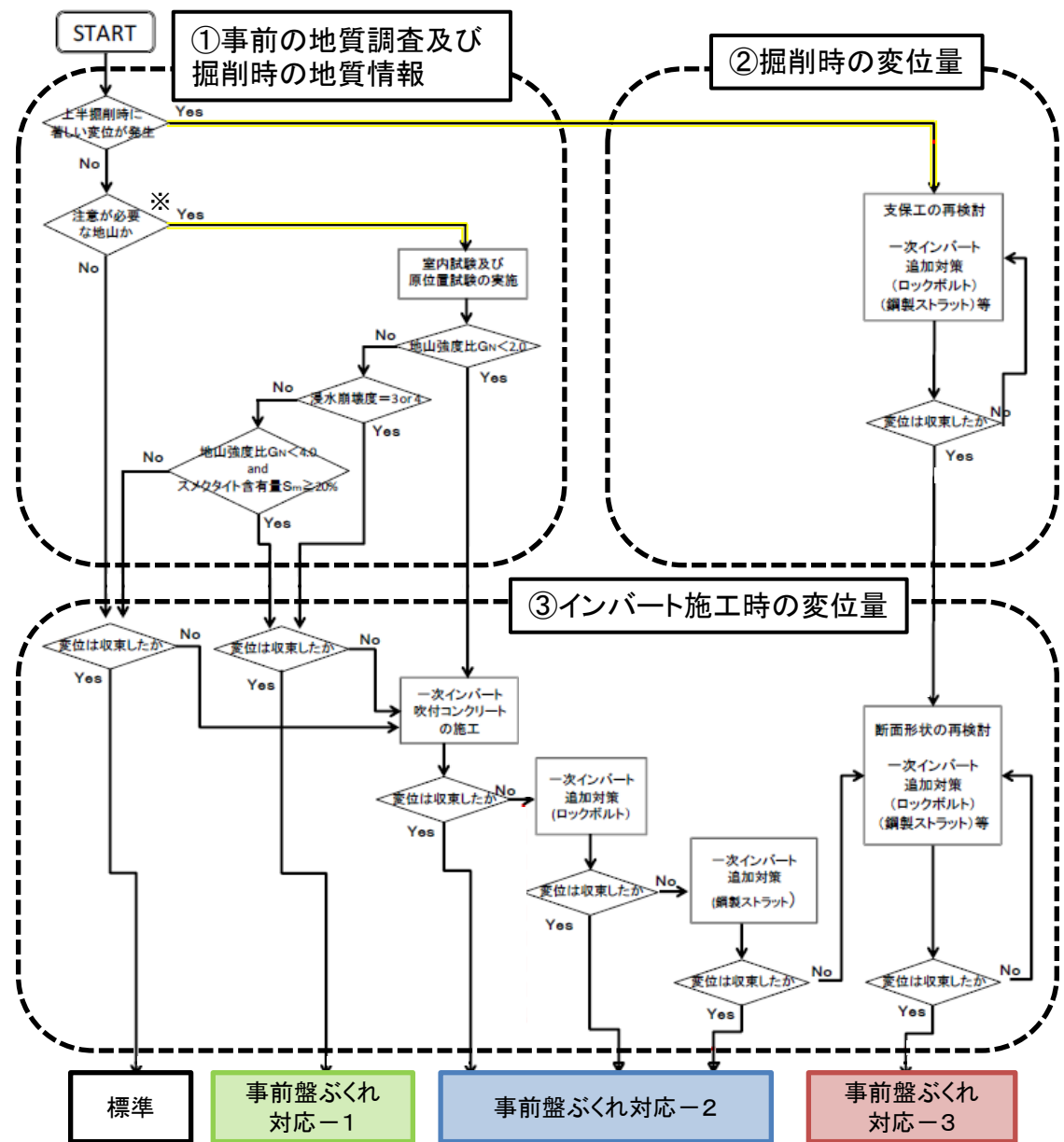
事前盤ぶくれ対応-3

トンネル底面をさらに半径の小さいアーチとし、トンネル全体を円形に近づけることで耐力を強化

※排水管からの流出を防止し、地盤の劣化を防止

約1.7m

加賀トンネルのインバート構造の検討フロー



下記の情報に基づき、インバート構造を選定

- ①事前の地質調査および掘削時の地質情報
- ②掘削時の変位量
- ③インバート施工時の変位量

※「注意が必要な地山」とは、以下のとおり。
・新生代(古第三紀以降)の泥岩等の細粒碎屑岩類、
同時代の凝灰岩や凝灰角礫岩等の火山碎屑岩類
・風化や熱水変質および破碎の進行した岩石
・蛇紋岩類等よりなる地山
※加賀トンネルは下線部に該当

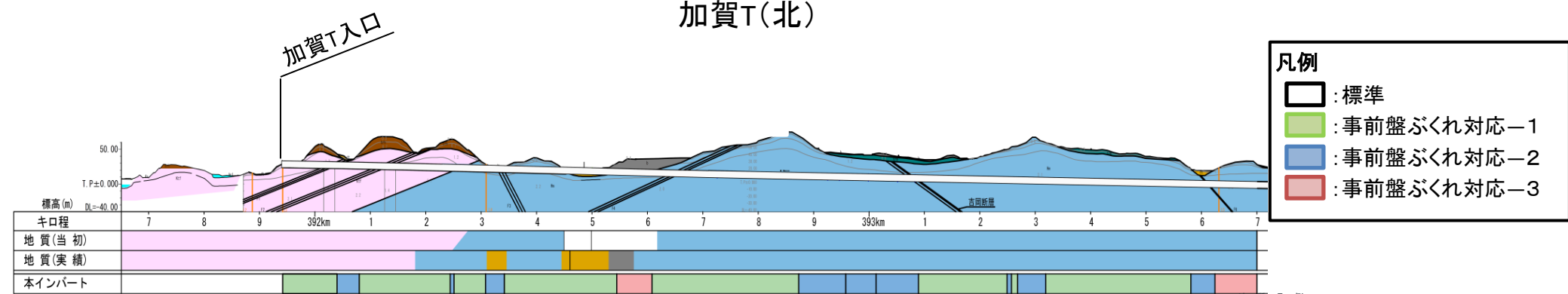
・地山強度比
トンネルの深さにおいて作用している地山(地盤)の応力に対する地山(地盤)の強度の比である。
加賀トンネルの実績:0.6~37.4

・スメクタイト含有量
地下水と反応して膨張する可能性がある粘土鉱物(スメクタイト)が含まれる割合
加賀トンネルの実績:0~27%

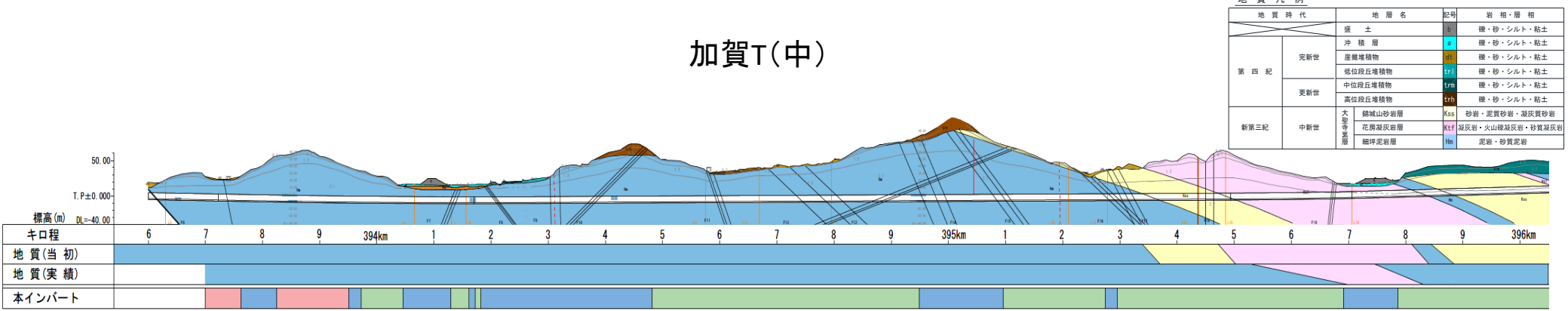
・浸水崩壊度
岩石を水中に入れたときに崩れる度合を0~4で区分したもの
加賀トンネルの実績:0~4

加賀トンネルのインバートの施工実績

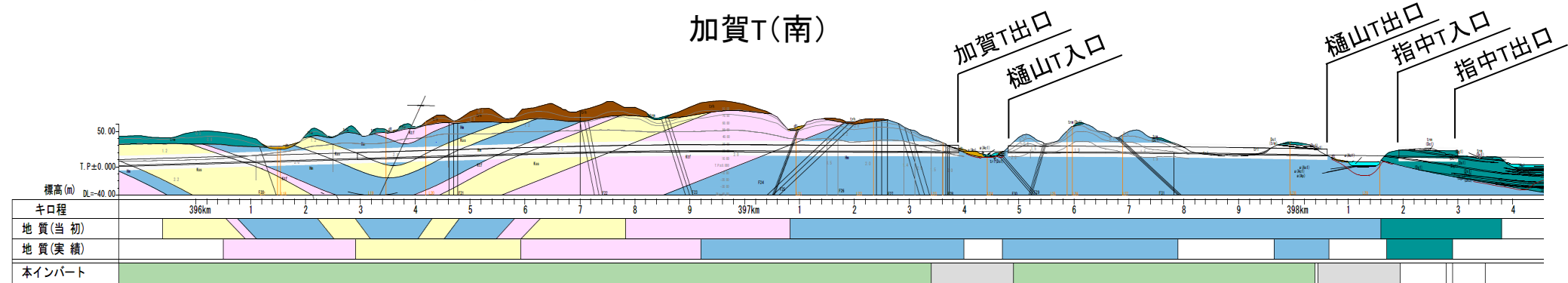
加賀T(北)



加賀T(中)



加賀T(南)



盤ぶくれ(クラック)の発生状況

○事前盤ぶくれ対応を講じたものの一部の区間で、クラックが発生した。

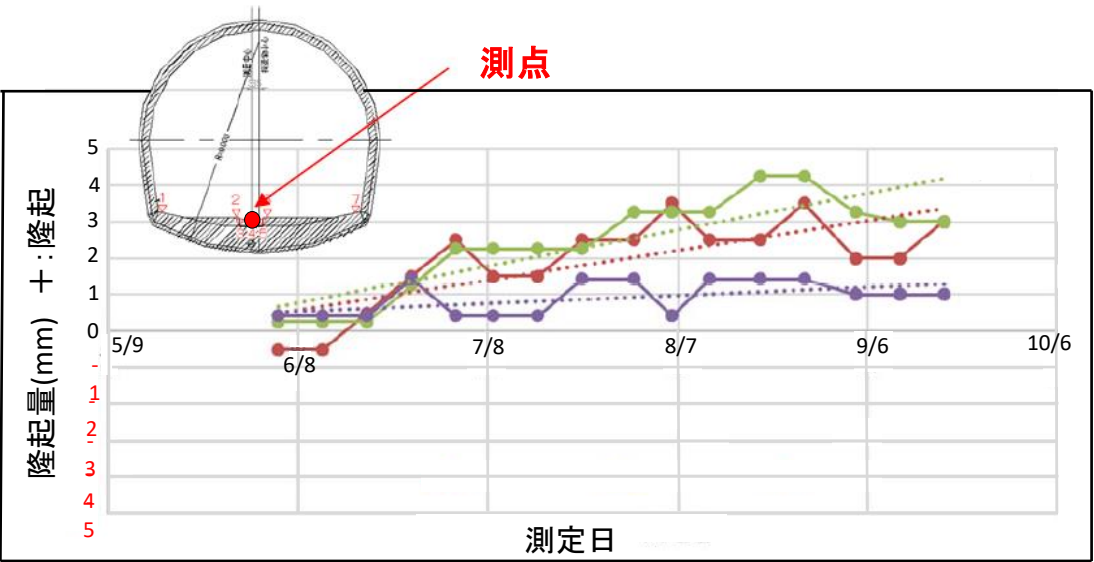
【クラックの発生状況】



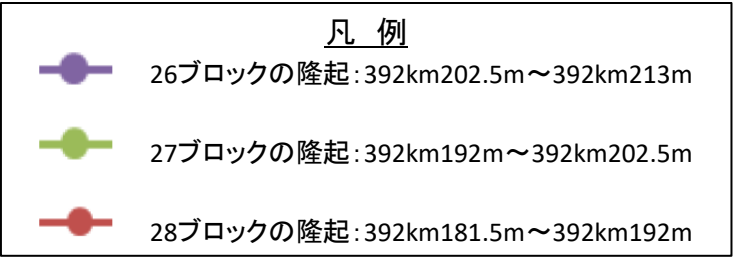
【インバートコンクリートのコア採取】



インバートコンクリートの上部のクラック幅2.0mm、下部のクラック幅1.6mmを確認(加賀トンネル北工区)

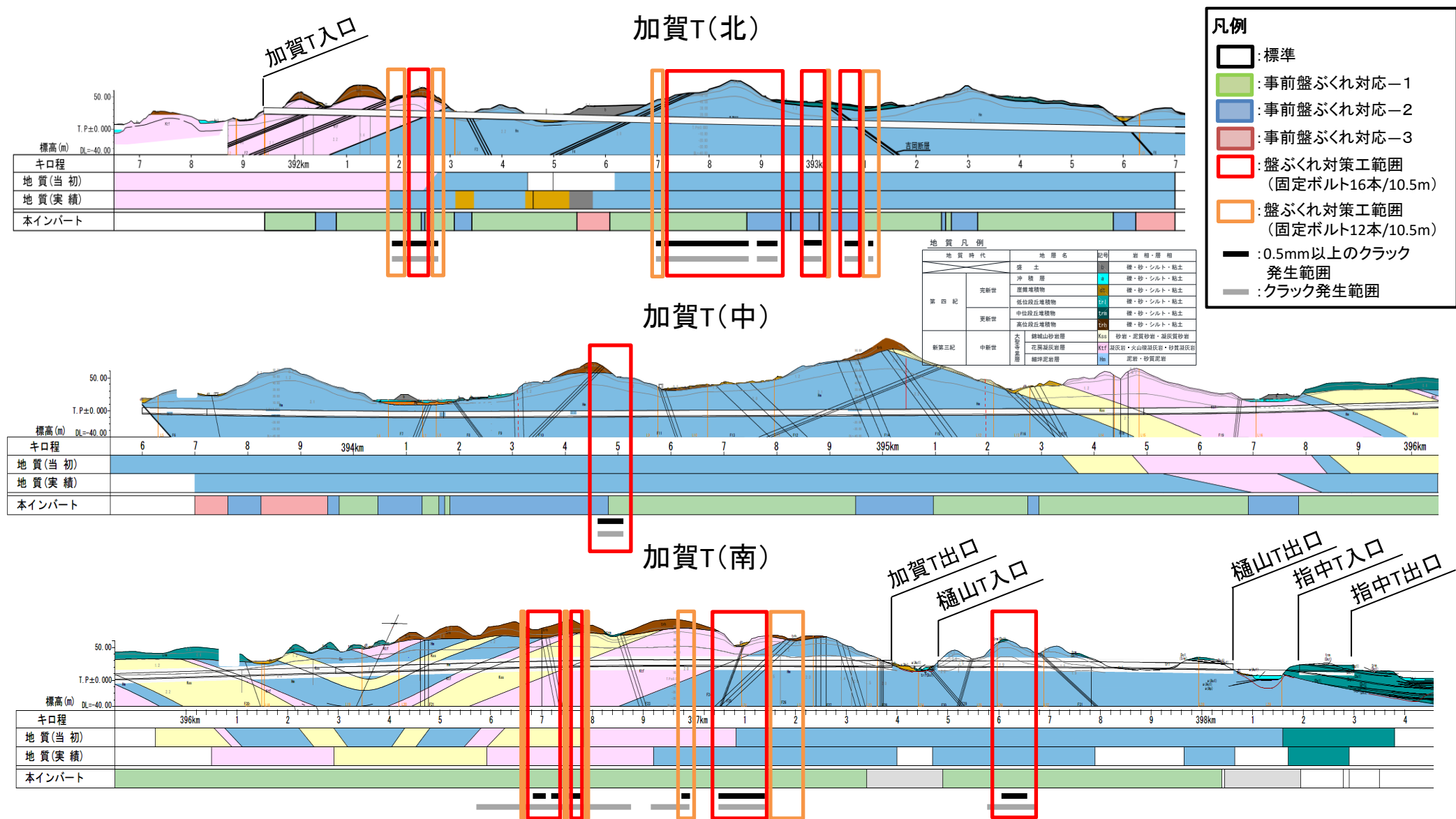


インバート隆起速度の例



盤ぶくれの隆起は、26ブロック(一番変位が少ない箇所)では、3か月で概ね0.6mmであり、1日当たりの隆起量は概ね0.0072mmである。

加賀トンネルの盤ぶくれ対策工の計画



修正されたフローは十分には機能しなかった⇒何が悪かったのか？施工はどうだったのか？委員長は誰だ？

5. 希望or提言(まとめに代えて)

- ・要因不明の事例が多い(変位小、水なし、粘土鉱物なし、土被り小etc.)
⇒施工に要因が隠れてはいないか？
- ・施工段階に設計は遵守されているか？
 - ・側壁・インバートの打ち継ぎ目⇒設計通りの角度か？
 - ・新鮮な掘削面⇒泥濘化していないか？
 - ・掘削解放されている時間 ⇒2スパン以上掘削していないか？分割施工可能か？
(そもそもアーチは1mずつ掘削・支保、インバートは一度に10mでいいのか？)
 - ・設計曲率は確保されているか？巻厚は確保されているか？
- ・盤膨れ対策
 - ・ロックボルトでは不十分ではないか？速度抑制できても止められない！
 - ・1次, 2次, 3次・・・いつまでも増しボルト？⇒強いプレストレスorさらに抜本策が必要
- ・道路も鉄道も大変、**リニアはさらに大変**

予算確保、設計改善、細心施工、それぞれの立場でできることをしよう！

終

