

# 山岳トンネル工事の苦渋作業からの解放

## ～プレキャスト覆工の現場実装に向けた技術開発～



国立研究開発法人 土木研究所  
道路技術研究Gr（トンネル）

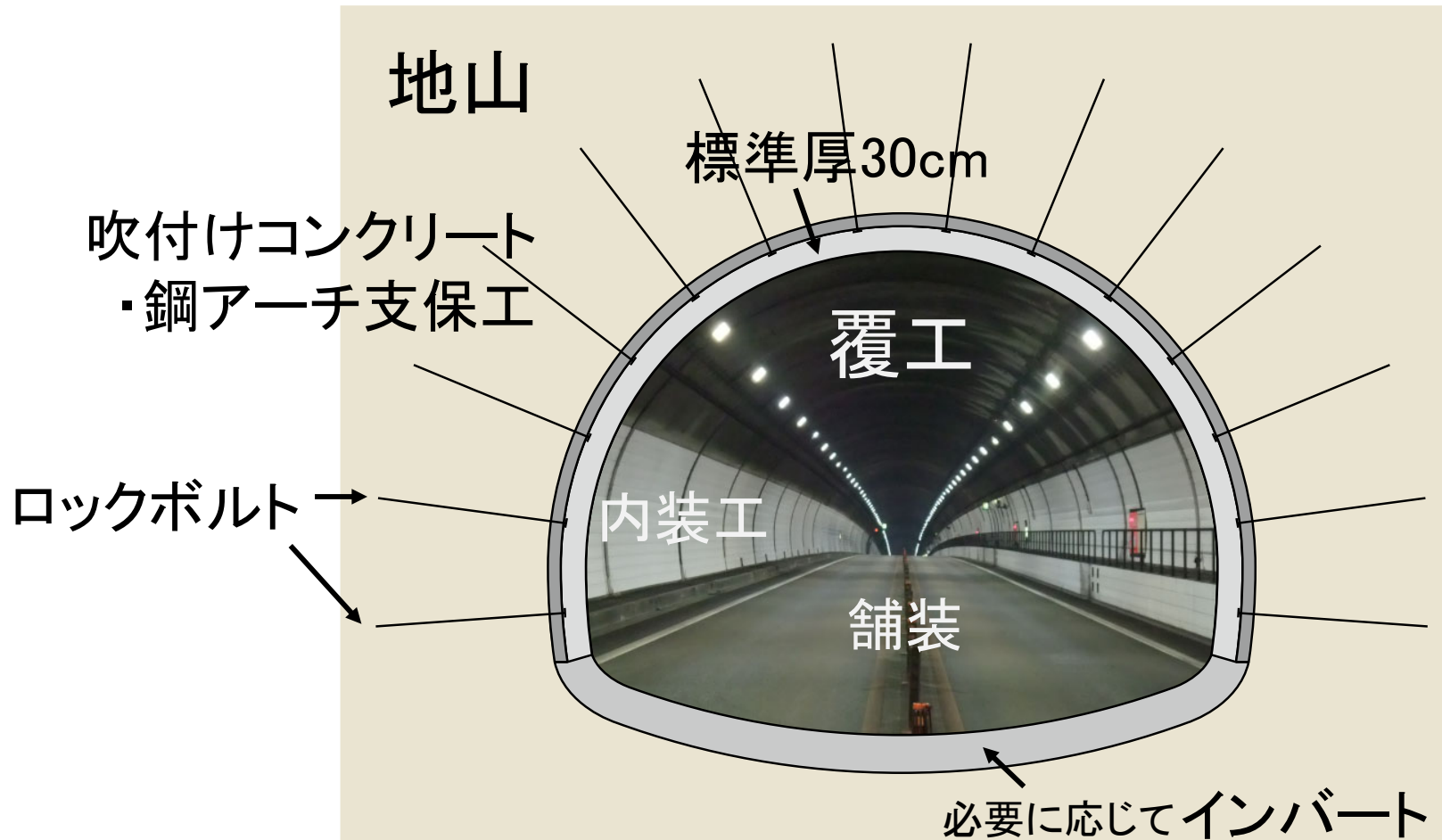
主任研究員 小泉 悠

# 発表の概要

1. 山岳トンネル工事の現状
2. プレキャスト覆工の概要
3. 覆工の機能・性能
4. プレキャスト覆工の設計上の留意点と  
実大覆工載荷実験
5. 現場実装に向けた取組み, まとめ

# 1. 山岳トンネル工事の現状

## 山岳トンネルの構造 (NATM<sup>ナトム</sup>※の例) ※the New Austrian Tunneling Method



# 山岳トンネル工事は苦渋作業 !?

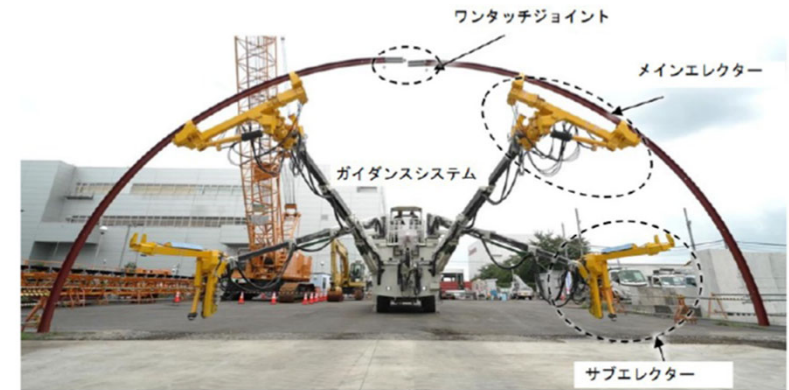
かつての矢板工法 ⇒ 主に1980年代にNATMへと変遷し、機械化が進展



ボルト  
締結作業

切羽

鋼アーチ支保工の建込みのため、  
アタリの目測&不陸調整作業



自動化・遠隔化施工の例  
(鋼アーチ支保工建込みの遠隔化技術)

※ 遠隔化・自動化の技術開発

➡ 他工種, シールドトンネル工事等と比較して,  
「苦渋作業からの解放」にまだ改善の余地がある

# 覆工の施工 苦渋作業 !?

## 標準的な施工法・仕様(道路トンネル技術基準・同解説, H15(2003))

- スランプコンクリートの現場打設
- 設計基準強度  $18\text{N/mm}^2$
- 設計巻厚 30cm
- スランプ 15cm程度
- 坑口部以外は無筋



移動式型枠(セントル)

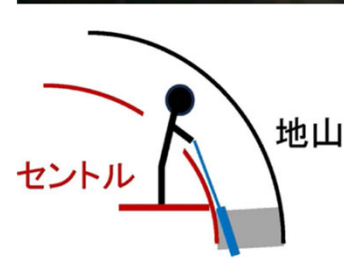


セントル

セントル内の狭隘な空間  
での締固め作業



## 覆工の打設 現場動画



型枠

# 覆工の技術開発の動向

目的：品質の確保・向上（作業者の技量によらない）  
省力化・自動化

- ・中流動コンクリート

⇒ 型枠バイブレータで締固め  
（高速道路TNで標準化）

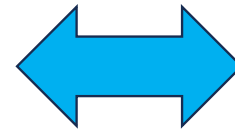
- ・高流動コンクリート

⇒ 自己充填  
（民間での技術開発）

## プレキャスト覆工

工場製作

現場へ搬入し、組立て  
実績<sub>ほぼ</sub>無し

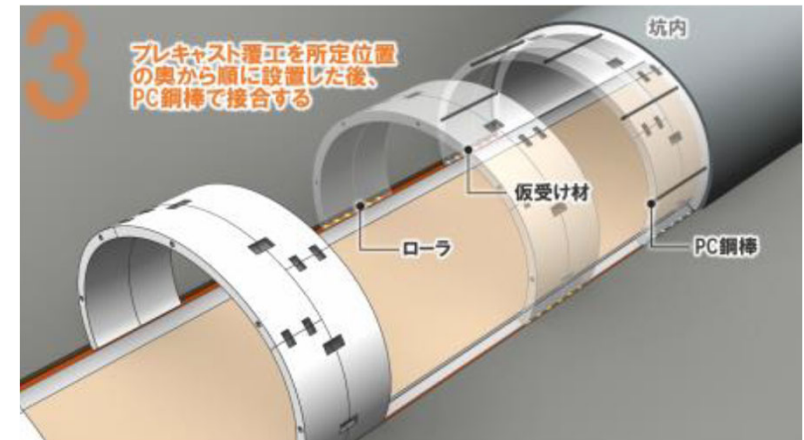
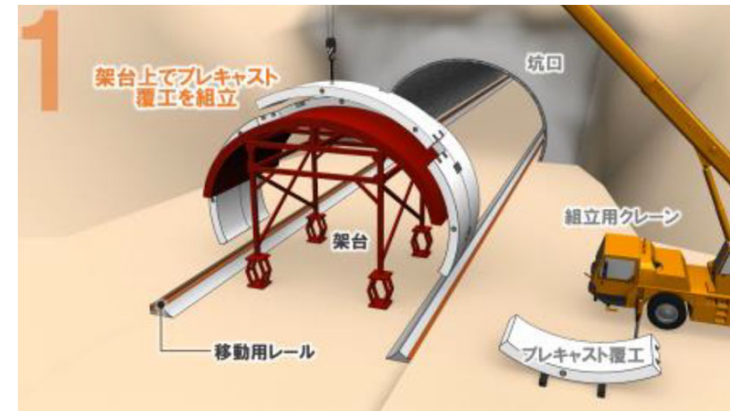


## 2. プレキャスト覆工の組立て方法の例



### 専用機械

写真は老朽化した既設トンネルのプレキャスト版による内巻き補強の状況  
≠新設トンネル

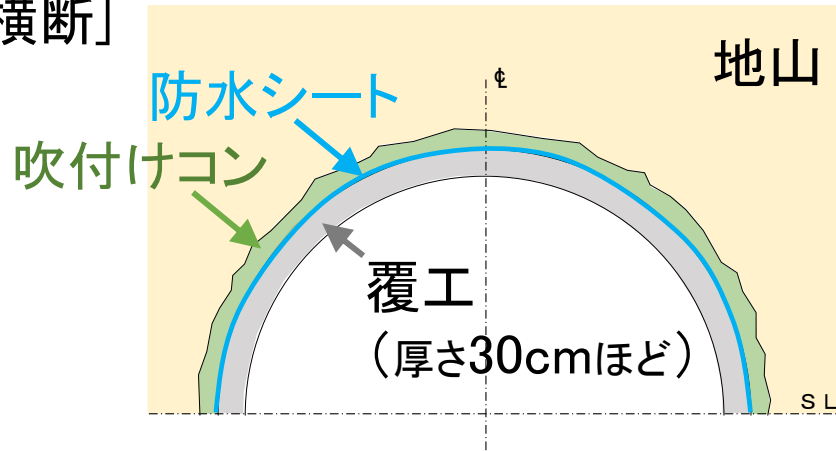


坑口手前で組み立て、  
坑内へと送り出す

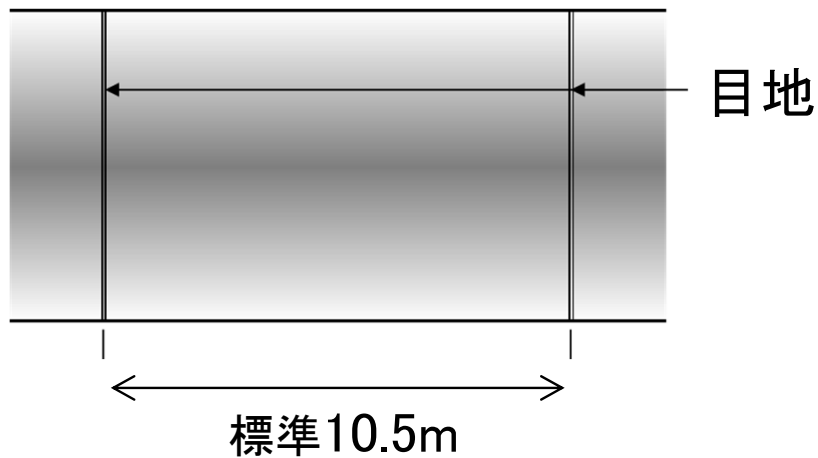
# プレキャスト覆工の構造

## 従来覆工

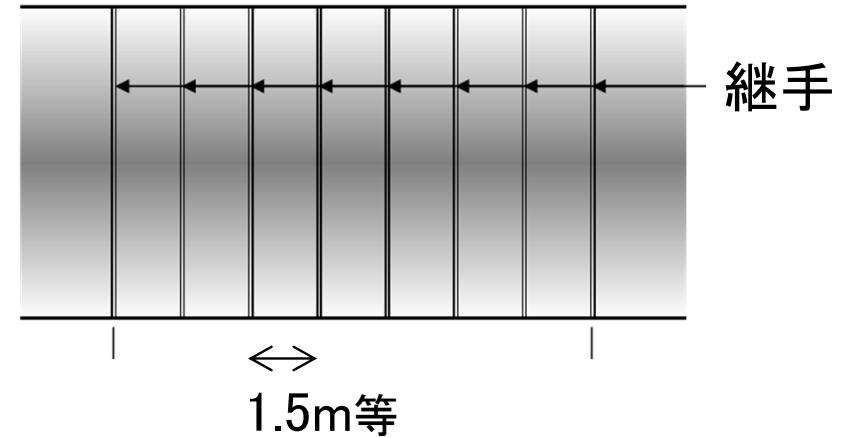
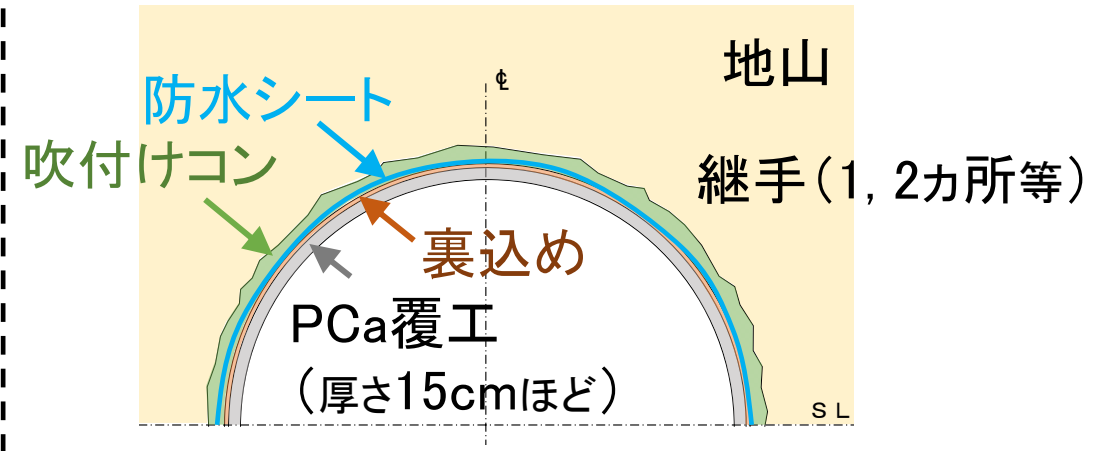
[横断]



[縦断]



## プレキャスト覆工



# プレキャスト覆工のメリット・デメリット

- 覆工の打設に係る苦渋作業の軽減
  - 現場での養生不要
- 

- 工場製作 ⇒ 安定した品質
- 薄肉化 ⇒ 掘削断面積の低減



- PCa覆工版 高コスト
- 維持管理しやすいか? ← 有筋構造, 多数の継手が生じ, 新たな点検のマニュアル等が求められる

# プレキャスト覆工のメリットを踏まえた適用シナリオ

- 延長の短いトンネル ← PCa版の価格の高さを現場打設用のセントル不要によりキャンセル。目安150m以下
- 複数のトンネルで断面形状が均一 ← PCa版製作用の型枠を転用
- 工場から遠いなど生コンの調達が困難な現場

新設工事

更新工事



- 既設トンネルの内空断面を拡幅 ← 薄肉で拡幅掘削量を低減
- 交通開放が高頻度に求められるトンネル ← 養生期間不要

# 共同研究の概要

研究名：プレキャスト部材の適用による山岳トンネルの  
覆工構造の力学的性能等に関する共同研究

期間：2021(R3)年10月～2024(R6)年3月(2.5年)

土研より共同研究機関を公募。4グループと契約締結

Gr1：戸田建設(株)・西松建設(株)・ジオスター(株)

Gr2：鹿島建設(株)

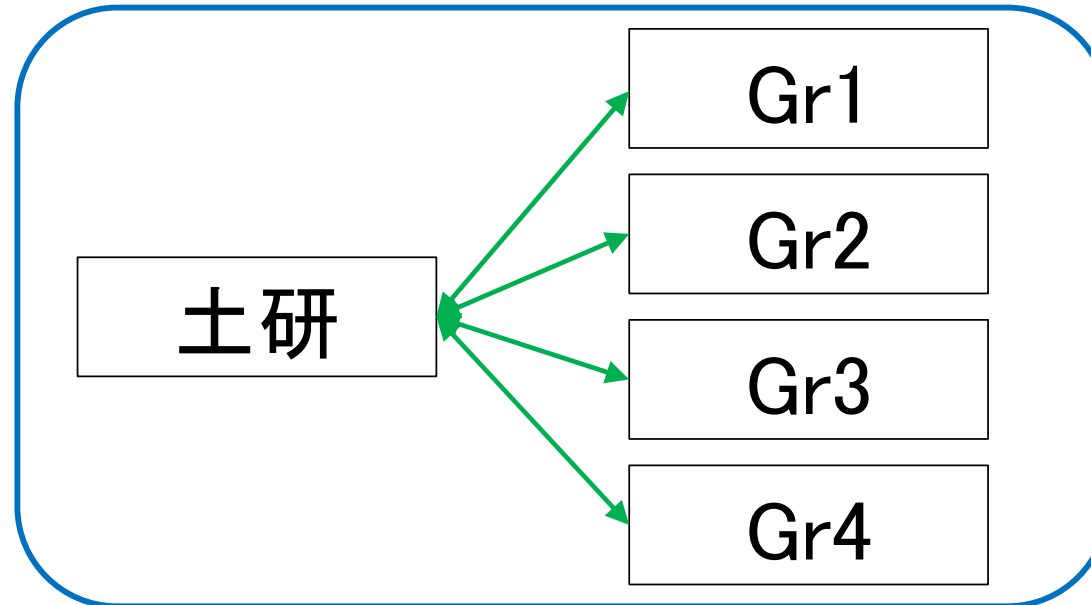
Gr3：前田建設工業(株)

Gr4：PCL協会

# 共同研究の進め方

## 土研の強み

- 技術基準類の解釈
- 実験&評価
- 数値解析&評価



## 共研Grの強み

- 具体のPCa覆工構造, アイデア
- 現場のニーズ

協調領域：プレキャスト覆工の設計・施工・維持管理に係る留意点を全体で議論し，報告書作成 [共通編]

競争領域：具体の覆工構造等を個別に開発し，実験等により評価。報告書作成 [個別工法編]

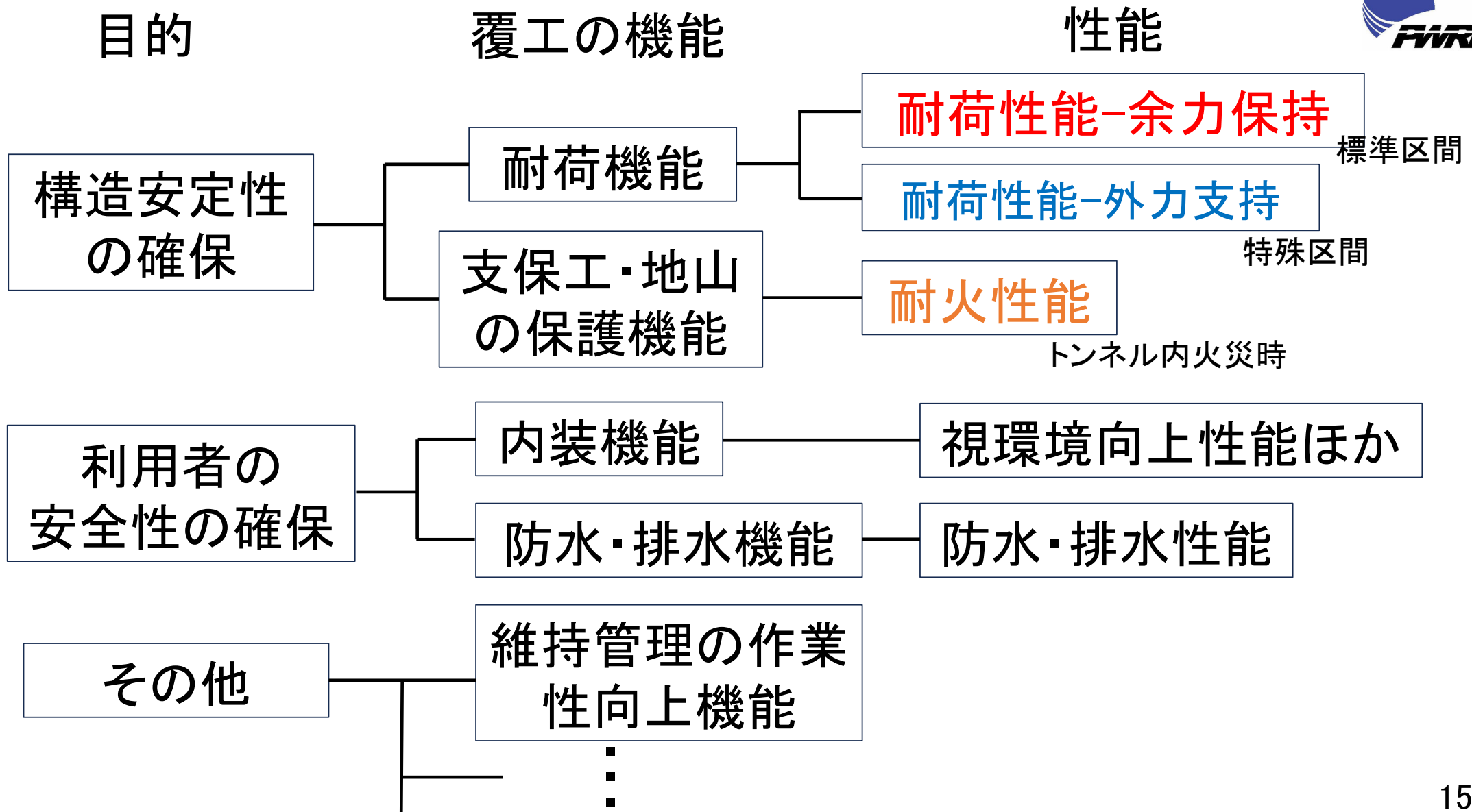
### 3. 覆工に求められる機能・性能

- 矢板工法の覆工：設計巻厚45～60cm，地山からの荷重に抵抗
- ↑↓
- NATMの覆工：設計巻厚30cm，原則として地山の変形の収束確認後に設置 ⇒ 地山からの荷重の作用を基本的に想定しない

➡ では，覆工の機能とは？  
複数の技術基準類を文献調査し，共通事項を整理分析

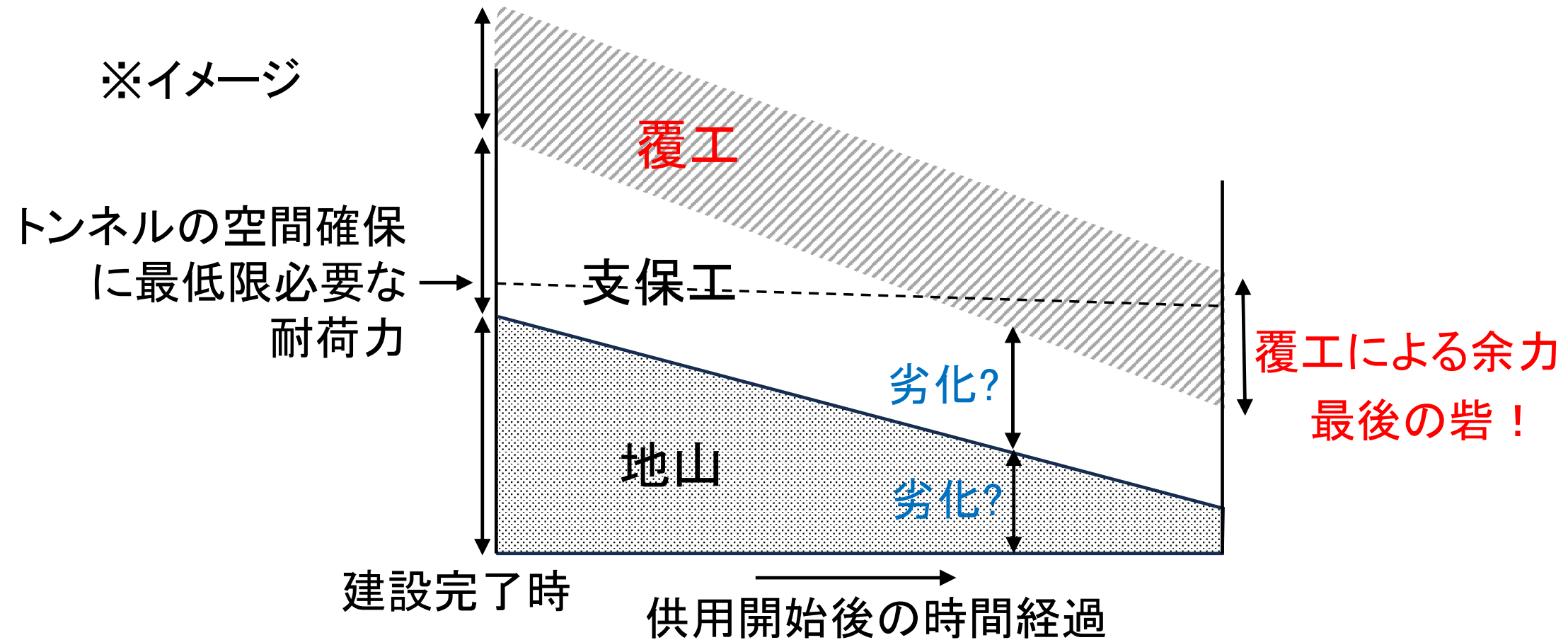
備考)

- 機能：果たすべき役割，Function，多⇔少
- 性能：機能を達成するための能力，Performance，高⇔低



# 覆工による余力保持とは…

※イメージ



➡ 覆工による余力で、供用期間中の地山・支保工の劣化等起因する不確実な追加荷重に抵抗

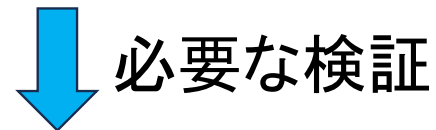
## 4. プレキャスト覆工の設計上の留意点と実大覆工載荷実験

- 標準区間(地山からの荷重の作用を想定しない)において, 余力として覆工にどれほどの耐荷力が必要か? は想定困難  
(トンネルごとの条件に依存)



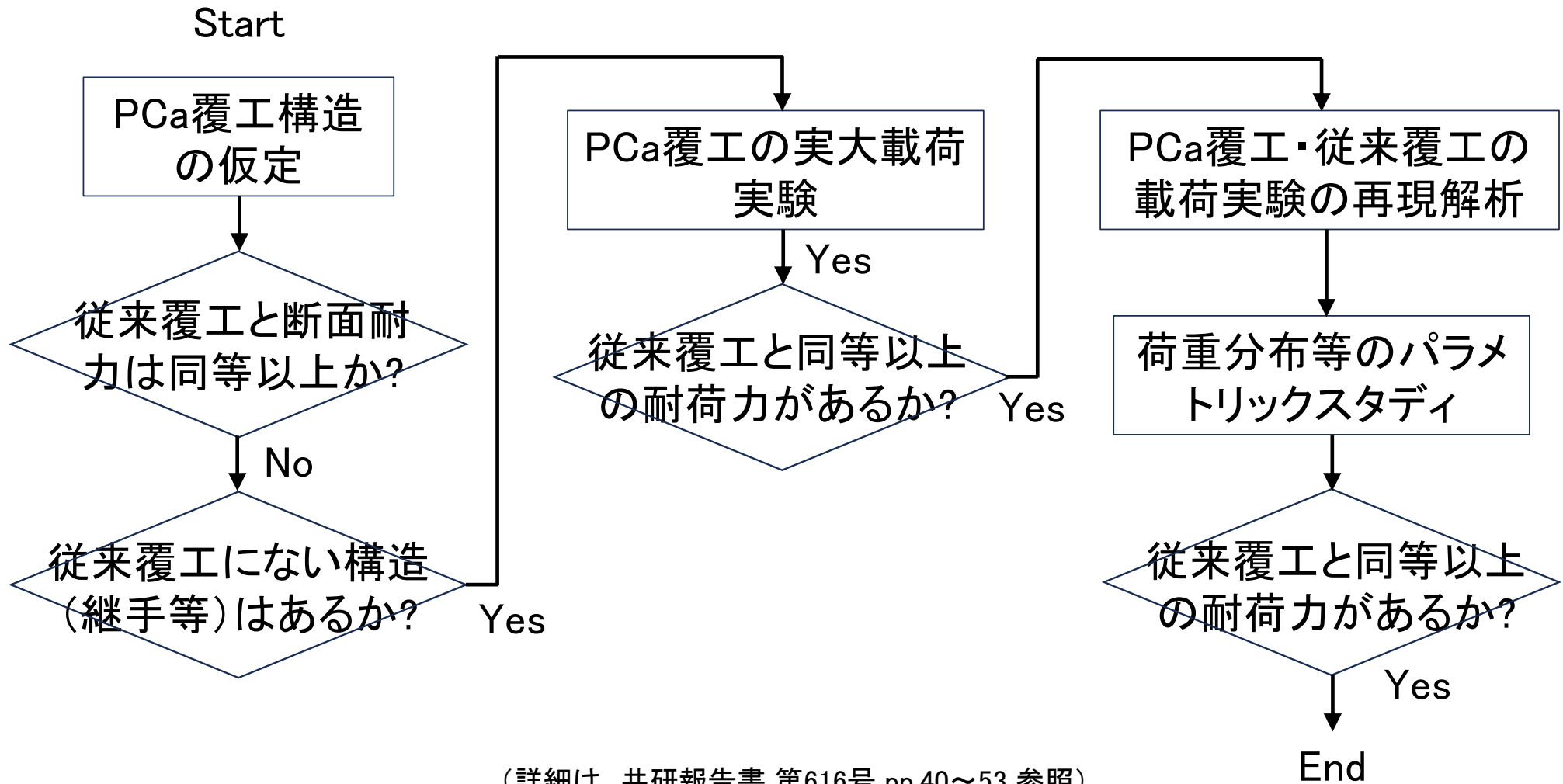
- 従来の覆工の仕様 厚さ30cm・18N/mm<sup>2</sup>により, これまで供用期間中に大きな問題が生じたトンネルはほぼ無い

⇒ 所要の性能を満足しているとみなす



プレキャスト覆工の耐荷力  $\geq$  従来覆工の耐荷力  
(ほか, 脆性的に破壊しないなど)

# 耐荷性能(余力保持)の検証フロー案(抜粋)

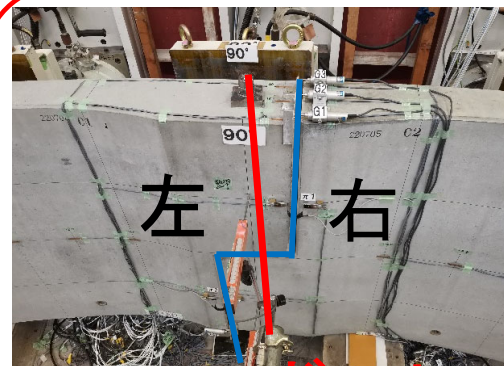


# プレキャスト覆工の実大載荷実験 (@土木研究所) の例

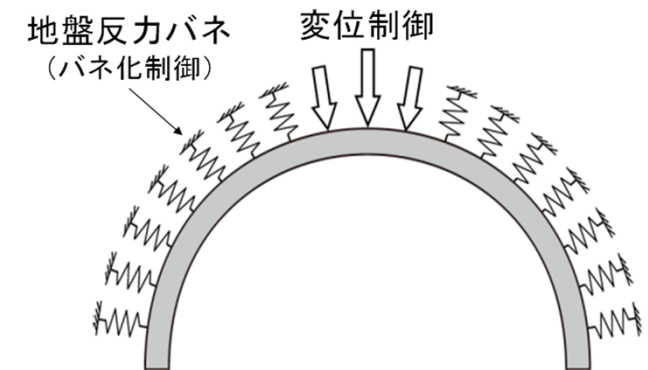
- 2ピースの部材を搬入し、組立て
- 天端の3ジャッキで載荷，他ジャッキは地盤反力バネ (D I 地山相当)



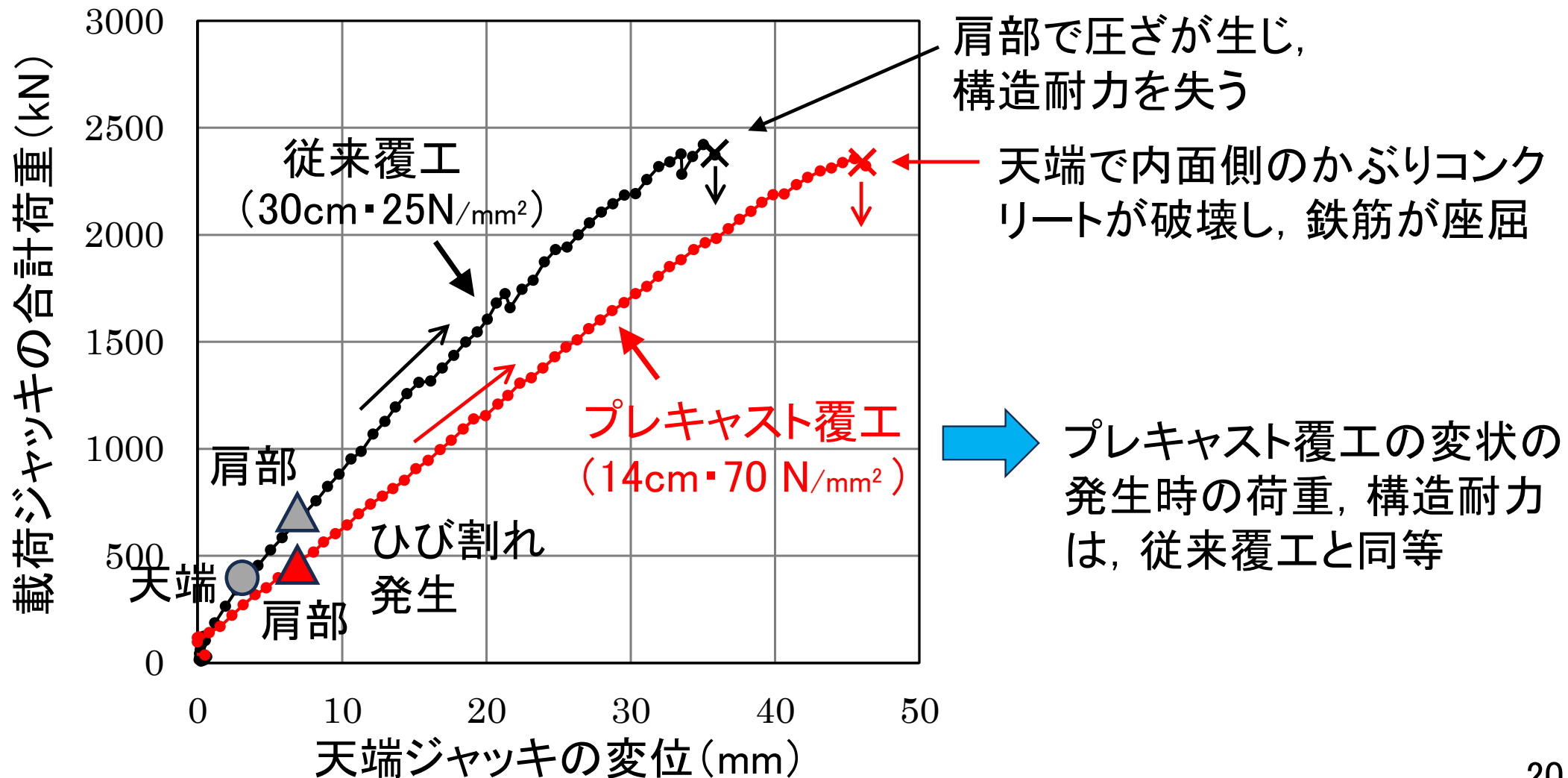
継手部



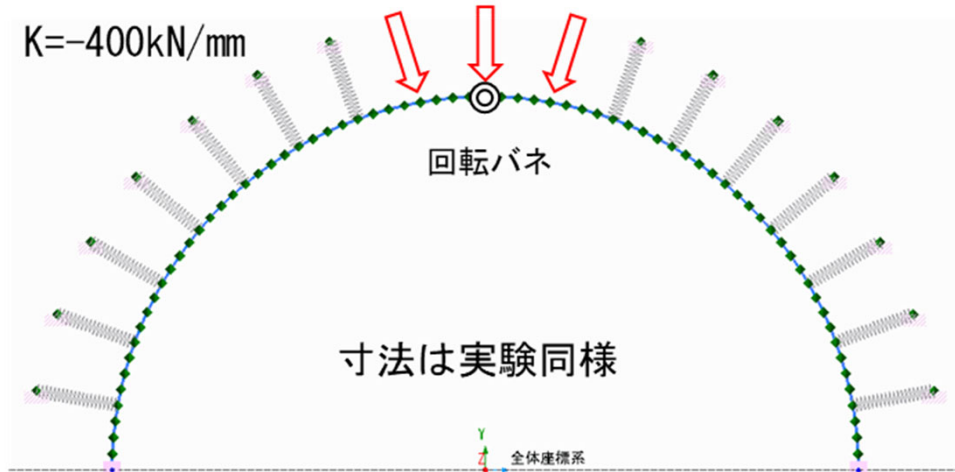
ボルト



# プレキャスト覆工の荷重－変位



# 数値解析による，地山条件を変えた場合の検証



- 非線形梁要素(ファイバー要素)を用いた数値解析モデル
- 覆工材料: ひずみ軟化, 継手部: 回転バネ
- 地山の硬軟: バネ剛性

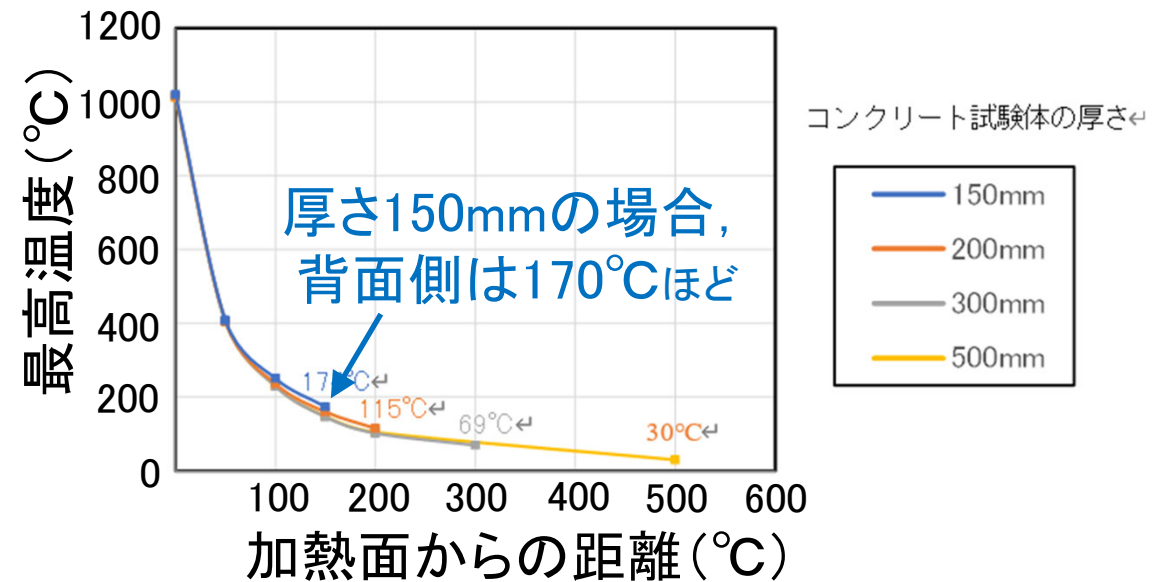
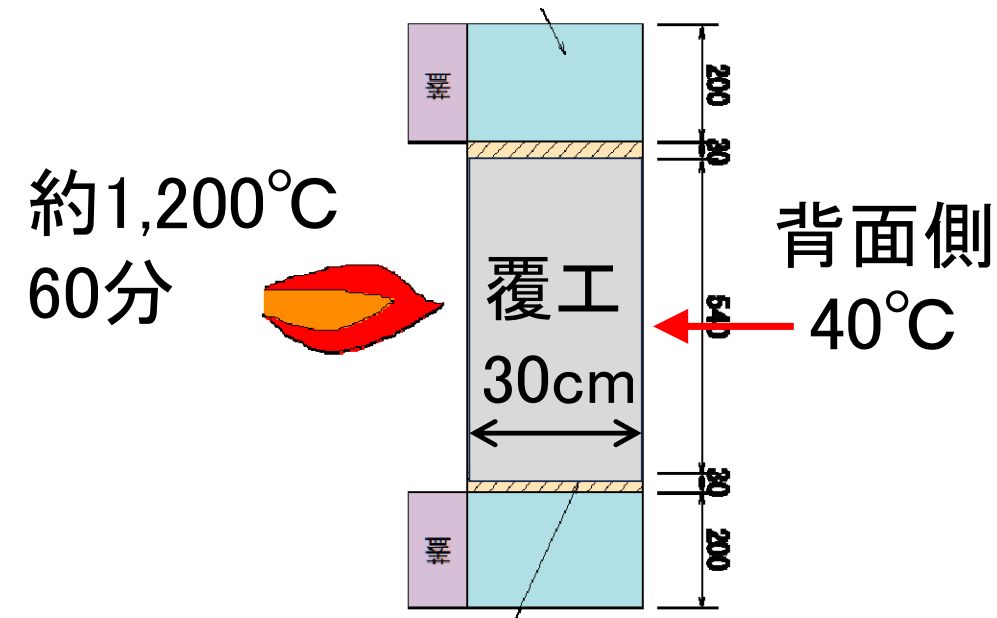
- 硬質な地山(CⅡ地山)  
プレキャスト覆工 > 従来覆工
- 著しく軟質な地山(DⅡ地山)  
プレキャスト覆工 < 従来覆工

↑  
適用するには強度を  
高めるなど要検討

# 耐火性能の検証

## PCa覆工の耐火試験は未実施 熱伝達のシミュレーション解析

### 既往の耐火試験



- 支保工が即座に機能喪失となるおそれは低い
- 今後検証

## 5. 現場実装に向けた取組み, まとめ



野外実験場にて, 実適用を見据えた  
組立てのリハーサル(Gr1・2025)

参考: 戸田建設(株)HP: 2車線規模のプレキャスト  
覆工の実大施工実験に成功,  
[https://www.toda.co.jp/news/2025/20250618\\_006073.html](https://www.toda.co.jp/news/2025/20250618_006073.html)



土木研究所新技術ショーケース2026  
in 東京での広報(Gr4・2026)

## 現場実装に向けたその後の取組み(土研)

- コンソーシアム(工法研究会)等でフォローアップ
- 道路トンネル技術基準・同解説 R8改定に向け作業中。  
土研で作業部会をリード。

大目標:仕様規定から性能規定への転換

⇒ トンネル工事の安全・生産性・品質を  
高める新技術を導入しやすくする



プレキャスト覆工:ポテンシャルあり!

# まとめ

- 山岳トンネルの安全・生産性・品質等の向上に向け、覆工のプレキャスト化に着目
- 土研での覆工の機能, 実験・数値解析の知見
  - × 民間企業・団体が提案するプレキャスト覆工構造
- 実大覆工載荷実験 × 2

プレキャスト覆工の耐荷力  $\div$  従来の30cm・18N/mm<sup>2</sup>の現場打設覆工  
※耐荷力以外にも検証必要な項目あり
- 現場実装に向け, 事業者(管理者)・設計者・施工者らが確認すべき共通事項を共研報告書[共通編]として発刊
- トンネル工事に新技術が導入され, 安全性の向上, 合理化が進み, さらには業界の魅力が向上するよう, 努めていきます

End

# 主な参考文献

## 【道路トンネル技術基準・同解説】

- 日本道路協会：道路トンネル技術基準（構造編）・同解説，pp.121-127.，2003.11
- 国土交通省HP 第27回社会資本整備審議会 道路分科会 道路技術小委員会（2026年3月3日）【資料1-2】道路トンネル技術基準の改定（案）について，2026.3，  
[https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01\\_sg\\_000776.html](https://www.mlit.go.jp/policy/shingikai/road01_sg_000776.html)

## 【プレキャスト覆工 共同研究報告書】

- 土木研究所，戸田建設・西松建設・ジオスター，鹿島建設，前田建設工業，PCL協会：プレキャスト部材の適用による山岳トンネルの覆工構造の力学的性能等に関する共同研究報告書－プレキャスト覆工の現場適用に向けた設計・施工・維持管理上の留意点－，共同研究報告書 第616号，96p.，2025.9，  
[https://thesis.pwri.go.jp/public\\_detail/1002573/](https://thesis.pwri.go.jp/public_detail/1002573/)
- 土木研究所，PCL協会：プレキャスト部材の適用による山岳トンネルの覆工構造の力学的性能等に関する共同研究報告書－PCL工法をベースに開発した覆工構造の耐荷性能の評価－，共同研究報告書 第617号，98p.，2025.9，  
[https://thesis.pwri.go.jp/public\\_detail/1002574/](https://thesis.pwri.go.jp/public_detail/1002574/)

# 主な参考文献

## 【従来覆工の耐荷力・耐火性能の評価】

- 真下英人, 砂金伸治, 木谷努, 遠藤拓雄:トンネル覆工の耐荷力と設計に関する研究報告書, 土木研究所資料 第3961号, 67p., 2005.3
- 真下英人, 砂金伸治, 木谷努, 遠藤拓雄:トンネル覆工コンクリートの高熱時挙動に関する研究報告書, 土木研究所資料 第4001号, 118p., 2006.3