

線路下横断工事中の地盤緩み検知による 軌道変状推定システム

構造物技術研究部 トンネル研究室

主任研究員 仲山 貴司

本日の発表

◆はじめに

- 線路下横断工事とは
- 研究の目的
- システム概要

◆地盤探査

- 地盤探査装置
- 探査の流れ

◆評価曲線

◆検証例

- 降下床実験
- 実物大掘削実験
- 現場検証

◆まとめと成果の活用

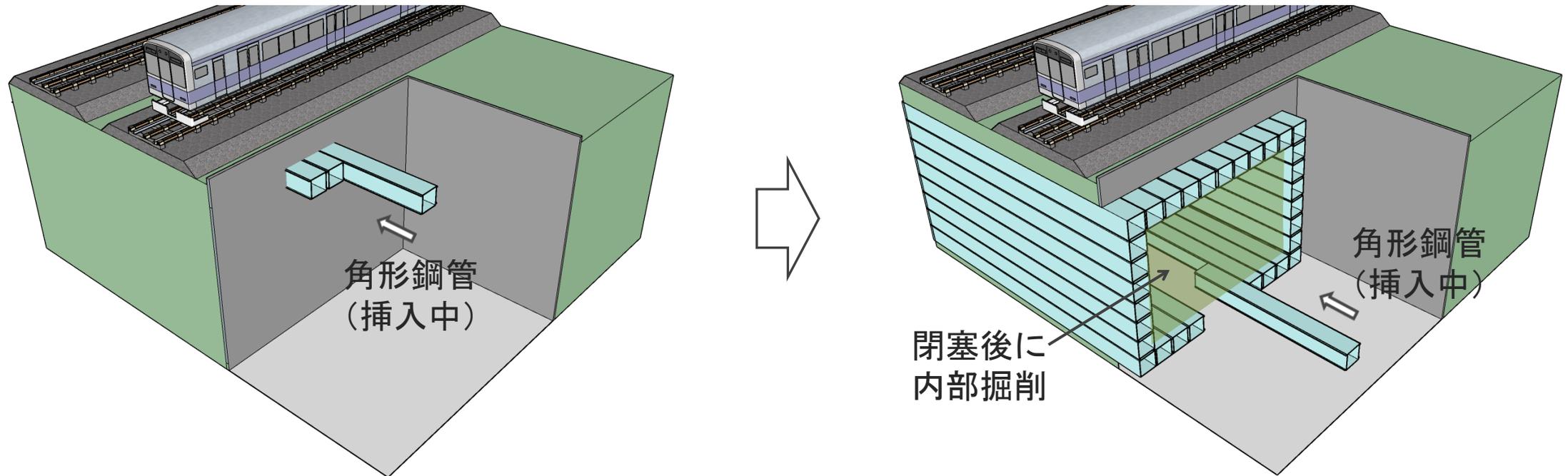


地盤緩み検知による軌道変状推定システム

はじめに

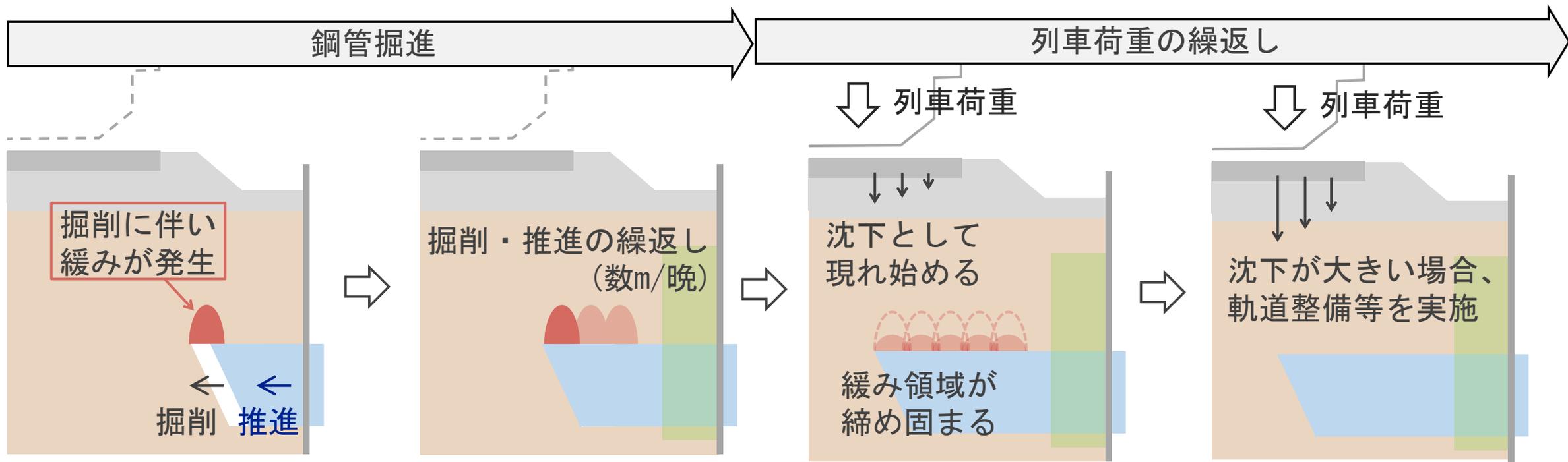
線路下横断工事とは

踏切解消や河川拡幅を目的とした、線路下を横断するトンネル工事
⇒ 角形鋼管を挿入してから内部を掘削して、トンネルを構築



はじめに

研究の目的 鋼管掘削に伴う軌道沈下の兆候検知



対策のタイミング (システム併用)

地盤の緩みを検知、軌道沈下量を推定

⇒ 沈下発生前から、掘削長や補助工法の見直しなどが可能

対策のタイミング (従来)

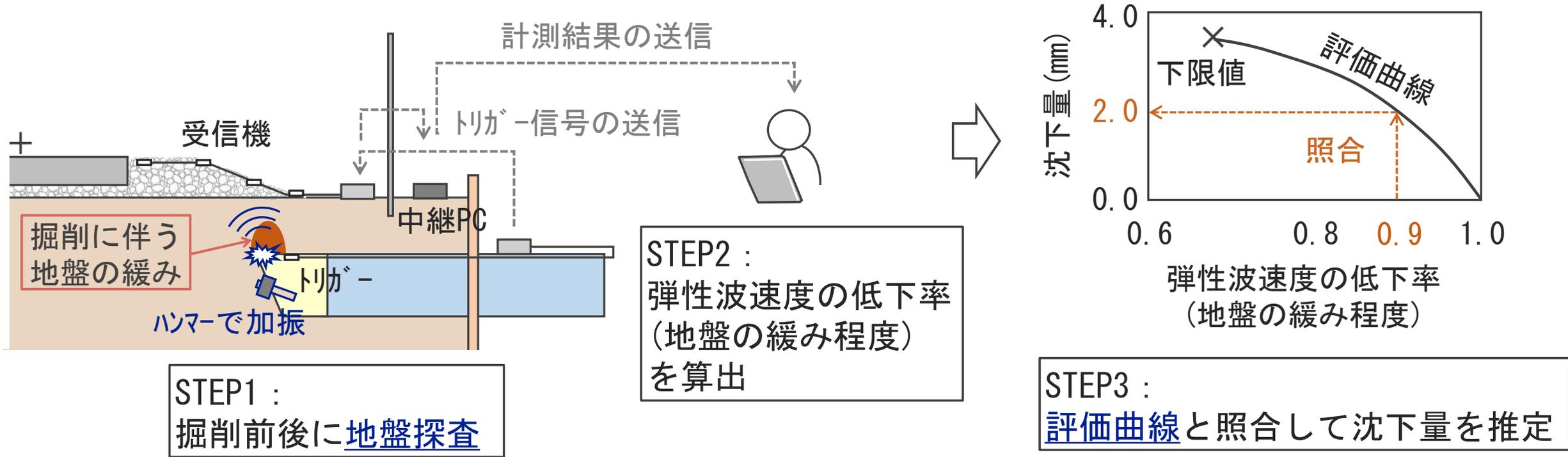
軌道変位計測のみ

⇒ 課題: 事後対策しかできない

はじめに

システム概要

- ・地盤探査で弾性波速度の低下率を算出して、地盤の緩みを検知
- ・評価曲線と照合して沈下量を推定

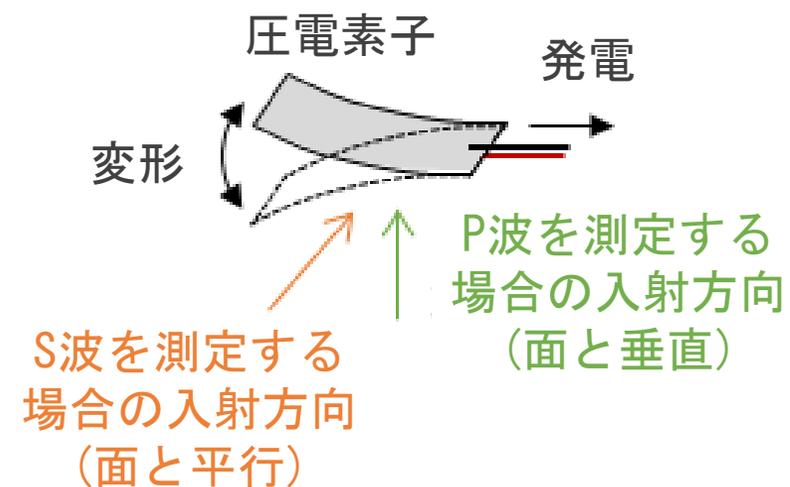
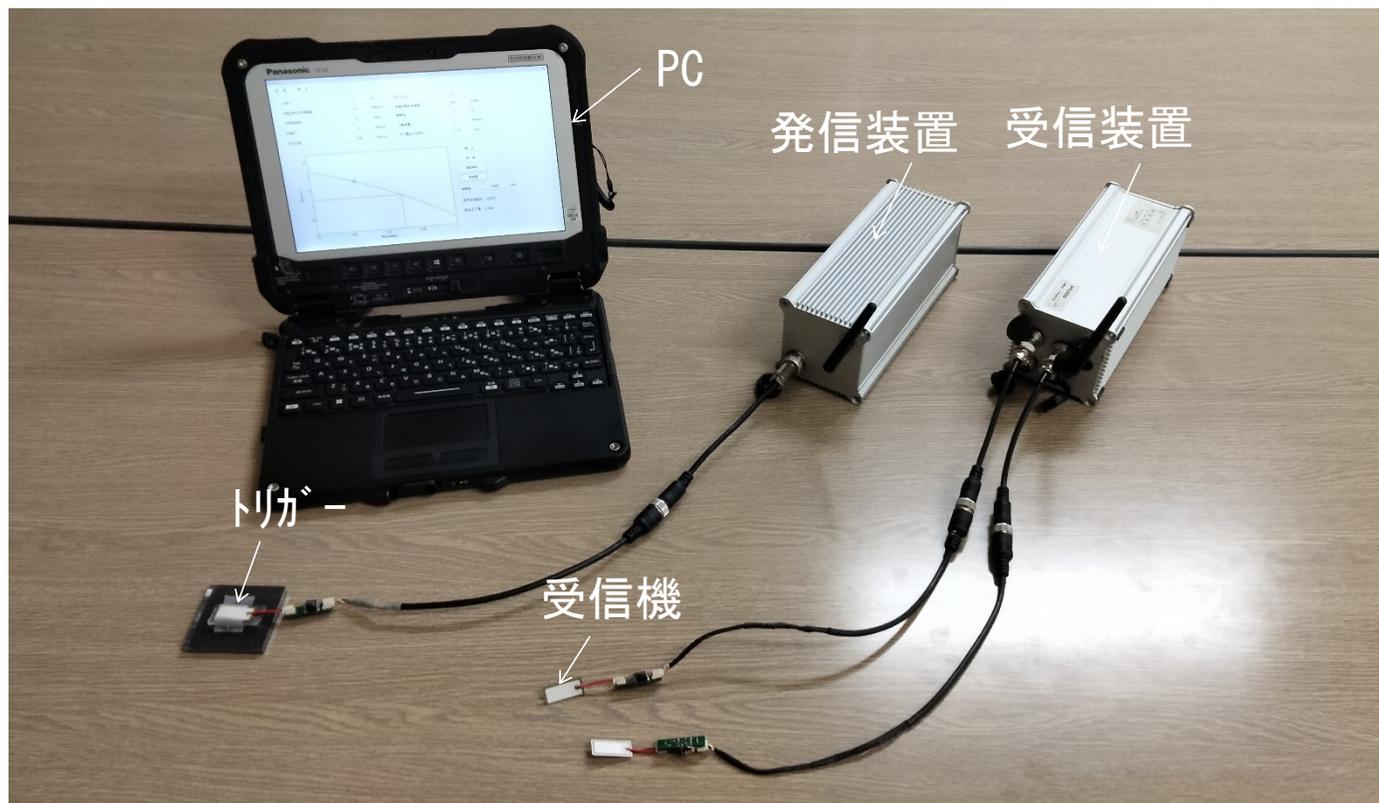


地盤探査

地盤探査装置

探査原理は従来の弾性波探査と同じ

⇒簡易かつ迅速に測定ができるよう小型化、無線化



地盤探査

(動画)



地盤探査

測定可能条件

掘削方式：

- ・ 角形鋼管を人力で掘削し、推進（またはけん引）する場合

土質：

- ・ 切羽の不安定化が生じやすい砂質地盤
 - ※粘性土や特殊土（有機質土、ローム、しらす等）は適用外
 - ※固結地盤では、鋼管と地盤の密着が弱く受信困難な場合あり
 - ※支障物が近傍にない場合（ある場合は支障物を検知して特異な反応が発生）

土被り：

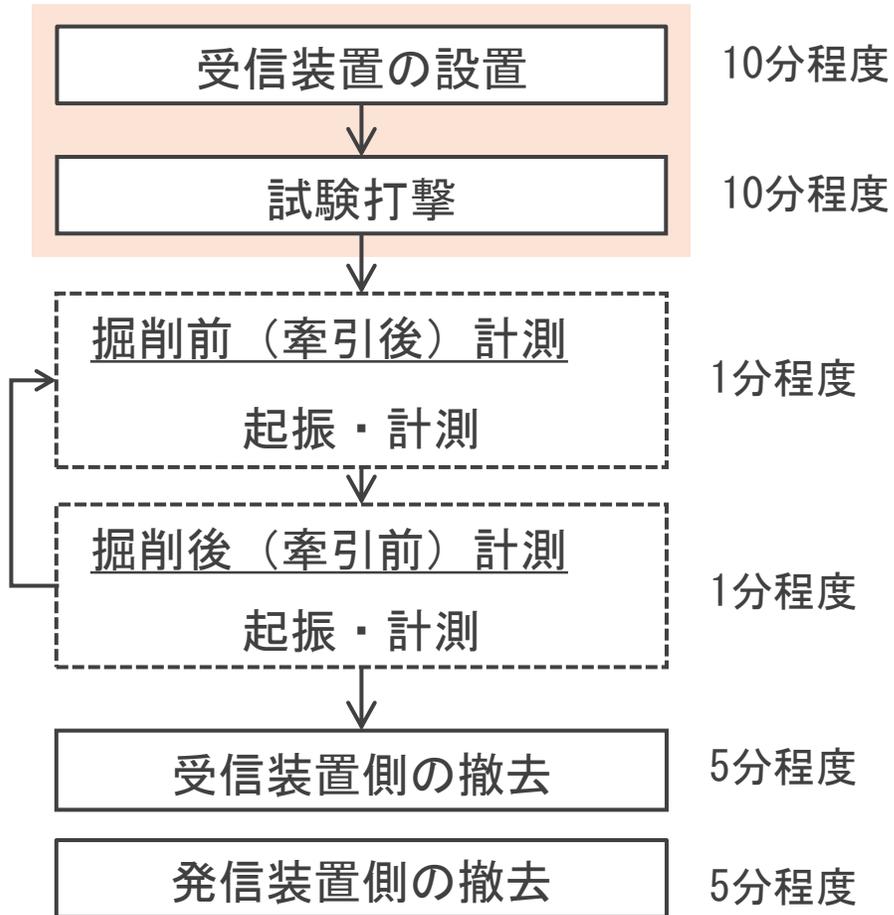
- ・ 実績0.65mから6m以浅（実物大試験と現地試験）

その他：

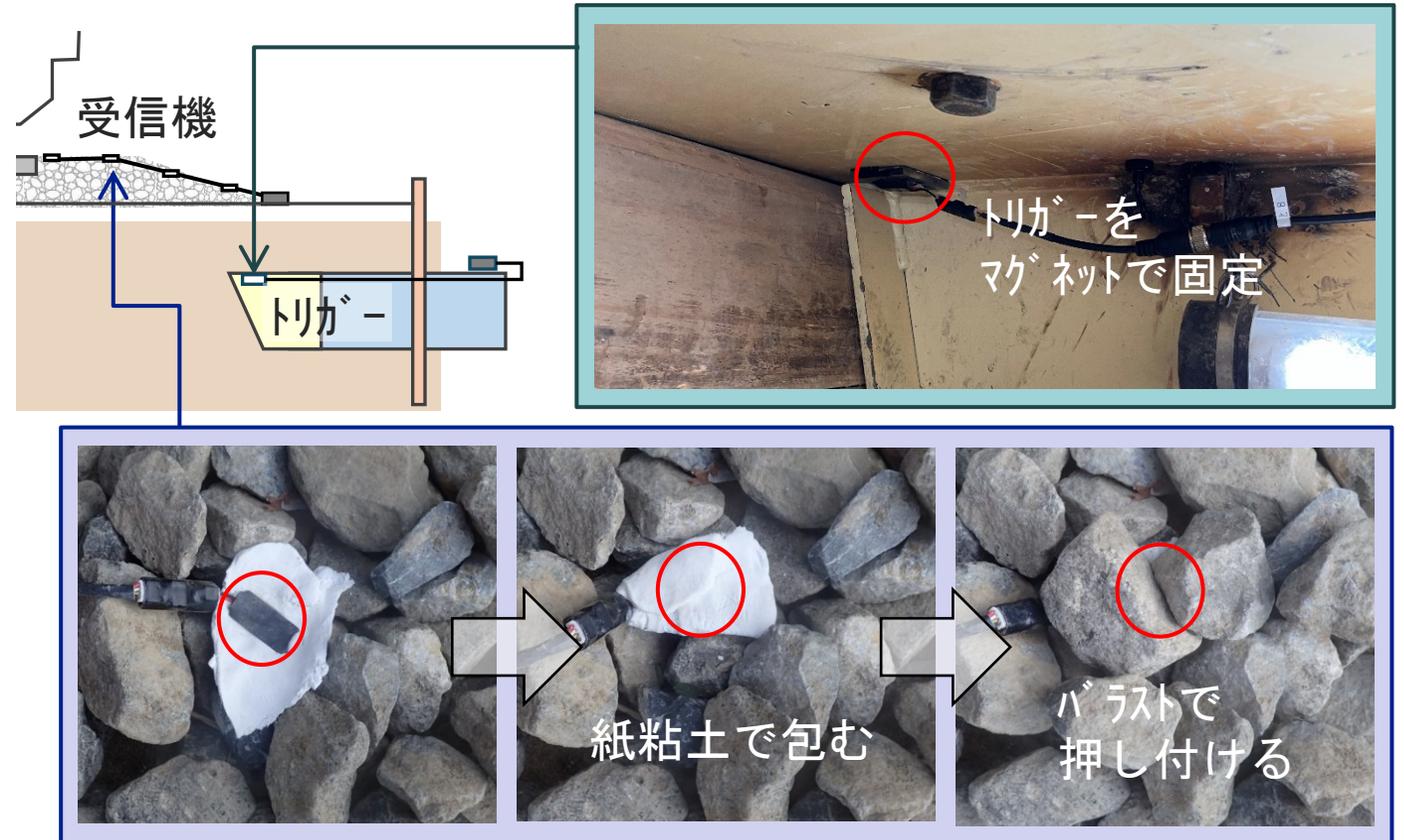
- ・ 受信機、受信・収録装置を設置する列車間合い、場所がある場合
- ・ 無線通信に有害な電波がない場合
 - ※有線による測定も可能

地盤探査

探査の流れ

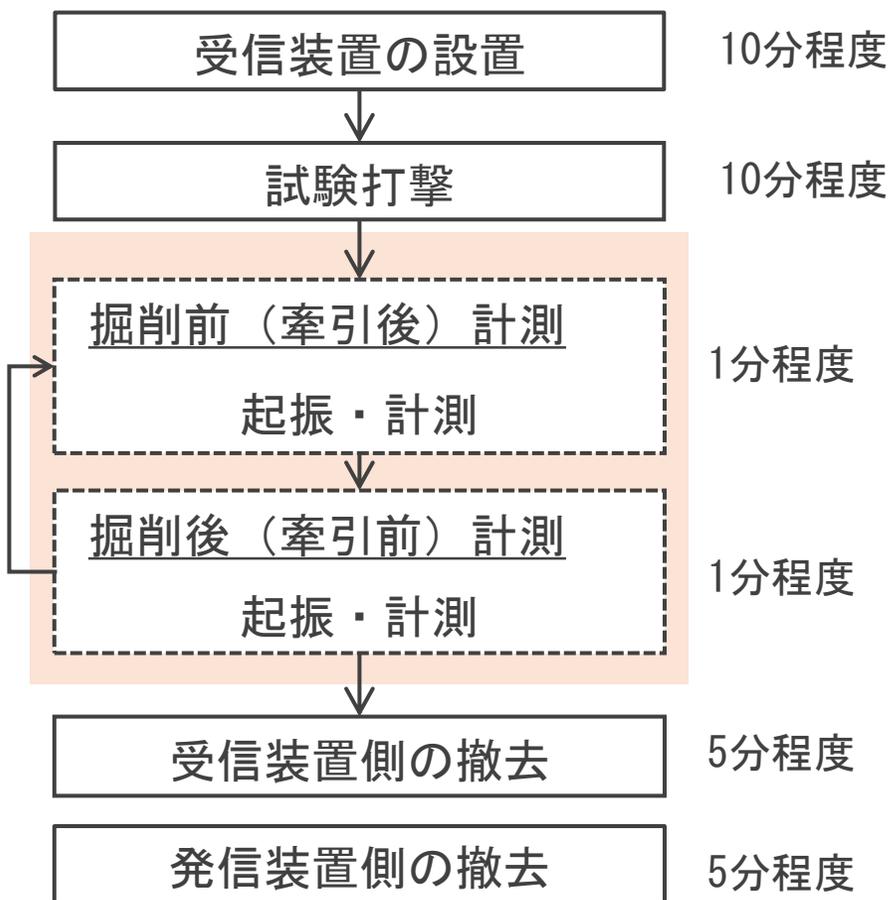


- ・ バラスト上に受信機 (4ch) を予め配置
- ・ 鋼管内にトリガーを設置

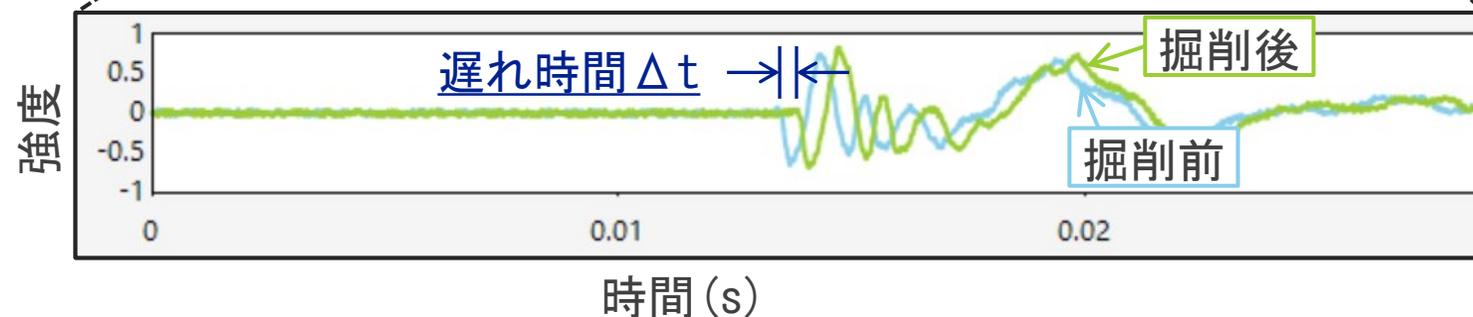
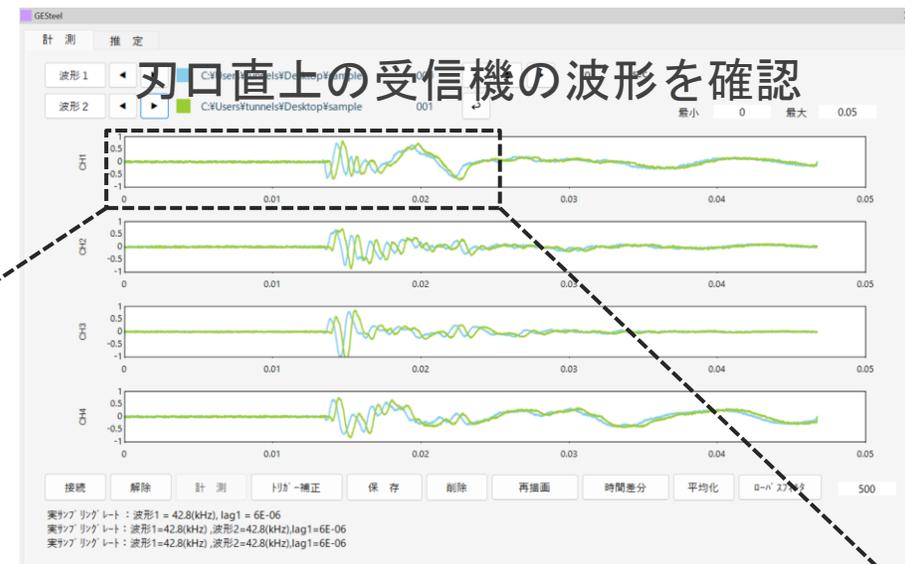


地盤探査

探査の流れ



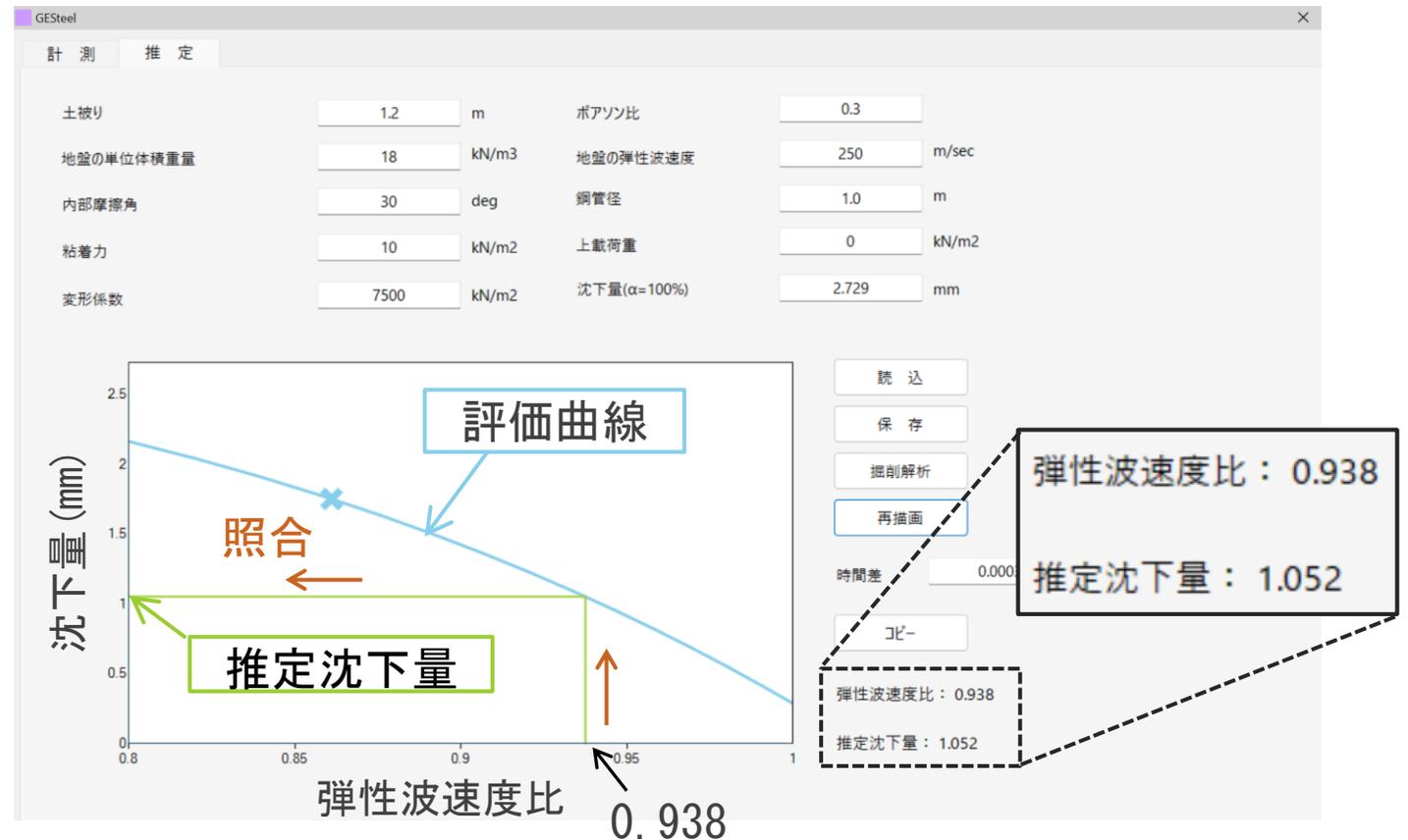
- 掘削前（牽引後）、掘削後（牽引前）に探査
⇒掘削前後の遅れ時間 Δt を測定



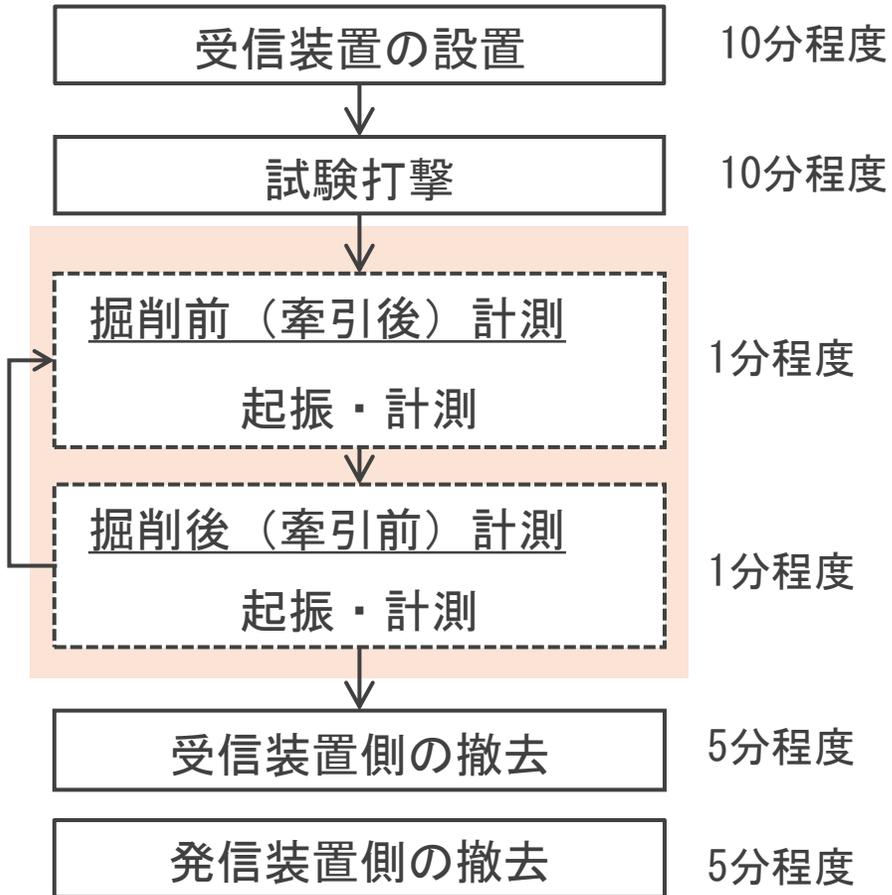
地盤探査

沈下量の推定

⇒遅れ時間 Δt からソフトが自動計算
(事前に地盤条件等の入力が必要)



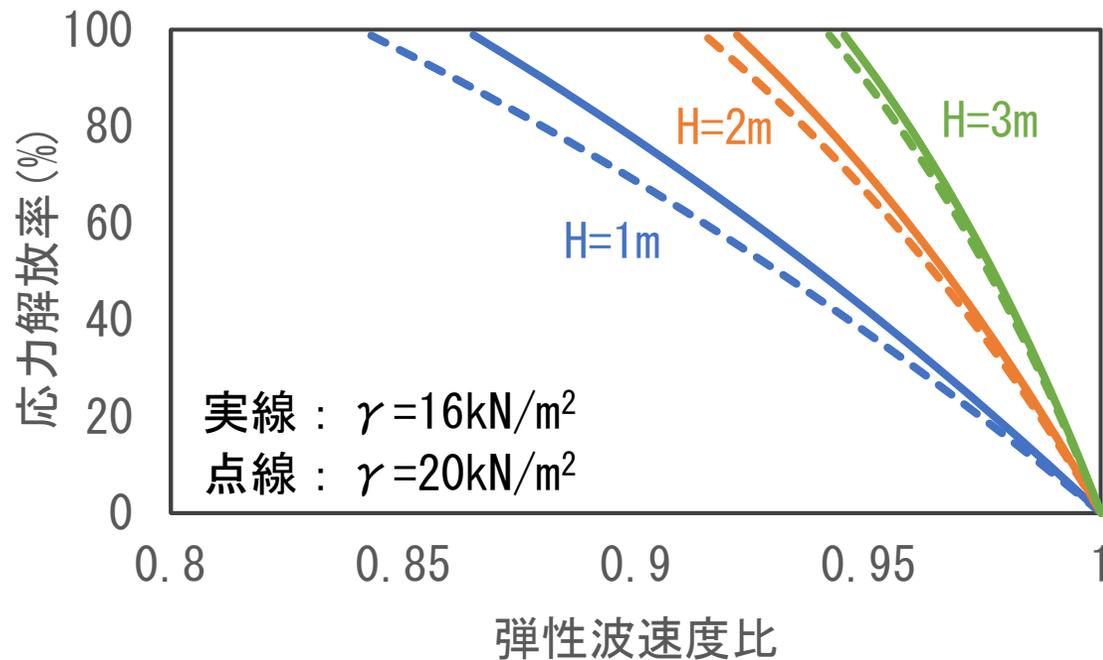
探査の流れ



評価曲線

作成方法

既往理論と解析手法を組み合わせ、作成する方法を構築



評価曲線の例
(鋼管幅 $B=1\text{m}$ 、上載圧 $q=10\text{kN/m}^2$ の場合)

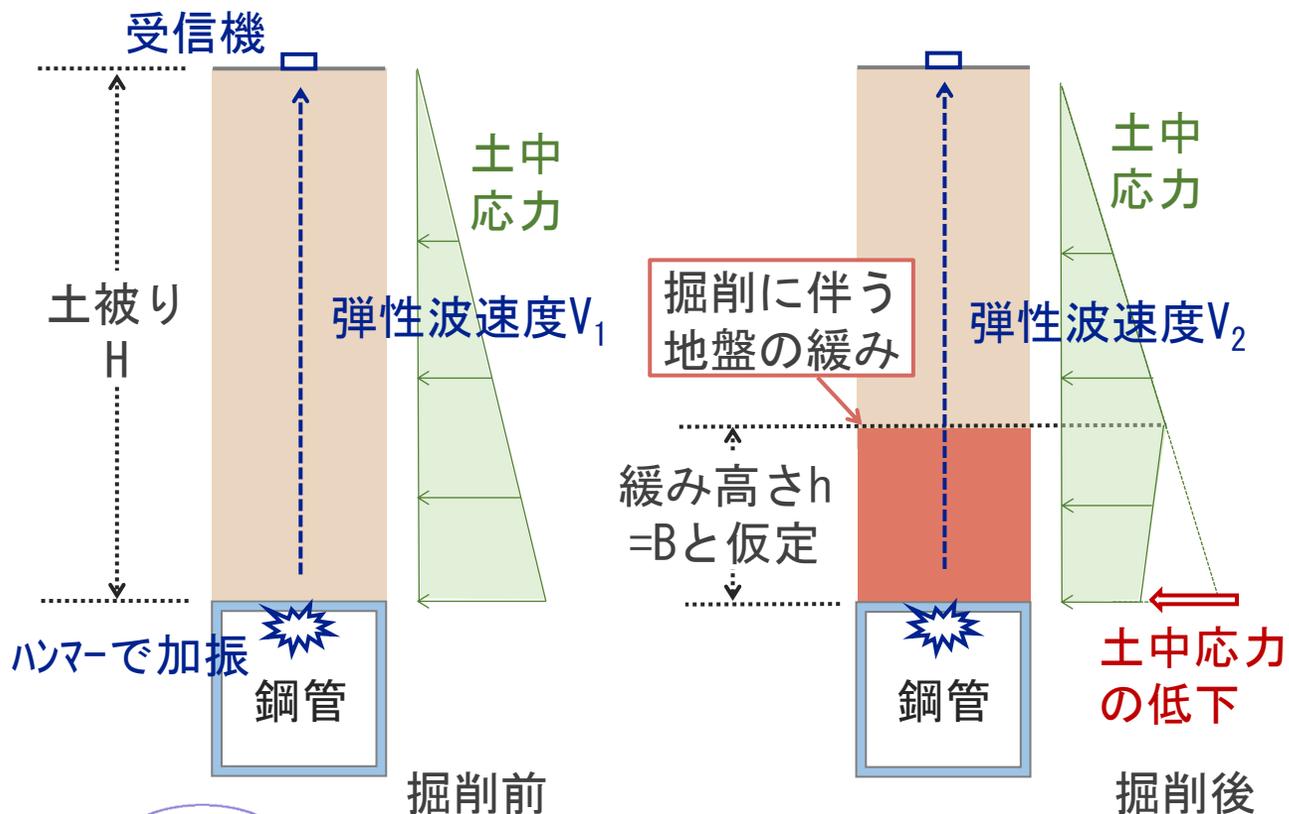
弾性波速度の低下率、評価曲線の作成に必要な項目

地盤条件	地盤の単位体積重量 γ
	地盤の変形係数 E
	ポアソン比 ν
	粘着力 c
	内部摩擦角 ϕ
施工条件	鋼管幅 B
	土被り H
	上載圧 q

評価曲線

背景理論

掘削に伴い地盤の緩みが発生
地盤の拘束圧が低下⇒弾性波速度が低下



- ① 既往理論式から弾性波速度比と応力解放率の関係式を誘導

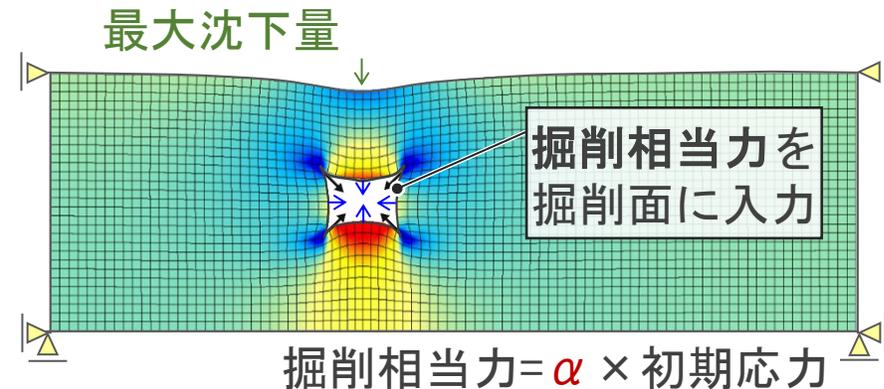
弾性波速度比

$$R = \frac{V_2}{V_1} = \frac{H}{(H-h) + h \left[\frac{\gamma\{2H-h\} + 2q}{\gamma\{(2-\alpha)H-h\} + 2q} \right]^{\frac{1}{4}}}$$



鋼管上面の応力解放率

- ② トンネルの一般的な掘削解析手法で、鋼管上面の応力解放率を最大沈下量に換算

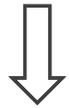


評価曲線

- ① 既往理論式から弾性波速度比と応力解放率の関係式を誘導

弾性波速度比

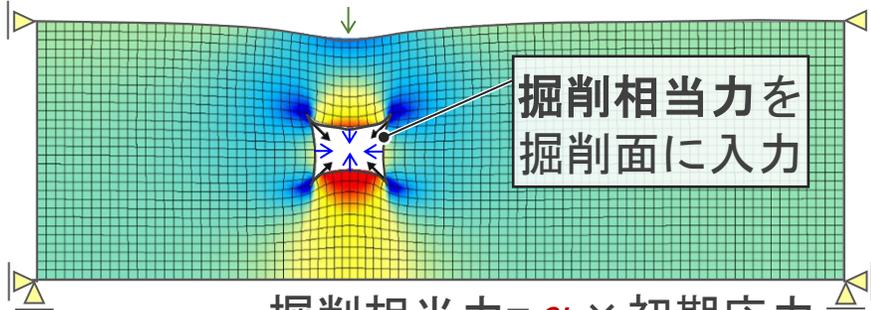
$$R = \frac{V_2}{V_1} = \frac{H}{(H-h) + h \left[\frac{\gamma\{2H-h\} + 2q}{\gamma\{(2-\alpha)H-h\} + 2q} \right]^{\frac{1}{4}}}$$



鋼管上面の応力解放率

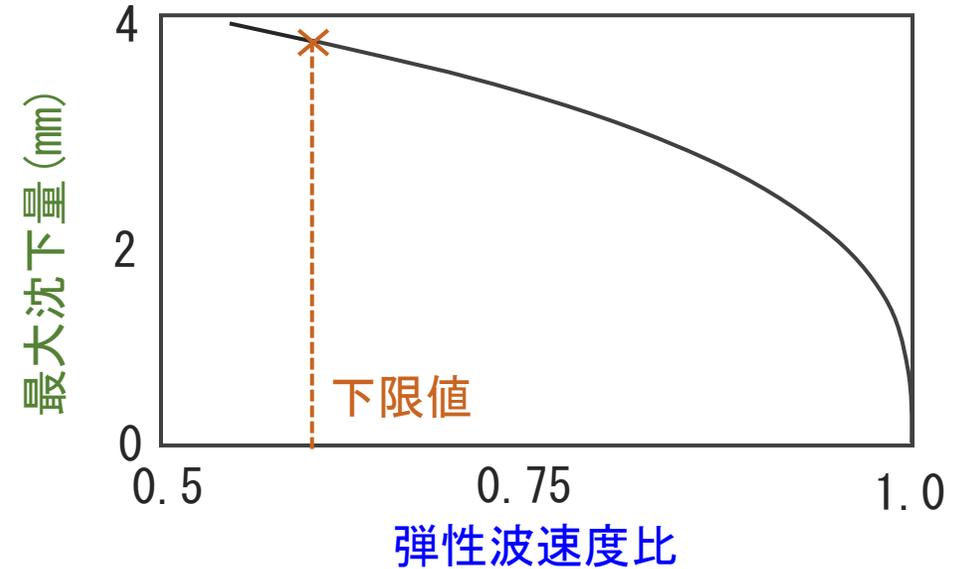
- ② トンネルの一般的な掘削解析手法で、鋼管上面の応力解放率から最大沈下量を算定

最大沈下量

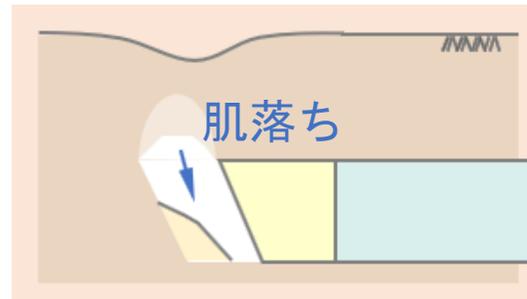


掘削相当力 = α × 初期応力

- ③ 弾性波速度比と最大沈下量の関係を図化



- ④ 下限値を設定

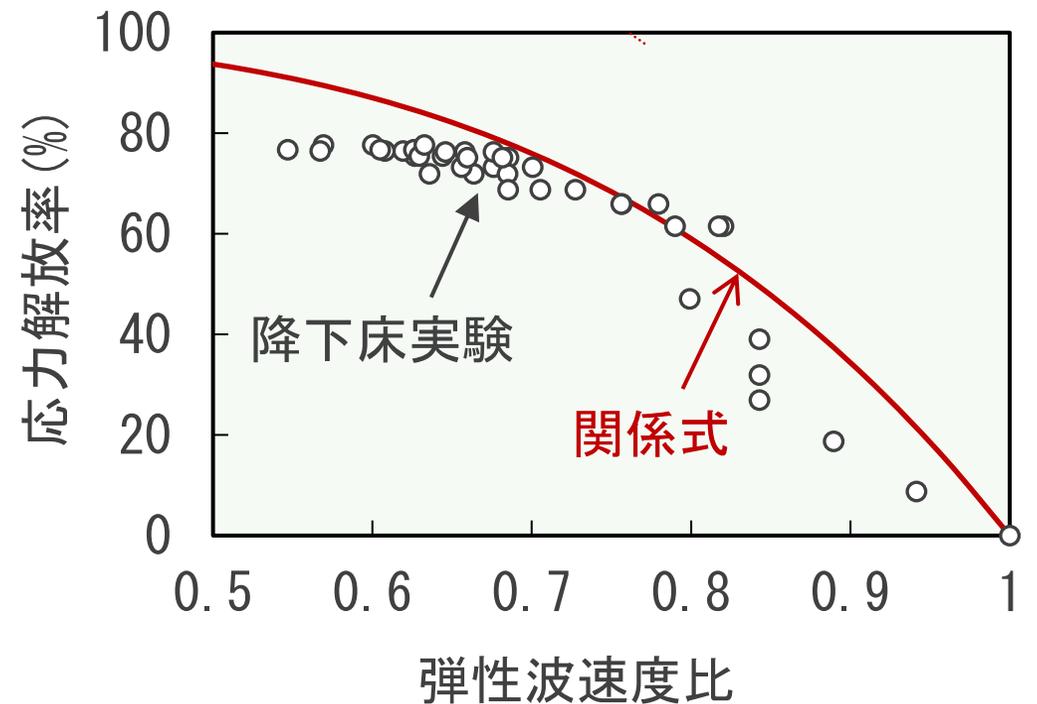
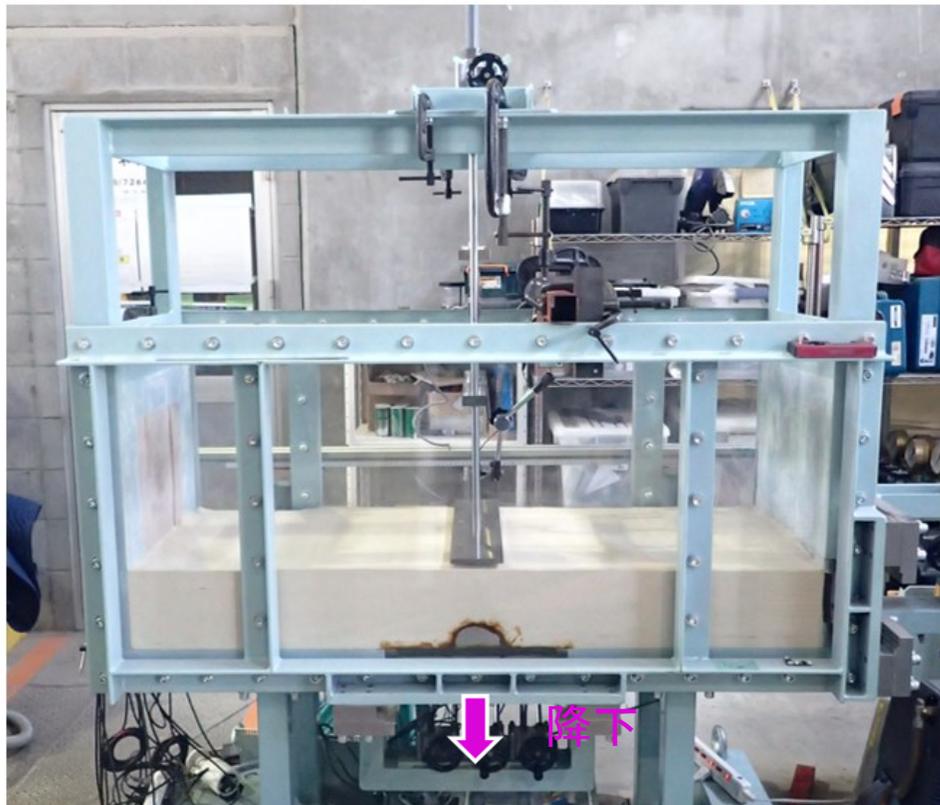


肌落ちが生じる状況では、探査・評価できないため下限値を設定
 ⇒ 地盤条件に応じて設定
 ⇒ テルツァーギの緩み土圧まで応力が低下した場合と設定

検証例

降下床実験 土槽底面の一部を降下させて、掘削に伴う地盤の緩みを再現

⇒弾性波速度比と応力解放率の関係式を検証

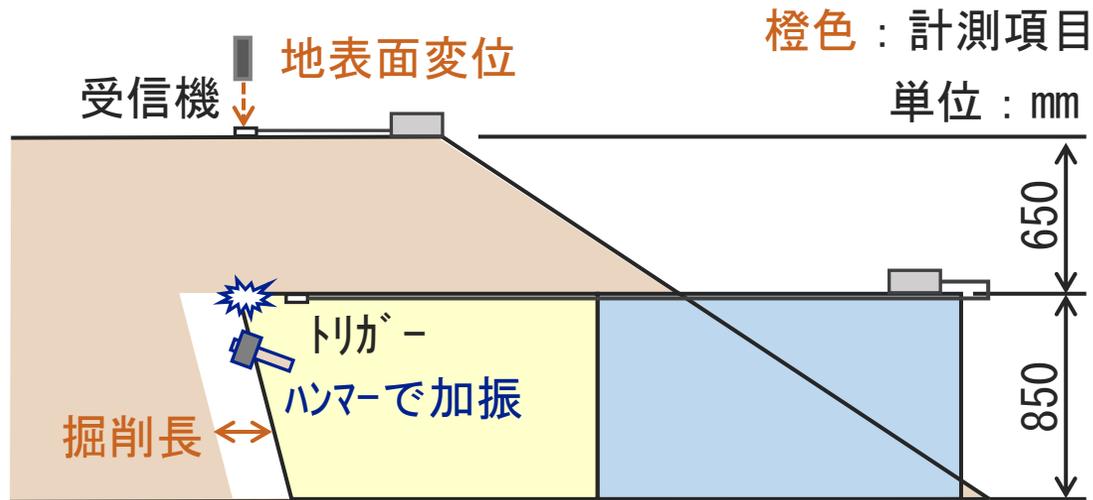


全体傾向が一致することを確認

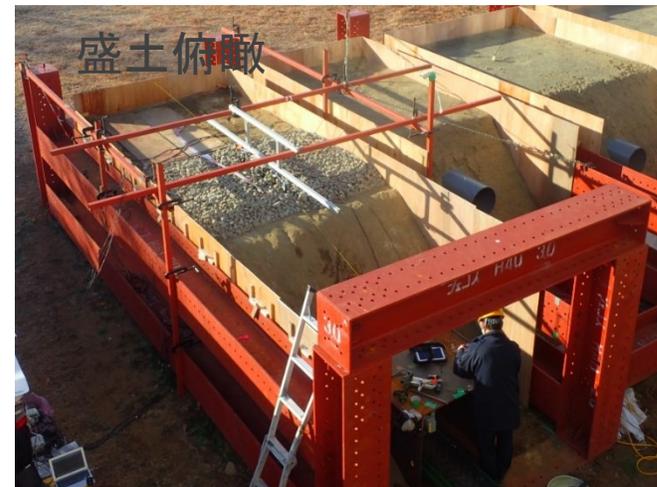
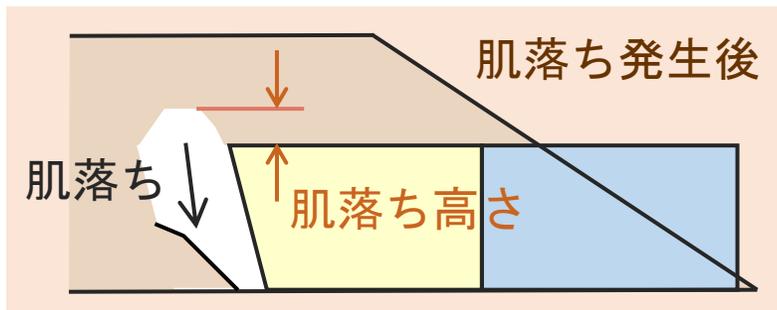
検証例

実物大掘削実験 実鋼管を埋設した盛土を製作、現場と同様の掘削を実施

⇒弾性波速度比と応力解放率の関係式、下限値を検証



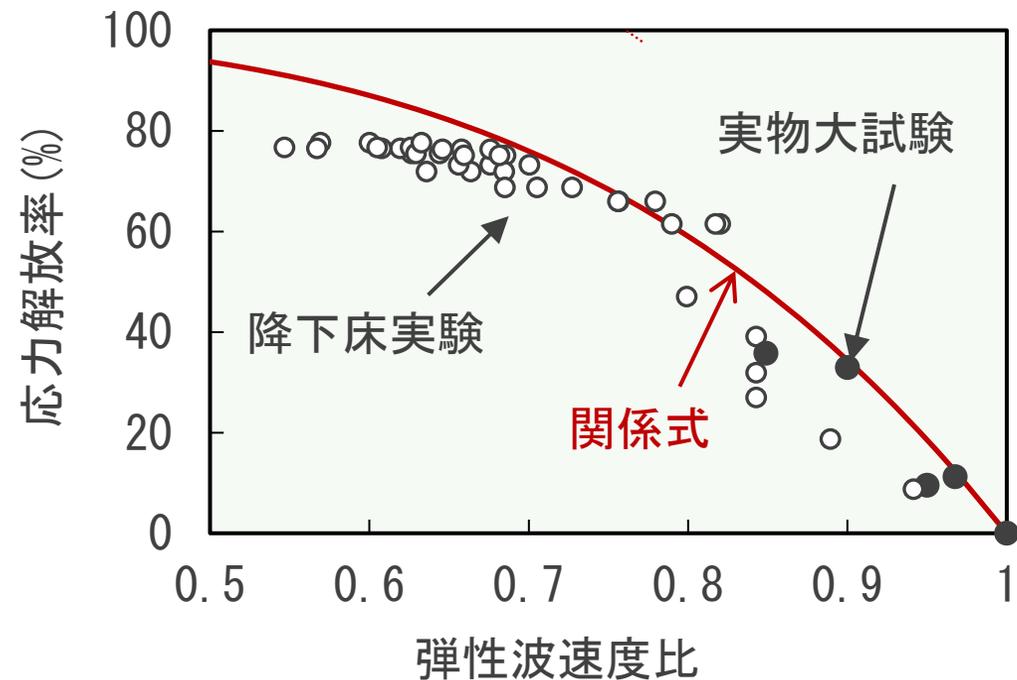
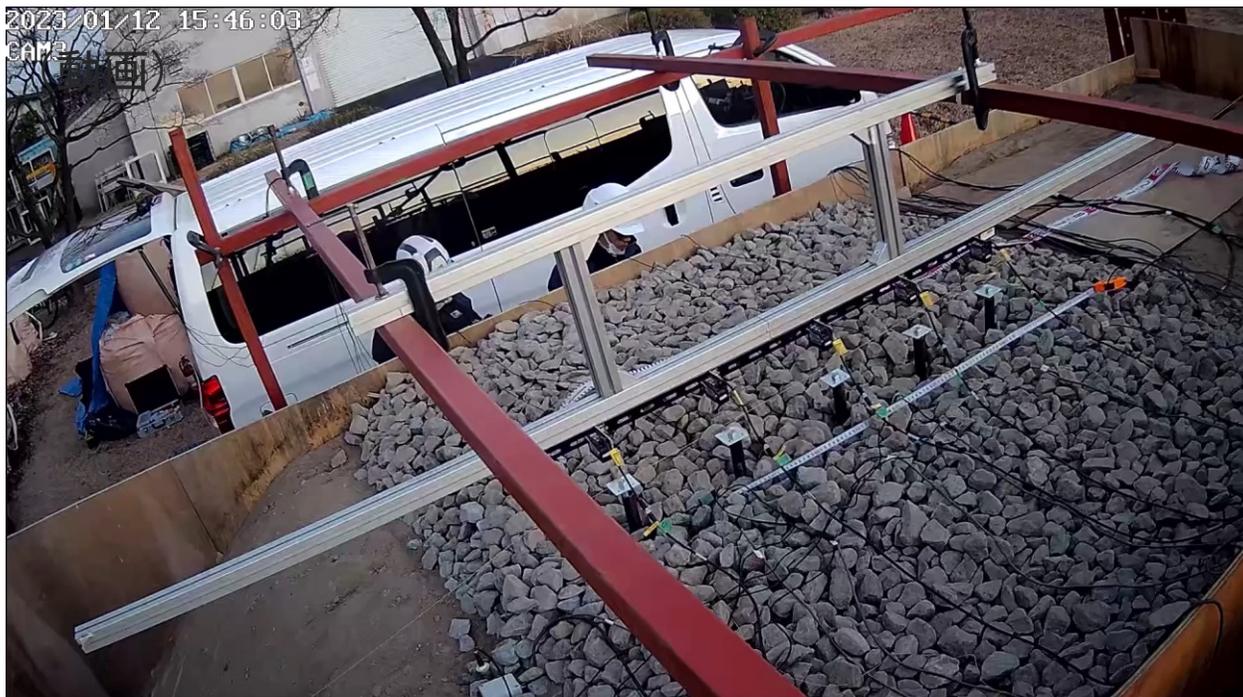
地盤：稲城砂 (締固め密度90%以上)



検証例

実物大掘削実験 実鋼管を埋設した盛土を製作、現場と同様の掘削を実施

⇒ 弾性波速度比と応力解放率の関係式、下限値を検証

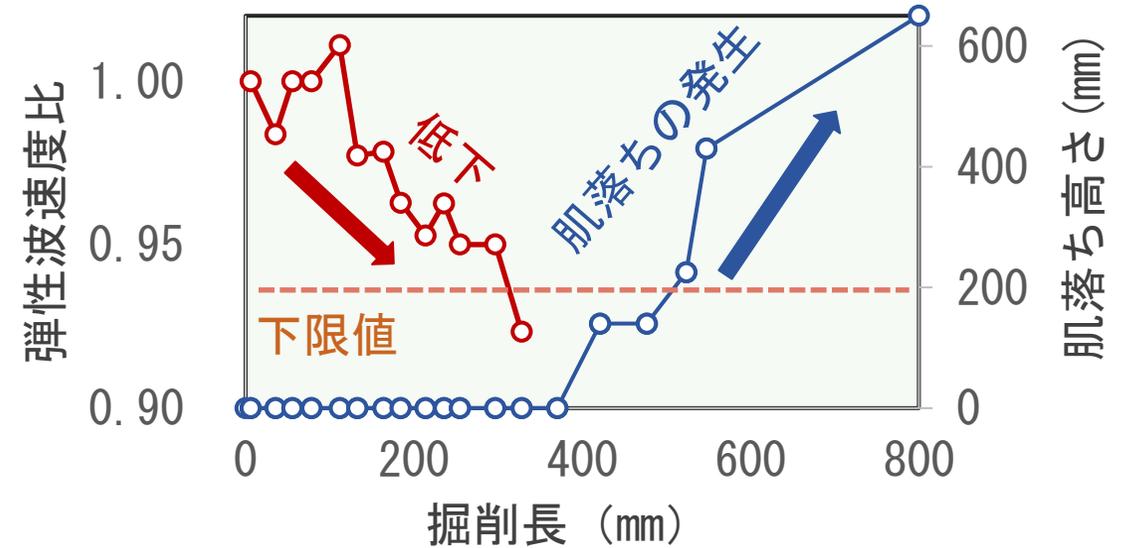
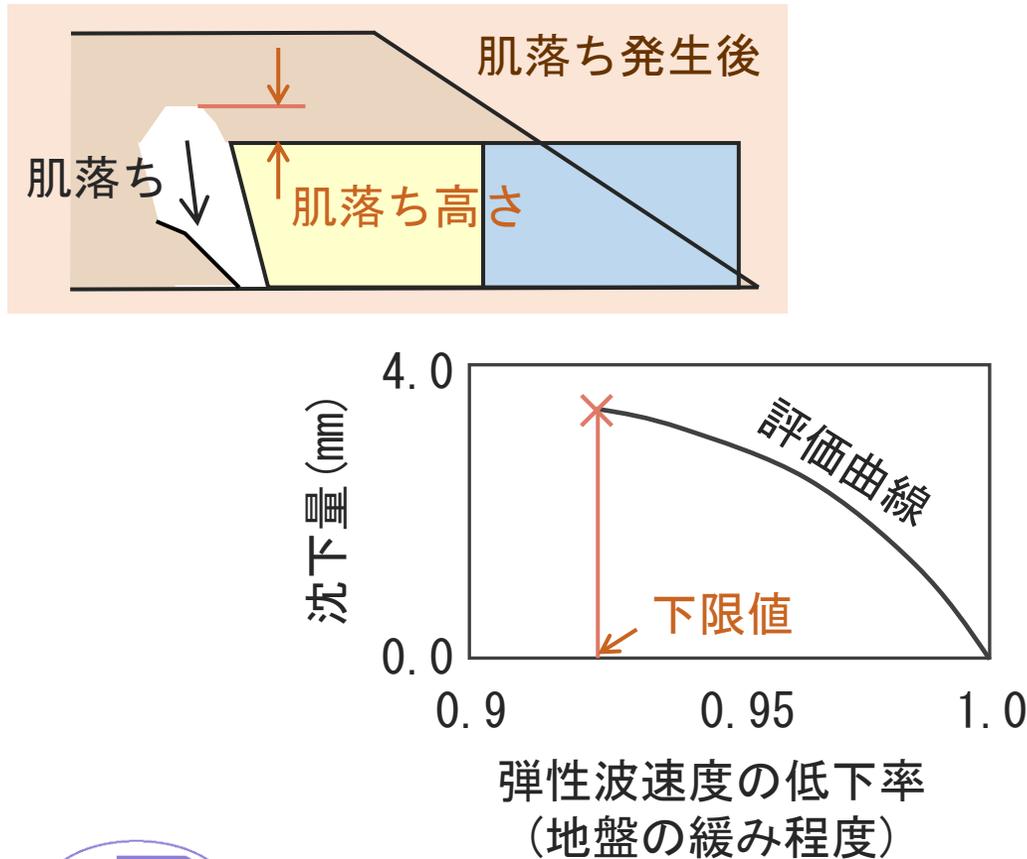


全体傾向が一致することを確認

検証例

実物大掘削実験 実鋼管を埋設した盛土を製作、現場と同様の掘削を実施

⇒弾性波速度比と応力解放率の関係式、下限値を検証

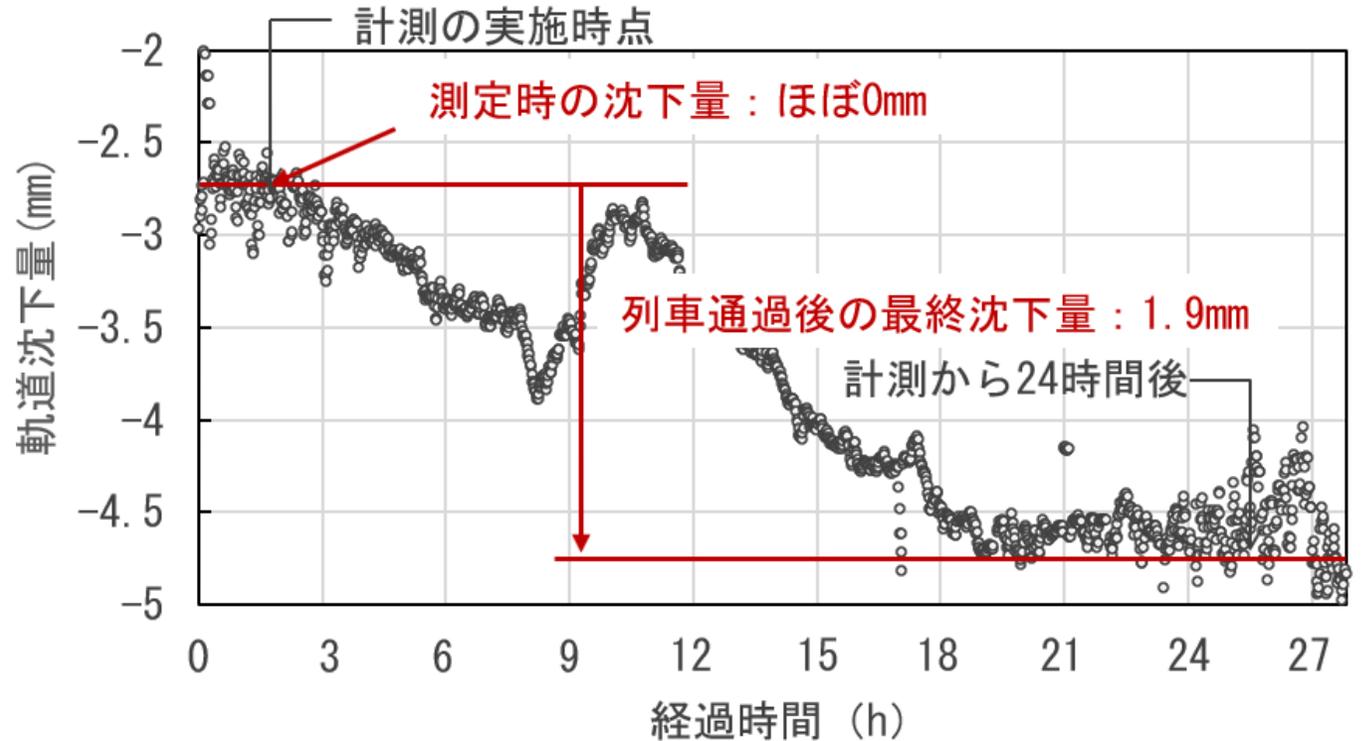
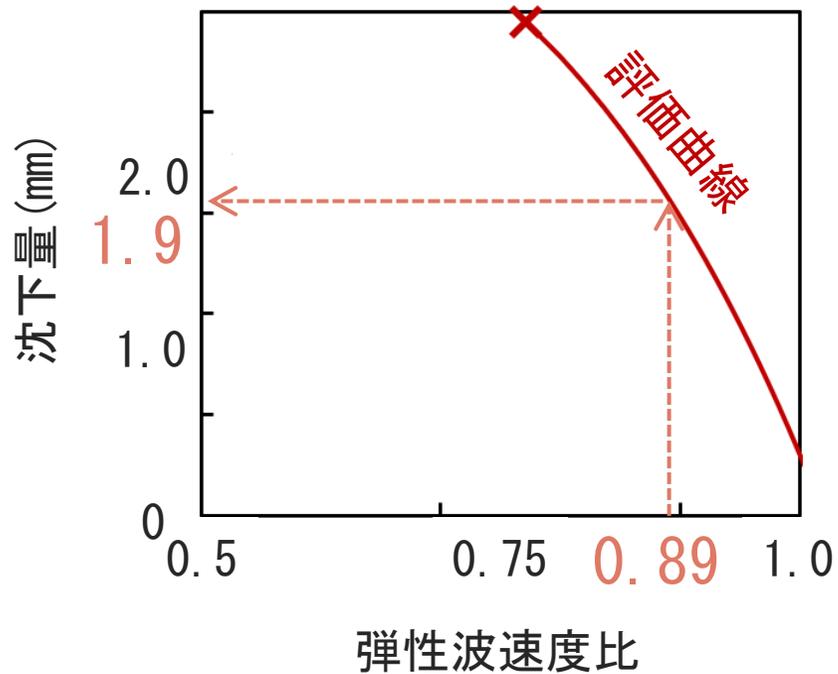


下限値を下回った後に
肌落ちが発生することを確認

検証例

現場計測 同一の線路下横断工事の現場において計2回実施

橙色：探査結果

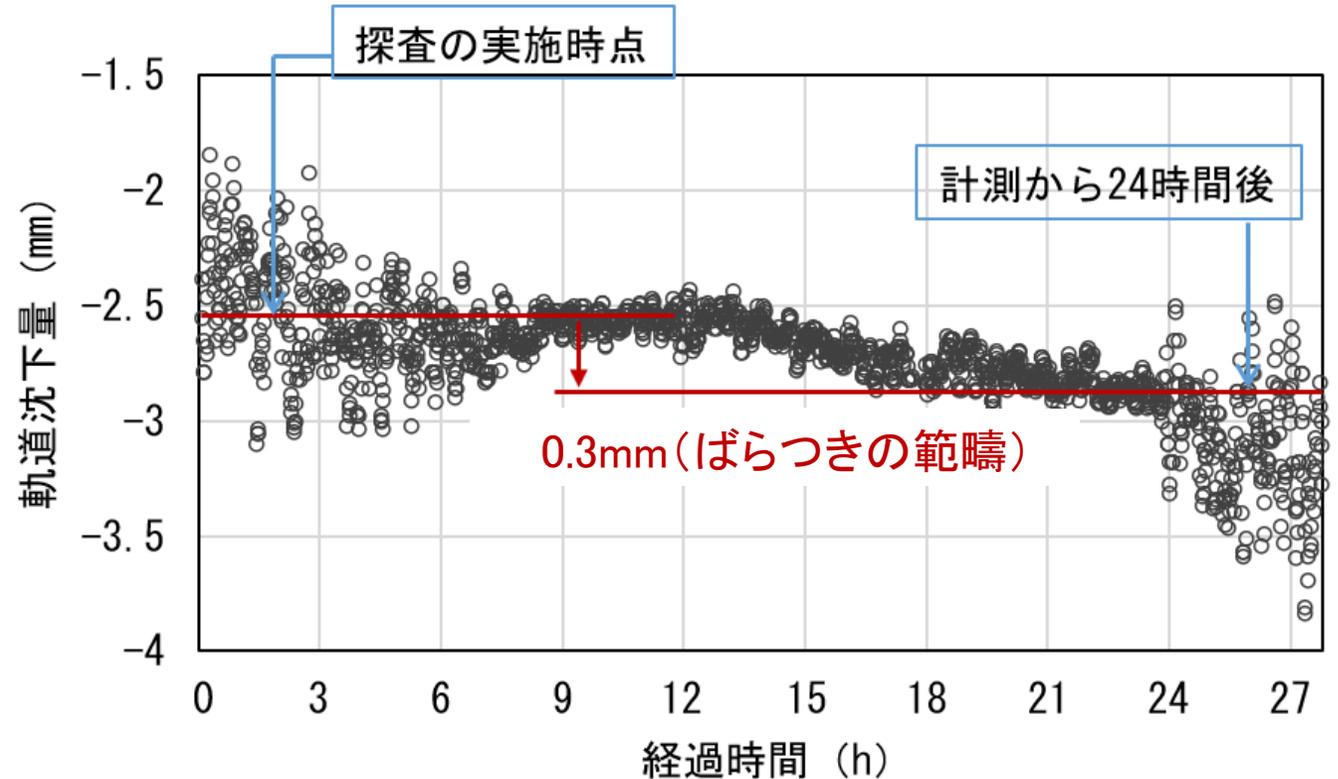
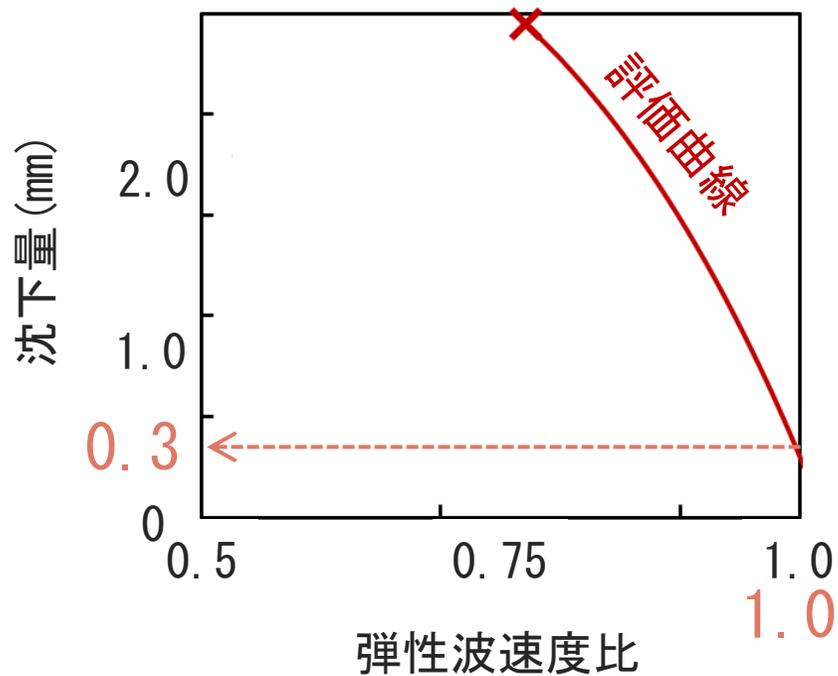


実現場の沈下量を推定できることを確認

検証例

現場計測 同一の線路下横断工事の現場において計2回実施

橙色：探査結果



実現場の沈下量を推定できることを確認

まとめと成果の活用

まとめ

- ◆線路下横断工事の鋼管掘削に伴う軌道沈下の兆候検知のため、
「地盤緩み検知による軌道変状推定システム」を開発
⇒地盤探査で弾性波速度の低下率を算出して、地盤の緩みを検知
⇒評価曲線と照合して沈下量を推定
- ◆降下床実験、実物大掘削実験および現場検証にて適用性を検証

成果の活用

- ◆線路下横断工事の施工管理に活用
⇒昨年度：1現場で試行
⇒本年度：3現場で試行

参考文献

仲山貴司, 山下雄大, 石井貴大: 線路下横断工法における弾性波探査を用いた沈下予測手法, 施設研究ニュース, No.408, pp.5-6, 2024