

張力調整装置の伸縮量増大に関する現象解明

電力技術研究部 電車線構造研究室

副主任研究員 佐藤 宏紀

本日の発表

◆ 背景および目的

自動張力調整装置の伸縮量を増大させる現象の概要

◆ 自動張力調整装置の伸縮量計算

伸縮量に影響を与える要因, 伸縮量の計算概要

◆ 現地試験

計算の妥当性確認

◆ 自動張力調整装置の温度伸縮特性

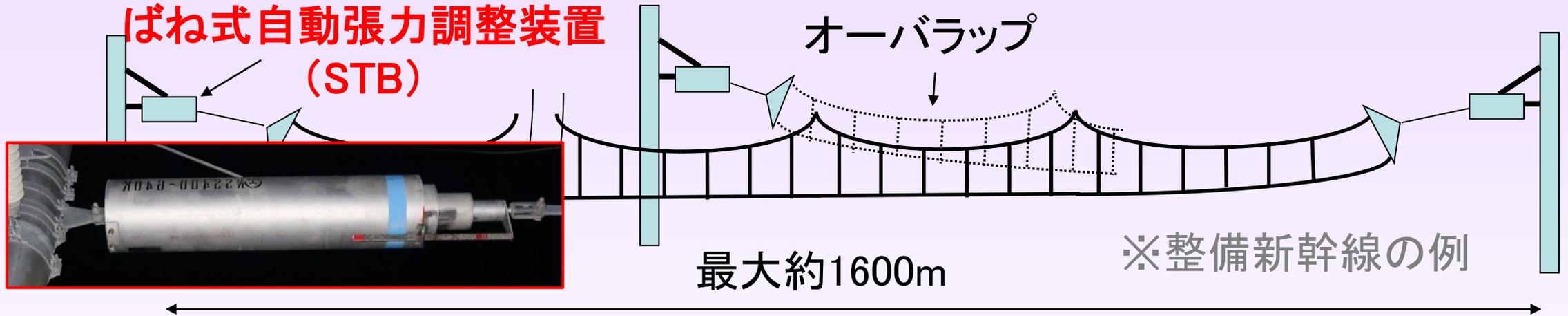
各種要因による温度伸縮特性, 可動限界に到達しない設備条件

◆ まとめ

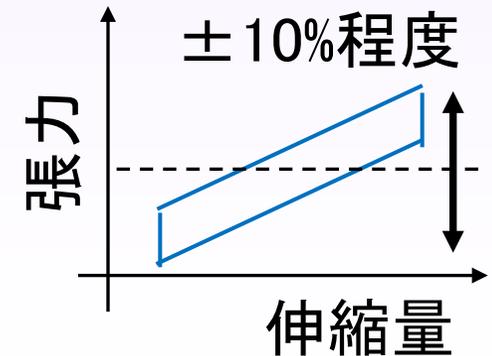
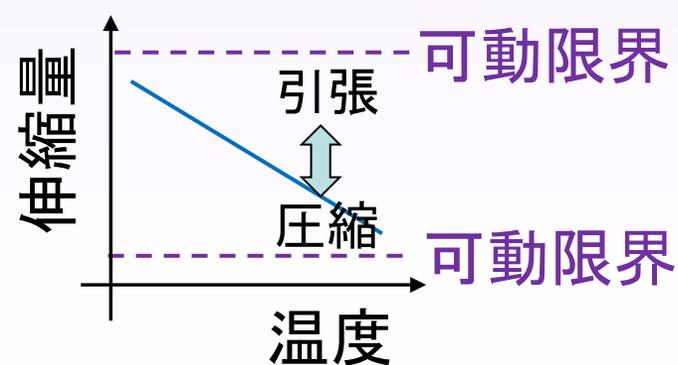


研究背景

➤ 自動張力調整装置の役割



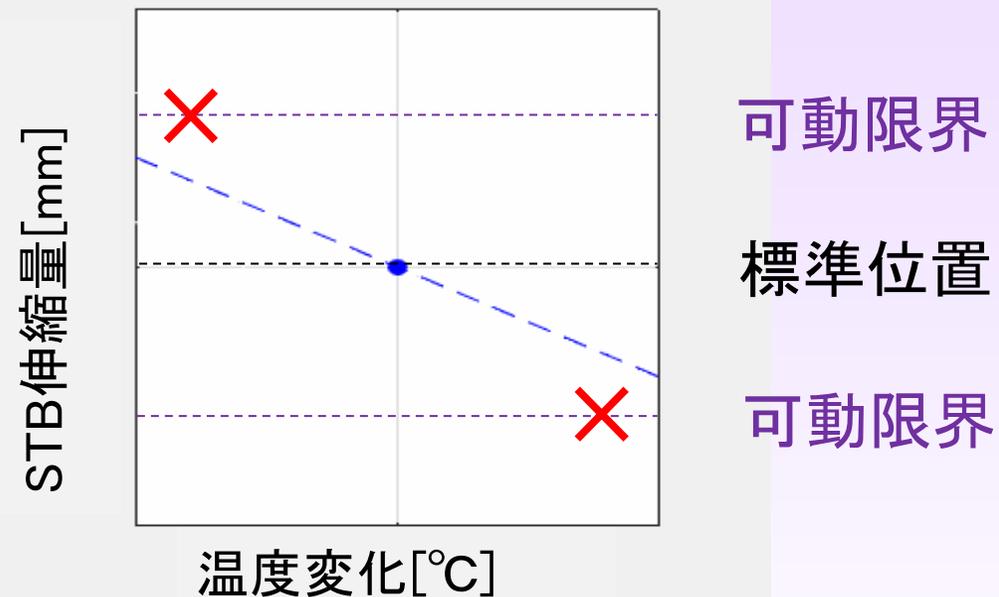
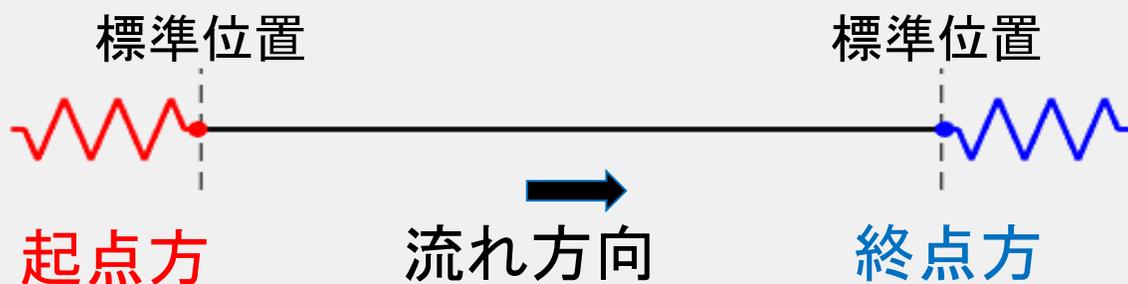
- 電車線の**温度伸縮を吸収**
- 電車線に**適切な張力を付与**



研究背景

➤ 電車線流れの概要

電車線流れが生じた状態



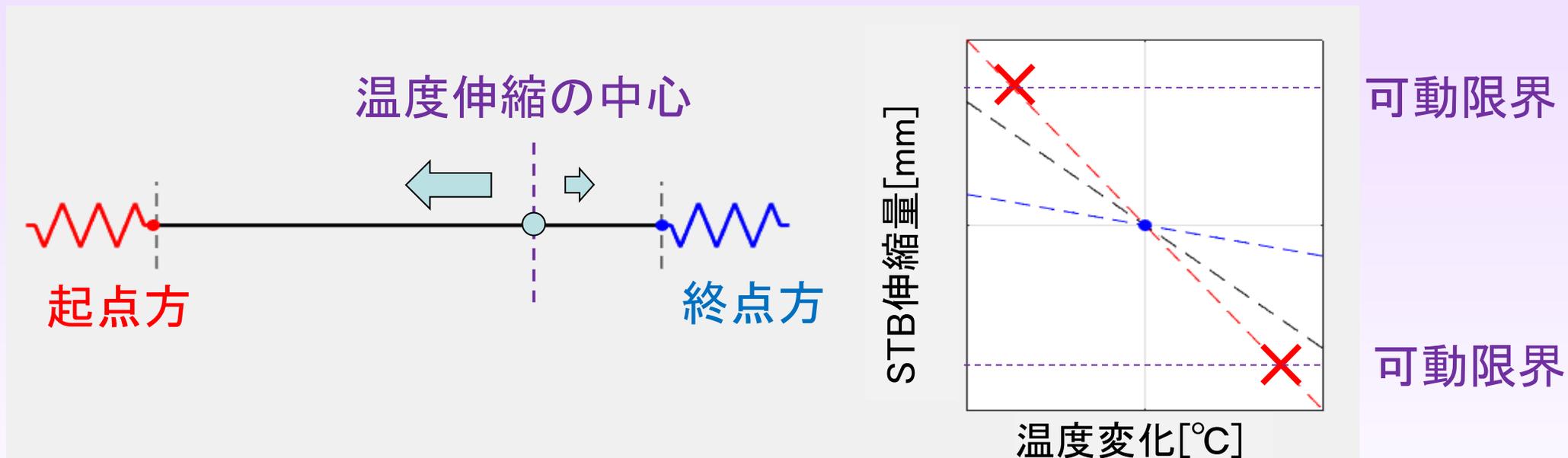
電車線流れ：電車線全体が同一方向に移動すること

課題

従来の計算手法は実測と乖離することがある

研究背景

➤ 両端STBの温度伸縮特性差の概要



両端STBの温度伸縮特性差：電車線の温度伸縮が片側に偏ること

課題

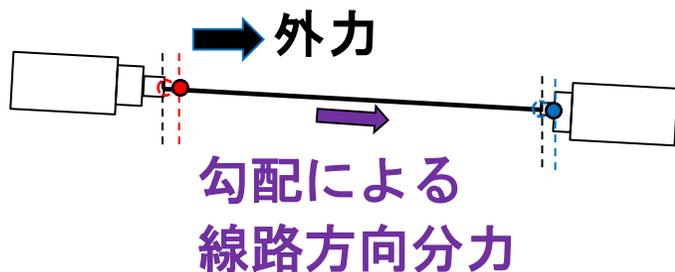
定量的な評価方法が示されていない

研究目的

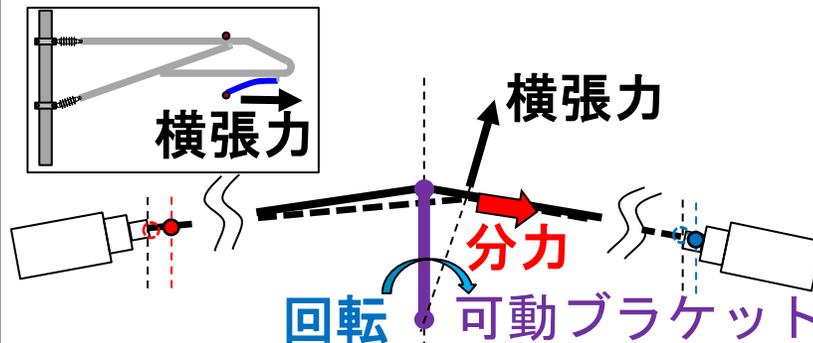
自動張力調整装置の可動限界到達の原因となり得る
電車線流れ・両端STBの温度伸縮特性差について、
要因を整理し、影響の評価方法を示す

伸縮量に影響を与える要因の一覧

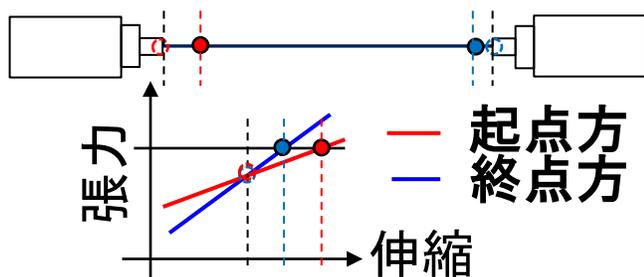
1. 線路勾配・風圧等の外力



2. 可動ブラケットの横張力



3. 両端STBのばね定数差



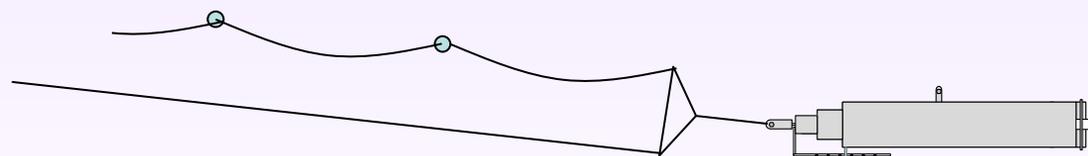
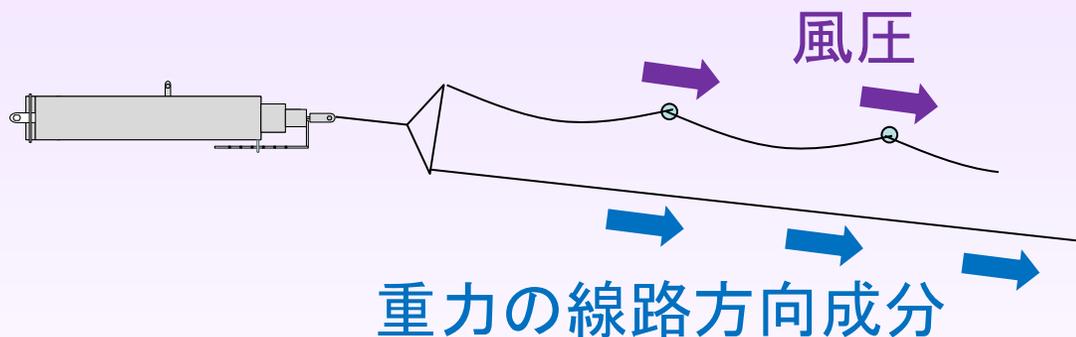
4. STBの摩擦力



これらの物理的な影響を検討

各種要因による影響の検討

1. 線路勾配・風圧等の外力

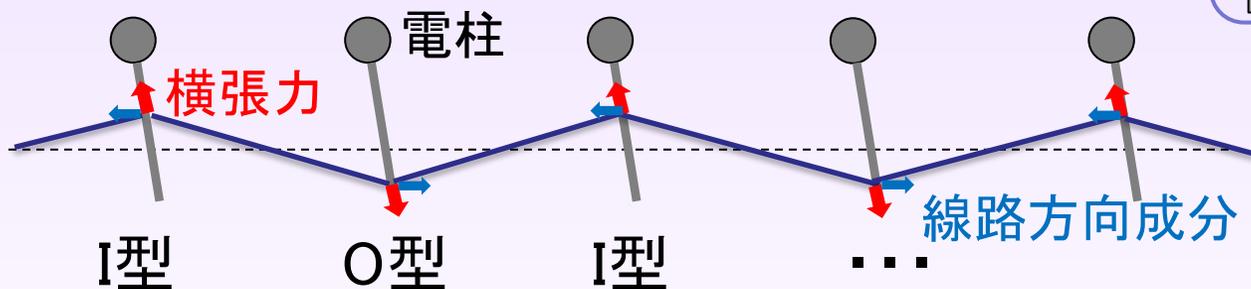


両端の張力差が生じ、STBの伸縮量に影響を及ぼす

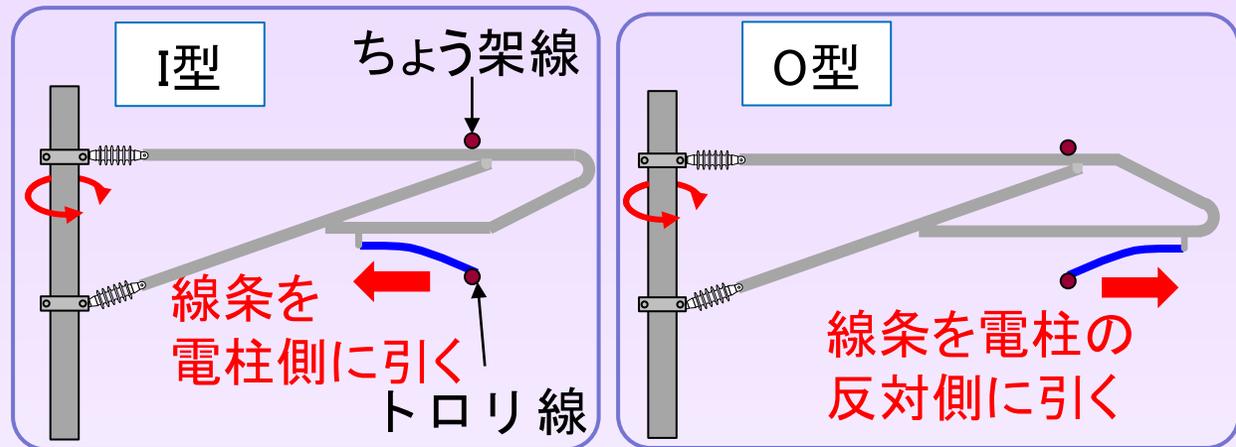
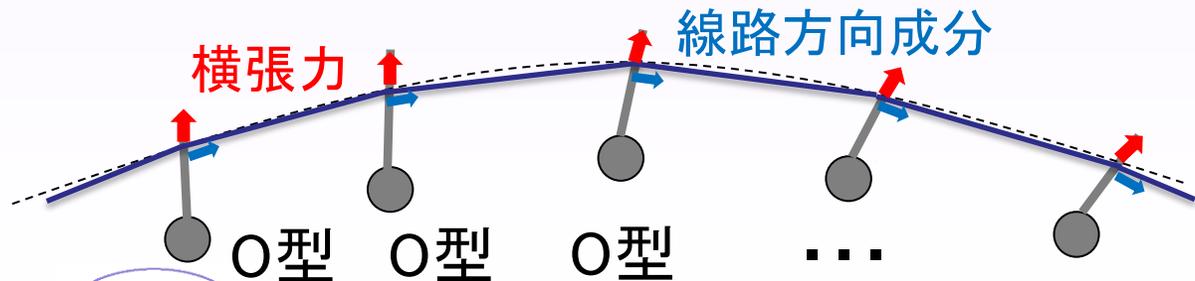
各種要因による影響の検討

2. 可動ブラケットの横張力

直線区間



曲線区間

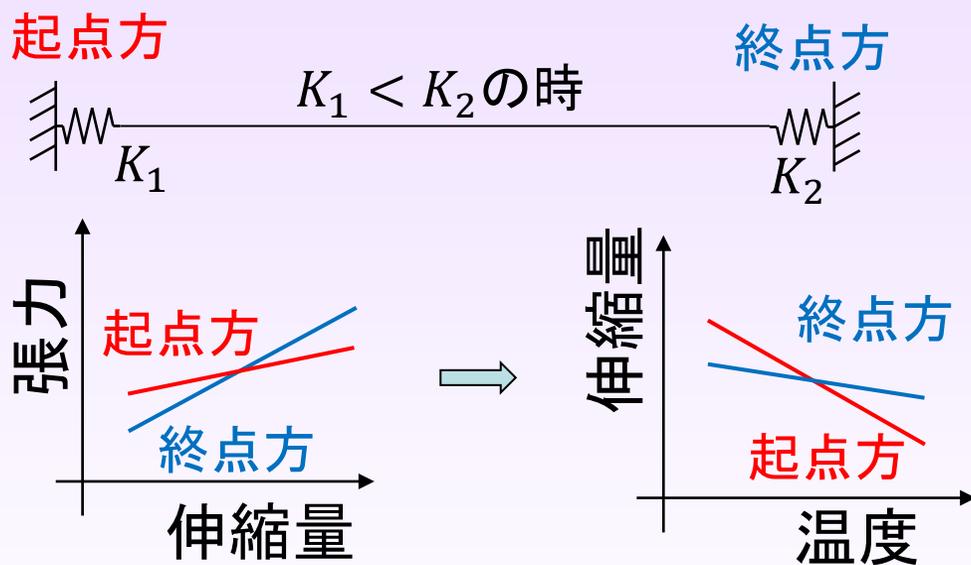


横張力の線路方向成分は相殺され、ほとんど影響はない

横張力の線路方向成分の蓄積により、**両端の張力差**が生じ、STBの伸縮量に影響が表れる

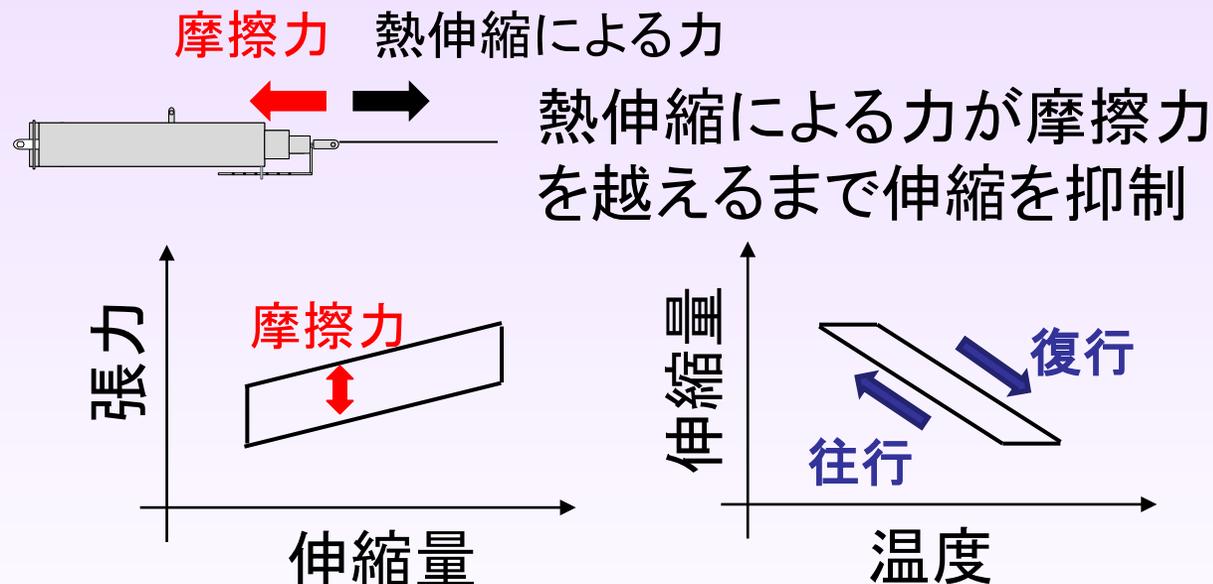
各種要因による影響の検討

3. 両端STBのばね定数差



両端張力のつりあいによる伸縮量差

4. STBの摩擦力

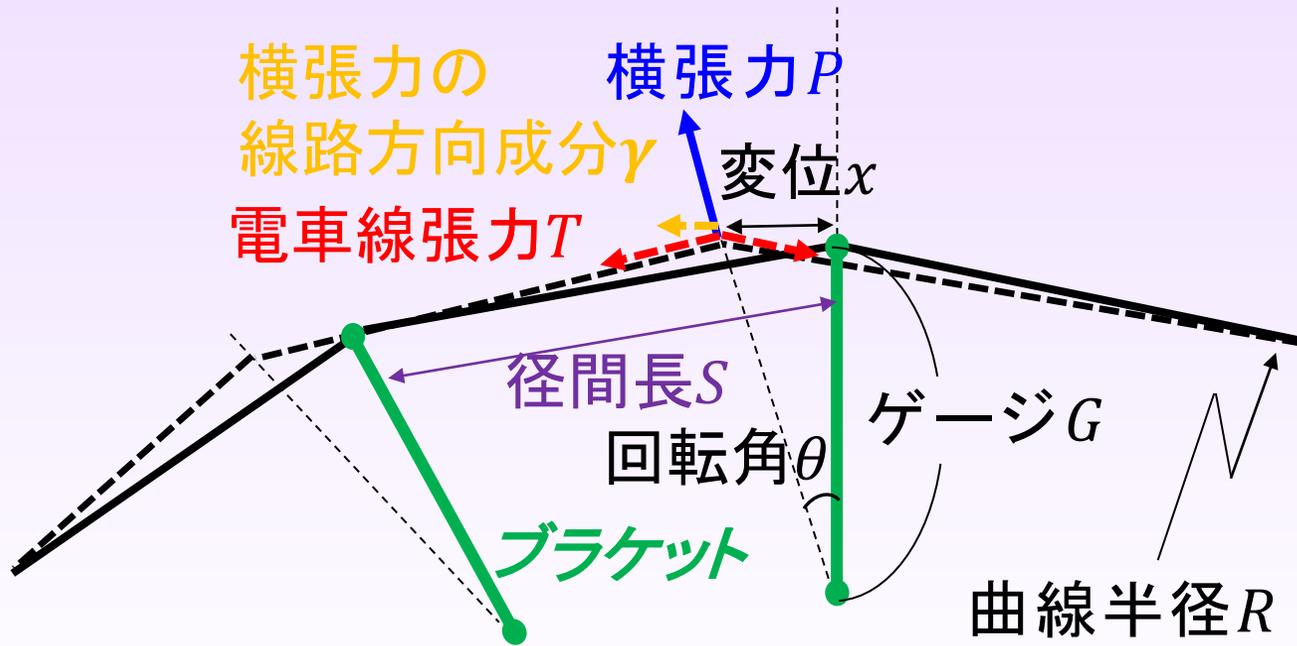


同じ温度でも往行と復行で伸縮量差が生じる

現象を明確化するため、まずは線形成分である
要因1～3の影響を定量的に評価する

可動ブラケットのモデル化

0型の場合



※I型の場合は, γ の向きが逆になる

$$\gamma = P \tan \theta = \frac{TS}{RG} x$$

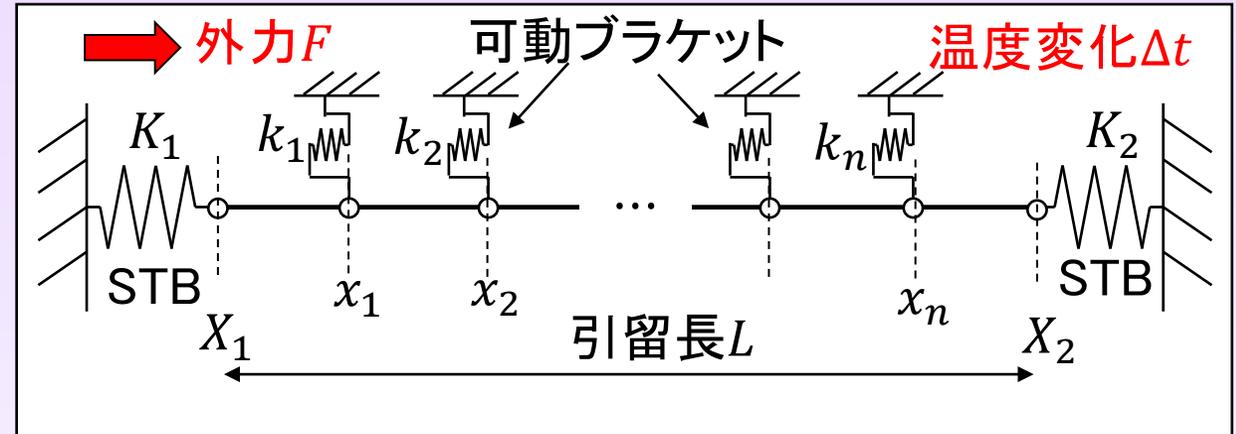
等価ばね定数

0型 : 負のばね定数

I型 : 正のばね定数

線形の影響を考慮した伸縮量計算方法（線形モデル）

電車線を**1本の線条**，可動ブラケットを**等価なばねに置換**して各種の影響を検討



解析式

$$\Delta X_1 = \frac{1}{K} F - \frac{\alpha(K_2 L + \sum_{i=1}^n k_i l_i)}{K} \cdot \Delta t$$

$$\Delta X_2 = \frac{1}{K} F - \frac{\alpha\{L(K_1 + \sum_{i=1}^n k_i) - \sum_{i=1}^n k_i l_i\}}{K} \cdot \Delta t$$

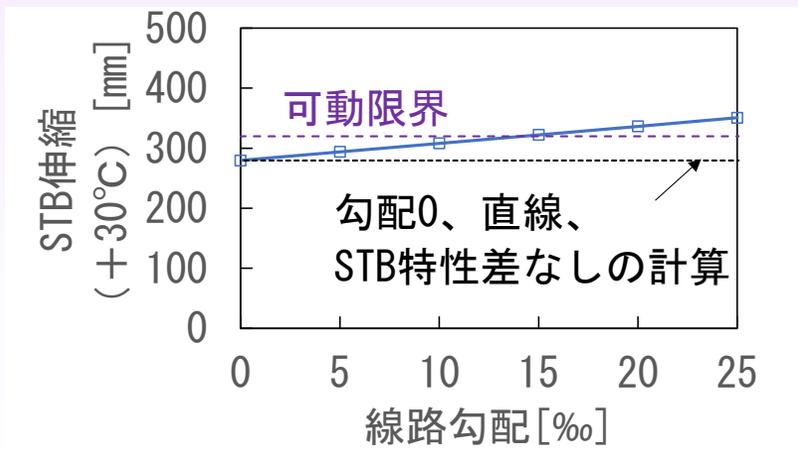
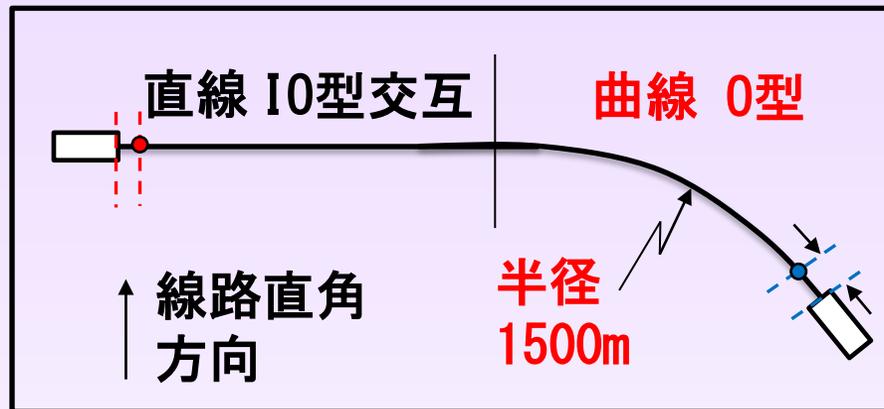
第一項 (外力依存) 第二項 (温度変化依存)

ただし， $K = K_1 + K_2 + \sum_{i=1}^n k_i$

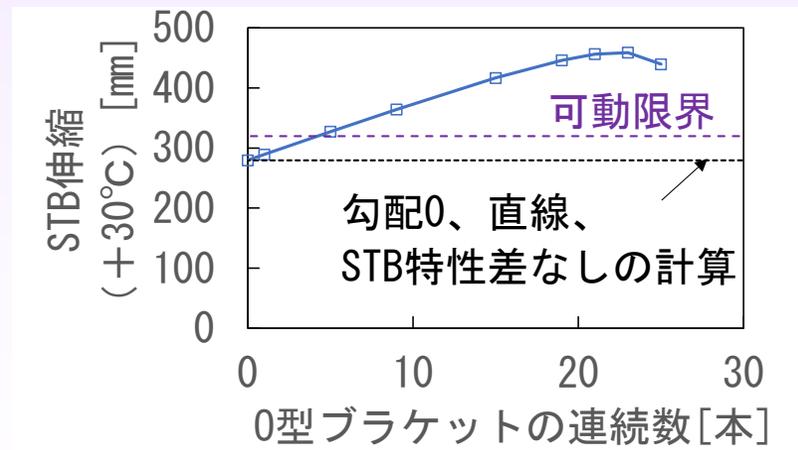
第一項：各点で同値 → 電車線流れ
 第二項：両端異なる → 温度伸縮特性差

要因	外力	可動ブラケット STBのばね定数差
現象	電車線流れ	主に温度伸縮特性差

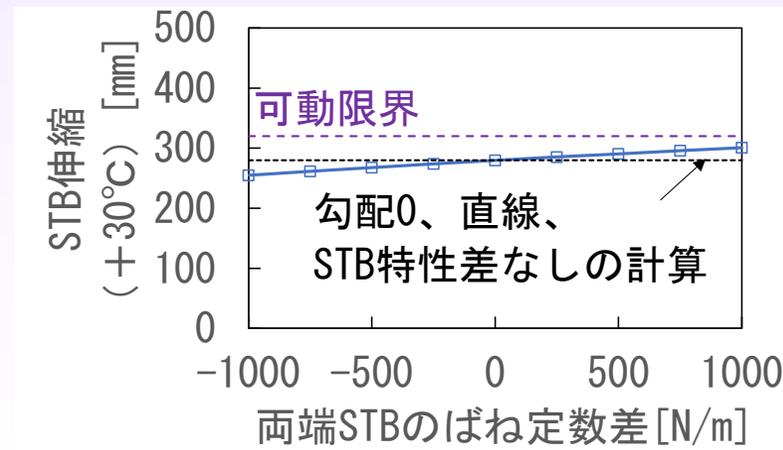
各種要因の影響の大きさ比較



外力の影響



可動ブラケット (0型) の影響



STBのばね定数差の影響

摩擦力を含めた伸縮量計算方法(有限要素モデル)

要因4を考慮する場合, それ以前に
 辿った系の状態で結果が異なる

⇒ 有限要素モデルによる時系列解析

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = dF_{th} \quad (\text{要素の運動方程式})$$

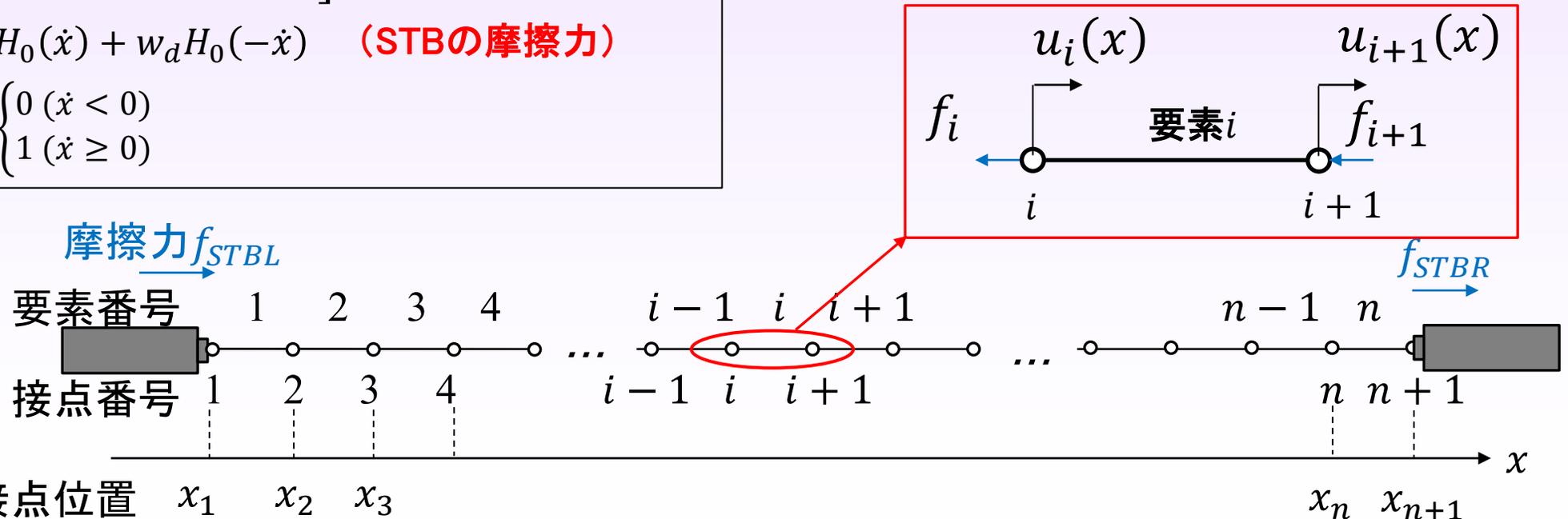
$$F_{ex} = [f_1 \ f_2 \ \dots \ f_n \ f_{n+1}]^T \quad (\text{接点に作用する力※})$$

$$dF_{th} = [-EA\alpha dT \ 0 \ 0 \ \dots \ 0 \ EA\alpha dT] \quad (\text{熱伸縮による力})$$

$$f_{STB} = Kx + w_u H_0(\dot{x}) + w_d H_0(-\dot{x}) \quad (\text{STBの摩擦力})$$

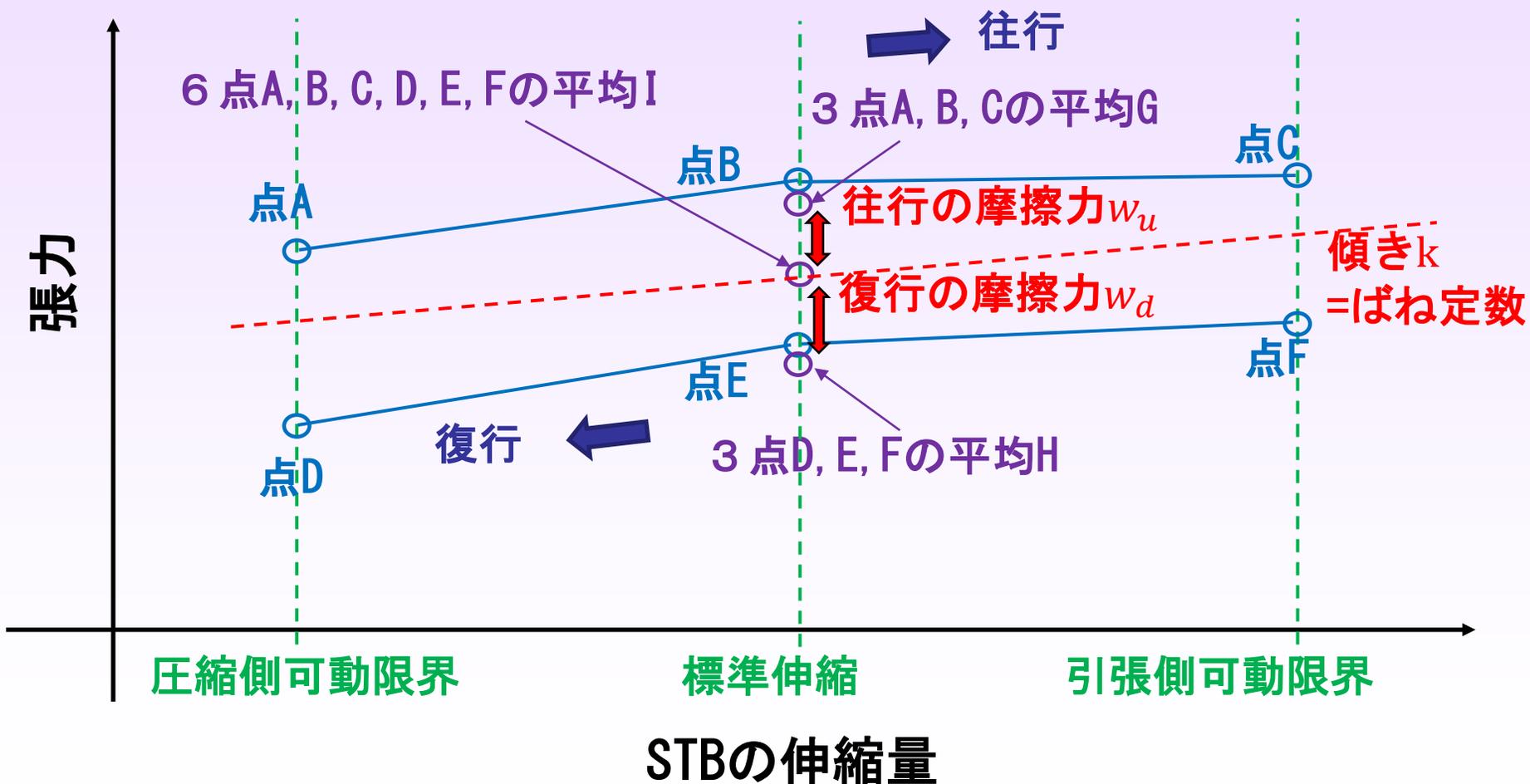
ただし, $H_0(\dot{x}) = \begin{cases} 0 & (\dot{x} < 0) \\ 1 & (\dot{x} \geq 0) \end{cases}$

※ F_{ex} に外力, 横張力, ばね力, 摩擦力の影響を与え, 設備条件による伸縮量の変化を特徴づける



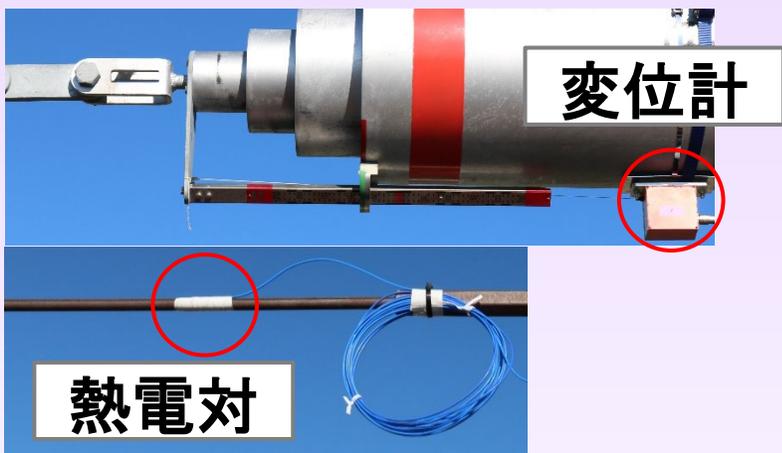
張力調整装置のばね定数と摩擦力の定義

STBの試験成績表



現地試験

引留箇所



中間地点

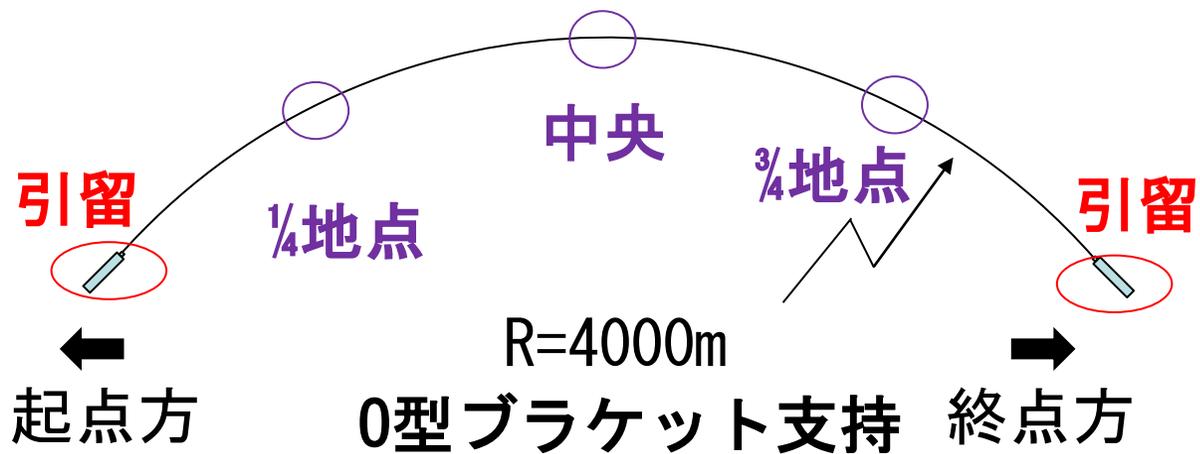


※測定箇所は営業前路線

測定箇所の設備条件

電車線長：1368m

全区間曲線

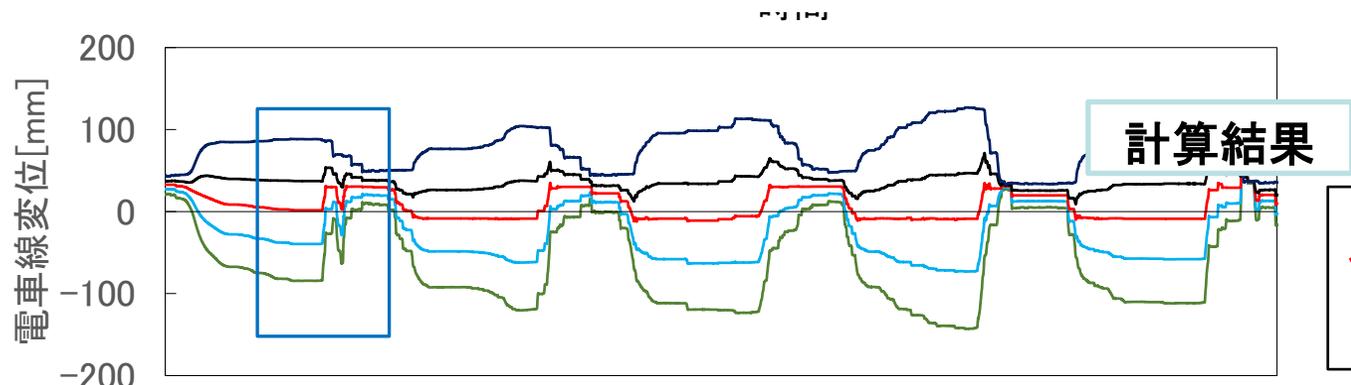
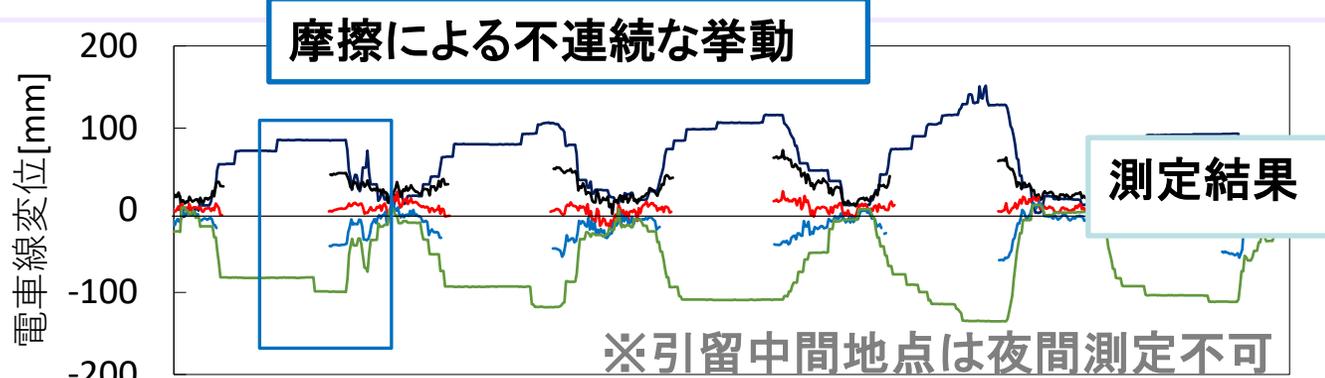
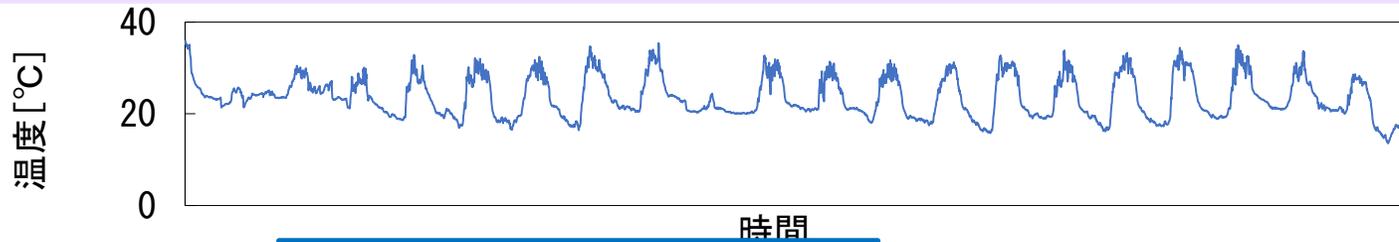


線路勾配：14.1‰（終点方が低位側）

上記5つの地点において、
「電車線変位」と「温度」を測定

測定結果と計算結果の比較による妥当性確認

—始点方STB —1/4地点 —1/2地点 —3/4地点 —終点方STB —トロリ線表面温度



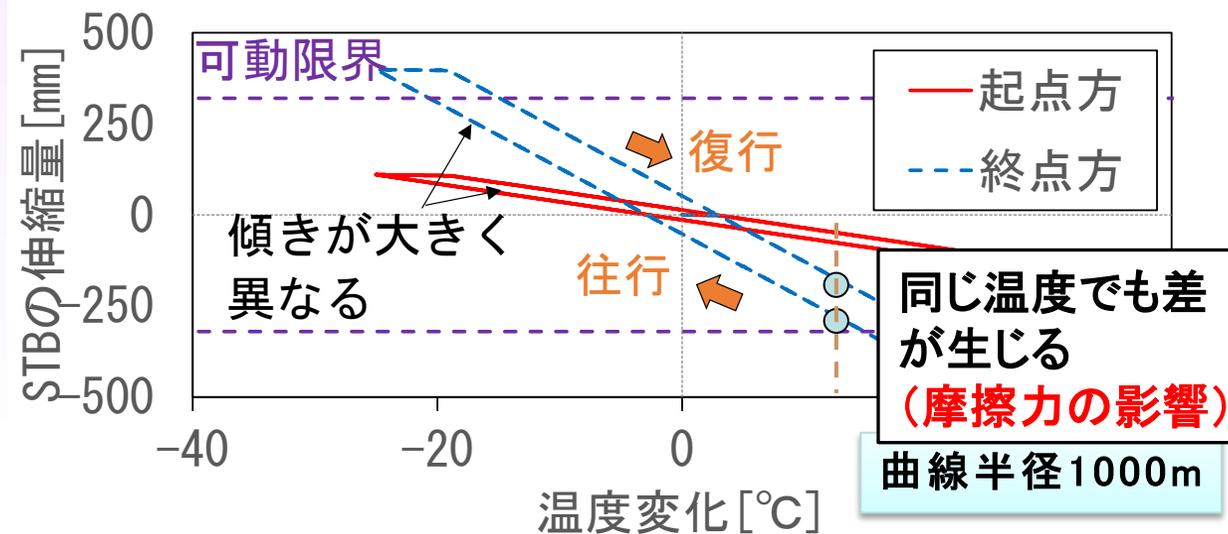
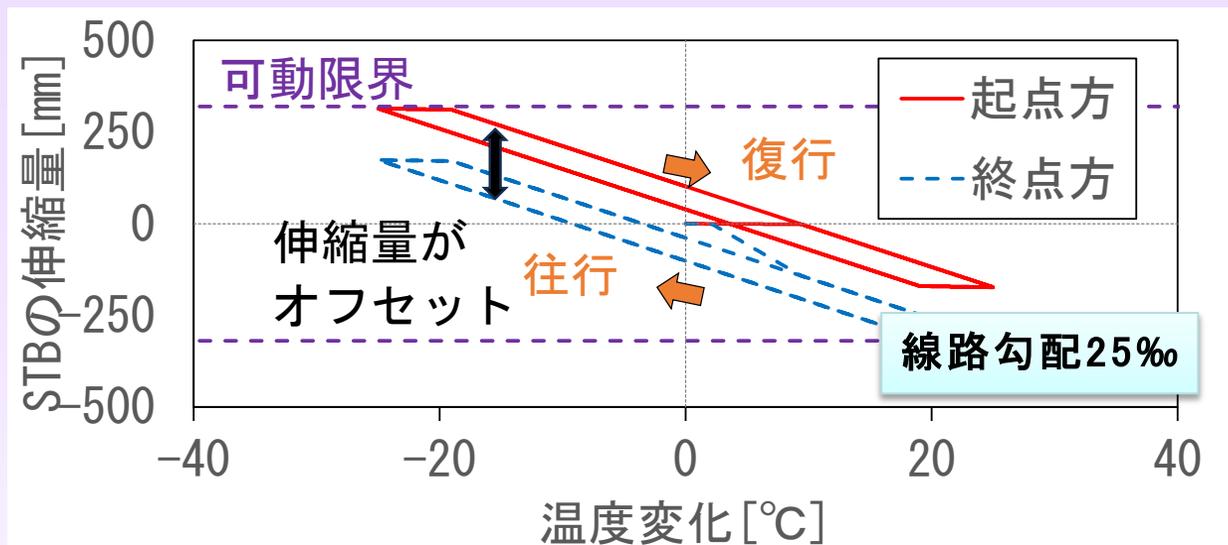
- 電車線伸縮量が概ね一致
- 摩擦による不連続な挙動が再現

本計算手法によって、各種影響を考慮したSTBの伸縮量を定量的に評価可能

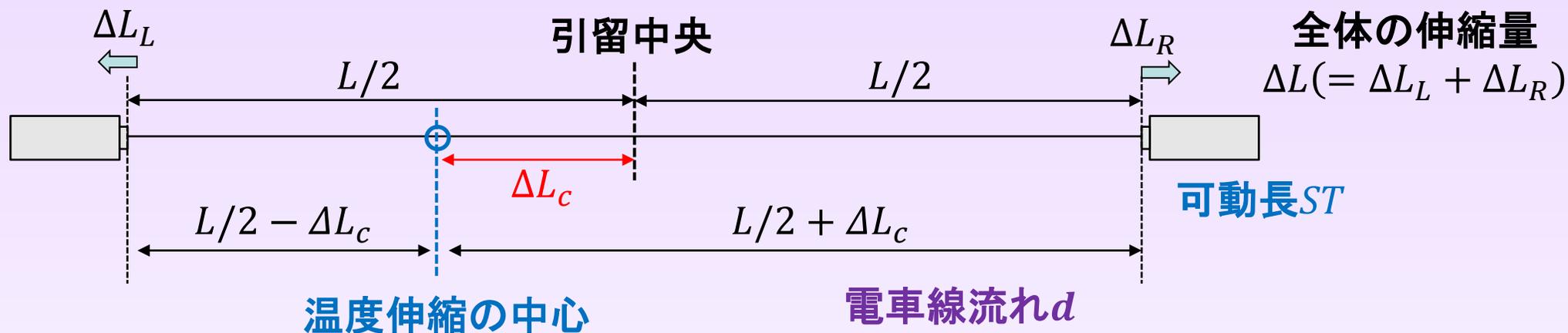
各種要因による温度伸縮特性への影響

各種条件	
構造	ヘビーシンプル架線 全長1600m, 径間長45m ゲージ3.9m
STB	可動長±320mm ばね定数6125N/m 摩擦力1500N (両端同値)
線形	線路勾配0, 25‰ 曲線半径∞(IO交互), 1000m(半分O)

線路勾配 ⇒ 電車線流れ
可動ブラケット ⇒ 温度伸縮特性差



自動張力調整装置の可動限界に到達しない設備条件



可動限界に到達しない条件
 $|ST| > |\Delta L_L|$ かつ $|ST| > |\Delta L_R|$ $\Rightarrow \Delta L_c \leq \frac{|ST| - \frac{\Delta L}{2}}{\Delta L} \cdot L$ (温度伸縮特性差のみを考慮)

温度伸縮特性差と電車線流れは
独立の現象

$$\Delta L_c \leq \frac{(|ST| - d) - \frac{\Delta L}{2}}{\Delta L} \cdot L \quad (\text{電車線流れも考慮})$$

※ ΔL_c は本件で示したモデルから計算可

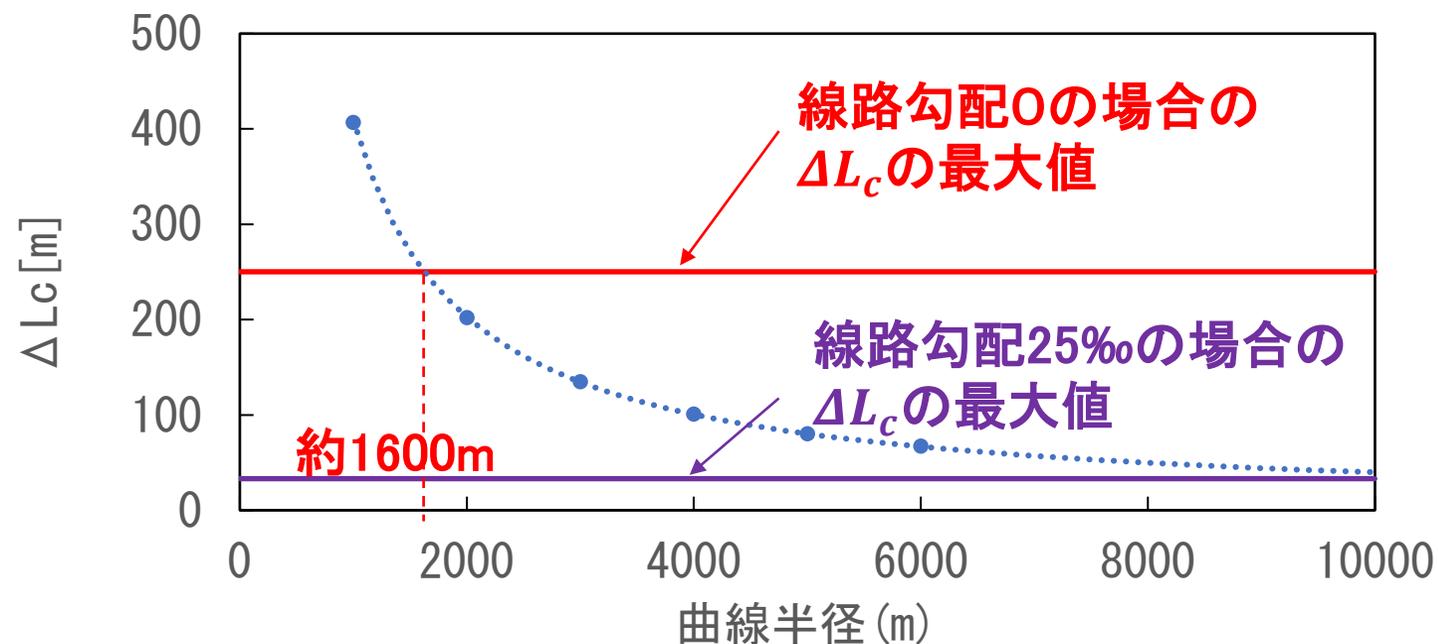
可動限界に到達する可能性の有無を検討可能

自動張力調整装置の可動限界に到達しない設備条件

計算例

各種条件	
構造	ヘビーシンプル架線 全長1600m, 径間長45m ゲージ3.9m
STB	可動長±320mm ばね定数6125N/m 摩擦力1500N (両端同値)
線形	線路勾配0 or 25 ‰ 曲線箇所O型

1. 曲線半径に応じた ΔL_c を算出
2. 電車線流れを算出し, ΔL_c の最大値を算出
3. 図示した結果から, 最小の曲線半径を導く



最小の曲線半径を求める

対策について

電車線流れが原因の場合

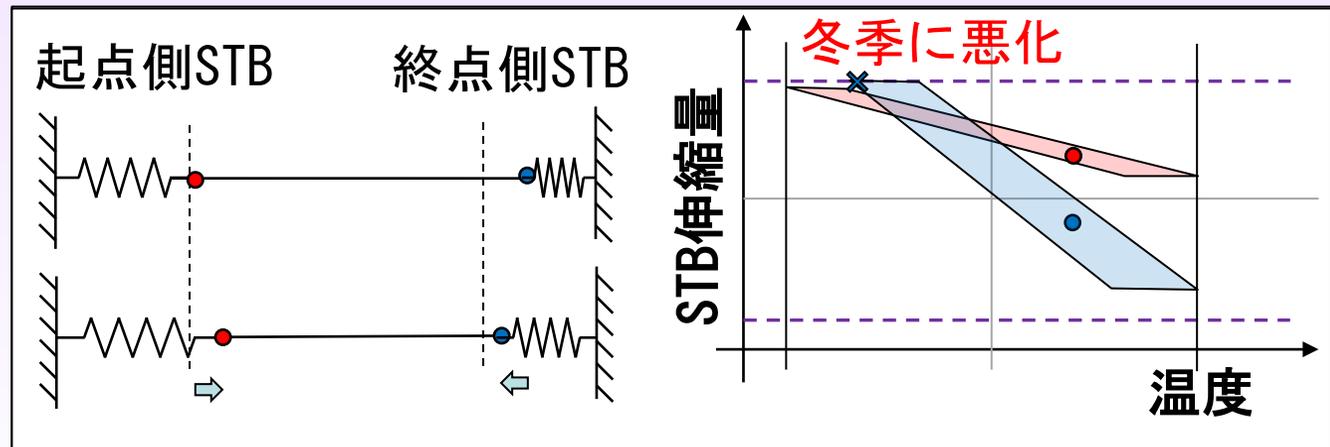
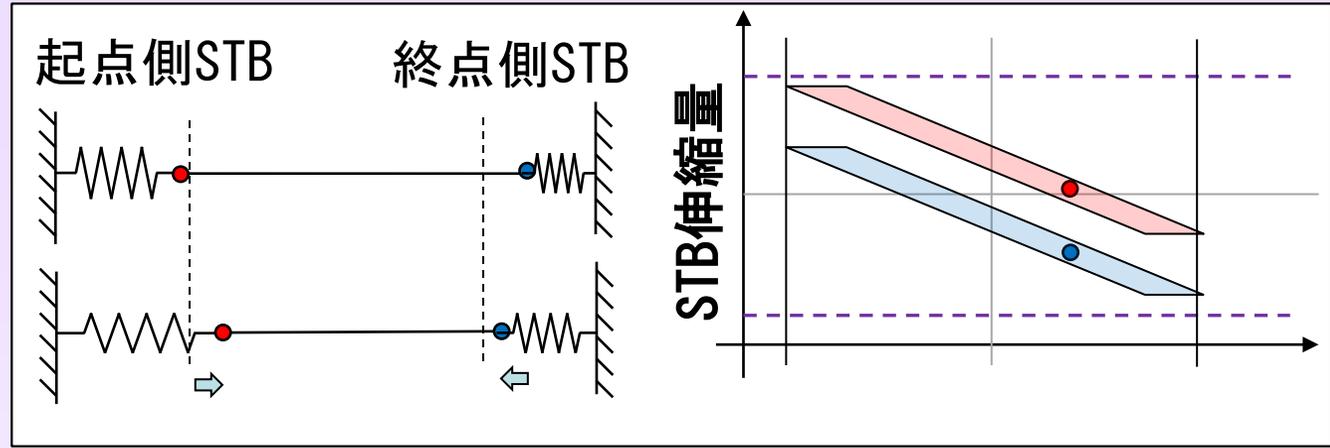
架線調整で対策可能と想定される

両端STBの温度伸縮特性差が原因の場合

架線調整での対策は困難と想定される

恒久的な対策は以下が考えられる

1. 流止装置を電車線中央に設置
2. 引留長を短くする
3. 両端STBを可動限界が大きいものに変更
4. 0型ブラケット箇所をI型に変更



まとめと成果の活用

まとめ

- ◆ 自動張力調整装置の伸縮量計算手法を提案し、各種要因による影響を定量的に示した。その妥当性を現地試験により確認した
- ◆ 自動張力調整装置の可動限界に到達しない条件を求める方法を示した

成果の活用

- ◆ 自動張力調整装置の伸縮量増大の原因把握に利用
- ◆ 設計時の自動張力調整装置の伸縮量予想に利用

参考文献

佐藤宏紀, 他3名 : 張力調整装置の可動限界に到達する要因の考察,
JREA, Vol66, No.10, pp28~31, 2023