

水分条件に応じた コンクリート橋りょうの長期変形挙動 の予測手法

構造物技術研究部 コンクリート構造研究室
研究員 橋本 龍

近年、長期変形*に関する事象が顕在化

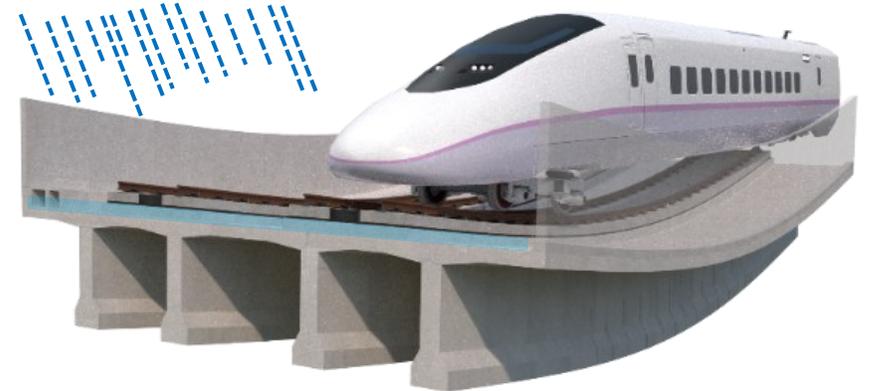
(*車両走行時の動的たわみと異なる、慢性的な変形)

□道路橋りょう：設計値に対してたわみが大幅に増加する事例

□鉄道橋りょう：PCU桁のそり、支承の水平変位増大の事例

⇒車両の走行性、軌道の保守(軌道補正など)に影響

長期変形による走行性への影響



技術革新による、構造形式の多様化や支間の長大化等

気候変動、良質な建設材料不足等、建設・維持管理を取り巻く環境の変化

多様なコンクリート構造物に対応した長期変形予測が必要

【目的】

①構造・材料・環境条件に柔軟に対応可能 かつ

②実務運用に配慮した

長期変形予測手法の提案

⇒コンクリートの収縮に起因した橋りょうの長期変形に関する設計手法の高度化

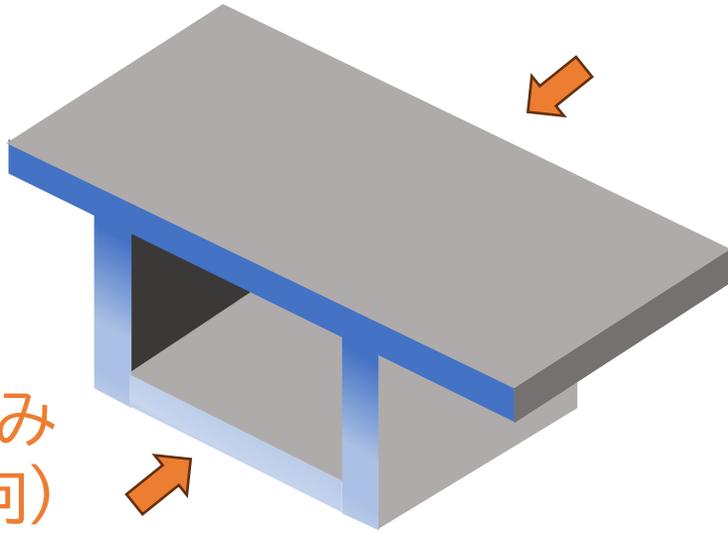
1. 長期変形予測手法の概要
2. ひずみ解析プログラム
3. 気象条件に応じた長期変形量の試算
4. まとめと成果の活用

1. 長期変形予測手法の概要

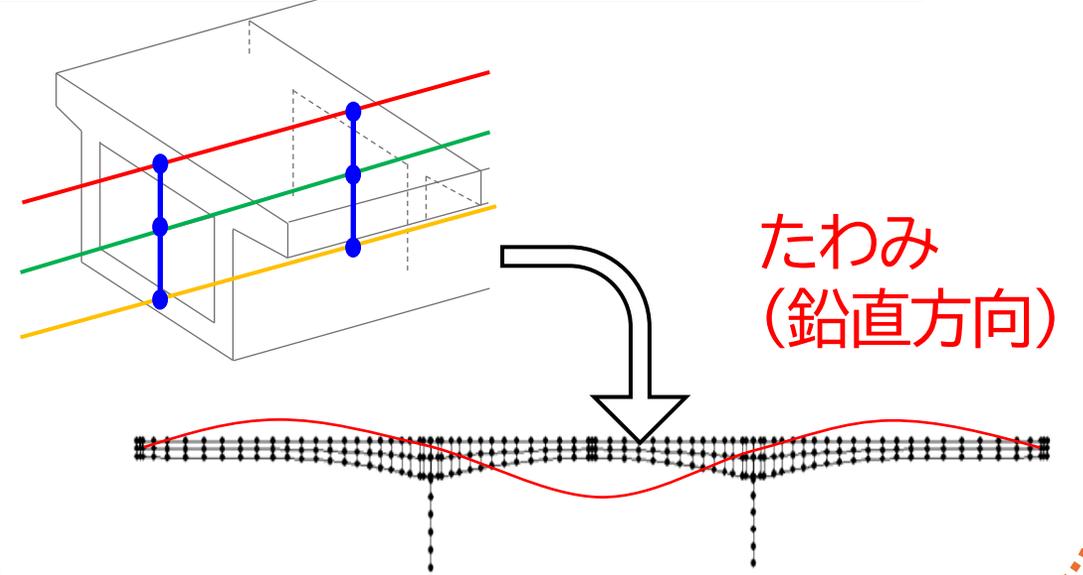
Step1 水分移動を考慮したひずみ解析

水分移動
(断面方向)

収縮ひずみ
(橋軸方向)



Step2(令和5年RC標準) 線材モデルによる構造解析



(令和5年RC標準)
ひずみ算定のマクロ式

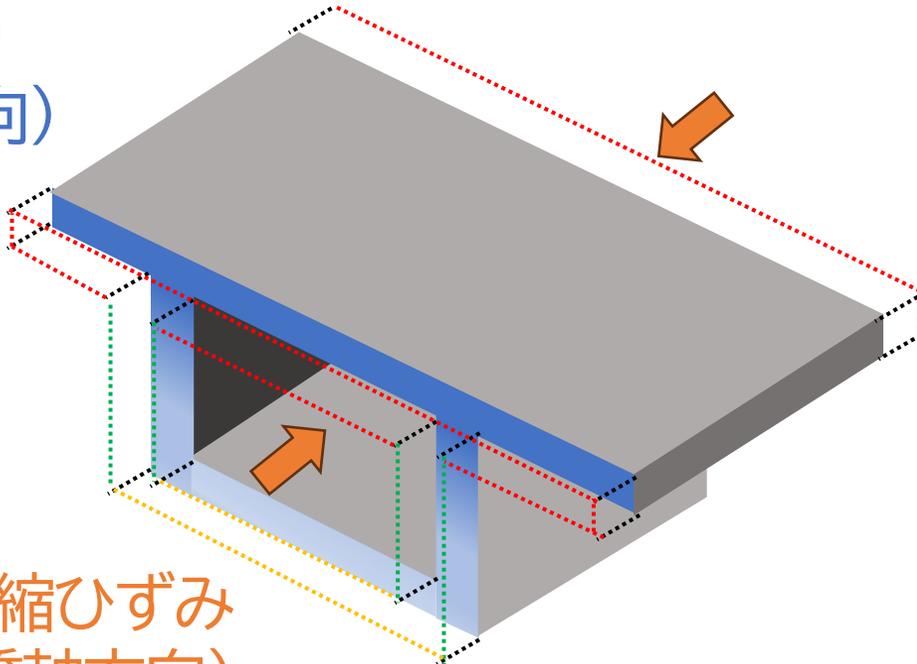
- 条件に柔軟に対応可能なひずみ解析と令和5年RC標準記載の構造解析手法の組み合わせ

1. 長期変形予測手法の概要

Step1

水分移動を考慮したひずみ解析

水分移動
(断面方向)



収縮ひずみ
(橋軸方向)

□ 任意条件で断面のひずみを解析するプログラムを作成

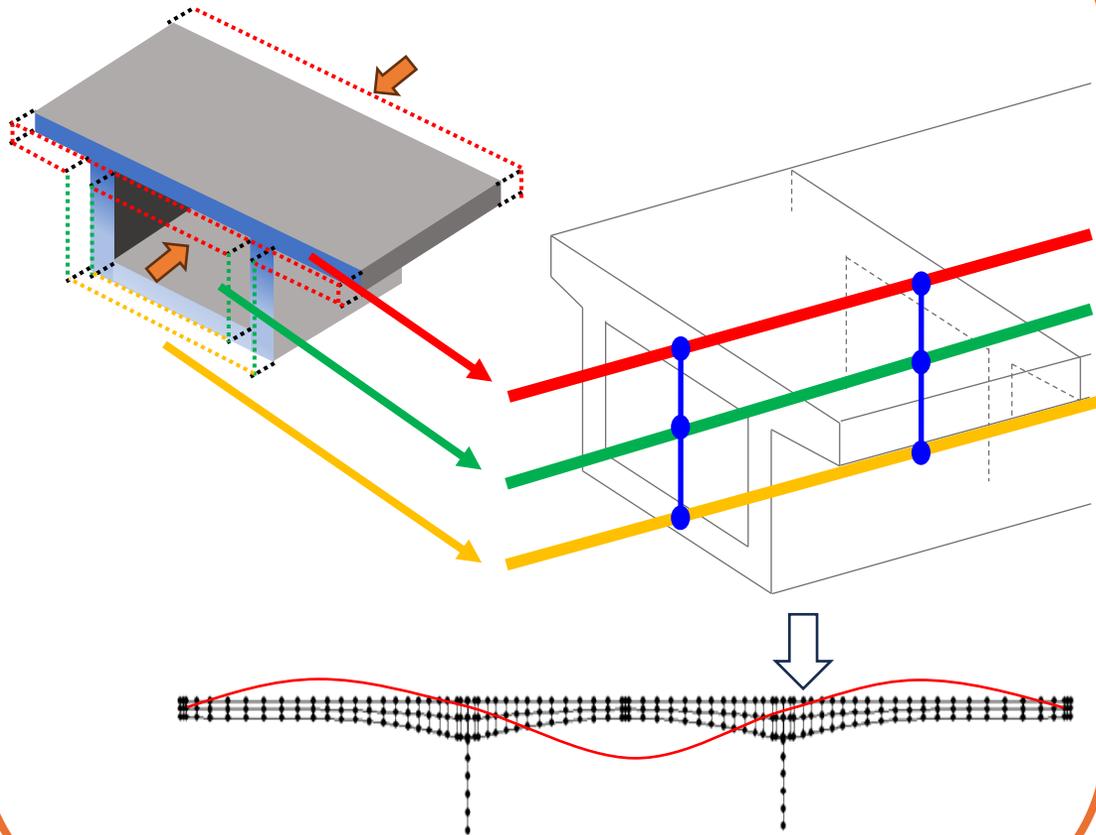
①コンクリート内部の水分量の経時変化

②水分量に応じたコンクリートの長期収縮ひずみ

③上床版・ウェブ・下床版の各部位の平均ひずみ

1. 長期変形予測手法の概要

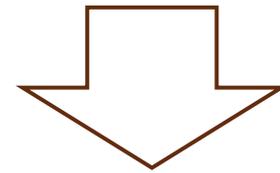
Step2(RC標準)
線材モデルによる構造解析



□ 上床版・ウェブ・下床版の各部の収縮ひずみを、線材モデルによる構造解析ツール*に入力

*「JRCONST ver.7」

鉄筋の拘束や外力を考慮



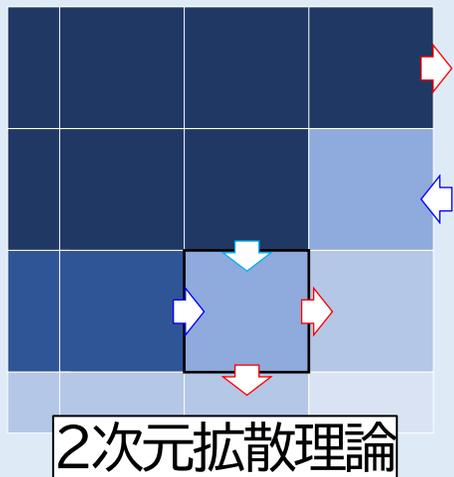
断面内のひずみ差によるコンクリート橋りょうの長期変形量*を算出

*列車通過時のたわみとは異なる

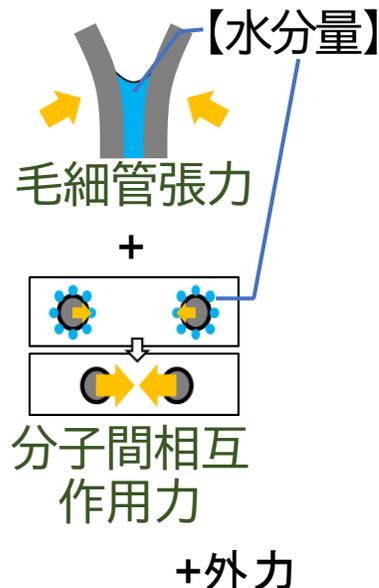
1. 長期変形予測手法の概要
2. ひずみ解析プログラム
3. 気象条件に応じた長期変形量の試算
4. まとめと成果の活用

2. ひずみ解析プログラム

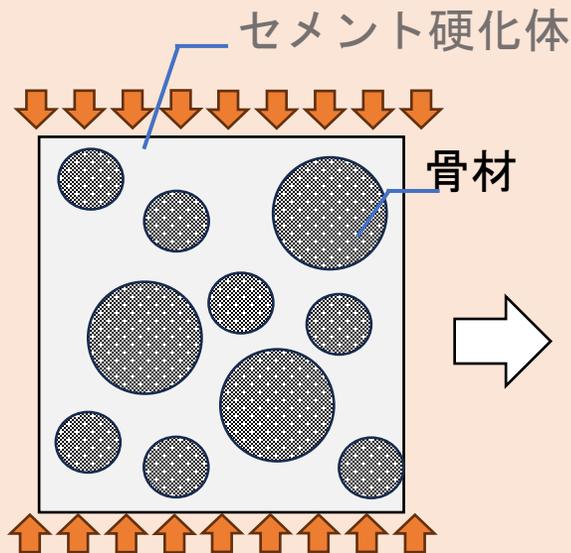
【水分量】



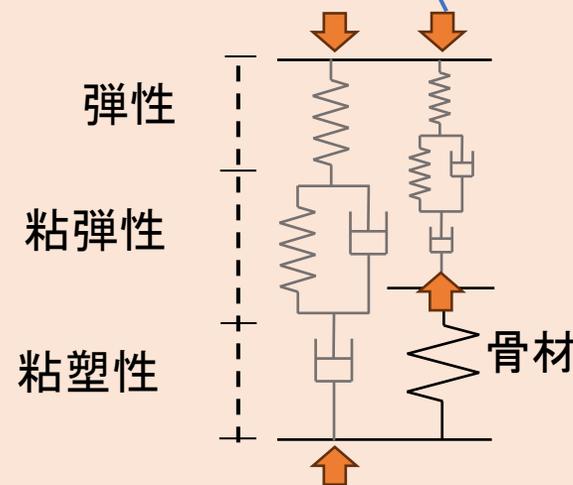
【収縮駆動力】



【収縮ひずみ】



【収縮駆動力】



□ コンクリートの水和～骨材を含む収縮挙動を巨視的にモデル化解析に必要な8項目を選定

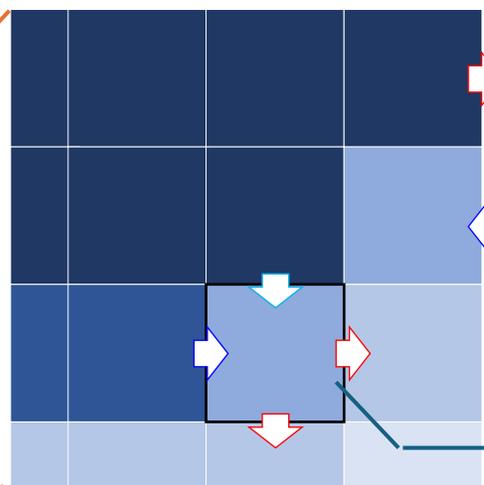
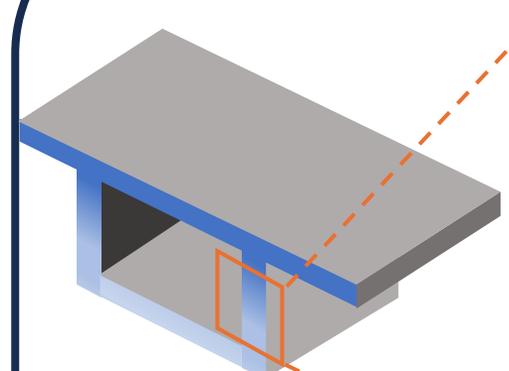
計測方法がJIS等で規定されている項目

- 水セメント比
- セメント密度
- 単位骨材重量
- 骨材密度
- 骨材最終収縮ひずみ
- 骨材吸水率
- 外気相対湿度
- 降水頻度

気象庁ウェブサイトから入手可能

2. ひずみ解析プログラム

水分量

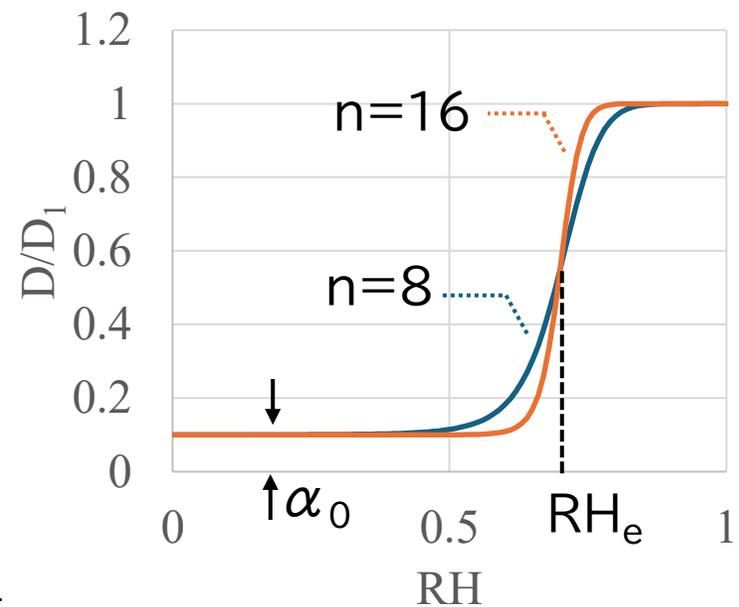


【表面】乾燥・吸湿

$$\Delta RH = \eta \frac{RH'_{air} - RH}{\Delta x} \Delta t$$
$$RH'_{air} = 0.7 + \frac{RH_{air} - 0.7}{2}$$

【内部】拡散

$$\Delta RH = D \frac{\partial^2 RH}{\partial x^2} \Delta t$$
$$D = D_1 \left\{ \alpha_0 + \frac{1 - \alpha_0}{1 + \left(\frac{1 - RH}{1 - RH_e} \right)^n} \right\}$$



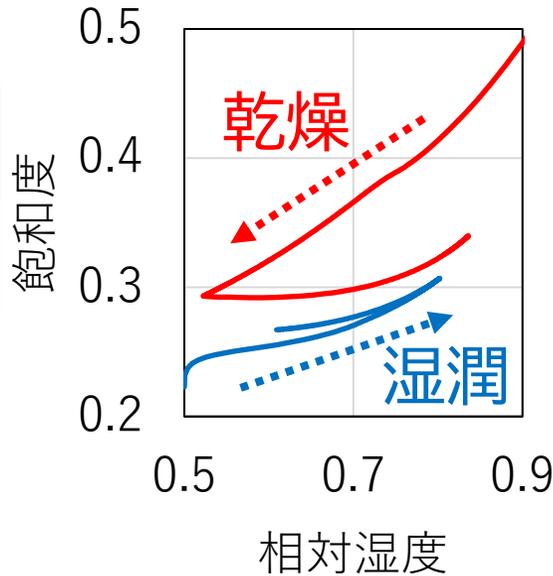
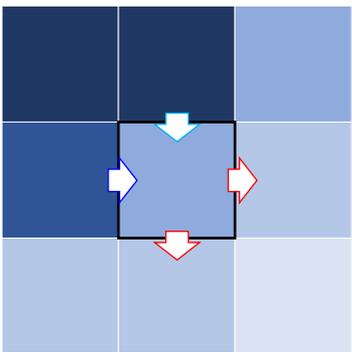
断面内の水分移動解析メッシュ

RH : 相対湿度、 RH_{air} : 外気相対湿度、 η : 水分伝達係数 (mm/day)、 D : 水分伝導係数 (mm²/day)、 Δx : 要素長 (mm)、 Δt : 時間刻み (day)、 D_1 、 α_0 、 RH_e 、 n : パラメータ

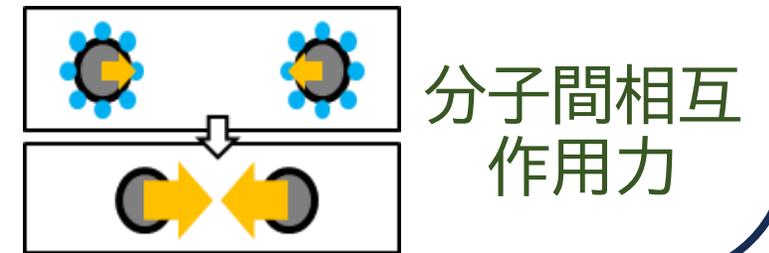
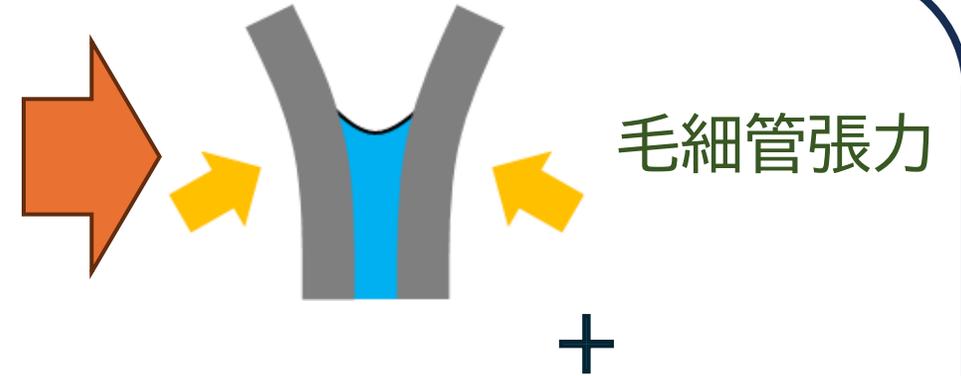
□ 水の状態(液状水・水蒸気)の影響を考慮する非線形係数を用いた拡散理論に基づき、コンクリート内部の湿気の移動を解析

2. ひずみ解析プログラム

収縮駆動力



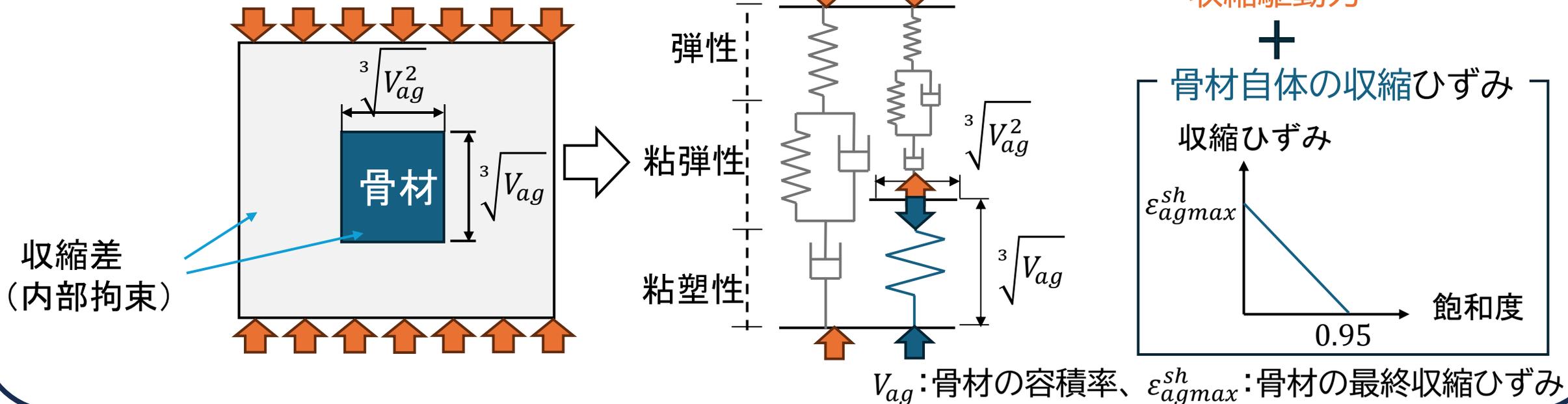
同一湿度でも、乾燥時には液状水が多い (インクボトル効果)



- 湿潤・乾燥過程における飽和度(水分量)の特性をモデル化
- 水分量に応じた毛細管張力と、分子間相互作用力の和を収縮駆動力として算出

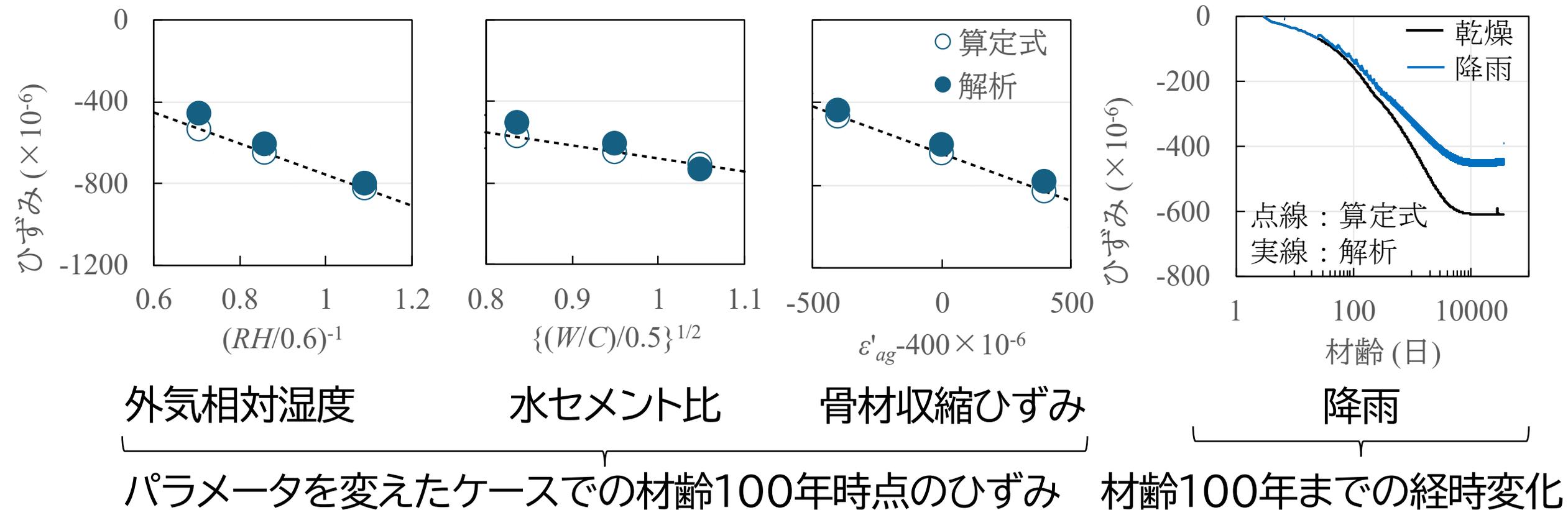
2. ひずみ解析プログラム

収縮ひずみ



- セメント硬化体と骨材の収縮機構の違い・相互作用を考慮するため、容積率を考慮したレオロジーモデルを適用
- セメント硬化体の弾性・塑性変形を、ばね・ダッシュポットの組み合わせで表現

2. ひずみ解析プログラム

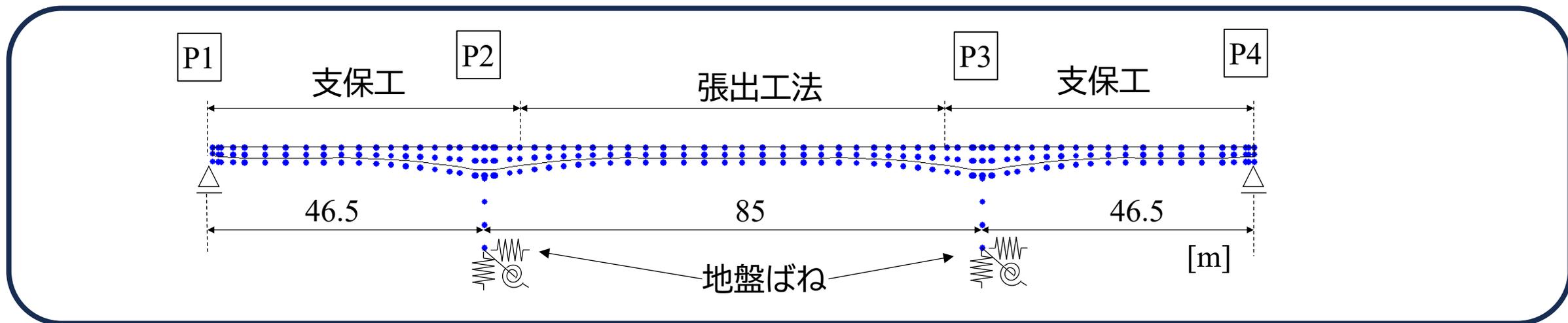


□ プログラムによる解析値を既存算定式と比較
 ⇒ 概ね算定式の±15%以内の範囲でひずみを解析可能

1. 長期変形予測手法の概要
2. ひずみ解析プログラム
3. 気象条件に応じた長期変形量の試算
4. まとめと成果の活用

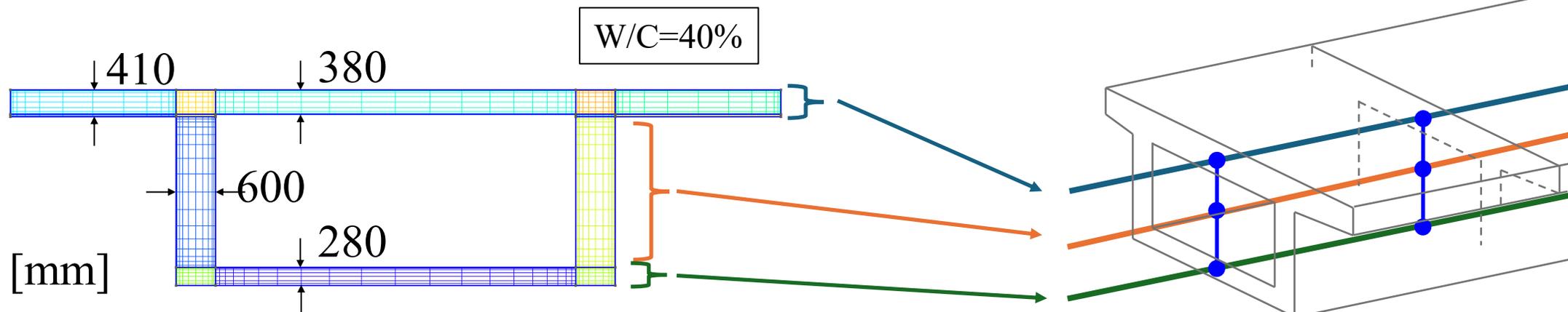
3. 気象条件に応じた長期変形量の試算

鉄道で多く採用されている3径間連続箱桁ラーメン橋梁



- 橋脚は、線材として桁と剛結し、下端に地盤ばねを設定
- 桁は、死荷重(固定、付加、施工時)とプレストレスによるクリープを考慮
- 施工時荷重は、張出工法の施工ステップや支保工製作後の自重を考慮

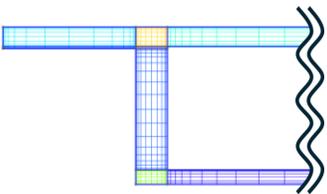
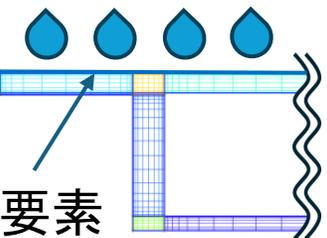
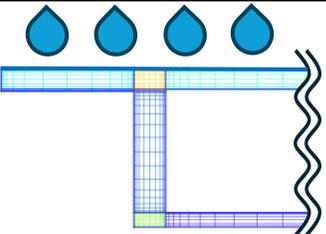
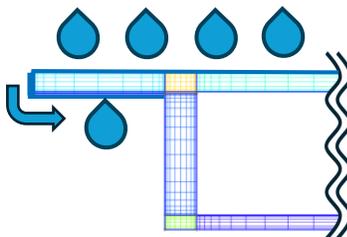
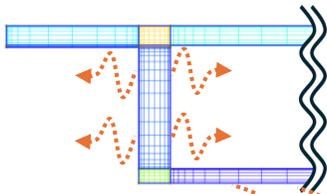
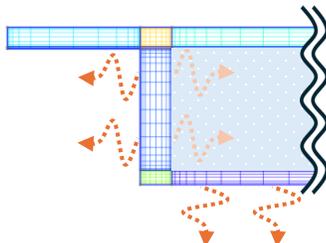
3. 気象条件に応じた長期変形量の試算



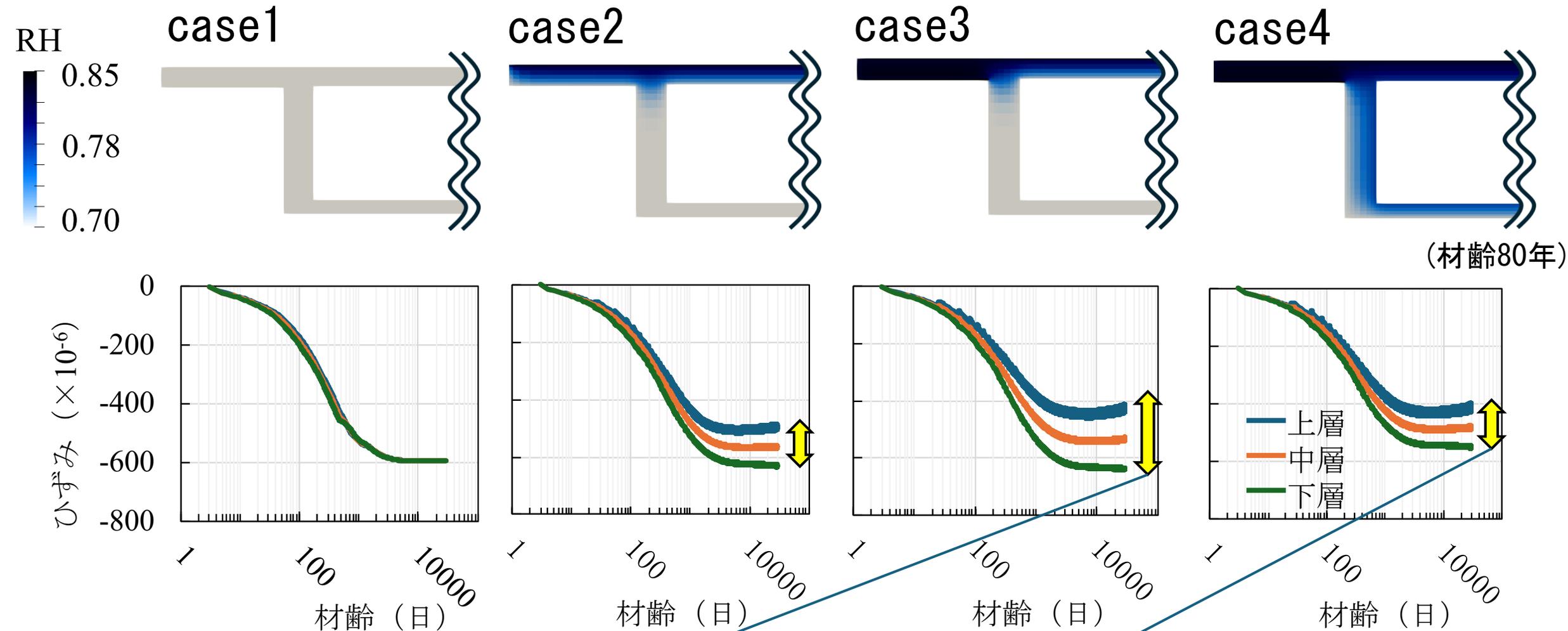
解析で得られたひずみの断面内平均値

- 当該橋梁の最小桁高断面を対象にひずみ解析モデル作成
- 気象条件を変えた複数ケースでひずみ解析を実施
- 各層に相当する断面内の平均ひずみを線材モデルに入力

3. 気象条件に応じた長期変形量の試算

	乾燥収縮（ひずみ解析プログラム）			クリープ
	外気RH (%)	水掛かり	水掛かり要素	RH (%)
case1	70	無し	-	70
case2		あり	上面	上層：95
case3		※降雨日数 4日/28日	上面・ 張出部	中層：70
case4				下層：70
		<p>【無し】 </p> <p>【あり】 </p> <p>水掛かり要素 RH=100%</p>	<p>【上面】 </p> <p>【上面・張出部】 </p>	<p>箱桁内 【RH70%】 </p> <p>【RH85%】 水分逸散 </p> <p>※外気 RH=70% </p>

3. 気象条件に応じた長期変形量の試算



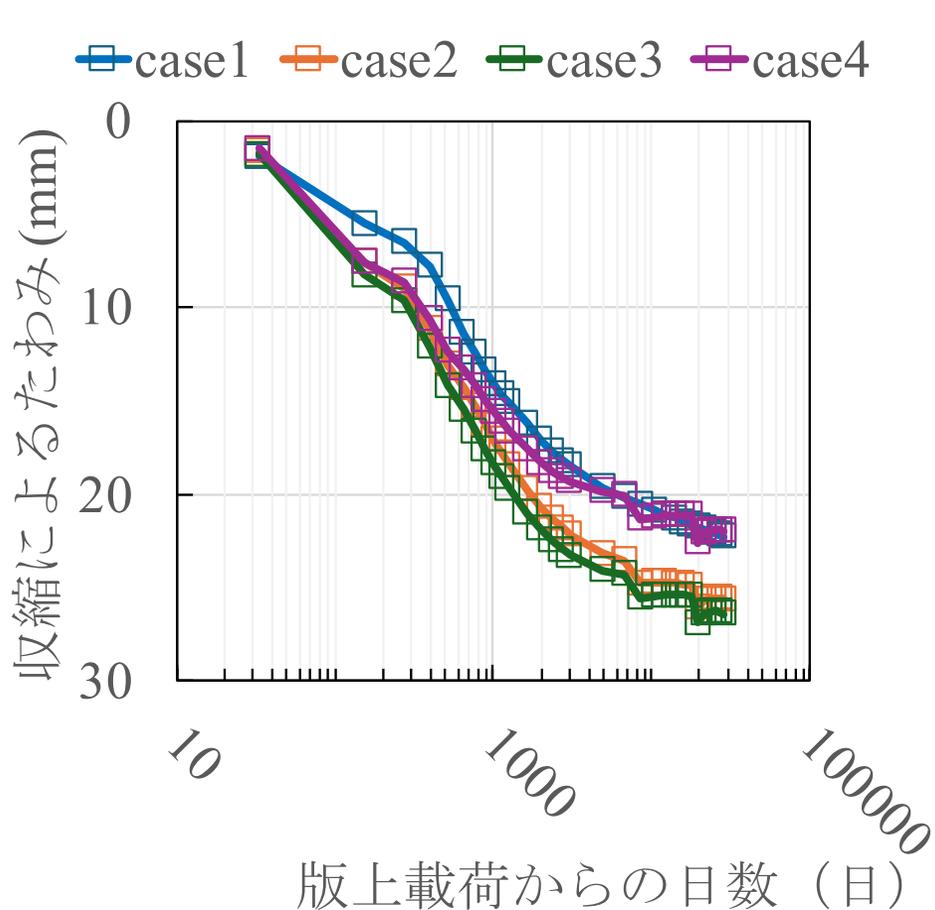
(材齢80年)

上床版のひずみが抑えられ、ひずみ差増加

側壁・下床版のひずみが抑えられ、ひずみ差減少

3. 気象条件に応じた長期変形量の試算

収縮によるたわみ



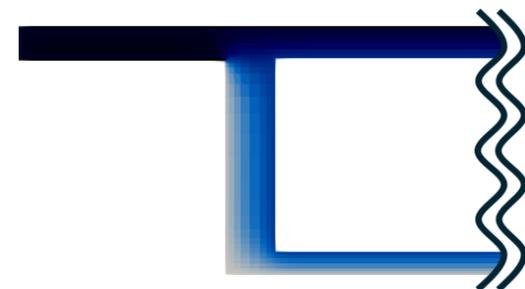
case1 (乾燥)

断面内のひずみ差が微小



case4 (桁内高湿度)

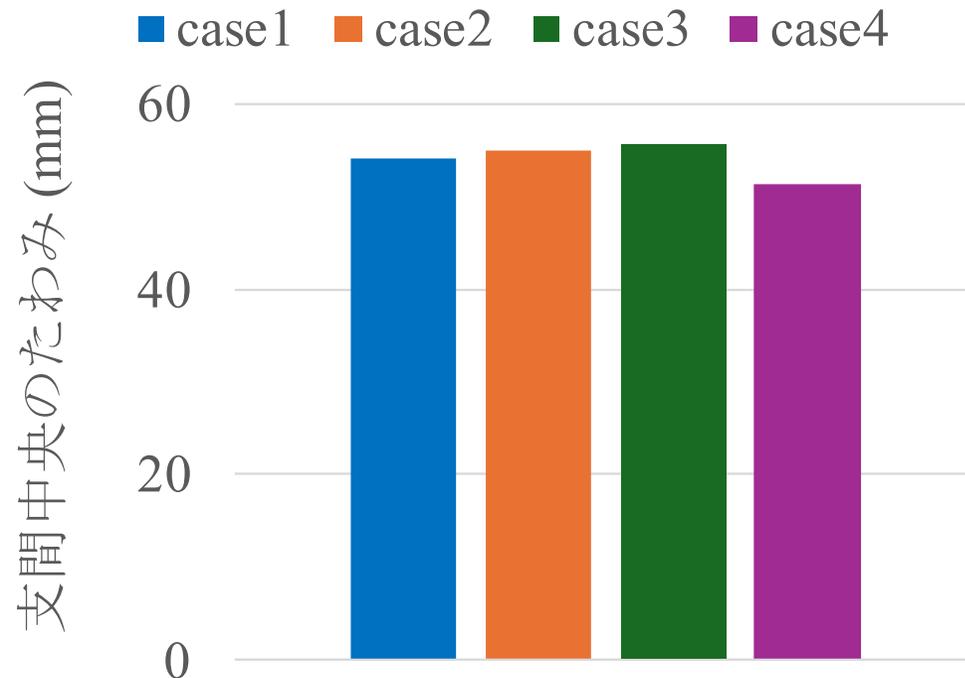
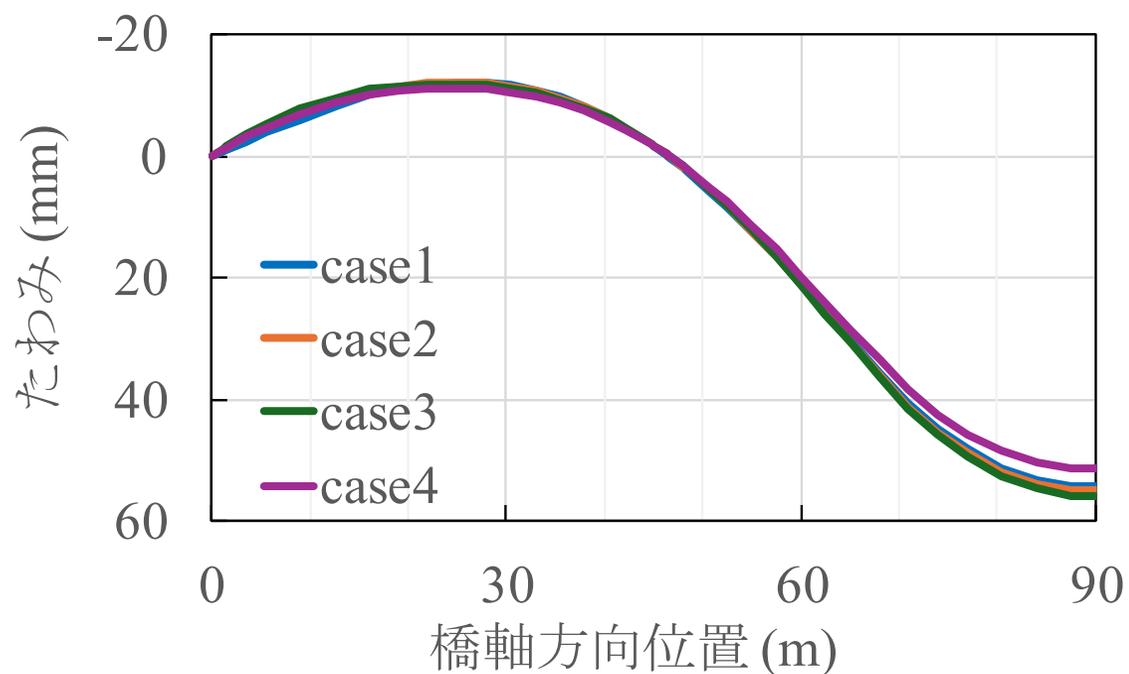
断面内のひずみ差およびひずみの絶対値が小



⇒ 本検討対象では、**case1**・**case4**が収縮によるたわみ小

3. 気象条件に応じた長期変形量の試算

収縮・クリープによるたわみ



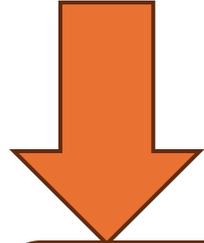
水掛かりありのケースでは、高RHでのクリープを仮定し
クリープ係数が小さいため、全たわみは**case4**が最小

⇒気象条件に応じた長期変形量を試算可能

1. 長期変形予測手法の概要
2. ひずみ解析プログラム
3. 気象条件に応じた長期変形量の試算
4. まとめと成果の活用

4. まとめと成果の活用

外気相対湿度や水掛かり条件に応じた水分移動～水分量に応じて任意条件で収縮ひずみを解析するプログラムを作成し、これを用いたコンクリート橋りょうの長期変形予測手法を提案



検証：一般的な条件では、算定式と同等の感度でひずみを算定可能なことを確認
試算：箱桁断面を対象とした検討により、気象条件の影響が可視化された

収縮やクリープの影響を制御した構造形式の提案や保守軽減への活用が期待される

【成果の活用】

コンサルティング(技術支援)として、長期変形量に関する試算で活用

- 橋本龍, 渡辺健:水分状態と骨材・鉄筋による内部拘束を考慮したRC断面の収縮解析, コンクリート工学年次論文集, Vol.47, No.1, pp.1794-1799, 2025
- 橋本龍, 田中伸明, 渡辺健:水分移動・ひずみ解析に基づくPC橋梁の気象条件と長期変形に関する一考察, プレストレストコンクリート工学会第34回シンポジウム論文集, pp.387-392, 2025