

自律水温制御パイプクーリングシステムによる 橋梁下部工の温度ひび割れ防止

岩国港臨港道路新港室の木線橋梁下部工事での事例

若築建設(株)技術研究所
壹岐直之

はじめに

- ◆ マスコンクリートの温度ひび割れ対策として、パイプクーリングは有効な方法である。
- ◆ パイプクーリングの効果や確実性を高めるため、自律水温制御システム『WIT P-Cool3A』を開発した。開発の主な目的は、
 - 1) 安定した温度(5~20°C)の冷却水を、必要量(60~120ℓ/分)確保する。
 - 2) コンクリートが最高温度に達した後の、過冷却(≡急激な温度低下に伴う応力発生)を防止する。
 - 3) パイプクーリングに必要な機材をパッケージにする。
- ◆ 『WIT P-Cool3A』の概要、および岩国市での橋梁下部工事へ適用した事例を紹介する。

『WIT P-Cool3A』の特徴

『**WIT P-Cool 3A**』は、マスコンクリートでの温度ひび割れ抑制として、パイプクーリングを実施する際に使用する冷却水循環装置。

Autonomously コンクリートの温度および外気温の変動に応じて、冷却水の水温を自律的に制御できる。

All in One

水温制御用のインバータチラー、貯水タンク、送水用ポンプ、分岐ヘッド・集合ヘッド、流量計、温度計、自律水温制御装置など、パイプクーリングに必要な機材を全て備えている。

コンクリート躯体内に配置されたパイプに接続するだけで、すぐにパイプクーリングを実施できる。

Adaptability

送水用ポンプとしてインバータポンプ×2台(標準用、高揚程用)を備えており、揚程35mまで送水することができることや、最大8系統まで独立して流量調整できることなど、幅広い現場条件に適応できる。

『WIT P-Cool3A』の外観

冷却装置

循環水槽

制御機器

分配／集合配管

長さ = 5.30 m
幅 = 1.80 m
高さ = 2.30 m
重さ = 3.50 t

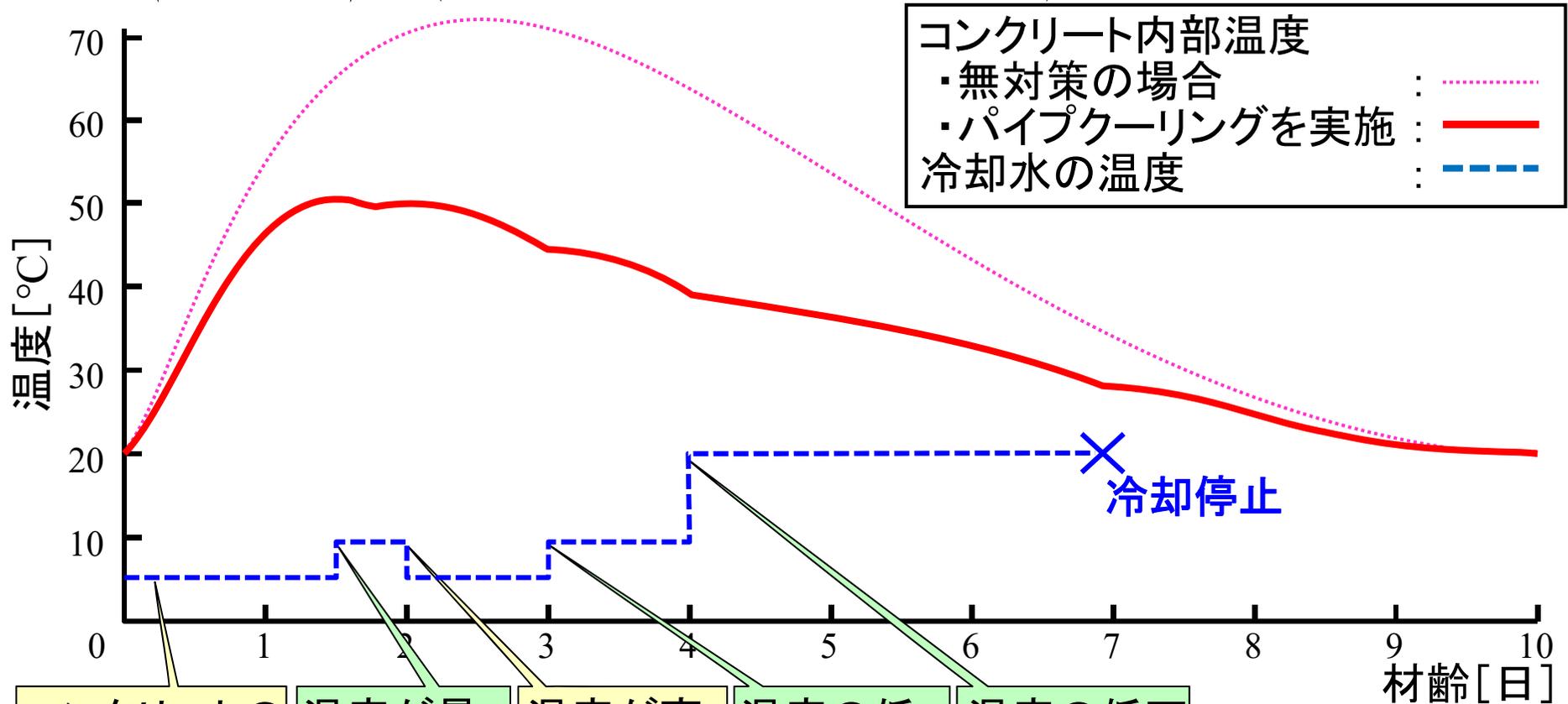


自律水温制御のイメージ

最高温度
を下げる。

最高温度に達した後は、
温度を緩やかに低下させる。

目標温度まで低下し
たら、冷却を停止する



コンクリートの
発熱が多い
期間は、高い
能力で冷却
する。

温度が最
高に達した
ので、冷却
を弱める。

温度が高
くなり始め
たので、
冷却を強く
する。

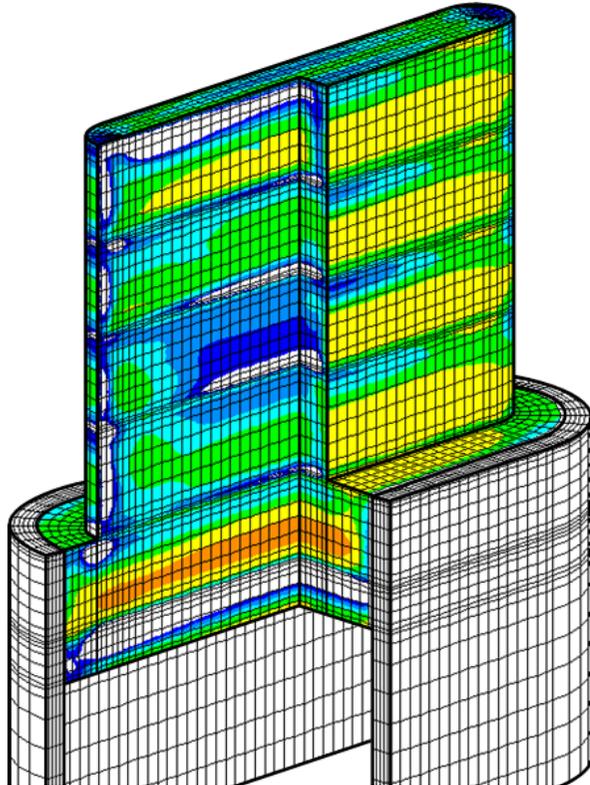
温度の低
下速度が
速いので、
冷却を弱
める。

温度の低
下速度が速
いので、さら
に冷却を弱
める。

『WIT P-Cool3A』
は、この水温調整
を自律的に行う。

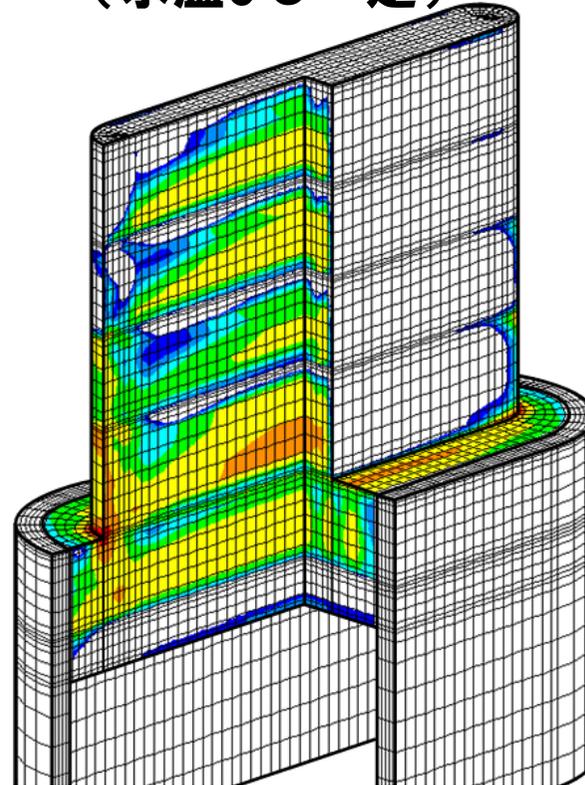
自律水温制御による、ひび割れ指数の改善効果

◆ 無対策



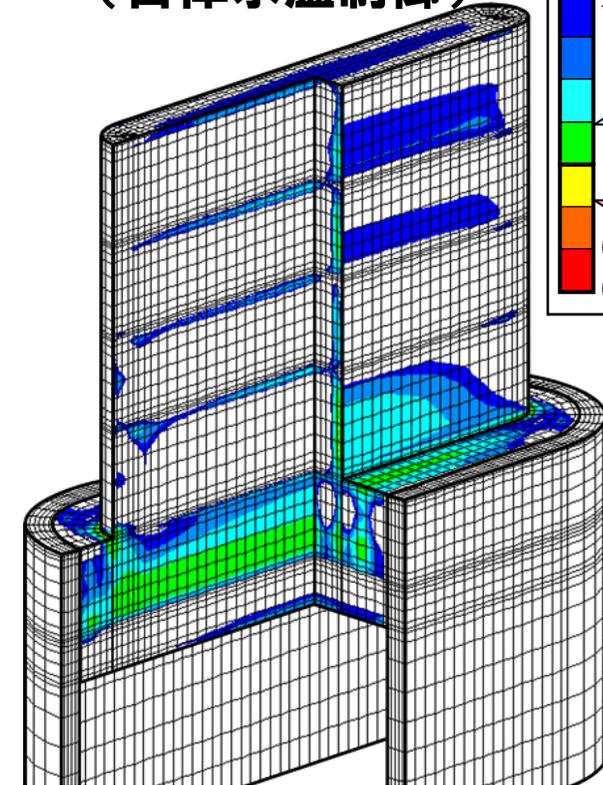
- ・ 頂版の内部と表面、および躯体の表面で、温度ひび割れが発生すると予測された。

◆ パイプクーリング (水温5°C一定)

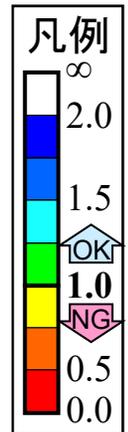


- ・ パイプクーリングによって、躯体表面のひび割れは抑制できるが、躯体内部にひび割れが発生する。これは、温度低下時の過冷却が原因。

◆ パイプクーリング (自律水温制御)



- ・ コンクリートが最高温度に達した後、段階的に冷却水の温度を上げることで、橋脚全体のひび割れ指数を1.0以上に改善できる。



『WIT P-Cool3A』を適用した工事の概要

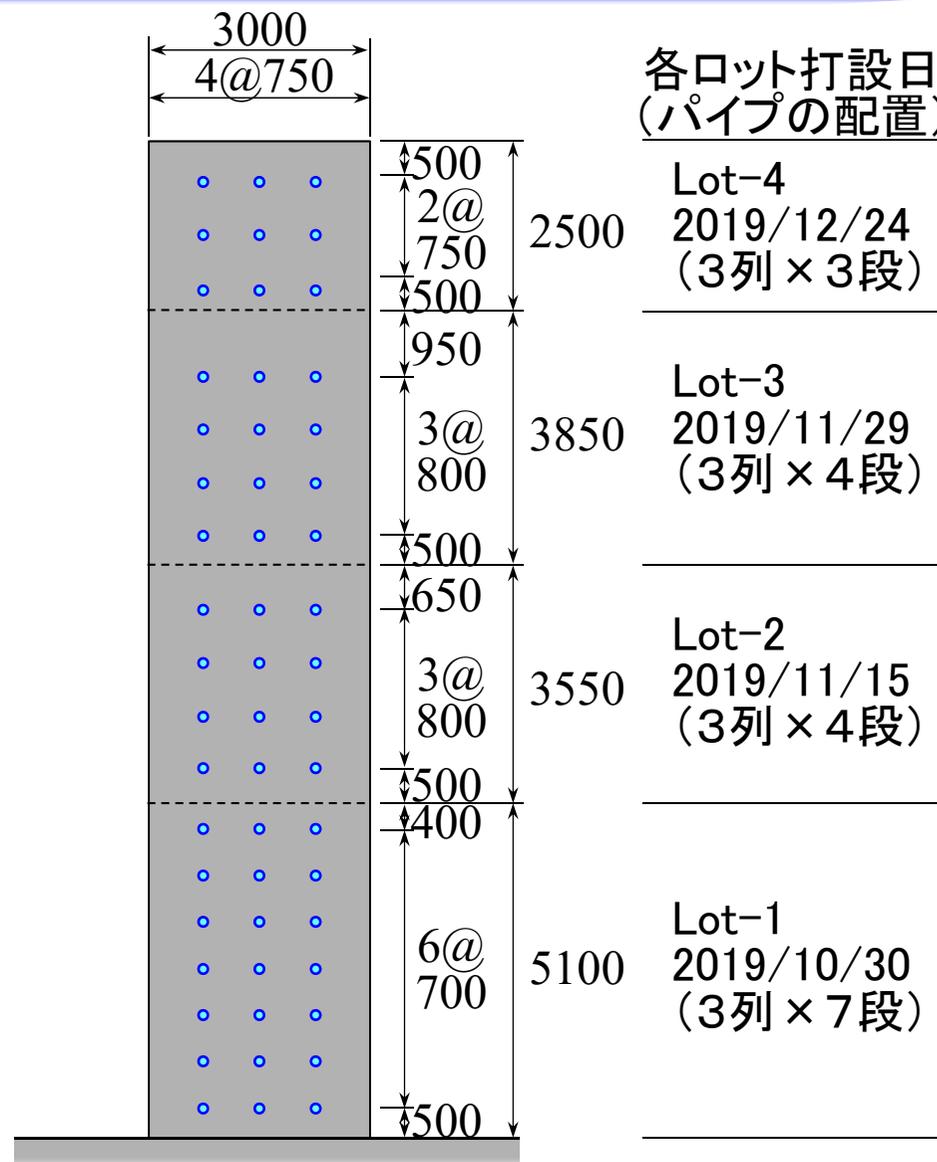
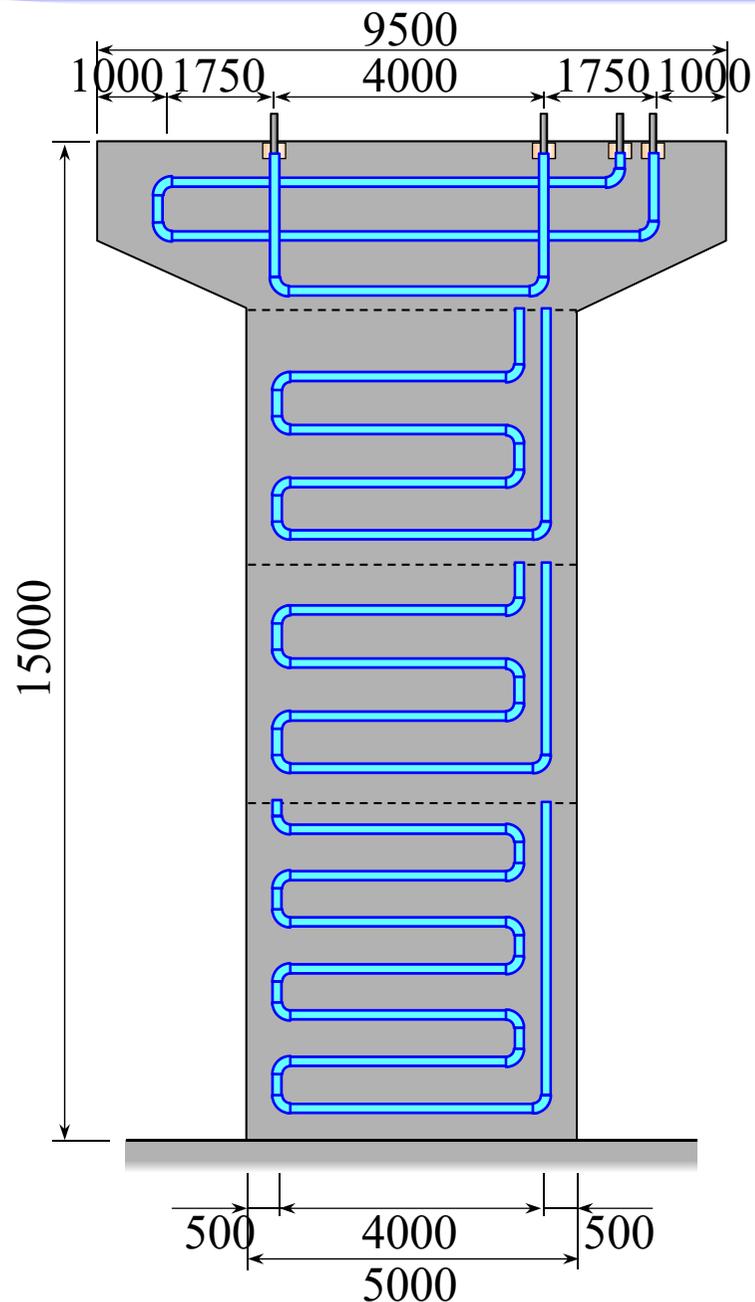
岩国港 臨港道路 新港室の木線 橋梁下部等工事 (2017~:P2,P3)
岩国港 臨港道路 新港室の木線 橋梁下部工事 (2020~:P1)



下部工の施工条件

		P2	P3	P1
基礎工形式		鋼管矢板井筒基礎		
使用セメント		高炉セメントB種		
単位セメント量		329 kg/m ³		345 kg/m ³
水セメント比		48.9 %		50.0 %
コンクリートの打設日	頂版	2019/10/16	2019/10/31	2021/ 9 /20
	Lot-1	10/30	11/19	10/18
	Lot-2	11/15	12/ 6	11/ 1
	Lot-3	11/29	12/25	11/22
	Lot-4	12/24	2020/ 1 /22	—
パイプクーリングの方法	冷却水温	① 温度差が拡大している間は…………… 7℃ ② 温度差が30℃以下になるまでは…… 15℃ ③ 上記②が終了した後は…………… 20℃		
	流量	15～20 リットル/分		
	冷却期間	打設から 4日間		5日間

下部工の形状寸法、およびパイプの配置 [P2]



各ロット打設日
(パイプの配置)

Lot-4
2019/12/24
(3列 × 3段)

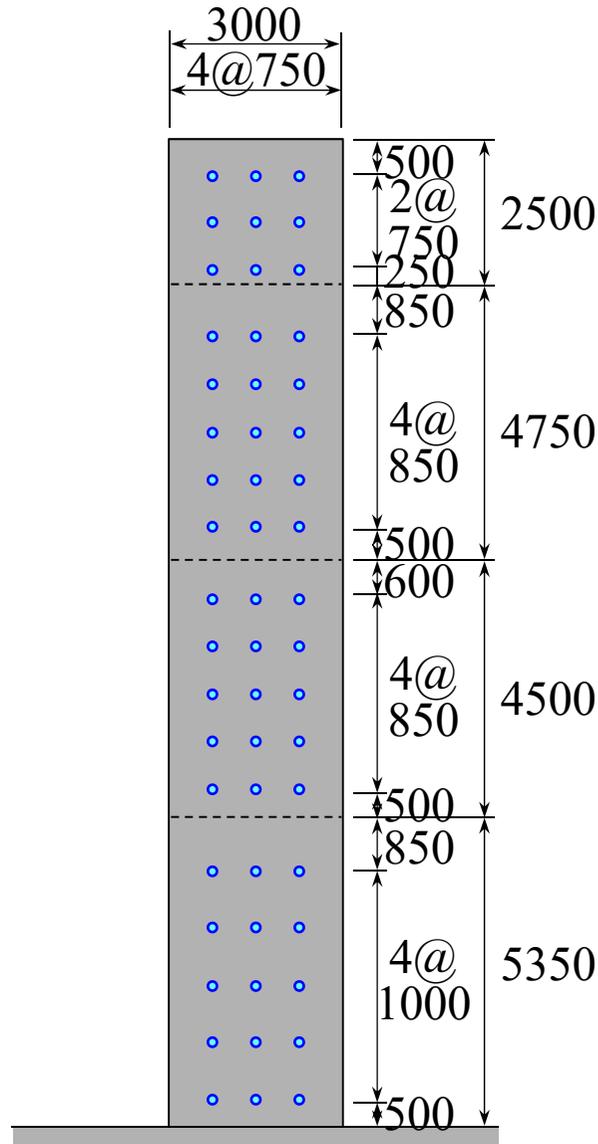
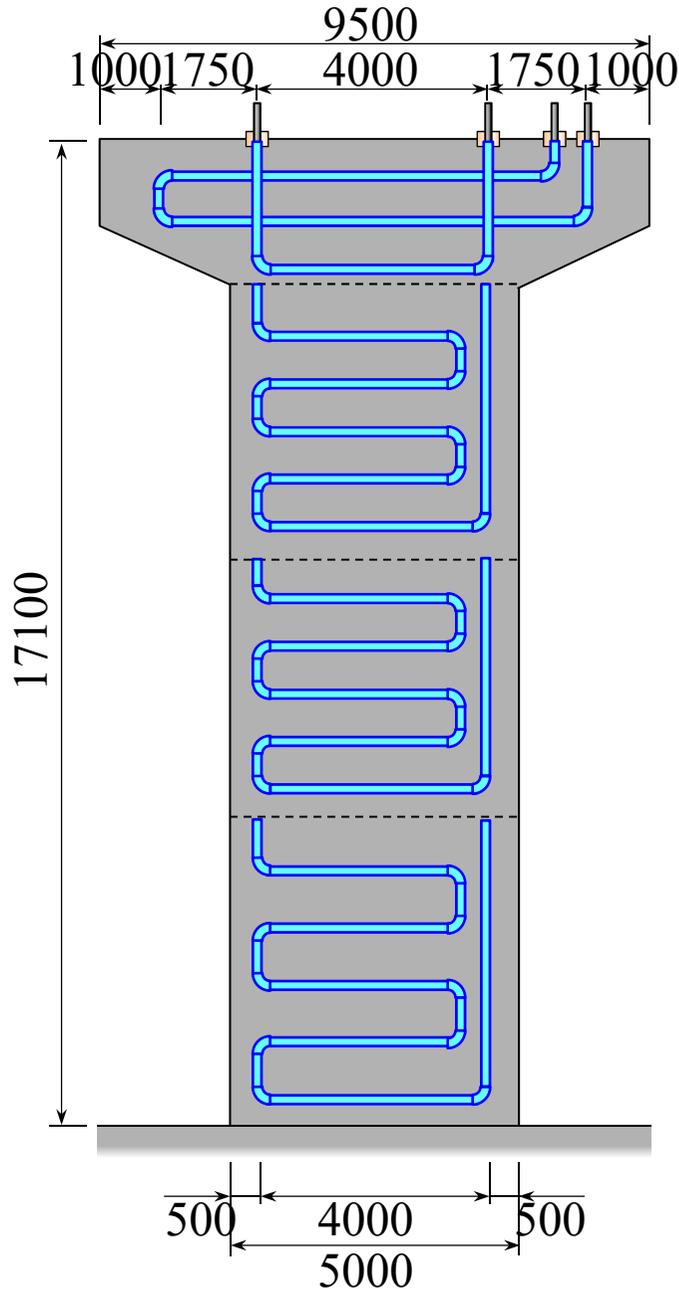
Lot-3
2019/11/29
(3列 × 4段)

Lot-2
2019/11/15
(3列 × 4段)

Lot-1
2019/10/30
(3列 × 7段)

 冷却用パイプ [mm]

下部工の形状寸法、およびパイプの配置 [P3]



各ロット打設日
(パイプの配置)

Lot-4
2020/01/22
(3列×3段)

Lot-3
2019/12/25
(3列×5段)

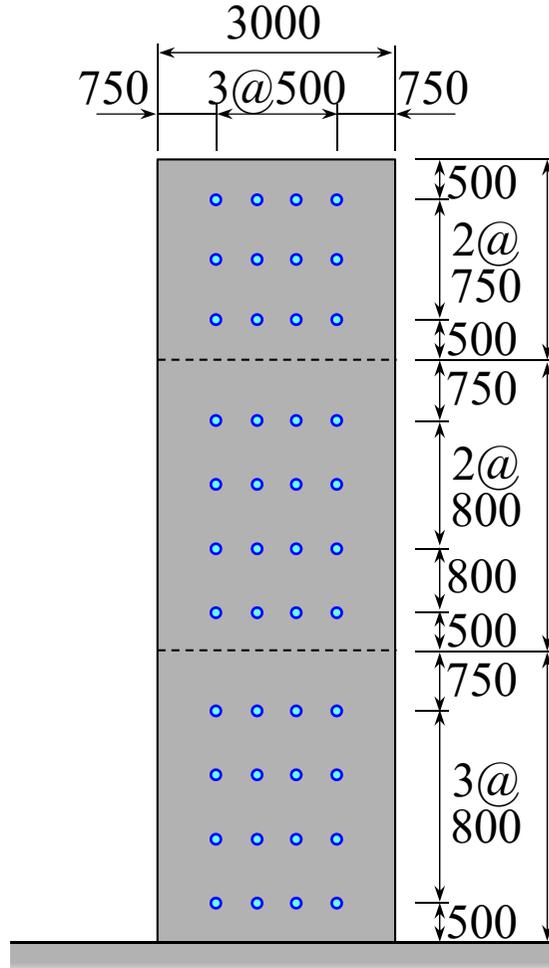
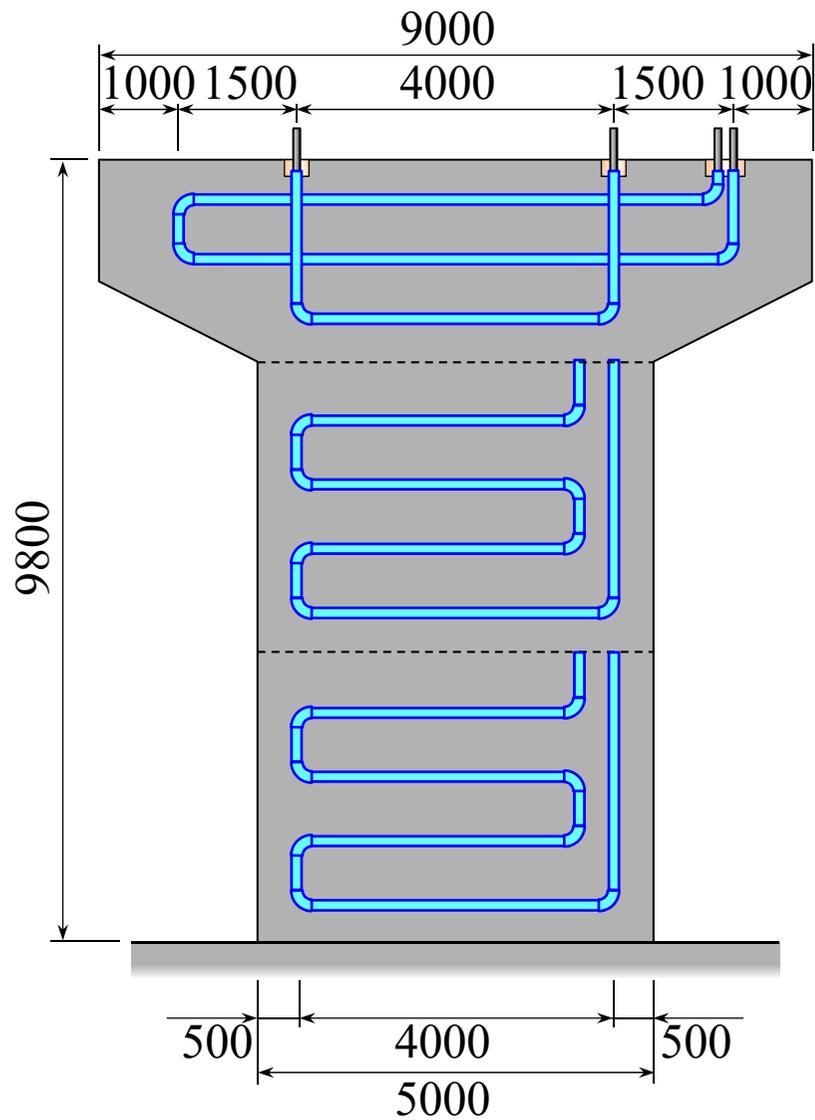
Lot-2
2019/12/06
(3列×5段)

Lot-1
2019/11/19
(3列×5段)



[mm]

下部工の形状寸法、およびパイプの配置 [P1]



各ロット打設日
(パイプの配置)

Lot-3
2021/10/19
(4列×3段)

Lot-2
2021/10/19
(4列×4段)

Lot-1
2021/10/12
(4列×4段)

 冷却用パイプ [mm]

施工前の温度応力解析による予測 [P2]

【無対策】

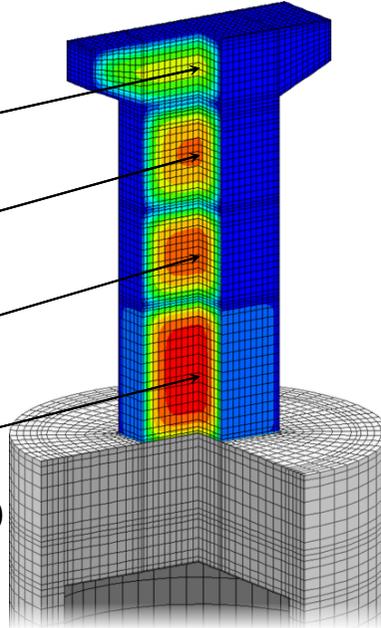
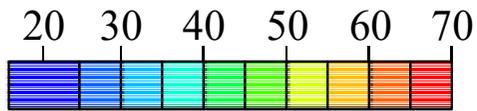
最高温度

52.3°C

60.4°C

63.7°C

65.2°C



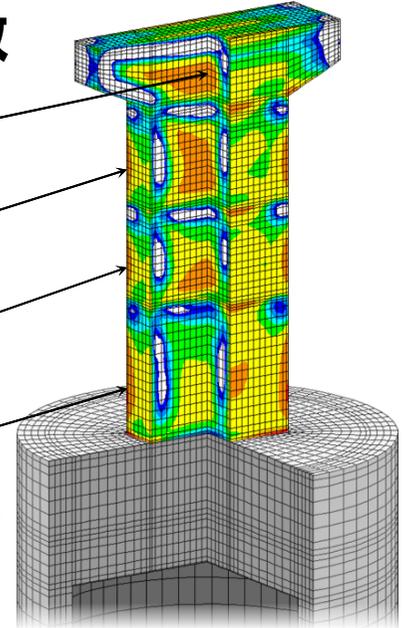
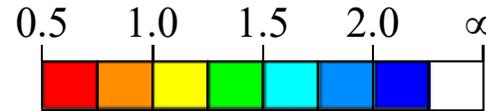
最小ひび割れ指数

0.79

0.76

0.79

0.71



【パイプクーリング】

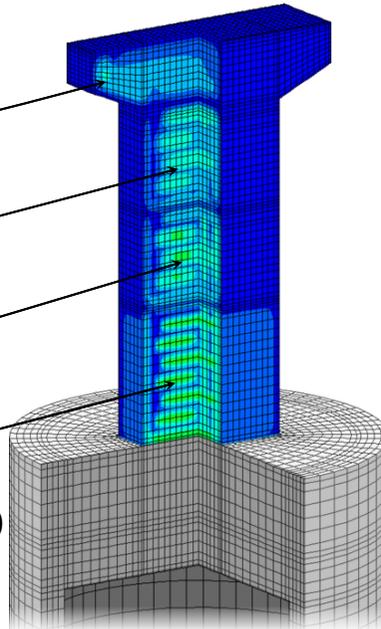
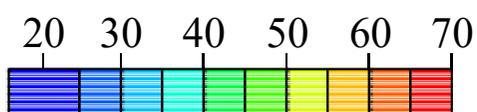
最高温度

37.7°C

37.8°C

40.6°C

46.5°C



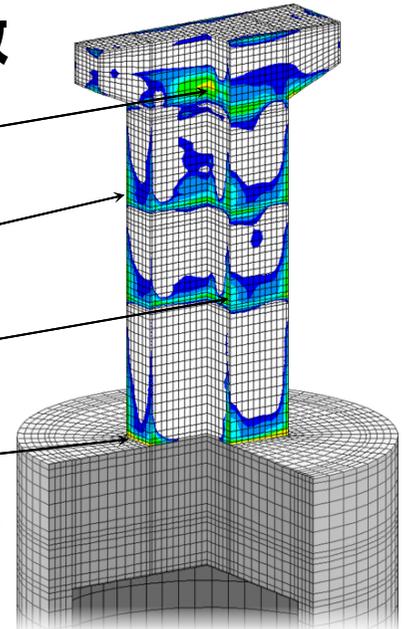
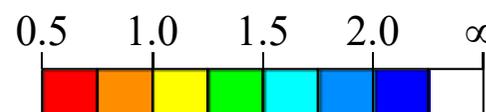
最小ひび割れ指数

1.15

1.14

1.17

1.07



施工前の温度応力解析による予測 [P3]

【無対策】

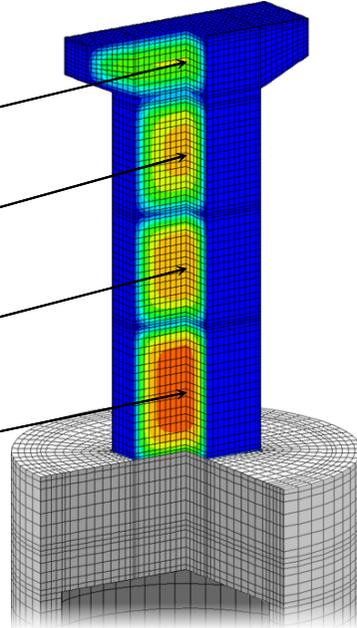
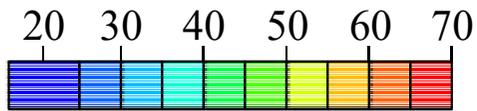
最高温度

50.2°C

56.6°C

59.9°C

63.7°C



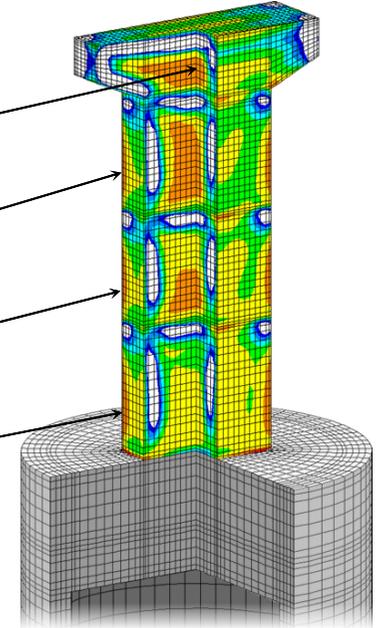
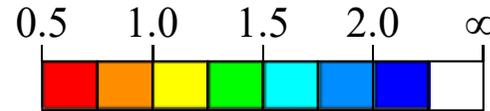
最小ひび割れ指数

0.78

0.80

0.78

0.75



【パイプクーリング】

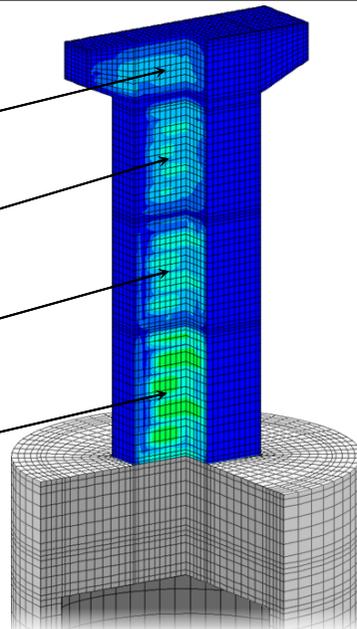
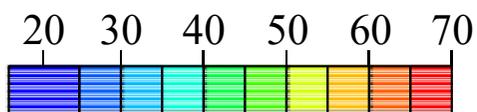
最高温度

32.6°C

36.0°C

38.7°C

43.8°C



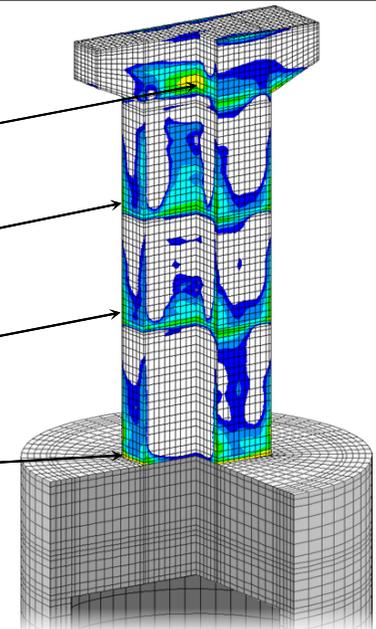
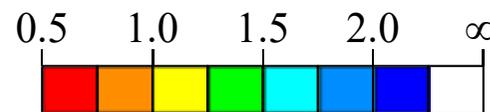
最小ひび割れ指数

1.10

1.10

1.09

1.04



施工前の温度応力解析による予測 [P1]

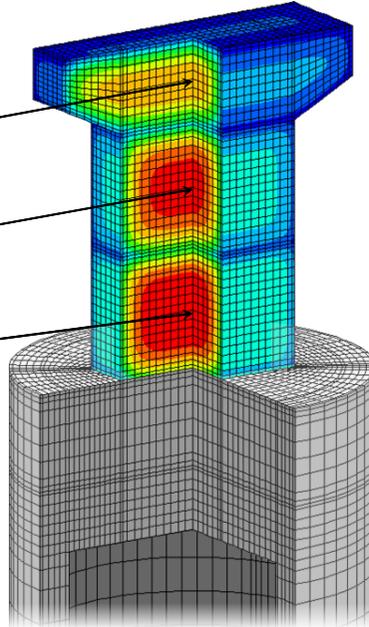
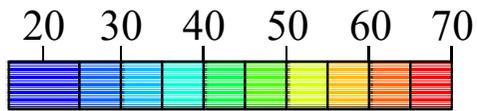
【無対策】

最高温度

59.4°C

68.0°C

71.4°C

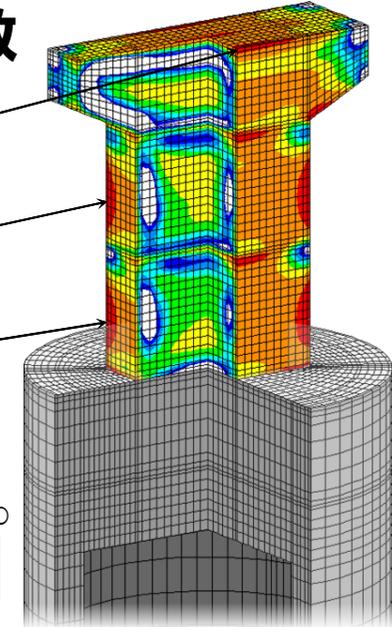
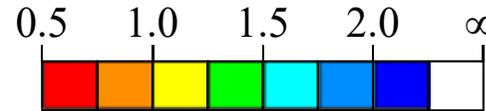


最小ひび割れ指数

0.63

0.51

0.49



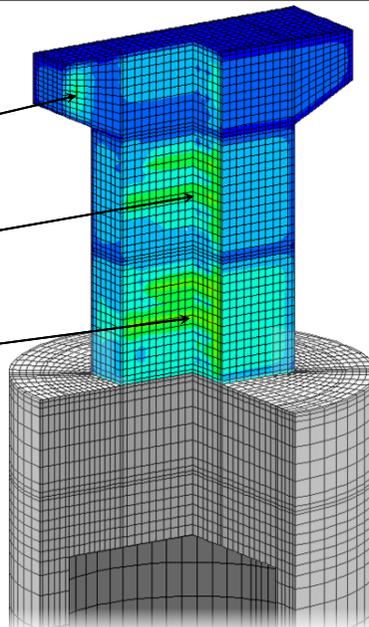
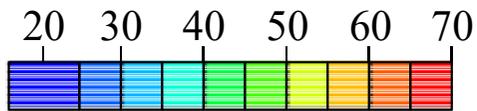
【パイプクーリング】

最高温度

39.5°C

44.5°C

48.0°C

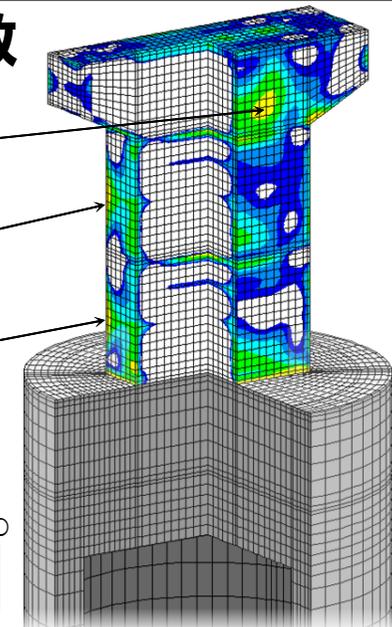
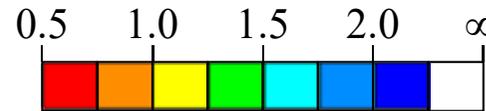


最小ひび割れ指数

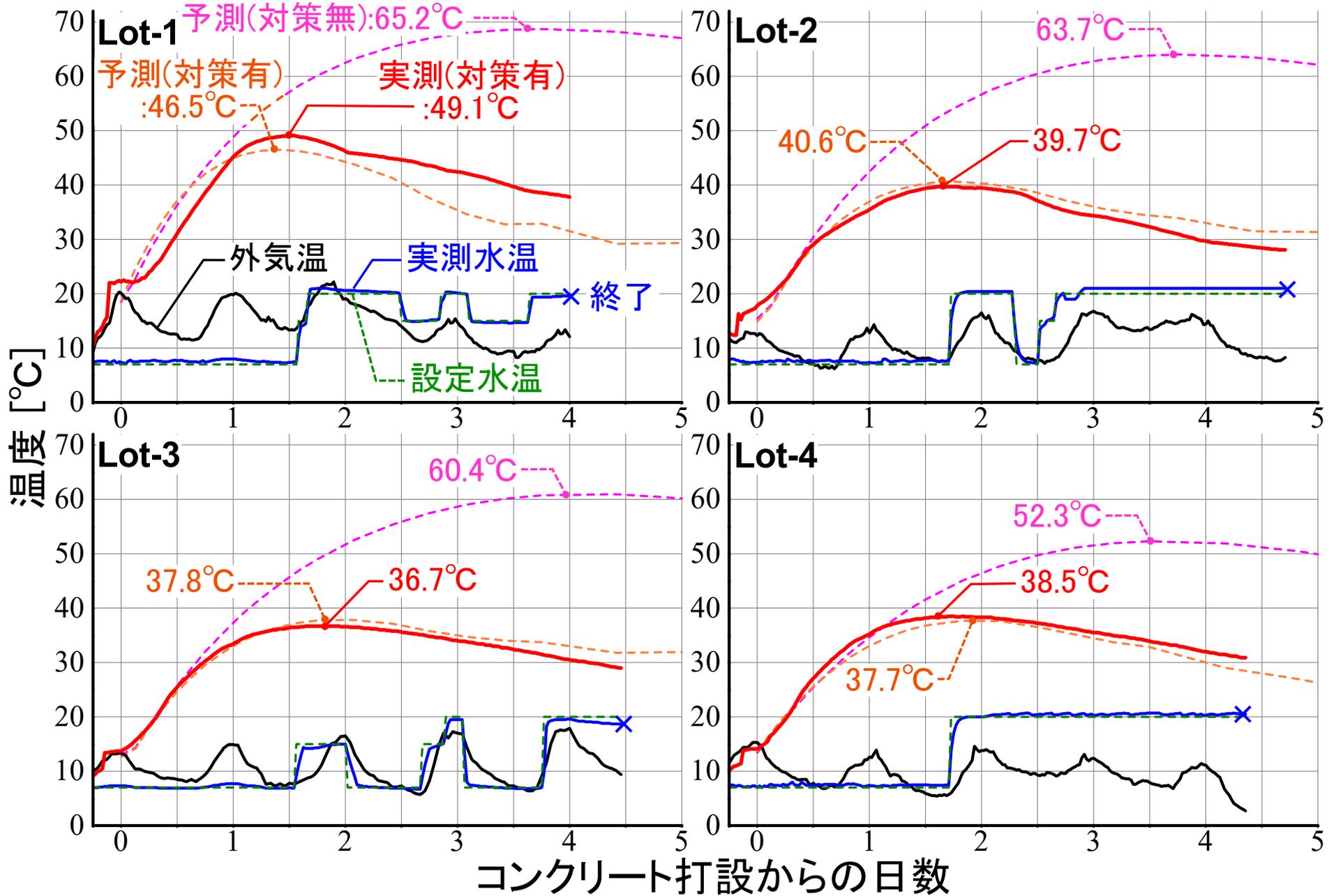
1.07

1.05

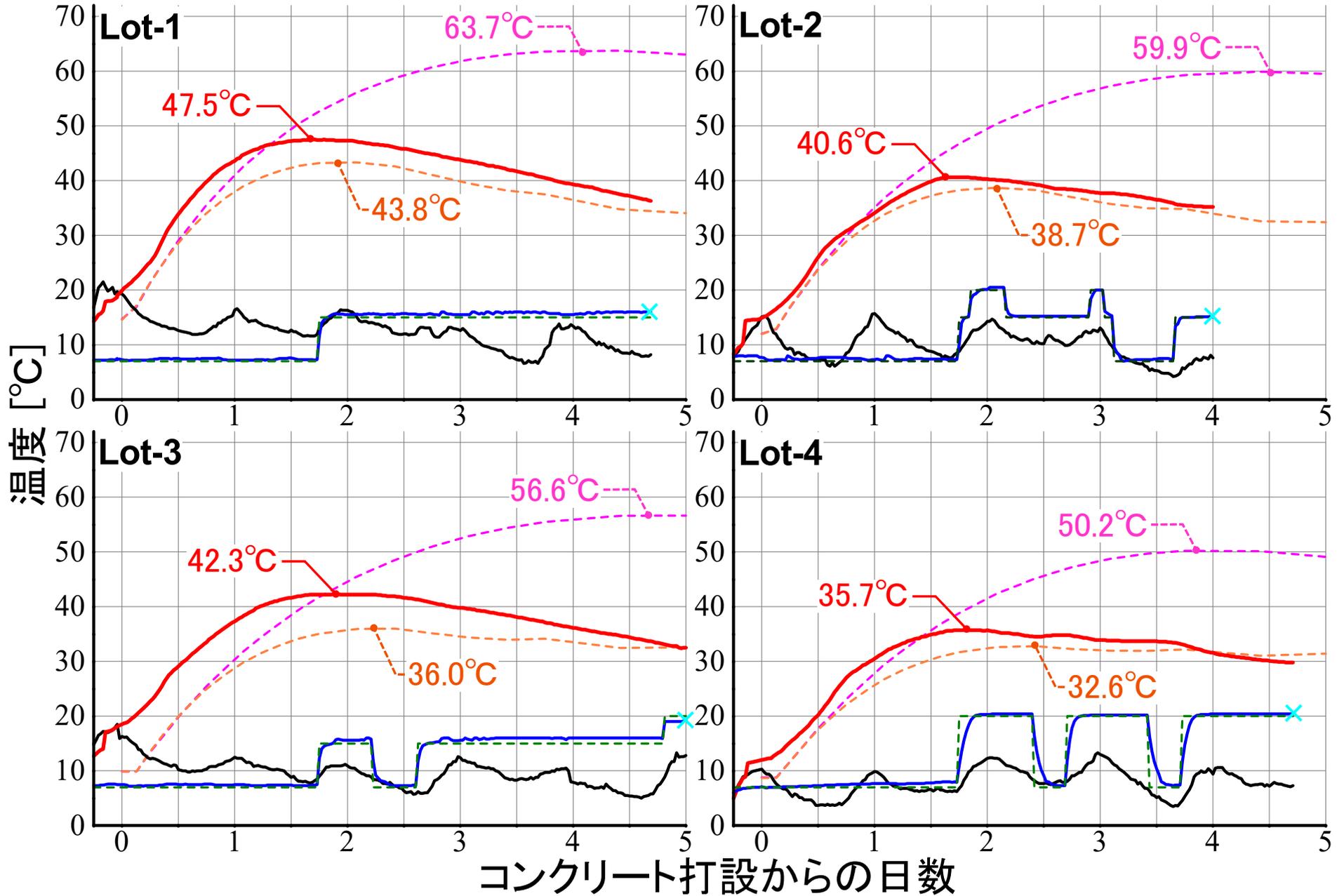
1.04



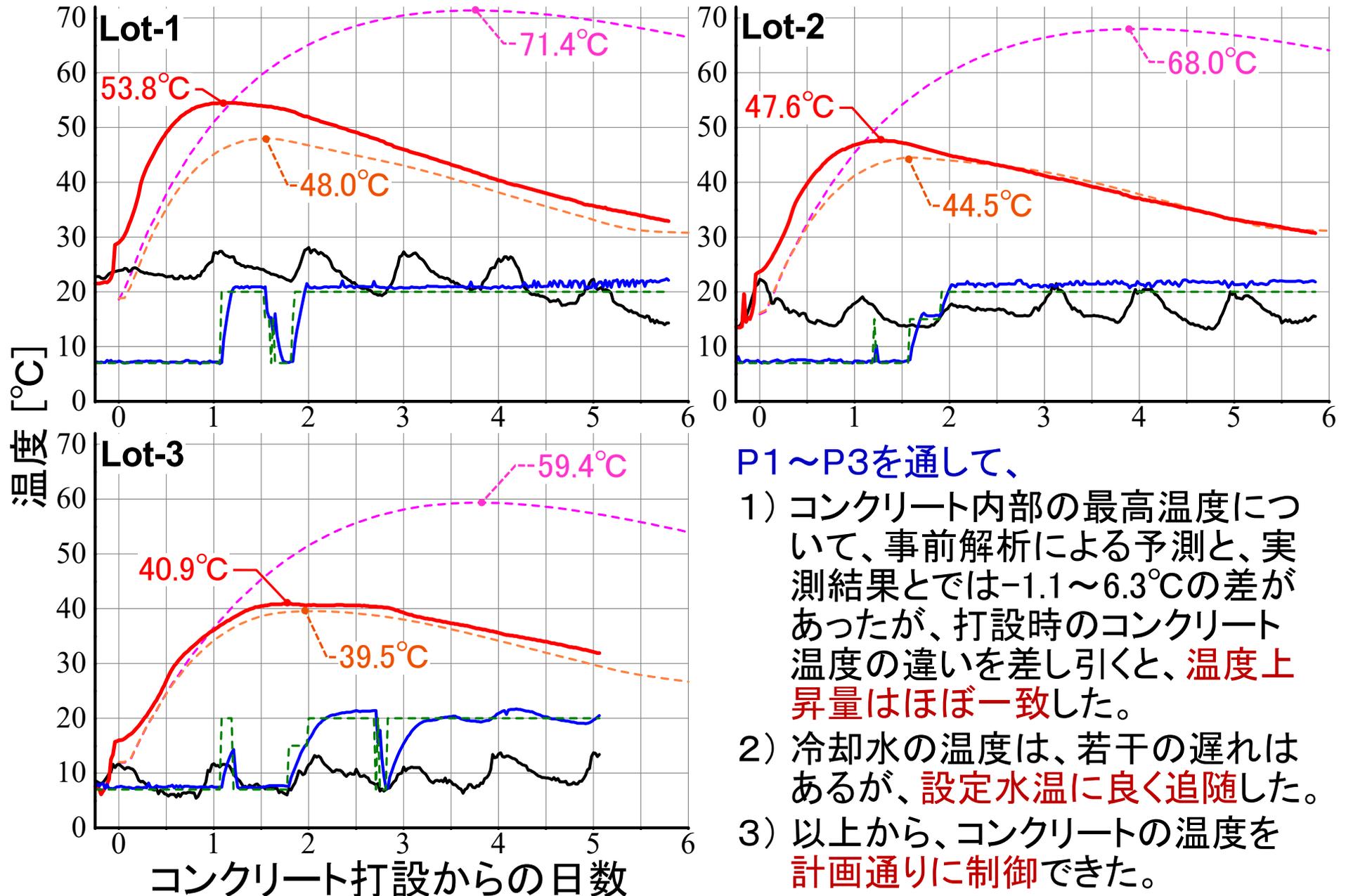
実施工での温度の計測結果 [P2]



実施工での温度の計測結果 [P3]



実施工での温度の計測結果 [P1]



P1～P3を通して、

- 1) コンクリート内部の最高温度について、事前解析による予測と、実測結果とでは-1.1～6.3°Cの差があったが、打設時のコンクリート温度の違いを差し引くと、**温度上昇量はほぼ一致した。**
- 2) 冷却水の温度は、若干の遅れはあるが、**設定水温に良く追随した。**
- 3) 以上から、コンクリートの温度を**計画通りに制御**できた。

おわりに

- 1) 自律水温制御パイプクーリングシステム『WIT P-Cool 3A』の概要を説明した。このシステムの目的は、過冷却を抑制しながら、パイプクーリングを確実に行うことである。
- 2) **岩国港 臨港道路 新港室の木線 橋梁下部工事**において、温度ひび割れ対策として、『WIT P-Cool3A』を用いたパイプクーリングを行った。
 - 事前解析では、各ロットの最小ひび割れ指数を、無対策の場合の0.49～0.80から、1.04～1.07へ改善できると予測された。
 - コンクリートの温度を実測した結果、温度上昇量は事前解析とほぼ一致し、対策を計画通りに実施できた。
 - 実構造物において、温度応力によるひび割れは発見されず、温度ひび割れを完全に防止できた。