

PPCa ボックスカルバートにおける温度ひび割れリスクに関する検討

東急建設株式会社 正会員 ○羅 超賢 笠倉 亮太 黒岩 俊之

1. はじめに

筆者らは、ボックスカルバートの構築において、側壁および頂版を部分的にプレキャスト部材に置き換えることにより、大型ボックスカルバートに対してプレキャスト化による生産性向上を図ることのできる PPCa (Partial PreCast) ボックスカルバートを開発した¹⁾。本工法は部分プレキャスト部材と中詰めコンクリートを用いて、躯体を構築するため、コンクリート標準示方書に示されるマスコンクリート²⁾に該当する場合があります。寸法や打設条件により、温度応力によるひび割れが発生する可能性がある。そこで、本稿では PPCa ボックスカルバート（以下、PPCa）と場所打ちボックスカルバート（以下、場所打ち）を対象とし、温度応力解析を行い、本工法の温度ひび割れリスクについて検討した。

2. PPCa ボックスカルバート概要

PPCa ボックスカルバートの概要を図1に示す。本工法は、側壁、頂版に軸方向、配力およびせん断補強鉄筋を内包した部分プレキャスト部材を架設し、配力鉄筋等を組み立てた後に現場打ち（中詰め）コンクリートにて一体化することでボックスカルバートを構築する工法である。部分プレキャスト化により、鉄筋組立工、型枠組立・解体工を大幅に削減するとともに、プレキャスト頂版部材が施工時荷重を負担するため、頂版コンクリート打込み時の支保工の削減が可能な工法である。

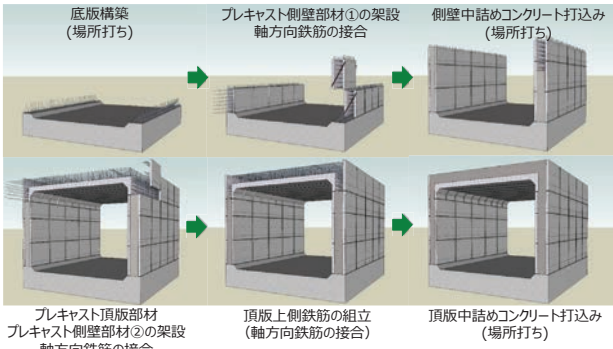


図1 工法概要

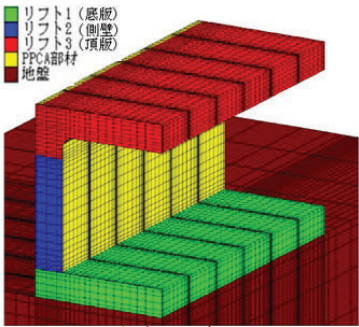


図2 解析モデル

3. 解析条件

3.1 解析モデル

解析モデルの一例を図2に示す。対象構造物の温度応力解析は3次元有限要素法を用いた。解析モデルはPPCaと場所打ちの2種類とし、躯体の対称性を考慮して、1/4モデルによるメッシュ割とした。図ではコンクリート打設を底版、側壁と頂版の3つに分けている（リフト数：3）。

3.2 解析ケース

解析条件を表1に示す。ケース1からケース3はPPCaの実施工を模し、高流動コンクリート(中庸熱セメント)を用いて解析を行った。ケース1は実施工時の温度履歴データを使用し、モデルを検証するケースである。ケース2は関東地方の施工を想定し、高温期、標準期および低温期の解析を行い、打設時期がPPCaボックスカルバートにおける最小ひび割れ指数に与える影響を検討するケースである。ケース3は、打設高さを変数としたケースであり、ケース1に対し、側壁を二回打設としたケース3-1(リフト数：4)と側壁から頂版までを一回打設としたケース3-2(リフト数：2)の解析を行い、打設高さがひび割れ指数に及ぼす影響を検討した。また、本工法では高流動コンクリートだけではなく、普通コンクリートを使用することも想定されるため、ケース4として普通コンクリートを用いた場合について、セメント種類がひび割れ指数に与える影響を検討した。なお、ケース4ではセメント種類を変数にするため、単位セメント量とW/Cは同一とし、比較対象として場所打ちモデルについても解析を行った。

4. 解析結果

4.1 解析モデルの検証（ケース1）

解析モデルの信頼性の向上を目的として、施工時に計測した温度データを用いて、再現解析を行った。再現解析では図3中の式(1)に示す断熱上昇特性式³⁾の Q_{∞} 、 t_{AT} と $t_{0,Q}$ に対してパラメータスタディを行い⁴⁾、施工時の再現を試みた。図3に示すコンクリート温度履歴の比較結果より、施工時の温度履歴が再現できたと考えられる。

4.2 打設時期の影響（ケース2）

各ケースの最小ひび割れ指数を表2に示す。ケース2の結果より、本工法では高温期のひび割れ指数が小さくなり、外気温が高いと温度ひび割れ発生リスクが高くなることを確認した。

キーワード 温度ひび割れ マスコンクリート プレキャストボックスカルバート

連絡先 〒252-0244 神奈川県相模原市中央区田 3062-1 東急建設(株)技術研究所 TEL042-763-9507

ケース	構造	セメント量 (kg)	W/C (%)	時期(気温℃)	コンクリート種類	セメント種類	打設高さ (リフト数)
1	PPCa	495	34.4	実測値	高流動	中庸熱セメント(M)	3
2-1				低温期(最低気温:5.4)			3
2-2				標準期(平均気温:16.1)			
2-3				高温期(最高気温:26.9)			
3-1				ケース2の一番厳しい条件			4
3-2	PPCa	339	49.5	ケース2の一番厳しい条件	普通	普通セメント(N)	3
4-1						高炉セメントB種(BB)	
4-2						早強セメント(H)	
4-3						中庸熱セメント(M)	
4-4						低熱ポルトランドセメント(L)	
4-5	場所打ち※						2

※：PPCaと場所打ちとも全セメント種類に対して解析を実施

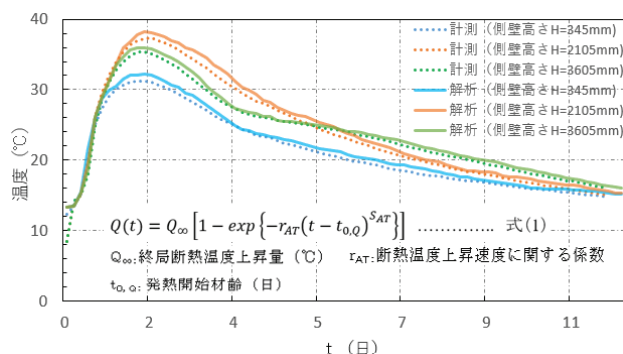


図3 コンクリート温度履歴(12月)

表2 最小ひび割れ指数

ケース	時期(気温℃)	コンクリート種類	セメント種類	打設高さ(リフト数)	最小ひび割れ指数(壁のみ)	現場打ち
1	実測値			3	0.80	—
2-1	低温暖期(最低気温:5.4)	高流動	中庸熱セメント(M)	3	0.95	—
2-2	標準期(平均気温:16.1)				0.82	—
2-3	高温暖期(最高気温:26.9)				0.71	—
3-1	ケース2の一番厳しい条件			4	0.71, 0.65	—
3-2				2	0.79, 0.83	—
4-1	ケース2の一番厳しい条件	普通	普通セメント(N)	3	0.53	0.55
4-2			高炉セメントB種(BB)		0.49	0.53
4-3			早強セメント(H)		0.45	0.50
4-4			中庸熱セメント(M)		0.88	0.79
4-5			低熱ポルトランドセメント(L)		1.15	1.08

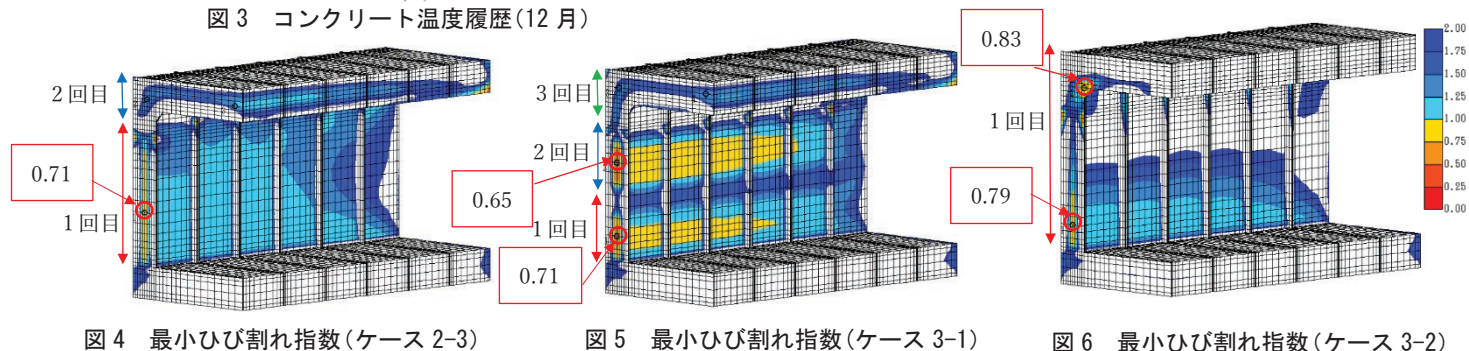


図4 最小ひび割れ指数(ケース 2-3)

図5 最小ひび割れ指数(ケース 3-1)

図6 最小ひび割れ指数(ケース 3-2)

4.3 打設高さの影響(ケース 3)

図4～図6に最小ひび割れ指数の分布結果を示す。ケース2-3(図4)とケース3-1(図5)を比較すると、側壁を2回打設にすることで、側壁2回目のひび割れ指数が小さくなった。これは打設回数が増えることで1回に打ち込むコンクリート体積が小さくなり、内部拘束の影響が小さくなる一方、1回目に打設した側壁による外部拘束力の影響が大きくなるためと考えられる。なお、ケース3-2(図6)の結果より、側壁から頂版まで一回打設の場合、側壁のひび割れ指数はケース2-3より若干大きくなったが、ハンチ部分のひび割れ指数が下がるため、温度ひび割れリスクが大きくなることを確認した。低下する要因は頂版部分のPCa部材による外部拘束力と考えられる。

4.4 セメント種類によるPPCaと場所打ちの比較(ケース 4)

表2に示すひび割れ指数より、L, M, N, BB, Hの順でひび割れ指数が減少し、温度ひび割れリスクが低減できることを確認した。なお、断熱上昇特性式³⁾で計算した各セメントの温度上昇量の大きさと逆相関があると考えられる。

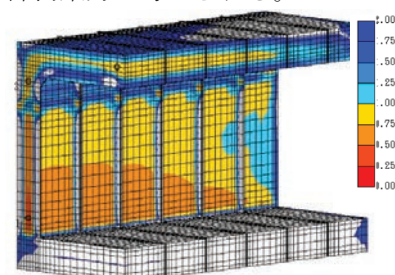
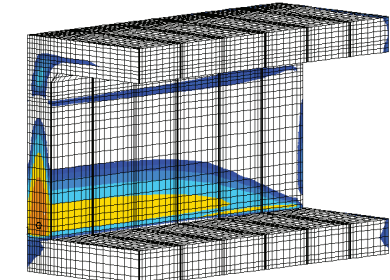
H使用時のPPCaと場所打ちの最小ひび割れ指数分布を図7と図8に示す。図より、PPCaの中詰めコンクリート表面のひび割れ指数は場所打ちの表面部分と比較すると小さい。これはPCa部材による外部拘束の影響と考えられ、他のセメントを使用するケースも同じ分布傾向であった。なお、表2に示すケース4-1～4-5の最小ひび割れ指数より、PPCaと場所打ちのひび割れ指数は同程度であり、ひび割れリスクは同程度と考えられるが、N, BB, Hの場合、PPCaの方がやや大きく、LとMの場合は、PPCaの方がやや小さい。これはN, BB, Hの場合は水和熱が大きく、内部拘束力に加えてPCa部材の外部拘束力も増加するため、ひび割れ指数が場所打ちより小さくなり、ひび割れリスクがやや大きくなる。一方、LとMの場合、水和熱が小さくなり、突出していたPCa部材の外部拘束力が低下したと考えられる。このため、PPCaでは水和熱を抑制し、PCa部材による外部拘束を小さくすることで、温度ひび割れリスクを場所打ちよりも小さくすることが可能であると考えられる。

5. おわりに

本稿では、PPCaボックスカルバートと現場打ちボックスカルバートを対象とし、温度応力解析を行った。ひび割れ指数を比較することで、打設時期、打設高さとセメント種類によるPPCaにおける温度ひび割れリスクを確認した。PPCaの温度ひび割れリスクは打設条件によって、場所打ちよりも小さくなる可能性があることが示された。

参考文献

- 1) 笠倉亮太：部分的にプレキャスト部材を用いたRC壁部材の正負交番載荷試験，コンクリート工学年次論文集，Vol.44，No.2，pp.607-612，2022
- 2) 土木学会：コンクリート標準示方書〔設計編〕，2017
- 3) 日本コンクリート工学会：マスコンクリートのひび割れ制御指針，2016
- 4) 嶋毅他：コンクリートの断熱温度上昇および強度発現の標準値の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol.29，No.2，pp.181-186，2007
「PPCaボックスカルバート」は旭コンクリート工業(株)との共同開発です。

図7 最小ひび割れ指数
(ケース 4-3 : PPCa 早強セメント)図8 最小ひび割れ指数
(ケース 4-3 : 場所打ち早強セメント)