

保温養生による外部拘束ひび割れの抑制効果とメカニズム

Effect of Heat Insulation Curing on the Suppression of Thermal Crack by External Restraint and Its Mechanism

槇島 修^{*1} 小林 剛^{*2} 板野 光純^{*1} 石塚 健一^{*3}
Osamu Makishima Takeshi Kobayashi Mitsuyoshi Itano Kenichi Ishizuka

【要旨】

コンクリートの保温養生は、水和発熱後の温度降下速度が緩やかになることでクリープによる応力緩和と強度増進が期待できることから、外部拘束ひび割れの抑制に有利であることが示されている。そこで、筆者らは、保温養生による外部拘束ひび割れの抑制効果を定量的に評価することを目的として、実験的な検討を行っている。これまでの検討では、壁部材に保温効果の異なる養生を行い、発生する収縮ひずみを計測することでひび割れ発生への影響を評価した。これにより、温度降下速度の低減が収縮ひずみの減少となることを確認した。

本研究では、保温効果の異なる養生条件における部材内部の応力の発生状況を計測し、保温養生の外部拘束ひび割れの抑制効果を確認した。また、保温効果の高い養生によって見掛けのヤング係数が低下する状況を把握し、クリープの影響による応力の緩和が生じていることを確認した。

【キーワード】 外部拘束 ひび割れ 保温養生 ひずみ 有効応力 クリープ

1. はじめに

コンクリートの保温養生は、水和発熱後の温度降下速度が緩やかになることでクリープによる応力緩和と保温によって部材温度が高く推移することで強度が早期に発現することから、外部拘束ひび割れの抑制に有利であることが示されている¹⁾。しかし、現状の温度応力解析手法では、コンクリートのクリープの影響を考慮して有効弾性係数を設定する方法が示されているものの、温度降下速度の違いによるクリープの変化は表現されていない。

そこで、筆者らは、保温養生による外部拘束ひび割れの抑制効果を定量的に評価することを目的として、実験的な検討を行っている。これまでの検討では、底版を拘束体とする壁部材へのコンクリートの打込みにおいて保温効果の異なる養生を行い、部材内部に生じる収縮ひずみを計測することでひび割れ発生への影響を評価した²⁾。この結果、計測されたひずみは、図-1に示すように、温度降下速度が小さい「断熱」や「保温」などの保温養生では、温度降下が外気温と同等となる時点でのひずみが大きい（収縮ひずみが小さい）ことからひび割れ抑制に有効である可能性が確認されている。

そこで、本報告では、保温効果の異なる養生条件の部材において内部に生じるひずみと応力を計測によって評価することで、保温養生による外部拘束ひび割れの抑制効果を定量的に評価することとした。

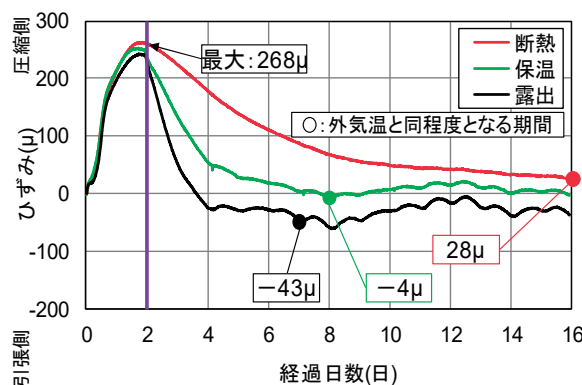


図-1 保温効果の異なる養生条件とひずみ計測結果²⁾

また、拘束ひずみと応力の関係から見掛けのヤング係数を算定し、部材内に生じるクリープの変化について考察する。

2. 実験および解析の実施概要

試験体および各種計測位置の概要を図-2に、保温条件を表-1に示す。試験体は、厚さ300mmの底版と厚さ500mmの壁部材で構成した。壁部材は、断熱型枠（合板に厚さ200mmの押し出し発泡ポリスチレンの組合せ）を用い、最高温度到達後に、保温効果の異なる保温条件を3水準設定した。養生方法は、型枠を存置する「断熱」、脱

1.技術研究所 研究開発G 第三研究室
2.土木事業本部 プロジェクト統括部 環境・エネルギーG
3.土木事業本部 土木DX推進部 土木CIMG

表-1 保温条件

保温区分	養生方法	
	型枠設置時	最高温度到達後(材齢2日以降)
断熱	断熱型枠	型枠存置:断熱型枠(合板+断熱材)
保温	(合板)	型枠脱型:気泡シート3枚
無対策	+断熱材)	型枠脱型:ポリエチレン製ラップフィルム2枚

表-2 コンクリートの配合

水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単体量(kg/m ³)			
		水	セメント	細骨材	粗骨材
50.8	44.8	172	339	558	1007

表-3 計測項目と計測方法

計測項目	計測方法	
	計測機器	計測位置
ひずみ	埋設型ひずみ計	・壁下端から50mm
応力	有効応力計	・壁幅中心から55mm
温度	熱電対	①壁中心, ②外気温
	埋設型ひずみ計	③ひずみ計位置

型後に気泡シートを3枚重ねて設置する「保温」と、ポリエチレン製ラップフィルムを2枚重ねて設置する「無対策」の3条件とした。これまでの検討²⁾では、「無対策」は、型枠を脱型した後は、コンクリート表面を露出した状態で評価していたが、本実験では乾燥による影響を排除するため、「無対策」の養生はラップフィルムによる封緘状態とした。また、試験体を設置した環境は、一定の気温変動を受ける屋内とした。

コンクリートの配合を表-2に示す。使用セメントを普通ポルトランドセメントとし、水セメント比50.8%、単位セメント量339kg/m³とした。実験の計測項目と計測方法を表-3に示す。ひずみは、埋設型ひずみ計、応力は有効応力計によって計測した。また、温度計測は、壁の中央に設置した熱電対とひずみ計測のために設置した埋設ひずみ計で行った。ひずみおよび応力の計測位置は、図-1に示すように壁の下端から50mmの高さとし、計測は10分間隔で行った。

計測された全ひずみから拘束ひずみの推定は、ひずみの計測位置における温度履歴と当該コンクリートの線膨張係数(10.0μ/°C)から算定した温度ひずみを差し引くことで行った。

3. 実験結果および考察

3.1 温度計測結果

壁の中央における温度計測結果を図-3に示す。同一の養生条件である材齢2日までの期間は、いずれの試験体も同一の温度履歴を示し、コンクリートの打込み温度14.4°C、最高温度は40.1°C、温度上昇量は25.7°Cであった。材齢2日以降の温度履歴は、養生条件の違いによって差異が生じ、想定したように「無対策」、「保温」、「断熱」の順に温度の降下が早いことを確認した。

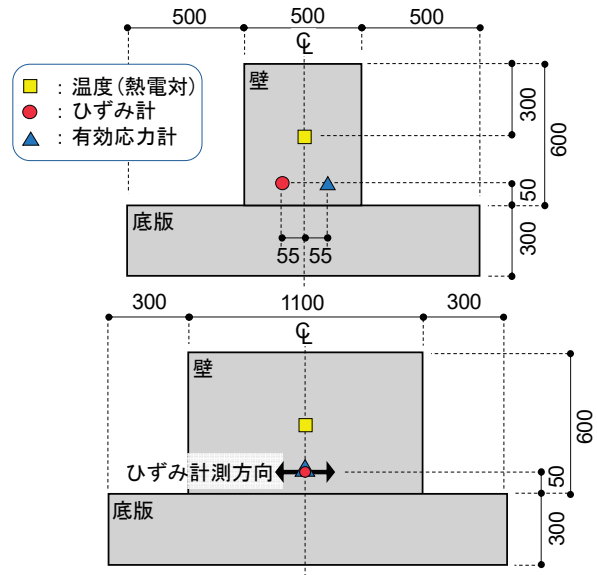


図-2 試験体および計測位置概要

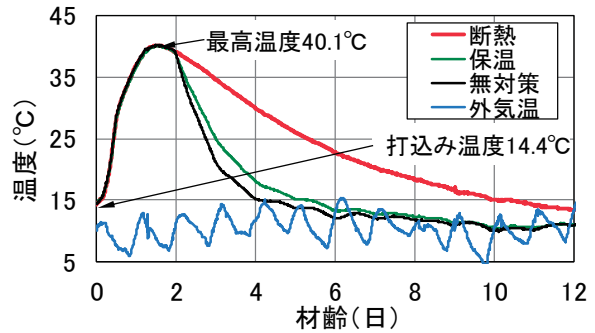


図-3 温度計測結果

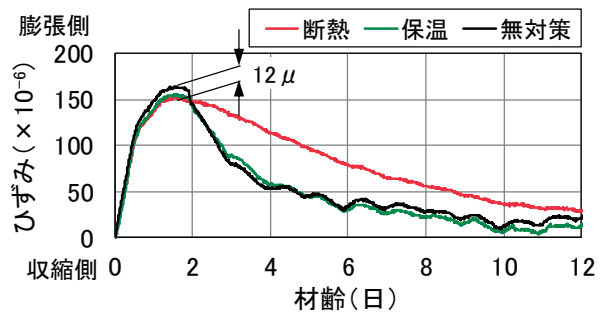


図-4 ひずみ計測結果

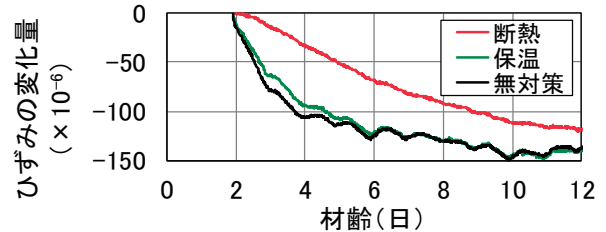


図-5 最大ひずみからの変化量

3.2 ひずみ計測結果

部材内部のひずみ(全ひずみ)の計測結果を図-4に示す。全ひずみは、温度上昇に伴って増加し、最高温度に達する時期に最大のひずみを示した。なお、いずれの試験体も最高温度到達までの養生条件および温度履歴は

同一であったが、最高温度到達時のひずみが最大で 12μ の差異を生じた。最大ひずみからの変化量を図-5に示す。最大ひずみからの変化量を見ると、「無対策」、「保温」、「断熱」の順に温度の降下が早く、温度降下速度の違いと一致していることを確認した。ただし、最大ひずみからの変化量は、材齢6日以降の「無対策」と「保温」がほぼ同等の値で推移している。

この結果は、図-1に示したこれまでの実験結果²⁾と異なる傾向であり、「無対策」において乾燥を防ぐ養生条件を適用したことが影響したものと考えられる。

次に、全ひずみから温度ひずみを差し引いて推定された拘束ひずみの経時変化を図-6に示す。拘束ひずみは、最高温度到達後の材齢2日以降に増加傾向を示し、部材温度が概ね収束したとみられる材齢12日時点の拘束ひずみは「無対策」、「保温」、「断熱」の順に大きい。

3.3 応力計測結果

応力計測結果を図-7に示す。最高温度到達以降の引張応力は、「無対策」、「保温」、「断熱」の順に大きく、材齢12日の時点までこの傾向を維持している。このことから、保温効果の高い条件ほど温度降下に伴うひび割れの抑制効果が高いことを示す結果となり、保温養生の有効性が確認された。

3.4 見掛けのヤング係数の評価

最高温度到達後の拘束ひずみと応力の関係を図-8に示す。拘束ひずみと応力の関係から、応力と拘束ひずみには直線関係があることが確認され、養生条件によって傾きに差異が認められる。このことから養生条件の違いによって見掛けのヤング係数に差異が生じているものと考えられた。ただし、このデータは、最高温度到達後の温度が外気温程度に収束するまでの期間だけでなく、以降の外気温の変動に伴うデータを多く含むため、材齢ごとに見掛けのヤング率を評価する必要があるものと考えた。

そこで、最高温度到達後の材齢3日から1日ごとの拘束ひずみと応力の関係から算定した見掛けのヤング係数と、比較として標準水中養生で養生した供試体のヤング係数と有効ヤング係数(既往の指針¹⁾)に示される、ヤング係数に低減係数0.65を乗じた値)の履歴を図-9に示す。

試験体の計測によって得られた見掛けのヤング係数は、いずれの養生条件においても標準水中養生の供試体のヤング係数に比べて小さく、コンクリートのクリープによる影響が生じているものと推察される。また、材齢5日から12日の期間において養生条件によって値に差異が生じ、「断熱」、「保温」、「無対策」の順に小さい。なお、材齢12日以降は養生条件の違いに関わらず同等の値となることを確認した。なお、クリープの影響を考慮した有効ヤ

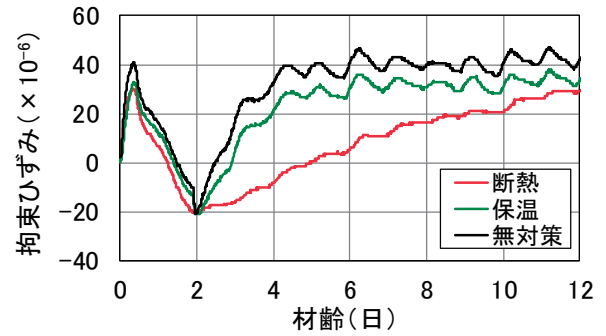


図-6 拘束ひずみの経時変化

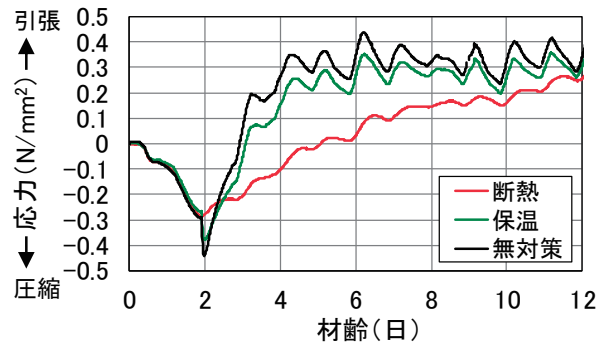


図-7 応力計測結果

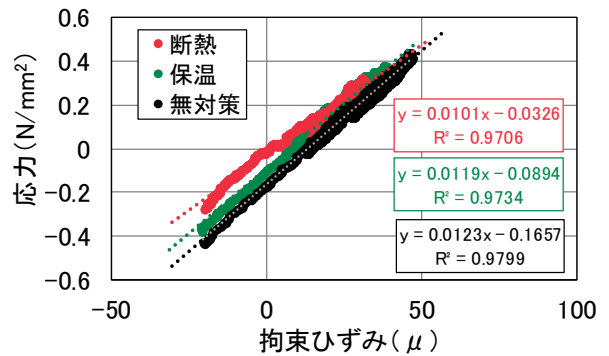


図-8 拘束ひずみと応力の関係

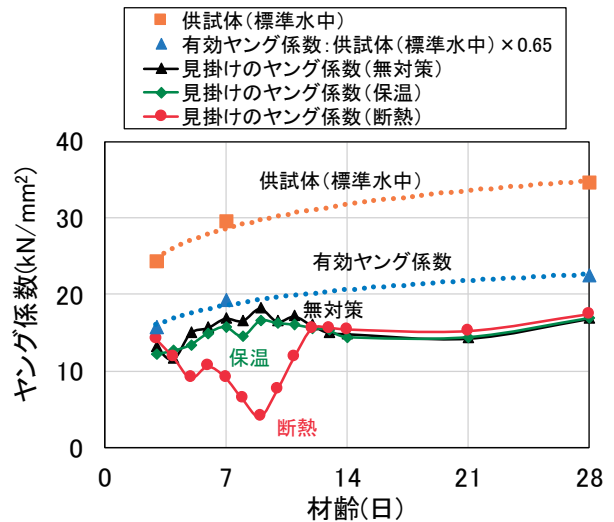


図-9 ヤング係数の履歴

ング係数は、計測によって確認された見掛けのヤング係数に比べて大きな値になっていることが確認され、温度応力解析によって評価する場合には、安全側の判断がされているものと考えられる。ただし、実態に即した見掛けのヤング率の設定を行えば、より経済的なひび割れ対策の提案につながる可能性がある。

保温効果の高い養生条件では、温度降下が収束する材齢12日程度までの見掛けのヤング係数が「無対策」に比べて小さいことから、温度降下過程における温度降下速度の低下がクリープの影響を大きくしているものと推察された。

4. まとめ

保温効果の異なる条件の試験体でひずみと応力および温度の計測により、以下の知見が得られた。

- ①最高温度到達後の温度降下が緩やかになる保温養生は、発生する引張応力が低減することを確認し、外部拘束の温度ひび割れの抑制に有効な手法となる可能性がある。

- ②保温養生は、最高温度到達時点から温度降下が収束する時点までの見掛けのヤング係数が小さくなる。

- ③保温効果の異なる養生条件によって見掛けのヤング係数は異なり、実態に即した見掛けのヤング率の設定を行えば、経済的なひび割れ対策の提案につながる可能性がある。

今後、実構造物の施工において保温養生を適用した場合のひび割れ抑制効果を定量的に評価し、構造物の品質向上につなげたい。

【参考文献】

- 1)コンクリート工学会編，マスコンクリートのひび割れ制御指針2016，2016.11
- 2)小林剛，槇島修：温度降下速度の違いによる外部拘束ひび割れへの影響に関する検討，土木学会第74回年次学術講演会，V-501，2019.9
- 3)小林剛，槇島修，石塚健一：保温養生による外部拘束ひび割れの抑制効果の評価，とびしま技報，pp.9～12，2019.9

Summary Stress relaxation and strength enhancement due to creep are expected for heat insulation curing of concrete. Because heat insulation curing due to the alleviation of the temperature drop speed after hydration heating, the curing is advantageous to the suppression. Therefore, we are performing an experimental study to quantitatively evaluate the effect of heat insulation curing on the suppression of thermal crack by external restraint. In the current study, we evaluated the influence on crack generation by subjecting wall members to curing with different heat insulation effects and measuring the generated shrinkage strain. This evaluation indicated that the reduction in temperature drop speed resulted in a reduction in shrinkage strain. In this study, we observed the generation of stress inside the member in the curing condition with different heat insulation effects and the effect of heat insulation curing on the suppression of thermal crack by external restraint. In addition, we determined that curing with high heat insulation effects reduces the apparent Young's modulus and that the alleviation of stress occurs due to the influence of creep.

Key Words : External restraint, Thermal crack, Heat insulation curing, Strain, Effective stress, Creep