セメントの水和発熱に起因する若材齢時コンクリートの挙動に関する研究

○法政大学大学院　学生会員　井上　量介　　首都高速道路株式会社　　伊藤　裕貴
川崎市水道局第三配水工事事務所　志村　智実　　法政大学　　正会員　溝渕　利明

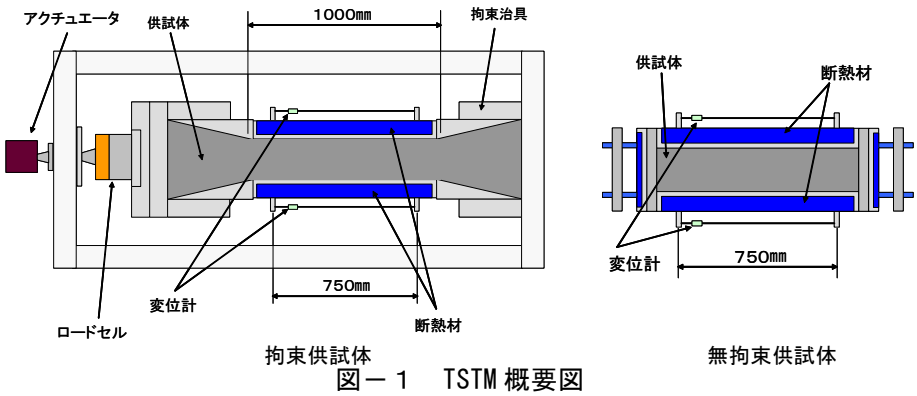
１．はじめに

コンクリート部材に有害なひび割れが生じた場合、コンクリート構造物の耐久性能などに悪影響を与えるだけではなく、塩害や中性化などのコンクリートの劣化が促進されることは一般的に良く知られている。したがって、セメントの水和反応に起因する若材齢時のコンクリートの挙動に伴う初期欠陥、とりわけ温度応力によるひび割れをはじめとする初期ひび割れの発生の予測、それによる耐久性能などの定量的評価を行うことは重要な課題の１つであるといえる。ひび割れの発生は、その部位に発生する引張応力が引張強度を超えた場合に起こるものである。ダムなどのマスコンクリート構造物においては、セメントの水和発熱に起因するコンクリート部材内部の温度分布が生じることによるひずみや外気との温度差によって生じるひずみ、温度降下時のコンクリート自体の収縮が地盤や既設コンクリートなどの拘束されることによるひずみが発生し、ひび割れへと進展することがある。しかし、セメントの水和発熱に起因する温度応力に関しては実構造物での計測が難しいことから、計測データは多くないのが現状である。

そこで本研究では、セメントの水和発熱に起因する温度変化や熱膨張、乾燥収縮・自己収縮等の複合した挙動を室内でシミュレートできる装置「Thermal-Stress-Testing-Machine(TSTM)」を用いて実験を行い、温度ひび割れの発生限界に関する検討を行った。

２．検討の概要

TSTMは、図－１に示すとおり、打込み開始からセメントの水和発熱による温度上昇及び温度降下を自在にコントロールするとともに、アクチュエータによるひずみ及び荷重制御機構を設け、無拘束供試体によって生じるひずみを基に水和発熱による熱膨張及び温度降下による収縮を完全拘束状態から無拘束状態まで自由に拘束状態を変化させることが可能である。温度制御は拘束供試体に５点、無拘束供試体に３点温度計を埋設し、対象となる構造物の温度解析によって得られた温度履歴を装置の制御機器に材齢及び温度を設定し、供試体周囲に設置されたパイプに温水または冷水を通水させて行っている。計８つの温度計のうち制御用と



図－１　TSTM 概要図

表－１　検討ケース

ケース	セメントの種類	拘束度
1	普通ポルトランドセメント	1.0
2		1.0
3		0.9
4		0.8

表－２　使用材料

項目	摘要
セメント	普通ポルトランドセメント、比重；3.15
細骨材	表乾比重；2.62、吸水率1.63、粗粒率；3.08
粗骨材	粗骨材最大寸法；20mm、表乾比重；2.66、吸水率0.78%

表－３　コンクリート配合

細骨材率(%)	単位量(kg/m^3)				単位量(g/m^3)	
	水	セメント	細骨材	粗骨材	AE剤	AE減水剤
	W	C	S	G		
47.5	180	327	836	936	9	981

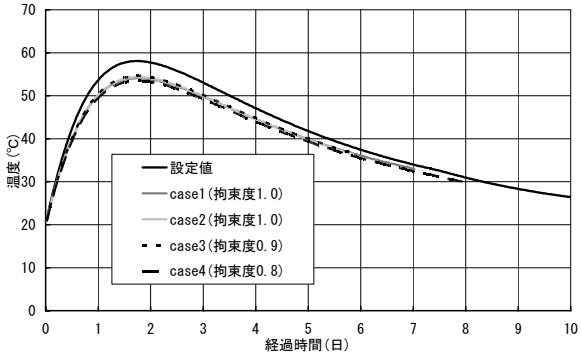
キーワード：温度応力、温度ひび割れ、温度解析、温度応力解析、若材齢
連絡先：〒184-8584 東京都小金井市梶野町 3-7-2　TEL 042-387-6286

して拘束供試体及び無拘束供試体の中央部の温度計を用いた。計測開始は凝結始発時間とした。

試験は TSTM を用いて同一配合で拘束度を変化させ検討を行った。検討ケースを**表－１**に示す。本試験で用いたコンクリートは普通ポルトランドセメントを使用し、スランプ 12cm、空気量 4.5%、単位セメント量 170kg/m^3、水セメント比 55%の条件を満足するものとした。コンクリートの使用材料を**表－２**に、配合を**表－３**に示す。また各ケースで割裂引張試験及び新しく導入した純引張強度試験機を用いて純引張試験を行った。

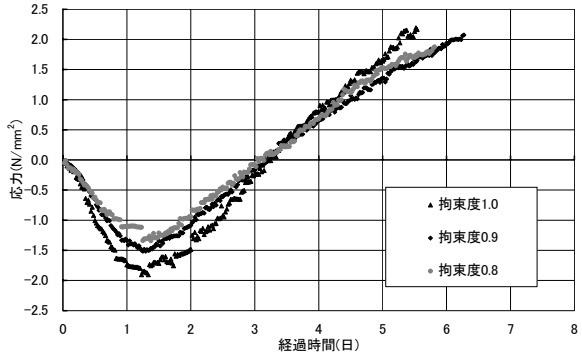
３．試験結果及び考察

拘束供試体の温度履歴を**図－２**に示す。各ケースともに設定値より低い値となった。ただし、３測定点のうち制御用に用いた中央での測定値と設定温度とに差異が無いことから温度制御はできていると考えられるが、供試体内の温度応力を発生させないようにするためにさらに改善していく必要がある。



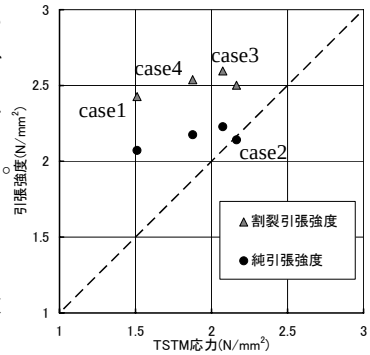
図－２　温度履歴（拘束供試体平均値）

各拘束度での応力履歴を**図－３**に示す。各拘束度ともに材齢約 5.5～6.5 日でひび割れが生じ、ひび割れ発生時の応力は約 2.0N/mm^2 であった。圧縮応力域では、各拘束度ともに材齢約 1.5 日まで増加し、拘束度が大きいほど最大圧縮応力が大きくなる結果となった。今回実施した拘束度の範囲では、測定開始からの応力履歴に対して拘束度の影響が小さいと思われる。ただし、これまで実施した試験数が少ないことから、さらにデータの蓄積が必要と思われる。



図－３　応力履歴

TSTM における各ケースの応力と、強度試験から得られた引張強度との関係を**図－４**に示す。各ケースともに割裂引張強度に比べ純引張試験強度が約 0.5N/mm^2 程度小さい値となった。また、割裂引張強度に比べ純引張試験強度が TSTM から得られた応力に近い値となり、特にケース２においては純引張強度が TSTM から得られた応力とほぼ等しい結果となった。以上の結果より、一般に用いられている割裂引張試験法では、コンクリートの引張強度を過大評価している可能性があることが考えられる。



図－４　応力比較

４．まとめ

本研究では、セメントの水和発熱に起因する温度変化や熱膨張、乾燥収縮・自己収縮等の複合した挙動を室内でシミュレートできる装置「Thermal-Stress-Testing-Machine(TSTM)」を用いて実験を行い、温度応力によるひび割れ発生限界に関する検討を行った。その結果、使用した TSTM は想定した温度をほぼ制御することが可能であり、拘束度の変化に対しても定量的に評価することのできる可能性があることが確認できた。ただし、供試体内の温度差による温度応力を発生させないようにするためには、さらに改善していく必要がある。また、割裂引張強度試験法ではコンクリートの引張強度を過大評価する可能性があることが確認できた。今後は使用されるコンクリート材料・配合、建設される場所の環境条件による影響や同一条件での高い再現性の確立、簡易断熱試験など他の研究・試験と関連付けるなど、さらに検討を行う必要がある。

〈参考文献〉 1) K.SCHÖPPELM.PLANNERER･R.SPRINGENSCHMID：DETERMINATION OF RESTRAINT STRESSES AND OF MATERIAL PROPERTISE DURING HYDRATION OF CONCRETE WITH THE TEMPERATURE STRESS TESTING MACHINE、pp153-160、1994 2) 溝渕利明・横関康祐・信田佳延：一軸拘束試験装置を用いた温度ひび割れ試験方法に関する検討、コンクリートの品質評価試験方法に関するシンポジウム論文集、pp61-68、1998