

電力中央研究所 正員 ○ 鹿澤 茂巳
電力中央研究所 正員 中村 秀治
横河工事(株) 山下 裕久

1. まえがき

原子力発電所においては、事故時にコンクリート構造物の一部が 100°C を越える高温にさらされる場合がある。また、将来の新型炉においてはコンクリートが 200°C を越える超高温にさらされる可能性も考えられる。このため、コンクリートの高温特性を把握しておく必要がある。本報告は、その中でも高温下における伝熱現象、ならびにそれに伴う水行移動及びポアプレッシャーの発生に着目し、そのメカニズムとして、衝撃的に高温が作用した場合のコンクリートの伝熱現象、特に水行移動の影響が顕著となる 100°C 以上における現象に就いて、基礎的な実験を行ない、その特性を明らかにするとともに、伝熱解析手法の検討を行なった結果について考察した。

2. 実験概要

i) 供試体仕様・・・モルタル($W/C=0.4, S/S=0.5$)及びコンクリート($W/C=0.44, C=370\text{kg/m}^3$)を用い、図-1に示した直径 30cm 、高さ 60cm の円柱形供試体を実験に供した。また、供試体の状態は、湿潤ならびに乾燥の2種類である。ここで、湿潤状態とは水中養生直後、温度負荷を行なったものであり、乾燥状態とは 200°C で加熱し、数日後に重量減少が無視し得るほど小さくなった後、試験に供したものである。

ii) 温度負荷法・・・負荷温度は、 $60, 100, 200, 300^{\circ}\text{C}$ の4段階とし、表-1に示す16ケースの実験を行なった。所定の温度にコントロールした高温炉に供試体を投入し、供試体内温度が定常になるまで、一定の温度で加熱した。

iii) 測定方法・・・上下方向の熱流の影響が無視し得る中央部で、図-1に示す様に、半径方向の温度分布を、熱電対によって測定した。

3. 実験結果及び考察

図-2に供試体内の代表点温度の経時変化例(CASE-13)を示した。温度上昇の様相は各点で若干相違するに過ぎないが、この図からも認められるが、現象を定量的に把握できない。そこで、各点の温度変化を明らかにすべく、単位時間当りの上昇温度(昇温速度)を算出し、これにより考察を加える。

i) 負荷温度 100°C 以下の場合の熱伝導現象

図-3に負荷温度 100°C の場合のコンクリートの乾燥と湿潤供試体の比較を示した。両者の昇温速度には定性的に全く差異が認められない。若干乾燥供試体の方が、高い値を示しているのは、熱容量ならびに熱伝導率の差によるものと考えられる。また、負荷温度 60°C においても全く同様の結果が得られた。すなわち、このような 100°C 以下の伝熱現象は、水行状態にかかわらず、従来の熱伝導理論で説明し得る。

ii) 負荷温度 100°C 以上の場合の熱伝導現象

図-4及び図-5にそれぞれ負荷温度 200°C 、 300°C における乾燥及び湿潤状態の昇温速度の経時変化を示した。それぞれの負

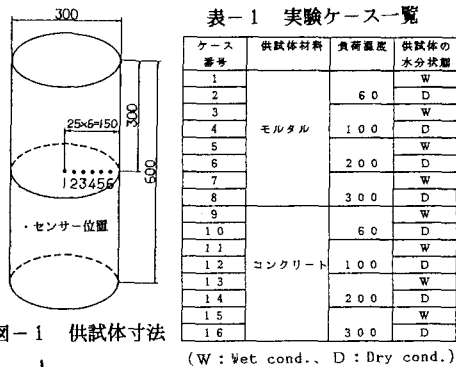


図-1 供試体寸法

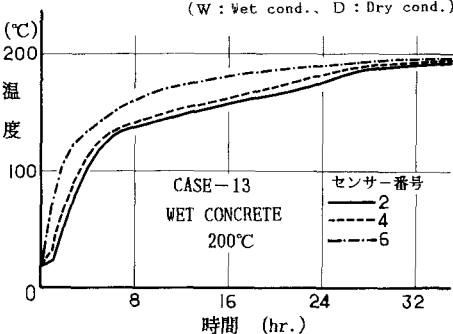


図-2 供試体内温度の経時変化

荷温度における乾燥状態の昇温速度は、その絶対値に差はあるものの、定性的には何う変るとはならない。

それに反し、湿潤状態では乾燥状態と比較し、2つの大きな相違点が認められる。1つは、負荷温度 200℃において明確に認められるように、初期(0〜7時間まで)とそれ以後の昇温速度の平均的な変化率の違いならびに昇温速度の収束時間の増大である。二つは水分の相変化(蒸発)現象の影響と考えられる。すなわち、相変化に伴い熱量の損失があるためである。さらにもう一つの湿潤状態での特異な現象は、温度負荷直後のピークのほかに、各測定点でもう一点(図中で矢印で示した)ピークがあらわれることである。この現象は、負荷温度が高いほど(300℃)、顕著である。

供試体の内部圧力勾配による熱流方向の水分移動の影響は、今回の実験のように平衡的に外部より加熱する場合とはほとんど無視し得る。水分移動現象としては、同心円状に周囲より中心へ進む乾燥面の移動及び水蒸気的外部への移動のみが卓越すると考えられる。すなわち、昇温速度のピークは、この乾燥面の通過時に発生すると考えられる。発生機構は、乾燥面到達時の相変化による熱量の損失、ポアプレッシャーの増加及び乾燥後の乾容量の減少等の相互作用を考慮することによって、説明し得るものと考えられる。図-6 にピーク到達時の温度と時間を示した。約 24 時間で中心までピークが到達しており、通過時の温度はおよそ 180℃であり、相変化と高い相関を有していることが認められた。

4. 解析の方針

100℃以下及び乾燥状態においては、従来の熱伝導理論を用い、精度の良い解析が可能であることが認められた。

負荷温度 100℃以上の湿潤状態では、熱伝導解析ならびに水分移動(圧力)解析を連立して考える。ただし、各解析ステップで両者は互に他方定数と見なし、交互に非定常有限要素解析を進める。水分移動問題においては、透気係数及び圧力-水分関係は BAZANT 等の研究を参考にして定めた。解析では、乾燥面の移動を追跡追跡して行き、その前後での熱特性(熱伝導率、乾容量)を変化させるとともに、その乾燥面での相変化による熱損失を考慮する。解析の結果は講義当日発表する。

本研究の案に当り御力を賜った、武蔵工業大学 西脇教授、増田助教に感謝いたします。

〈参考文献〉 BAZANT, Z.P., et al., "Pore pressure and drying of concrete at high temperature,"

Proceeding of ASCE, Vol. 104, No. EM5, October 1978, PP. 1059-1079

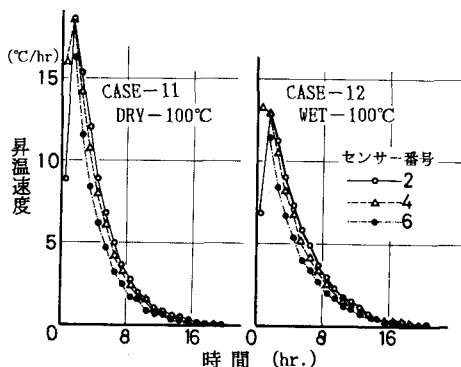


図-3 乾燥及び湿潤状態における昇温速度比較

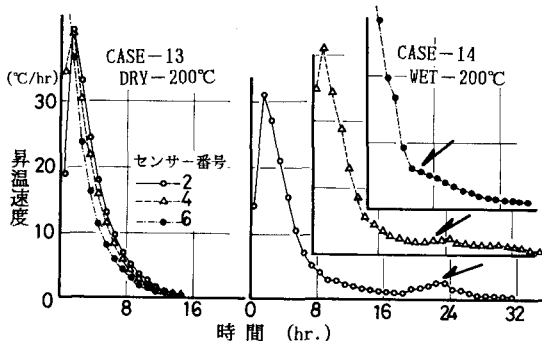


図-4 乾燥及び湿潤状態における昇温速度比較

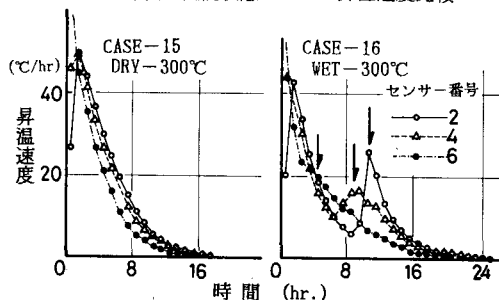


図-5 乾燥及び湿潤状態における昇温速度比較

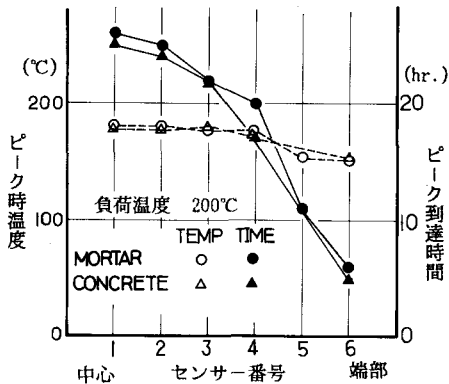


図-6 ピーク到達時の温度及び時間