

防衛大学校 学生会員 ○ 渡部 孝 則
正 会 員 南 和 孝
正 会 員 加 藤 清 志

1. はじめに 高温条件下におけるコンクリートの力学的性質（強度・弾性係数など）に影響を及ぼす要因は、履歴温度が200℃以下の場合には、コンクリート中の遊離水およびゲル水の脱水とコンクリートの構成素材、すなわちモルタルと粗骨材との熱膨張量の相違に伴う自己応力の発生が引き起こす微小ひびわれの形成である。一方、履歴温度が200℃を越える場合には、履歴温度が200℃以下における場合の要因に加え、コンクリート内の水和生成物中の化学的結合水の脱水と脱水に伴う水和生成物の化学的分解が主な要因となる。したがって、履歴温度が200℃を越えるような温度条件では、複合時に生成された水和物の種類がコンクリートの力学的性質に影響を与えることになり、コンクリートに使用したセメントの種類も影響する。また、加熱・冷却の繰返しを受けるコンクリートでは、初期の加熱によって上述のような性質の変化を生じるが、その後の温度履歴過程では、これらの現象の進行を促進するとともに、熱応力の発生によるコンクリートの劣化を引き起こす。そこで本研究では、高温条件下のコンクリートの力学特性（圧縮強度および弾性係数）に及ぼす最大履歴温度、加熱・冷却繰返し数およびセメント種類の影響について検討した。

2. 実験概要

2.1 使用材料 本実験では普通ポルトランドセメント、早強ポルトランドセメント、アルミナセメントおよび中庸熱ポルトランドセメントの4種のセメントを用い、配合は W/C=50%, s/a=60%, スランプ8cm, 空気量2%とした。供試体は、 $\phi 10 \times 20$ cmの円柱供試体であり、養生は20℃で2週水中養生した後、気温20℃、湿度50%で1週空中養生した。

2.2 加熱および载荷方法 高温槽内で供試体を毎時50℃の速度で加熱および冷却をし、最大到達温度200℃、400℃、600℃で加熱・冷却の繰返し数を1回、5回、および10回とした。供試体は室温まで冷却し、安定した温度になった時点で圧縮試験を行い、供試体にはコンプレッションメーターを取り付け、ひずみを測定し弾性係数を求めた。普通、早強、アルミナセメントについては、セメントペーストの供試体を製造し、それぞれ200℃および600℃の温度履歴を与え、その後に供試体を粉末状にしX線回折試験を行った。

3. 結果および考察 図-1, 2はそれぞれ加熱・冷却繰返し数が1回の場合の圧縮強度残存率（所定の試験条件を与えた供試体の圧縮強度を室温における圧縮強度で除した値）および弾性係数残存率（所定の試験条件を与えた供試体の弾性係数を室温における弾性係数で除した値）と最大履歴温度との関係を示している。図より最大履歴温度の増加に伴って圧縮強度および弾性係数は線形的に低下することがわかる。このことより加熱・冷却繰返し数が1回の場合には、加熱および冷却に伴うコンクリート内部の水分の脱水や微視的温度応力による微小ひびわれの形成等のコンクリートの内部構造変化が強度及び弾性係数の低下に及ぼす影響は、最大履歴温度に比例して増加するものと考えられる。

図-3は、最大履歴温度とモルタルの重量減少率との関係を示している。図よりどのセメントを使用した場合でも常温から600℃まで線形的に重量減少が行われていることがわかる。200℃までにモルタル内部の毛管水のほとんどが脱水されるので、200℃以上での重量減少は400℃付近でのカルシウムシリケート水和

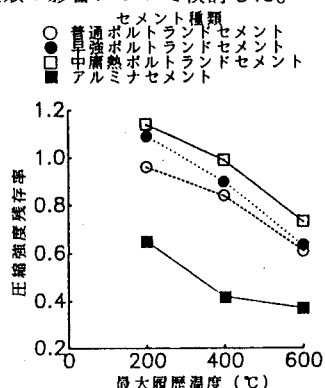


図-1 最大履歴温度と圧縮強度残存率の関係

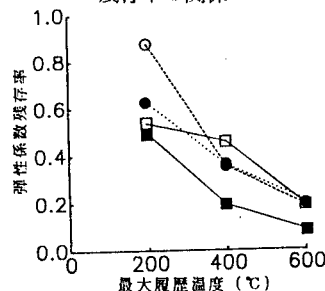


図-2 最大履歴温度と弾性係数残存率の関係

成生物の保有水分の脱水や、600℃付近での水酸化カルシウムの分解脱水によるものであると推定される。

図-4、5はそれぞれ最大履歴温度が400℃の場合の圧縮強度および弾性係数残存率と加熱・冷却繰返し数との関係を示している。アルミナセメントを除く他のセメントの場合には加熱・冷却繰返し数が1回から5回にかけて圧縮強度および弾性係数の低下が著しく5回から10回にかけてはほとんど低下はみられない。これは、加熱・冷却の繰返し数が5回までの間にコンクリート内部の水分や化学的結合水の脱水、微視的温度応力による微小ひびわれの形成の進行がほとんど完了しそれ以降はあまり進行しないものと考えられる。工事用アルミナセメントの場合には、加熱・冷却の繰返し数が1回で圧縮強度および弾性係数は著しく低下する。このことより、アルミナセメントの場合、他のセメントの場合と異なり、転位現象(セメント硬化体中の脱水分解反応による体積収縮)が圧縮強度および弾性係数の低下の要因であると考えられる。

図-6～9に最大履歴温度200℃および600℃の場合の普通ポルトランドセメントおよび、アルミナセメントのX線回折結果を示す。図-6では普通ポルトランドセメントは、200℃の場合水酸化カルシウムが比較的多いことがわかる。それに対して、図-7では600℃の場合には、水酸化カルシウムの量が減少していることがわかる。これは、前述した高温による加熱によって水酸化カルシウムの脱水分解が行われたためと思われる。このことは、図-8の早強ポルトランドセメントを用いた場合のX線回折結果からも同様のことがいえる。一方、図-9ではアルミナセメントの場合には200℃において転移現象が生じ安定な C_3AH_6 が生成されていることがわかる。最大履歴温度が200℃の場合にアルミナセメントが著しい強度低下を示すのは、この転移による C_3AH_6 の生成が結晶粒子の体積収縮を起こし結晶粒子間の空隙を増加させるためであると考えられる。

4. まとめ 一般的に最大履歴温度が400℃以上の場合には、コンクリート内部の化学的結合水の脱水や水酸化カルシウムの分解により圧縮強度および弾性係数は低下する。工事用アルミナセメントの場合には200℃付近で起こる転位現象により圧縮強度および弾性係数が低下する。このことは、X線回折の試験結果からも明かとなった。

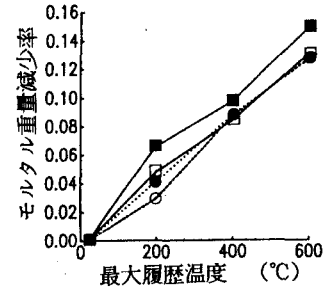


図-3 最大履歴温度とモルタルの重量変化率の関係

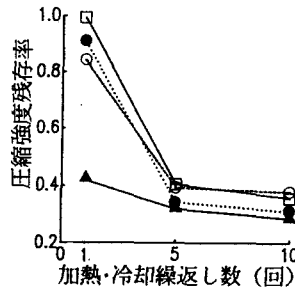


図-4 加熱・冷却繰返し数と圧縮強度残存率の関係

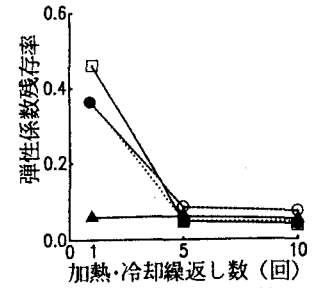


図-5 加熱・冷却繰返し数と弾性係数残存率の関係

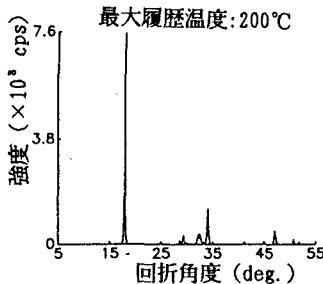


図-6 X線回折試験結果 (普通ポルトランドセメント)

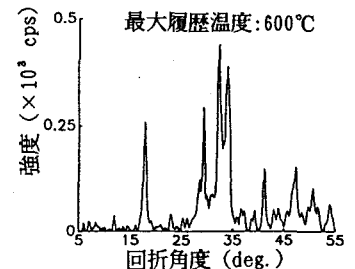


図-7 X線回折試験結果 (普通ポルトランドセメント)

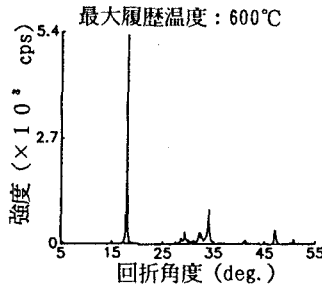


図-8 X線回折試験結果 (早強ポルトランドセメント)

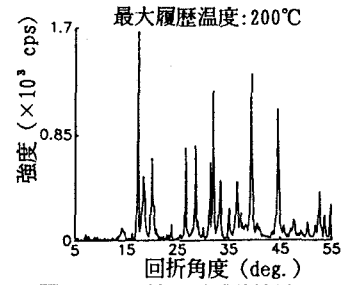


図-9 X線回折試験結果 (アルミナセメント)