

V-65

微視的溫度応力によるコンクリートのマイクロクラックとその影響

防衛大学校 正会員 南 和孝
 広島大学 正会員 田澤 栄一
 広島県庁 中本 勝

1. まえがき コンクリートが高温の影響を受けた場合、コンクリート内部のモルタルと粗骨材との界面では、両者の熱膨張率の相違によって、微視的溫度応力が発生する。したがって、微視的溫度応力が大きい場合には、骨材界面あるいはその近傍で微小ひびわれが発生する。さらに、微小ひびわれの伸展、伝播および増加によって、コンクリートの強度および弾性の低下を生じさせる場合がある。本研究では高温の影響を受けたコンクリートの強度および弾性の低下とA E法による微小ひびわれ発生分析結果との関係について検討し、さらに、粗骨材界面における微小ひびわれ発生機構に関して、モデルコンクリートによる実験および解析を行なった。

2. 実験概要

2. 1 高温環境下のコンクリートの性質 コンクリートの圧縮強度、弾性係数およびポアソン比を高温（200℃）、高温履歴を受けた場合および常温の場合について測定した。また、常温および高温履歴を受けた場合のコンクリートの圧縮荷重過程における微小ひびわれ発生に関して、A E法を用いてA Eカウンターの測定を行なった。

2. 2 高温下におけるモデルコンクリートの実験 図-1に示すような100×100×50mmの角柱モルタルの中央に直径25および45mmの石灰岩のコアを埋め込み、図のように高温ゲージを貼付し、高温槽内で最高温度200℃の高温履歴を与え、温度上昇および降下過程におけるモデルコンクリートの界面変位量の変化を測定した。

3. 高温の影響を受けたコンクリートの性質 表-1は高温および高温履歴を受けた場合の圧縮強度と常温時の圧縮強度との比を示したものである。全般的に常温時の圧縮強度に比較すると、高温および高温履歴を受けた場合の圧縮強度はかなり小さいことがわかる。また、使用粗骨材および細骨材の相違によって大きな差が見られる。これは使用骨材によるモルタルおよび粗骨材の熱膨張率差によって、内部に発生する微視的溫度応力の大きさが相違し、内部欠陥の形成が異なることに起因する。モルタルと粗骨材との界面に生じる微視的溫度応力をJ. Selsingの式より算出したものが表-2である。表に示す応力値は相当に大きく、この応力によって界面付近では微小ひびわれが形成されると考えられる。また、表-3は弾性係数の変化について、表-1と同様に示したものである。弾性係数に関しても、高温および高温履歴を受けた場合、常温に比較するとその低下は著しいことがわかる。特に、高温履歴を受けた場合には常温時の1/2程度になっているものもある。これは温度上昇および降下過程で微視的溫度応力が発生し、骨材界面に微視的欠陥を形成することによるものと考えられる。また、モルタルと粗骨材との熱膨張率差の大きいコンクリートでは、発生する微視的溫度応力も大きいいため内部欠陥の発生数および寸法とも大きくなり、弾性係数の低下が引き起こされるものと考えられる。

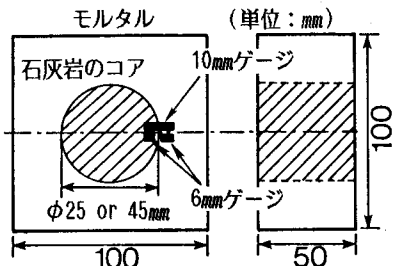


図-1 モデルコンクリートの形状

表-1 高温による圧縮強度の変化

粗骨材（岩種）	細骨材（岩種）	高温	高温履歴
ホルンフェルス	ホルンフェルス	0.90	0.85
	風化花崗岩	0.92	0.86
	石灰岩	0.96	0.88
石灰岩	ホルンフェルス	0.82	0.75
	風化花崗岩	0.83	0.76
	石灰岩	0.90	0.82

表-2 微視的溫度応力

粗骨材（岩種）	細骨材（岩種）	応力
ホルンフェルス	ホルンフェルス	159
	風化花崗岩	154
	石灰岩	47
石灰岩	ホルンフェルス	294
	風化花崗岩	291
	石灰岩	181

(単位: Kg/cm²)

表-3 高温による弾性係数の変化

粗骨材（岩種）	細骨材（岩種）	高温	高温履歴
ホルンフェルス	ホルンフェルス	0.92	0.68
	風化花崗岩	0.86	0.67
	石灰岩	0.93	0.69
石灰岩	ホルンフェルス	0.69	0.40
	風化花崗岩	0.74	0.46
	石灰岩	0.80	0.48

4. 微視的欠陥の形成状況 高温の影響を受けたコンクリートの強度および弾性の低下は内部欠陥の発生によることから、AE法を用いてその発生状況を測定した。図-2は高温履歴を受けた場合および常温時のコンクリートに関して、応力比とAEカウントおよび体積ひずみとの関係を示したものである。常温の場合にはAEカウントは応力比約 0.9から増加し始めるのに対して、高温履歴を受けた場合には応力比約 0.7付近から急増し、その値も非常に大きいことが認められる。すなわち、高温履歴を受けたコンクリートでは载荷以前に微小ひびわれの形成が行なわれているために、それを始点とするひびわれの伸展が急速であるか、あるいは、新たなひびわれの形成が行なわれているものと考えられる。また、体積ひずみ曲線に関して、常温の場合、臨界応力比は約 0.9であるのに対して、高温履歴を受けた場合、臨界応力比は約 0.7となっている。これらの体積ひずみ曲線の変曲点はAEカウント曲線の変曲点と一致しており、微小ひびわれの形成および伝播に伴うコンクリートの内部構造の変化が推察できる。特に、高温履歴を受けたコンクリートではAEカウント数の急増および臨界応力の低下から推測されるように、高温履歴の影響によりコンクリートの内部構造は著しく変化する。

5. モデルコンクリートの実験および解析結果 高温の影響による微小ひびわれ発生に関して、モデルコンクリート実験を行なった。図-3は各温度におけるモルタルと骨材との界面の変位を示している。なお、解析値はモルタルと骨材との熱膨張率の相違によって生じる半径方向の引張応力がモルタルと骨材との間の付着強度に到達した際に変位が生じ、その後自由膨張をするという仮定の下で計算したものである。実験値と解析値はよく一致しており、解析における仮定が妥当であることが確かめられる。しかしながら、界面変位発生温度は異なっている。これは実際のモルタルと骨材との間の付着強度が小さいことを意味する。温度の上昇に伴い界面変位は増加し、約 140℃で最大となり、その後しだいに減少する。これは、モルタル部分が内部の毛細管水およびゲル水の消失によって収縮することによる。このような温度上昇および降下過程における応力状態の解析結果を図-4に示す。温度上昇時には半径方向応力は引張となり、モルタルと骨材間の付着強度に到達するまで増加する。一方、温度降下時にはモルタルの収縮量の方が大きいので骨材は圧縮され半径方向に圧縮応力が生じる。また、接線方向には引張応力が生じ、界面周囲に発生した亀裂は半径方向に伸展、あるいは伝播する可能性がある。以上のことより、高温の影響を受けたコンクリートでは、温度上昇時に半径方向引張力によって界面に亀裂が発生し、さらに、温度降下時には接線方向引張力によって界面の亀裂の伸展、あるいは伝播が生じ、強度および弾性の低下が引き起こされるものと考えられる。

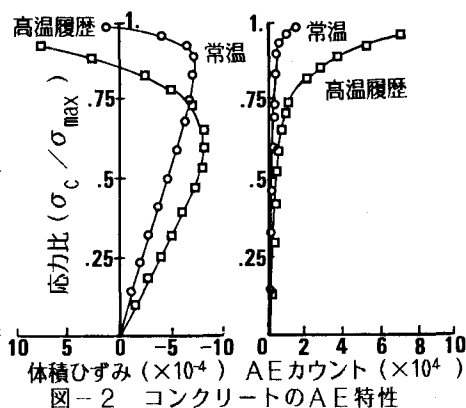


図-2 コンクリートのAE特性

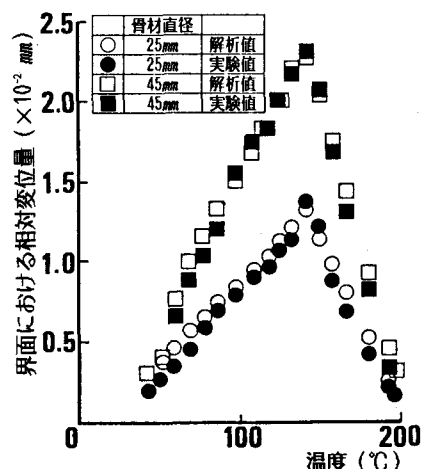


図-3 モデルコンクリートの界面変位

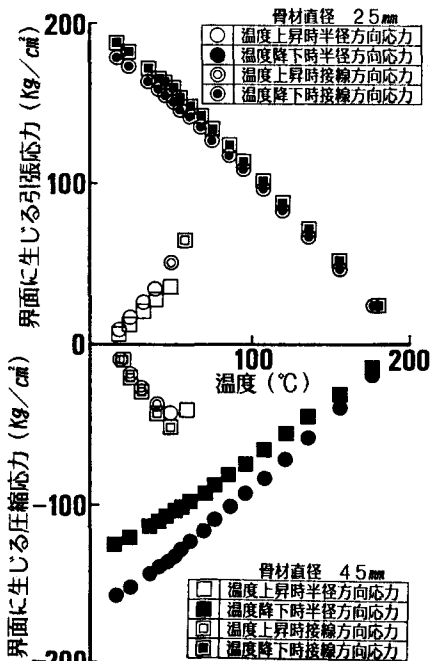


図-4 解析による界面の応力状態