日本建築学会大会学術講演梗概集
（近畿） 2014 年 9 月

高温加熱を受ける超高強度コンクリートの爆裂破壊特性に及ぼす弾性係数と水蒸気圧力の関係

正会員 崔 景喆[*1] 同 金 圭庸[*2]
同 尹 敏浩[*1] 同 李 永昱[*3]
同 南 正樹[*4] 同 李 晙[*3]
同 金 弘燮[*1] 同 金 武漢[*2]

高温加熱 超高強度コンクリート 爆裂破壊
弾性係数 水蒸気圧力 応力-ひずみ

1. はじめに

高温加熱を受けたコンクリートは内部組織が物理・化学的に変わって耐力が低下する問題があるため，コンクリートを使用した構造物の構造安全性を確保するために，コンクリートの高温力学的特性を理解することが重要である。そこで，Eurocode などの基準では高温加熱を受けるコンクリートの力学特性に関する研究結果によって，耐力低下モデルを提示している。

しかし，高強度コンクリートの場合は内部構造が緻密であり高温環境においては，内部の膨張圧が大きく増加して加熱中に爆裂破壊が起きるため，Eurocode から提示した耐力低下モデルと異なる傾向に対する研究報告がある。本研究では，高温加熱を受ける超高強度コンクリートについて，弾性係数と水蒸気圧力の関係が爆裂破壊特性に及ぼす影響を検討した。

2. 実験概要

2.1 実験計画

表-1 に実験計画を示す。超高強度コンクリートの爆裂破壊特性に及ぼす弾性係数と水蒸気圧力の関係を把握するために，コンクリートの設計圧縮強度は 30，50，80，130，180 の 5 水準とした。なお，コンクリート試験体の加熱は表面部と中心部の温度差を考慮して，1℃/min．の速度で 100，200，300，500，700℃まで加熱した後，目標温度ごど応力-ひずみと弾性係数を評価した。また，700℃まで加熱する時のコンクリートの内部水蒸気圧力を測定した。また，使用材料の物性及びコンクリートの調合は**表-2** 及び**表-3** に示す。超高強度コンクリートの場合は圧縮強度を高めるために高炉スラグ，シリカフューム，無水石膏を用いた。

2.2 実験方法

図-1 及び**図-2** に試験体の加熱方法と水蒸気圧力の評価方法を示した。試験体の加熱は，加熱装置の温度コントローラによって設定目標温度まで行った。加熱方法において常温(20℃)~50℃の区間と加熱目標温度ごとの目標値の 50℃前の区間では，0.77℃/min．の加熱速度と設定し，表面部と中心部の温度差を 5℃以下とした。加熱中のコンクリートの水蒸気圧力は試験体の中央部に圧力測定用金属管を埋め立てて，外部に排出される水蒸気圧力をセンサを用いて測定した。また，コンクリートの弾性係数は応力-ひずみ曲線から原点と圧縮強度の 40%の応力点を結ぶセカント弾性係数を使用した。

表－1 実験計画

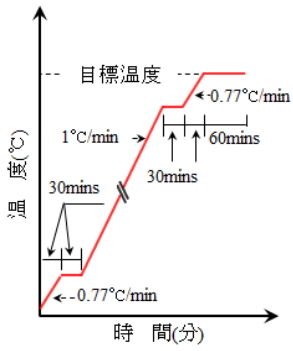
f_{ck}(MPa)	加熱温度(℃)	加熱速度	評 価 項 目
30，50，80，130，180	100，200，300，500，700	1℃/min.	・応力-ひずみ ・弾性係数(GPa) ・水蒸気圧力(kPa)

表－2 使用材料の物理的性質

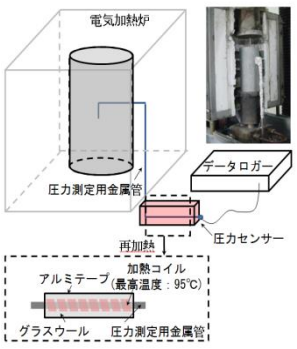
使用材料	物 理 的 性 質
セメント(C)	普通ポルトランドセメント 密度：3.15g/cm^3，比表面積：3,200cm^2/g
高炉スラグ(BSF)	密度：2.97g/cm^3，比表面積：6,000cm^2/g
シリカフューム（SF）	密度：2.57g/cm^3，比表面積：200,000cm^2/g
フライアッシュ(FA)	密度：2.20g/cm^3，比表面積：3,000cm^2/g
無水石膏(Gy)	密度：2.90g/cm^3，比表面積：3,550cm^2/g
粗骨材(G)	花崗岩砕石，最大寸法：13mm， 密 度:2.7g/cm^3，吸水率：0.9%
細骨材(S)	海砂，密度：2.65g/cm^3，吸水率：1.0%

表－3 コンクリートの調合

F_{ck} (MPa)	W/B (%)	Slump Flow (mm)	Air (%)	S/a (%)	Unit weight (kg/m^3)							
					W	C	BFS	FA	SF	Gy	S	G
30	55.0	180±25 (Slump)	4±2	45.0	175	318	0	0	0	0	781	996
50	42.0			45.0	170	405	0	0	0	0	956	964
80	20.0	750±100	2±1	43.0	150	525	0	150	75	0	644	870
130	14.5			35.0	150	652	207	0	124	52	448	848
180	12.5			35.0	150	660	240	0	240	60	389	736



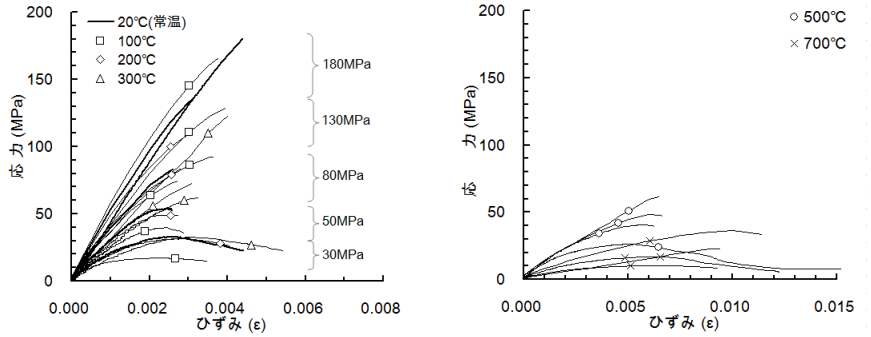
図－1 加熱方法



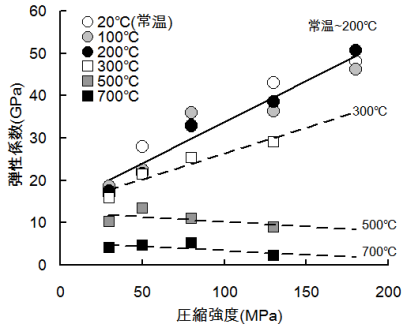
図－2 水蒸気圧力評価方法

Relationship of Water Vapor Pressure and Elastic Modulus on the Spalling Property of Ultra-High-Strength Concrete subjected to High-temperature

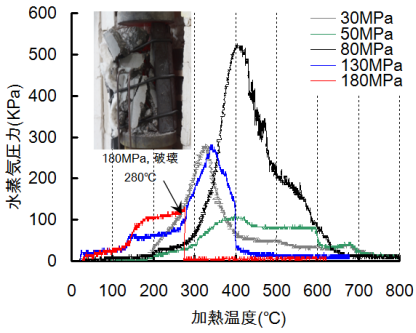
Choe Gyoeng-cheol, KIM Gyu-yong, Yoon Min-ho
Lee Young-wook, Nam Jeong-soo, Lee Jun
Kim Hong-seop, KIM Moo-han



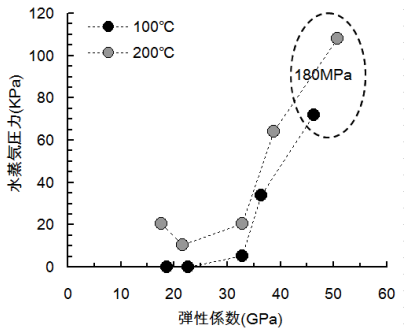
図－3 応力-ひずみ関係



図－4 弾性係数



図－5 水蒸気圧力



図－6 弾性係数と水蒸気圧力

3. 実験結果及び考察

3.1 高温加熱によるコンクリートの応力-ひずみ関係

図-3 に高温加熱によるコンクリートの応力-ひずみ関係を示す。加熱温度 300℃以下では，コンクリートの圧縮強度が大きいほど応力-ひずみ曲線の傾きが大きくなり，常温と類似な傾向が見られた。また，圧縮強度 50MPa 以上のコンクリート試験体は最高応力で脆性的に破壊した。しかし，加熱温度 500℃以上では応力-ひずみ曲線の傾きが大幅に低下し，圧縮強度に関わらず最高応力後もひずみが増加した。**図-4** に応力-ひずみ関係から導出したコンクリートの弾性係数を示す。常温から加熱温度 300℃までは圧縮強度が大きいほど弾性係数が大きくなり，特に 200℃以下の温度範囲では，常温の弾性係数とほぼ同等の水準と評価された。

一方，本研究の範囲では，180MPa のコンクリートが加熱温度 280℃で破壊し，加熱温度 300℃以上での応力-ひずみ関係及び弾性係数について評価はできなかった。

3.2 高温加熱によるコンクリートの水蒸気圧力

図-5 に加熱温度によるコンクリートの水蒸気圧力を示す。80MPa 以下のコンクリートは加熱温度約 200℃から水蒸気圧力の増加が見られ，130MPa 以上のコンクリートの場合は，加熱温度 100℃から水蒸気圧力が増加することが分かった。また，180MPa のコンクリート試験体の場合は 120KPa の相対的に低い蒸気圧力で破壊した。これから，本研究の範囲ではコンクリートの圧縮強度と最高水蒸気圧力の相関性は少ないと考えられる。従って，加熱初期の水蒸気圧力がコンクリートの爆裂破壊特性に及ぼす影響が大きいと思われる。

3.3 弾性係数と水蒸気圧力

図-6 に加熱温度 100℃，200℃について弾性係数と水蒸気圧力の関係を示す。コンクリートの弾性係数が大きいほど水蒸気圧力が大きくなる傾向が見られた。特に，加熱温度 280℃で破壊された圧縮強度 180MPa のコンクリートは，加熱温度 200℃以下の範囲では弾性係数と水蒸気圧力が比較的に大きいため，圧縮強度 130MPa 以下のコンクリートと異なる爆裂破壊特性が認められた。

4. まとめ

本実験結果をまとめると次の通りである。

1）200℃以下の温度範囲では加熱によるコンクリートの水蒸気圧力が高強度になるほど大きいことが明確であったが，その以上の温度になると超高強度コンクリートは急激に破壊する傾向が認められた。

2）高強度コンクリートは普通コンクリートより加熱による耐力が大きく低下し，超高強度コンクリートの場合は，300℃以下の加熱温度でも破壊する現象が見られた。

謝辞

本論文は教育科学技術部と韓国研究財団の地域革新人力養成事業(2012H1B8A2025606)の支援を受けて遂行された研究である。

参考文献

1) Code provisions for high strength concrete strength-temperature relationship at elevated temperatures, Materials and Structures, Vol.36, March, 2003, p.91~98

*1 大韓民国 忠南大学校 建築工学科 博士課程
*2 大韓民国 忠南大学校 建築学部 教授・工博
*3 大韓民国 忠南大学校 建築工学科 修士課程
*4 東京工業大学 建築物理研究センター 研究員・工博

*1 Doctor's Course, Dept. of Archi. Eng., Chungnam National Univ., Korea
*2 Prof., Dept. of Architectural Eng., Chungnam National Univ., Korea
*3 Mstaer's Course, Dept. of Archi. Eng., Chungnam National Univ., Korea
*4 Researcher, Tokyo Institute of Technology