

コンクリートの爆裂現象に関する実験的研究

岐阜大学大学院工学研究科 学生会員 ○川上 寛正 齊藤 卓真

岐阜大学工学部 正会員 小澤 満津雄 森本 博昭

1. まえがき

コンクリートは火災による高温加熱を受けた場合、急激な応力の発生に伴いコンクリート表面が爆発的に剥離するいわゆる爆裂現象を起す。爆裂は、火災時の加熱による部材の温度の急上昇に伴うコンクリート内水分の蒸気圧応力の増大、および熱応力に起因し、これらの応力の複合作用により爆裂が発生するものと考えられている。

しかし、熱応力と蒸気圧応力による爆裂メカニズムについては確たる結論が得られていないのが現状である。特に蒸気圧の爆裂に対する影響は十分に明らかにされていない。そこで、本研究では、コンクリートの爆裂現象のメカニズムを解明するための基礎的資料を得る目的で、高強度コンクリートを対象とした耐火試験を実施し、加熱供試体中に生じる温度と蒸気圧の計測を試みた。そして、これらの計測値と供試体に生じるひび割れ、ならびに爆裂の発生との関連について考察を行った。

2. 実験概要

2.1 使用供試体

実験供試体は、 $400 \times 400 \times 100$ [mm] のスラブとし、W/C = 30% の高強度コンクリートを用いた。セメントは、早強ポルトランドセメントを用い 2 体作成した（以降、供試体 1、供試体 2 と呼ぶ）。

2.2 実験方法

図-1 に示すように供試体中に蒸気圧計測用の配管用炭素鋼管（外径 3mm、内径 2mm、長さ 100mm・200mm）を加熱面に対して縦と横から挿入し埋没した。鋼管内にはオイルを充填した。供試体中の鋼管先端部は蒸気圧測定位置の加熱面（下底面）から 5mm にセットした。蒸気圧は鋼管他端に取り付けた圧力計により計測した。温度は温度センサー（熱電対）により計測した。温度計測位置は加熱面（下底面）より 5mm（供試体長さ方向中央）、10mm、50mm の 3 箇所とした。供試体の加熱は電気炉を用い、図-1 に示すようにセットした。加熱速度は $1200^{\circ}\text{C}/\text{h}$ とし、下底面 $300 \times 300\text{mm}$ の範囲を加熱面とした。

3. 実験結果

供試体 1 の蒸気圧および温度の実測値をそれぞれ図-2、3 に示す。さらに、供試体 2 の蒸気圧、温度の実測値をそれぞれ図-4、5 に示す。なお、蒸気圧については鋼管を縦に挿入した方では各供試体で蒸気圧をほとんど計測する事ができなかった。そこで、本研究では横から挿入した鋼管による蒸気圧の実測値のみに着目して考察を行なう。

図-2、3 より、供試体 1 において加熱開始後 22 分から 36

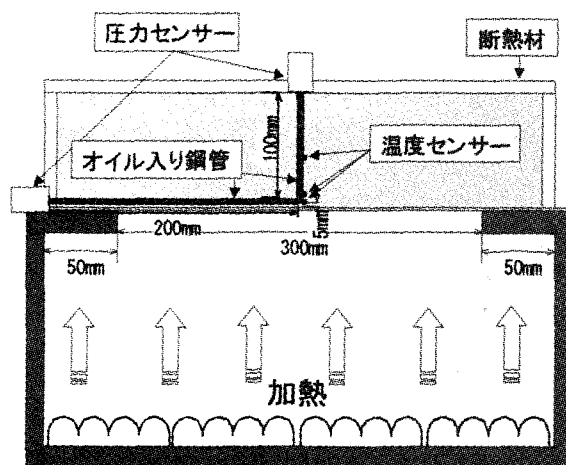


図-1 供試体ならびに実験装置

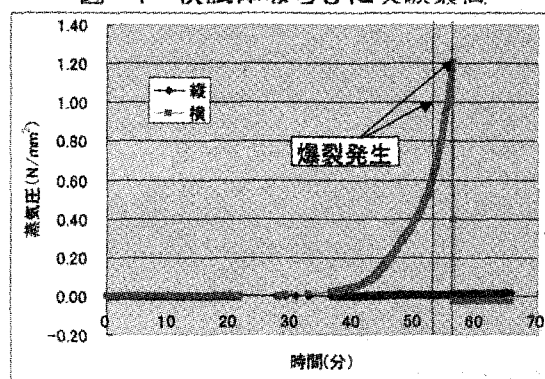


図-2 供試体 1 蒸気圧計測

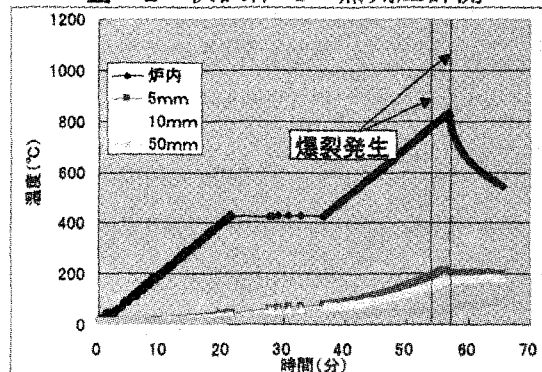


図-3 供試体 1 温度計測値

分まで計測器のトラブルにより温度を一旦一定に保持した。
加熱開始から 53 分（炉内 755℃，蒸気圧 0.62N/mm²）で最初の爆裂発生した。そして，同 56 分（炉内 822℃，蒸気圧 1.20 N/mm²）で爆裂発生後，蒸気圧が一気に 0 N/mm² 付近まで減少した。実験後，加熱面を観察したところ最大爆裂深さは 5mm 程度で鋼管先端は露出していた。

図-4, 5 より，供試体 2 において加熱開始から 24 分，鋼管内で負圧（最大 -0.02 N/mm²）が発生した。その後，同 36 分（炉内 740℃，蒸気圧 0.12N/mm²），同 39 分（炉内 776℃，蒸気圧 0.23N/mm²），同 42 分（炉内 845℃，蒸気圧 0.35N/mm²），同 44 分（炉内 872℃，蒸気圧 0.47N/mm²），同 45 分（炉内 876℃，蒸気圧 0.47N/mm²），同 47 分（炉内 927℃，蒸気圧 0.49N/mm²）で爆裂が断続的に発生した。また，爆裂発生の初期の段階から供試体の側面において底面（加熱面）から少し離れた位置から上面に伸びる微細なひび割れが観察された。その後も，蒸気圧は増加し続けたが，供試体側面のひび割れから大量の蒸気が発生しだした時点で実験を終了した。実験後，加熱面を観察したところ最大爆裂深さは 10mm 程度で鋼管先端は露出していなかった。

4. 考察

(1) 供試体 1 の実験結果について

- ① 鋼管先端が爆裂による剥離の界面であったことから，蒸気圧は爆裂発生の瞬間までその推移をしっかりと捉えられていたと考えられる。このことを考慮すると，爆裂の直前から蒸気圧が急増し，ある限界値に達した段階で爆裂が発生すると考えることができる。この限界値は，温度（熱応力）および強度によりある程度変化するものと推察される。供試体 1 での最大蒸気圧ならびに温度は，それぞれ 1.20 N/mm² および 210℃であった。

(2) 供試体 2 の実験結果について

- ① 負圧が発生した理由として，鋼管先端のコンクリートにひび割れが入ったため一時的に発生したものと考えられる。その後，そこに蒸気が溜まっていくことで再び正圧に戻ったと考えられる。
- ② 鋼管先端付近のコンクリートは爆裂せずに，鋼管先端付近以外で爆裂が発生していた。鋼管先端付近のコンクリートの温度は 210℃に達していたが，近傍の爆裂ひび割れにより蒸気圧の増加が鈍り蒸気圧が 1.20 N/mm² 程度に達しなかったために鋼管先端付近では爆裂が発生しなかったと考えられる。
- ③ 温度は急激に上昇しても周辺の状態により蒸気圧は変化してしまうため，単純に温度から蒸気圧を推測することはできないと考えられる。
- ④ 加熱終了後，余熱の影響でコンクリート内部の温度は更に上昇し続けているが蒸気圧は減少していくため爆裂は発生していない。すなわち，このことは熱応力だけでは爆裂は起きにくいということを示唆しているものと考えられる。

5. あとがき

本研究ではコンクリートの爆裂発生メカニズムについて，温度，蒸気圧の計測および爆裂現象の観察をもとに考察を行った。その結果，コンクリート部材の力学的境界条件ならびにコンクリート強度に密接に関連する温度と蒸気圧との組み合わせ（本研究では 210℃，1.20 N/mm²）に達した部分から爆裂が起きるものと推察される。

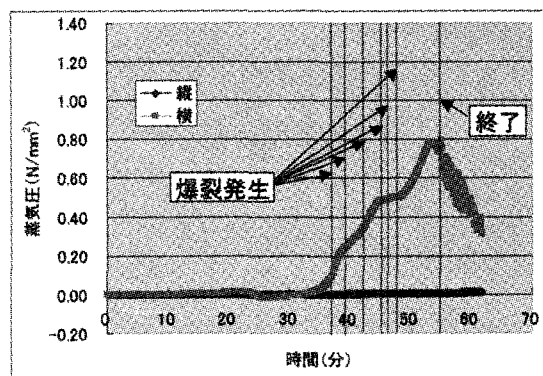


図-4 供試体 2 蒸気圧計測値

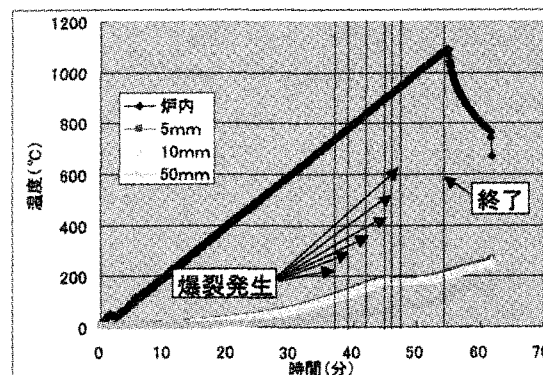


図-5 供試体 2 温度計測値