福島工業高等専門学校	正 会 員	〇林	久資
福島工業高等専門学校	フェロー	緑川	猛彦
大阪工業大学工学部	正会員	大山	理

1. はじめに

福島第一原子力発電所において,溶融した原子炉燃料は圧力容器 を通過しているとの報告もあり¹⁾,場合によっては高温の原子炉燃 料が格納容器下部のコンクリートを主とする建設材料に到達してい る可能性がある.建設材料におよぶ熱影響については,火災に関す る研究²⁾で多く取り扱われているが,本研究で対象とする溶融した 原子炉燃料は,火災よりも高温かつ長期間にわたって建設材料に熱 荷重が作用する可能性があるため,本研究では,建設材料であるコ ンクリートの熱伝導解析および,加熱実験を行った.

2. 熱伝導解析によるコンクリートに生じる熱履歴の把握

原子力発電所建屋下部領域のコンクリートを想定した熱伝導解析 には、有限差分解析コード DIANA を用いた.解析領域は、原子力 発電所建屋下部領域³⁾(図-1)を想定し、幅15m,深さ7.3mの2次 元断面とし、要素数 10950 個となるように均等にメッシュを設定し た.コンクリートの熱物性は単位体積重量 2300kg/m³,比熱 1000J/kgK, 熱伝導率 1.6W/mK の一定値とし、熱物性値の熱依存性は考慮してい ない.これは、火災⁴⁾よりもコンクリート材料が高温(1200℃以上) になったときの熱物性値を示した指標が見当たらないため、本研究 では一定値として取り扱った.建屋下部領域コンクリートは、初期 温度 20℃とし、モデル上面の接点に 1000℃または、3000℃の温度荷 重を幅 5m または 10m にわたって設定した.受熱期間は、7 日間(60 秒×10080step)とした.また本解析では、コンクリートのひび割れ等 の力学的要素は考慮せず、熱伝導解析のみの検討とした.

ここからは、熱解析結果を示す.まず、コンクリート表面に 3000℃ の原子炉燃料が幅 5m にわたって流出したと仮定したときのコンク リートに生じる熱影響を示した図-2 に着目すると、原子炉燃料が流 出してから 7 日後には、床面から 1.0m 地点で 841℃, 1.5m 地点で 323℃, 2.0m 地点で 106℃の温度がみられた.これより、3000℃の高 温の原子炉燃料が流出しても、床面から 2.0m 程度離れると、原子炉 燃料からの熱影響は大きく減衰することがわかる.これは、コンク リートの熱伝導率が鋼材などに比べ比較的低いためであると考える が、コンクリートの力学的要素を考慮した解析を実施すると、本結 果より高い温度となる可能性が高い.



図-1 発電所模式図(解析対象領域)







次に、1000℃の原子炉燃料が幅 5m にわたって7日間流出したとき

キーワード 廃止措置,廃炉,熱伝導,原子力発電所

連絡先 〒970-8034 福島県いわき市平上荒川字長尾 30 福島工業高等専門学校建設環境工学科 TEL 0246-46-0821

の,着目断面の違いによる熱影響を示した図
-3 に着目したところ,原子炉燃料直下の断面
a)の床面から 1.0m 地点では 290℃となった.
一方で,原子炉燃料端部における断面に着目
すると(断面 b)),床面から 1.0m 地点では
192℃の結果が,原子炉燃料端部より側方に
2.5m 離れた断面 c)では,床面や床面から 1.0m
地点で 21℃の温度が得られた.これより,原
子炉燃料の端部より 2.5m 程度離れると、コン
クリートには原子炉燃料からの熱影響はほぼ





35

30

生じないことが分かり,原子炉燃料流出範囲の下部領域における建設 材料の力学的健全性を把握することが重要であると考える.しかしな がら,本研究で実施した解析は,鉄筋などの材料,熱によるコンクリ ート強度の低下に関する影響,原子炉燃料からの放射熱などを考慮し ていないため,これらを考慮した検討を今後実施する予定である.

3. 加熱実験でのコンクリート強度および弾性係数の把握

原子炉燃料から高温の熱影響を受けたコンクリート部材は,強度が 低下することが想定されるため,ここではコンクリート加熱実験によ ってコンクリート劣化状況を調べた.

コンクリート加熱実験には、供試体(φ100mm、高さ200mm)が3 本格納できる容積を有する、最大加熱温度1250℃の小型ボックス炉を 用いた.コンクリートは、福島第一原子力発電所3号機の遮蔽用コ ンクリート³⁾と同様の強度(設計基準強度225kg/cm²)を有するもの とし、コンクリート供試体は福島県いわき市の工場で打設されたレ ディミクストコンクリートを用いた.加熱温度は、400℃、700℃、 1000℃の3通りとし、規定温度で24時間加熱後、室温まで自然除熱 させた.ちなみに、比較のために加熱しない供試体も準備した.

写真-1 に加熱後のコンクリート供試体の様子を示す.400℃や 700℃に加熱した供試体はピンク色を呈し,1000℃の供試体は,加熱 前のコンクリートより白っぽくみられた.ひび割れについては,供 試体上面・側面とも加熱温度が高くなるにしたがってひび割れが大 きくなることが分かった.本実験では加熱炉の性能上,急激な温度 上昇を加えることが出来なかったため,爆裂現象が起きなかったが,

400°C 700°C 25 1000°C nm²) 20 応力(N/ 15 10 5 0 0.01 0.02 0.03 0.04 0.05 0 ひずみ(%) 加熱供試体の応力ひずみ関係 図-4 10000 8000 (N/mm²) 6000 係数 セング 4000 2000

常温



図-5 加熱供試体のヤング係数

原子炉燃料により急激にコンクリート温度が上昇した場合、爆裂現象が起きる可能性も考えられる.

一連の熱履歴を加えた後,圧縮強度試験を実施し,得られたデータより応力ひずみ曲線(図-4)および弾性 係数(図-5)を求めた.図-4に着目すると,700℃まで加熱すると,常温の強度の1/3程度まで低下すること, さらに1000℃まで加熱するとほとんど強度が発現しない状態であることが分かった.また,図-5に示すとお り,加熱温度が上昇すればヤング係数が低下する傾向が見られた.

参考文献 1) 福島民友新聞:「圧力容器内燃料なし」, 2015 年 3 月 20 日朝刊, p.1, 2015. 2) たとえば 今川雄亮他: 鋼・コ ンクリート単純合成桁橋の耐火性能評価に関する解析的研究, 構造工学論文集, Vol.53A, pp.1107-1116, 2006. 3) 野村顕雄他: 福島原子力発電所第 3 号機工事報告, コンクリートジャーナル, Vol.12, No.6, pp.72-81, 1974. 4)Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1.2: General rules - Structural fire design, prEN 1992-1-2, 2002.