

【公開版】

日本原燃株式会社	
資料番号	外他 05 R 2
提出年月日	令和 4 年 5 月 18 日

設工認に係る補足説明資料

外気温度の設定について

1. 文章中の下線部は、R 1 から R 2 への変更箇所を示す。
2. 本資料(R 2)は、令和 4 年 3 月 30 日に提示した「外気温度の設定について R 1」に対し、高温に対する設計温度の扱いについて整理し、コンクリートの温度が強度に与える影響を別添 1 として追加したものである。

目 次

1. 概要	1
2. <u>凍結及び高温に対する考慮</u>	1
2.1 凍結に対する考慮	1
2.2 高温に対する考慮	2
3. <u>個別施設に対する安全評価に係る外気温度の取り扱い</u>	3
3.1 再処理施設	3
3.2 MOX 燃料加工施設	4
4. 比較的短期での <u>気候変動</u> に対する考慮	5

別添1 コンクリート温度制限値について

1. 概要

本資料は、再処理施設及びMOX燃料加工施設に対する第1回申請のうち、以下に示す添付書類の補足説明に該当するものである。

- ・再処理施設 添付書類「VI-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」
- ・MOX燃料加工施設 添付書類「V-1-1-1-1 自然現象等への配慮に関する説明書」

上記添付書類において、想定される自然現象として凍結及び高温を挙げ、それぞれに対する考慮として、敷地周辺で観測された年間を通じての気温変動を参考に設定する設計外気温に対し、外部事象防護対象施設が安全機能を損なわない設計としている。

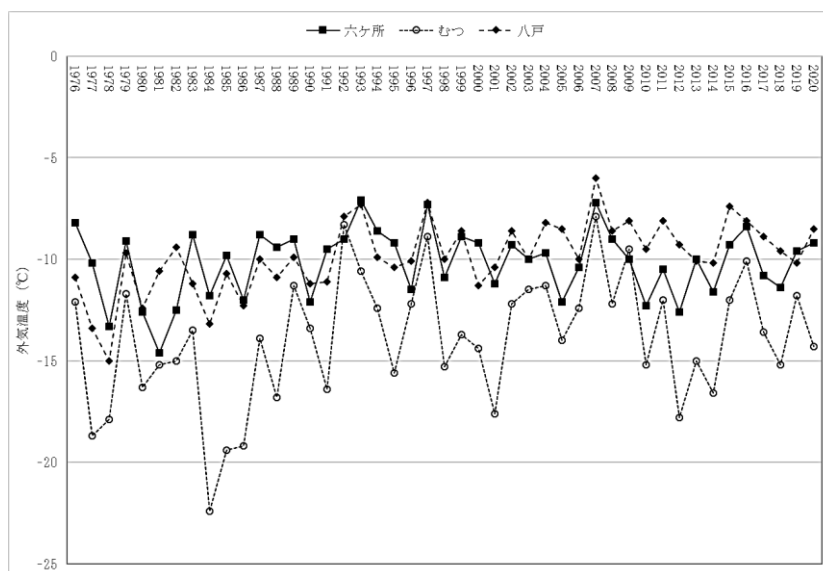
本資料は、想定する凍結及び高温について、具体的な設計外気温の設定方法について補足説明するものである。

2. 凍結及び高温に対する考慮

凍結及び高温に関しては、敷地周辺の気象観測所の観測記録を適切に考慮する。考慮にあたっては、1930年代から観測を行っており十分な観測記録を有するむつ特別地域気象観測所及び八戸特別地域気象観測所の観測記録に基づくとともに、これらと六ヶ所地域気象観測所の観測記録を比較することにより、年ごとの日最低気温及び日最高気温の極値の類似性を適切に考慮して設計外気温を設定する。

2.1 凍結に対する考慮

むつ特別地域気象観測所、八戸特別地域気象観測所及び六ヶ所地域気象観測所における日最低気温の推移(統計期間1976年～2020年)を第2-1図に示す。



第2-1図 各観測所における日最低気温の推移

むつ特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値と比較すると全体的に低い側で推移しており、平均で -3.7°C 、最大で -10.6°C (1984年)の差である。

一方、八戸特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値に近似しており、その差は平均で 0.4°C 、最大で 4°C (1981年)と小さく、八戸特別地域気象観測所における極値 -15.7°C (1953年1月3日)は、六ヶ所地域気象観測所における極値 -14.6°C (1981年2月27日)より小さい。

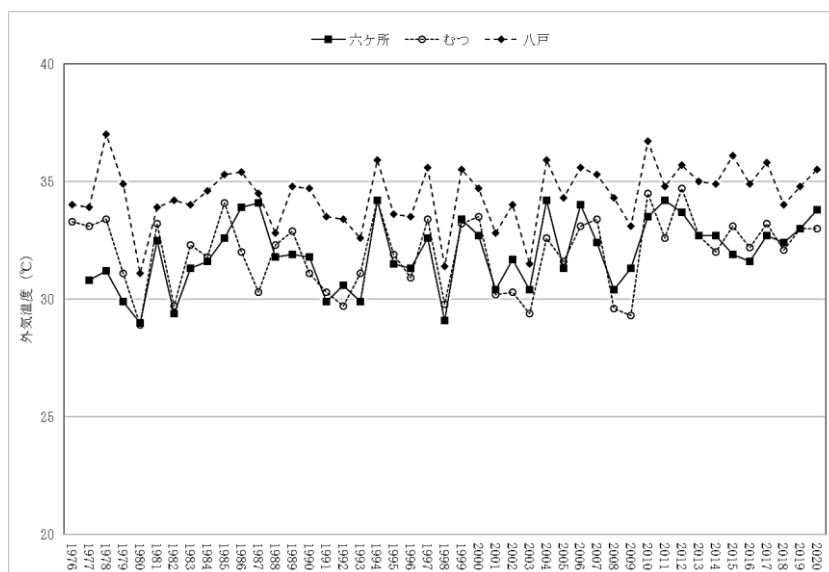
上記のとおり、むつ特別地域気象観測所の観測値を用いた場合には過度に安全側な設定となり敷地の実際の状況を反映したものではないため、凍結に対する考慮としては、六ヶ所地域気象観測所の観測値と近似している八戸特別地域気象観測所の観測値を設計外気温として設定する。

これに基づき、1937年～2020年8月の八戸特別地域気象観測所の観測記録のうち、日最低気温 -15.7°C (1953年1月3日)を、再処理事業所における凍結に対する設計外気温とする。外部事象防護対象施設は、この設計外気温による凍結に対し、安全機能を損なわない設計とする。

特に、屋外の外部事象防護対象施設のうち、凍結の影響を考慮する施設として安全冷却水系冷却塔は、冷却水の凍結を想定し、不凍液を添加した冷却水を用いる等により、設計外気温 -15.7°C で安全機能を損なわない設計とする。仮に、外気温がむつ特別地域気象観測所の観測値である -22.4°C (1984年2月18日)まで低下したとしても、放熱量を低減するためのファン運転を停止することや冷却塔の通水流量を減らすこと等の運用による凍結防止措置を講ずることで機能を維持することが可能である。

2.2 高温に対する考慮

むつ特別地域気象観測所、八戸特別地域気象観測所及び六ヶ所地域気象観測所における日最高気温の推移(統計期間1976年～2020年)を第3-1図に示す。



第3-1図 各観測所における日最高気温の推移

むつ特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値に近似しており、その差は平均で0.0℃、最大で-3.8℃(1987年)と小さい。

一方、八戸特別地域気象観測所の観測値は、六ヶ所地域気象観測所の観測値と比較すると全体的に高い側で推移しており、平均で2.5℃、最大で5.8℃(1978年)の差である。

上記のとおり、むつ特別地域気象観測所と八戸特別地域気象観測所のいずれの観測値であっても六ヶ所地域気象観測所の観測値に近く、敷地の実際の状況を反映するものであるが、高温に対する考慮としては、より厳しい条件となるように、八戸特別地域気象観測所の観測値を設計外気温として設定する。

これに基づき、1937年～2020年8月の八戸特別地域気象観測所の観測記録のうち、日最高気温の極値37.0℃(1978年8月3日)を、再処理事業所における高温に対する設計外気温とする。外部事象防護対象施設は、この設計外気温に対して、安全機能を損なわない設計とする。

3. 個別施設に対する安全評価に係る外気温度の取り扱い

「2. 凍結及び高温に対する考慮」に示したように外部事象防護対象施設の高温に対する考慮としては、日最高気温の極値37.0℃を用いて安全機能を損なわない設計とするが、個別施設の安全機能に係る安全設計(評価)においては、安全機能の特徴等を踏まえて、外気温度を設定する。

具体的には、個別施設を設置する再処理施設のある六ヶ所地域の気象条件をもとに安全設計(評価)を行うこととし、六ヶ所地域気象観測所における夏季(6月～9月)の日平均気温の極値28.5℃を超える29℃を設計上の外気温度として設定する。

上述のように個別施設の安全機能に係る安全設計(評価)においては、29℃を設計上の外気温度として設定するが、「2. 凍結及び高温に対する考慮」に示す外部事象防護対象施設の高温に対する考慮で用いる日最高気温の極値37.0℃に対して安全機能への影響を検討した結果を以下に示す。

3.1 再処理施設

(1) 安全冷却水系冷却塔

安全冷却水系冷却塔は、溶解液等を内包する機器の崩壊熱を冷却した安全冷却水を外気により冷却するための設備である。万一この設備の機能が喪失した場合でも溶解液等が沸騰に至るまでに時間的な余裕があり、連続的に運転する設備で通常管理している冷却水の温度と崩壊熱を除去するという観点で必要な冷却水の温度に差があり、一時的な温度変動が設備の冷却機能に与える影響は小さい。この設備の特徴を踏まえると、外気温が日最高気温の極値に一時的に達した場合ではなく、長期的な温度変動を考慮して、本設備の冷却機能の設計にあたっては、崩壊熱により発生する熱量の除去に必要な伝熱面積の算出のために外気温度29℃を設計上の外気温度として設定している。

外気温度が一時的に高温に対する設計外気温37℃になったとしても、崩壊熱除去の安全機能が損なわれない外気温度の上限温度は47.7℃であることから、高温に対する設計外気温37℃になったとしても安全機能を損なうことはない。

(2) ガラス固化体貯蔵設備

ガラス固化体貯蔵設備は、貯蔵ピットの収納管内に保管されるガラス固化体の発熱量に応じて生じる通風力で、ガラス固化体周囲の円環流路を空気が自然対流することで冷却する、間接自然空冷貯蔵方式による崩壊熱除去機能を期待する設備である。冷却に駆動部を要しないという、この設備の特徴を踏まえると、一時的な温度変動が設備の冷却機能に与える影響は小さいことから、日最高気温の極値が一時的に発生した場合ではなく、長期的な温度変動を考慮して、29℃を設計上の外気温度として設定している。

本設備の崩壊熱除去の設計においては、設計の前提として冷却空気入口温度を設計上の外気温度29℃に設定した上で、通常時のコンクリートの温度制限値65℃^{*1}以下となるような設計としている。また、ガラス固化体の中心温度については、ガラスの性状を維持するためガラスが再結晶化する温度である約600℃より低い500℃以下となるように貯蔵設備を設計しており、外気温度が69℃未満であればガラス固化体中心温度を500℃以下に維持できる。

冷却空気入口温度が一時的に高温に対する設計外気温37℃になったとしてもガラス固化体中心温度が500℃を超えることはない、安全機能を損なうことはない。また、コンクリート温度についても、75℃程度まで上昇することが考えられるが、別添1に示すとおり110℃以下であればコンクリートの健全性は維持できることから、ガラス固化体貯蔵設備の健全性に影響を与えるものではない。

3.2 MOX燃料加工施設

(1) 貯蔵施設

貯蔵施設は、核燃料物質を貯蔵し、建屋排気設備等で換気することにより核燃料物質の崩壊熱を除去する設計であり、崩壊熱が小さいことから、換気が停止した場合においても閉じ込め機能の不全に至るまでに時間的な余裕がある。この特徴を踏まえると、一時的な温度変動が設備に与える影響は小さいことから、日最高気温の極値が一時的に発生した場合ではなく、長期的な温度変動を考慮する。

貯蔵施設における崩壊熱除去の設計においては、設計上の外気温度29℃に対し、室内のコンクリート表面温度は通常時のコンクリートの温度制限値65℃^{*1}を下回る設計^{*2}(換気風量の設定)としている。仮に、外気温度が一時的に高温に対する設計外気温37℃になった場合においても、換気設備が稼働していれば室温が65℃を超えることはない。

また、万一換気が停止した場合を考慮して、設計上の外気温度29℃を考慮して外壁表面温度を設定し、崩壊熱による設備等への影響を評価した結果、燃料集合体貯蔵設備を設置する室内のコンクリート表面温度は、換気停止時から徐々に温度が上昇し、2週間でほぼ平衡状態(86℃)に達することを確認している。仮に、換気が停止した状態において、外気温度が一時的に高温に対する設計外気温37℃になったとしても、換気が停止しているため外気を取り込まないことから、建屋内の温度

上昇に与える影響はなく、別添1に示すとおり110℃以下であればコンクリートの健全性に影響はない。

*1：原子力施設鉄筋コンクリート構造計算規準・同解説((社)日本建築学会、2005)にて規定されているコンクリートの温度制限値。通常運転時のコンクリートの温度制限値(65℃)を上回る可能性があることから、既往文献を用いて、110℃又はそれ以下の温度で長期加熱した場合のコンクリートへの影響について別添1に示す。

*2：MOX燃料加工施設の貯蔵施設のうち、核物質の貯蔵量が最も多い燃料集合体貯蔵設備において、換気風量を約40000m³/hとして設計した際の崩壊熱による室温の上昇は最大22℃程度と評価している。

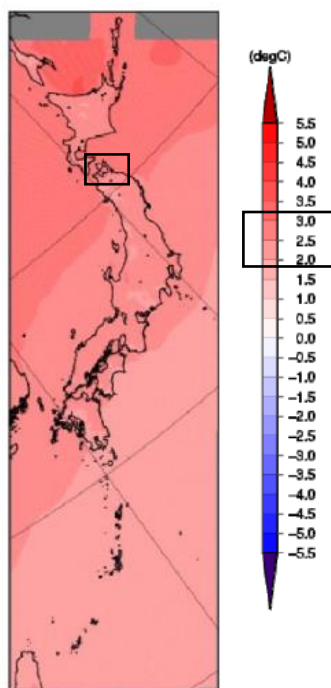
4. 比較的短期での気候変動に対する考慮

基本的にプラント寿命は、大規模な気候変動の周期よりも短いと考えられるが、各自然現象について将来的な気候変動により厳しい傾向となることは否定できない。そのため、過去の経験データを用いて、将来的なハザードを予測するという点については十分な吟味が必要であり、特にプラント寿命の間に変化が予想される事象については、最新のデータ・知見をもって気候変動の影響に注視し、必要に応じて設計基準の見直し等の配慮を行う必要がある。

地球温暖化予測情報 第8巻(平成25年3月 気象庁)における、21世紀末(将来気候2076～2095年を想定)と20世紀末(現在気候 1980～1999年)との比較における日本付近の気候変化の予測に基づき、施設への影響は以下のように考えられる。

低温については、冬季の最低気温は2.5～4℃の上昇が予測されているが、設計条件とする設計外気温に対して緩やかになる方向である。

高温については、第4-1図のとおり夏季の最高気温は2～3℃の上昇が予測されている。屋外の外部事象防護対象施設は、夜間の温度低下を考慮すると、安全機能を損なわないと考えられる。また、建屋内に収納する外部事象防護対象施設は、直接高温の影響を受けることは考えられず、この最高気温の変化においても、安全機能が損なわないと考えられる。



第 4-1 図 将来気候における最高気温の変化(現在気候からの温度差)

以上

令和4年5月18日 R O

別添 1

コンクリート温度制限値について

1. コンクリート温度制限値

コンクリートの温度制限値は、日本機会学会「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」CVE-3412 を参考にし、以下のように設定している。

- 通常運転時「定常状態，その他の部分」の 65℃
- 通常運転時「定常状態，貫通部」の 90℃

同規格の解説において、コンクリートの物性値は、一般にコンクリート温度が 70℃ 程度では、コンクリートの基本特性に大きな影響を及ぼすような自由水の逸散は生じないため、養生の進んだコンクリートでは熱による変化は少ないとされており、100℃ 以下ではコンクリートの圧縮強度等の低下は少ないとしている。一方、コンクリートの温度が 190℃ 付近で、ゲル状の結晶(セメントの水和反応により生じる珪酸石灰水和物)の結晶水が次々と解放され始め、さらに高温になると脱水現象がはなはだしくなるため、コンクリートの特性に影響が出始めるとしていることから、異常時及び短時間(24 時間以内)のコンクリート温度制限値として 175℃ を設定している。

以下では、通常運転時のコンクリートへの熱影響の観点から、既往文献を基に、コンクリートが長期加熱された場合の圧縮強度、弾性係数及び含水率への影響を整理する。

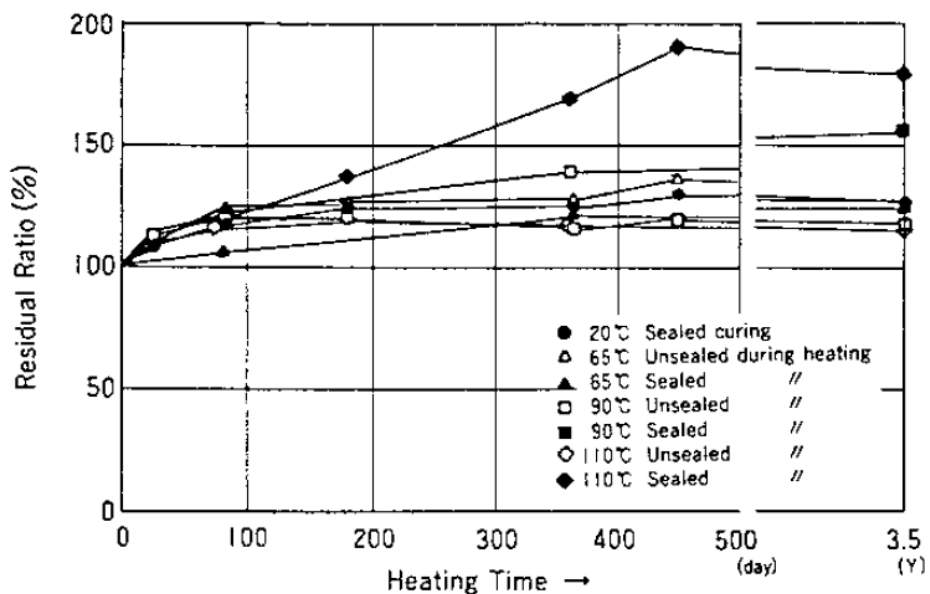
2. 供試体加熱に関する既往文献

文献⁽¹⁾において、コンクリートの供試体(φ 10cm×20cm)を 20℃、65℃、90℃又は 110℃の加熱温度で 3.5 年間加熱した後において物性を評価している。評価結果より各温度で長期間加熱した場合でも圧縮強度については低下が見られないことが示されている(第 2-1 図参照)。なお、サイクル加熱を 120 回繰り返した場合でも長期加熱した結果と同様に圧縮強度の低下が見られない。一方、弾性係数については、同様の条件における長期加熱において、加熱時に水分の移動及び蒸発を制限したシール条件の場合には低下せず、加熱時に水分の移動及び蒸発を許容したアンシール条件の場合には低下するという結果(第 2-2 図参照)が示されており、加熱に伴う含水率の低下が主原因であると推察されている。

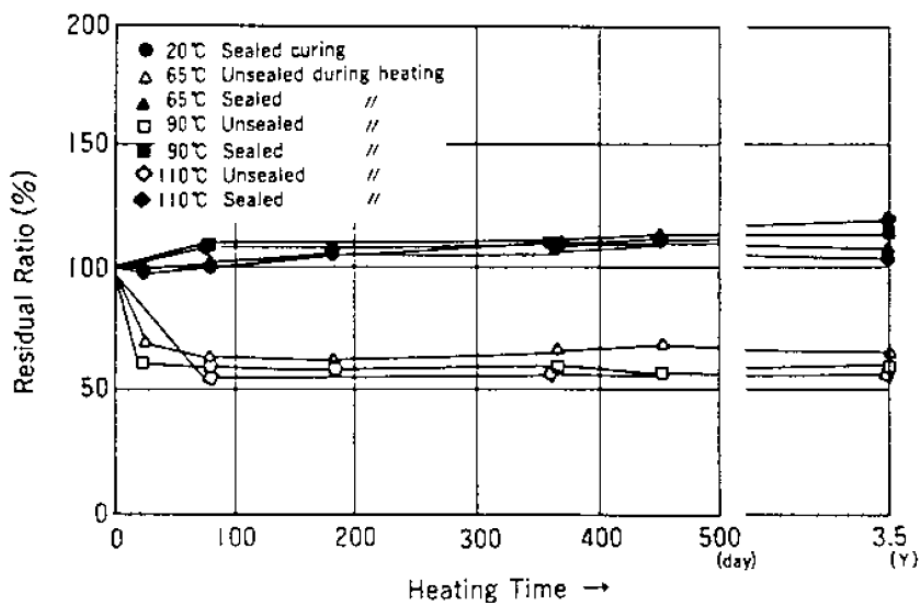
以上より、上記既往の報告を考慮すると、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」の貫通部に適用されるコンクリートの温度制限値 90℃ を上回る 110℃ で長期加熱を行った場合においても、コンクリートの圧縮強度は低下しないと考えられる。

また、アンシール条件の供試体については加熱に伴う含水率の低下による弾性係数の低下が確認されたが、実際のコンクリートでは厚さが数 10cm 以上あるため、コンクリート表面のみアンシール条件となり、コンクリートの大部分は、シール条件となる

ことが考えられる。そのため、供試体より大きな構造部材を模擬した加熱実験における弾性係数への影響を確認した結果を次項に示す。



第2-1 図 圧縮強度結果(長期加熱試験)⁽¹⁾



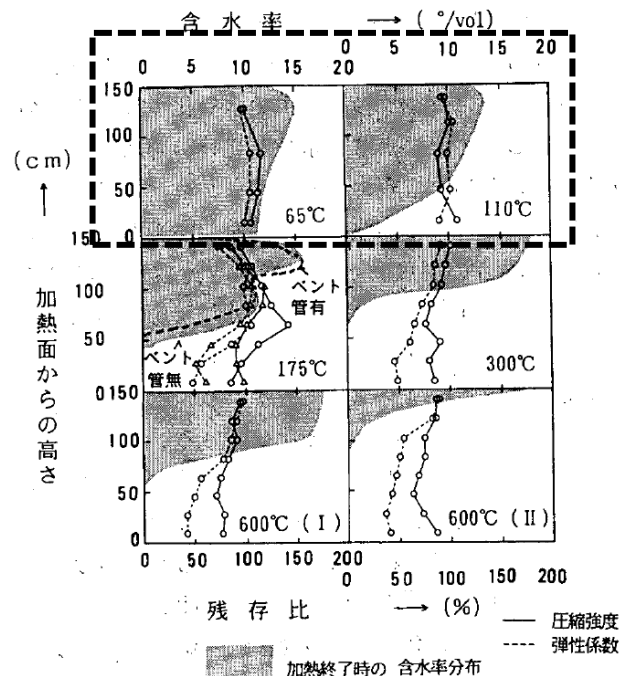
第2-2 図 弾性係数結果(長期加熱試験)⁽¹⁾

3. 模擬部材加熱に関する既往文献

模擬部材に関する既往の報告として、文献⁽²⁾において、65℃で91日間加熱した後のコンクリートは、その断面内部の大部分は含水状態を保持しており、その弾性係数は非加熱の場合から大きな低下が見られないことが示されている(第3-1図 点線枠部左参照)。また、110℃で91日間加熱した後のコンクリートは、加熱面が絶乾状態であるが、65℃での加熱の結果と同様に、断面内部の大部分は含水状態を保持しており、弾性係数の分布は非加熱の場合と比較して大きな低下は見られないことが示されている(第3-1図点線枠部右参照)。

以上より、構造部材の場合、加熱面のみ絶乾状態となることから、コンクリートの弾性係数の低下は、加熱に伴う含水量の低下が生ずるコンクリート表面に限った影響であり、構造部材の大部分の強度が保たれるため、「発電用原子力設備規格 コンクリート製原子炉格納容器規格」の貫通部に適用されるコンクリートの温度制限値90℃を上回る110℃程度の加熱であれば構造部材として大きな影響はない。

なお、175℃以上の温度にコンクリート表面温度が長時間上昇した場合は、第3-1図に示すように表面の含水率と弾性係数の低下が想定されるため、変形、ひび割れ等の劣化調査を実施し、必要に応じて補修を実施する。



第3-1図 加熱後の模擬部材断面内の含水分布・圧縮強度・弾性係数⁽²⁾

4. 参考文献

- (1)長尾覚博, 鈴木智巳, 田渕正昭: 熱影響場におけるコンクリートの劣化に関する研究, セメント・コンクリート論文集 No. 48, 1994
- (2)長尾覚博, 中根淳: 高温履歴を受けるコンクリートの物性に関する実験的研究, 日本建築学会構造系論文集, 第 457 号, 1994 年 3 月