

直棒（1号機、2号機）の減肉の状況等を踏まえたかくはん棒の管理方法

1. はじめに

かくはん棒（直棒）の1号機及び2号機において一部に減肉が確認されており、この減肉は今回のかくはん棒の曲がりの原因ではなかったと評価しているものの、減肉が進行すると座屈荷重が低下し、おもり治具の荷重でも曲がってしまう状況に至ることも考えられる。

添付資料－13に示したとおり構造の変更による対応をとることが困難であることから、運用上の管理を行うこととし、減肉がかくはん棒の座屈荷重に与える影響についての解析を行い、解析結果を基にかくはん棒の使用に係る運用上の管理方法について検討した。

2. 減肉がかくはん棒の座屈荷重に与える影響

減肉がかくはん棒（直棒）の座屈荷重に与える影響を評価するために、有限要素法（FEM）による弾塑性解析を実施し、減肉を模擬した解析条件でかくはん棒（直棒）の座屈荷重がどのように変化するかを確認した。

（1）解析条件

①解析モデル

たわみが生ずることによりかくはん棒の座屈荷重が低下することから、保守的な評価とするために、かくはん棒下端は底部電極対端点にあり初期たわみが最も大きくなるモデルを採用した。また、かくはん棒の直径を軸方向の位置により変化させ、実形状※を模擬した。

※ 今後の運転で使用するかくはん棒（直棒）3号機は従来のものからの強度向上を図っており、1号機及び2号機とは形状（直径等）が異なる。本解析では3号機を模擬した（図1参照）。

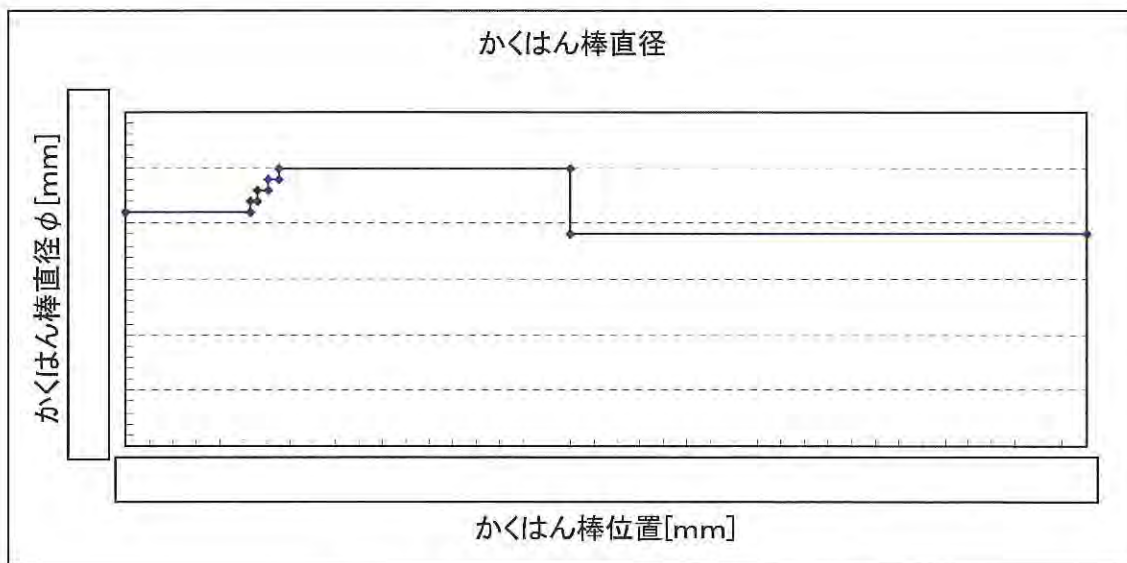


図1 かくはん棒（直棒）3号機 直径モデル

②温度条件

実際の運転時（A044バッチ）の温度状態を考慮し、かくはん棒軸方向の温度分布を設定した。（添付資料12 図-2参照）

③減肉条件

局部的に減肉した場合より一様に減肉した場合のほうが座屈荷重が小さくなることを確認していることから、保守的な評価とするために、本解析では局所的な減肉を模擬するのではなく、かくはん棒（直棒）の先端から約□mmにわたって□mmある直径を0～7mm減少させる条件とし、一様な減肉を模擬した。

（2）解析結果

解析結果は図2のとおり。減肉量の増加に伴い座屈荷重が低下する傾向が見られ、約6mm減肉した場合（直径が□mmとなった場合）に、おもり治具による荷重（48kgf）で座屈に至る結果が得られた。

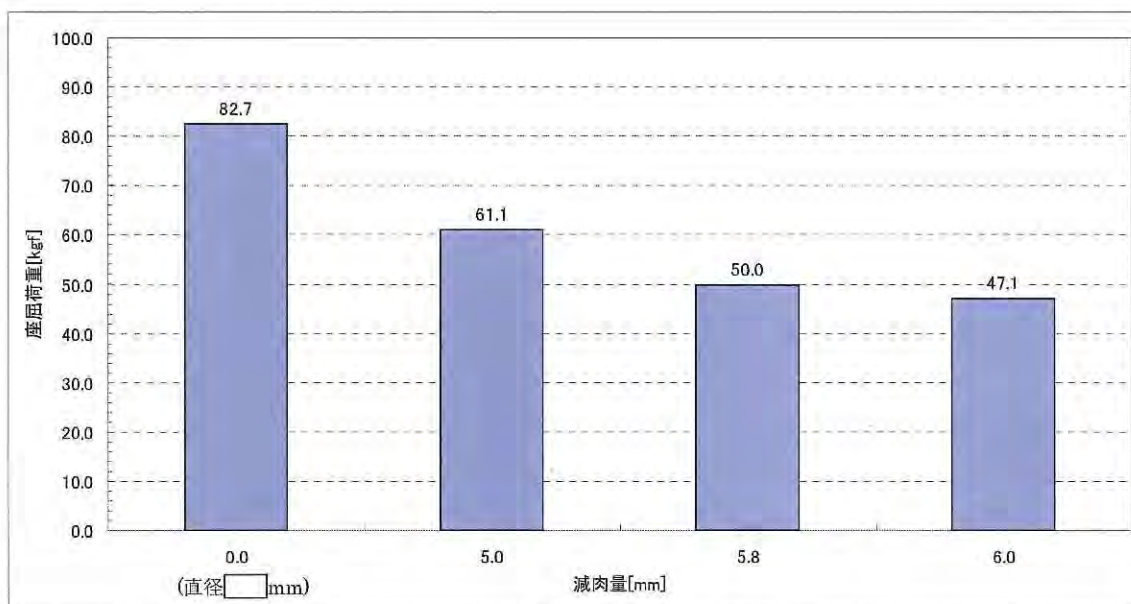


図2 かくはん棒直径の減肉と座屈荷重低下の関係

3. かくはん棒の減肉進行速度の評価

減肉が確認されたかくはん棒（直棒）の1号機の使用時間から概算した減肉の進行速度は下表のとおりである。添付資料-14に示したとおり、2号機の減肉は腐食によるものではなく、原料供給器の下部スリーブと接触したことによる圧痕によるものと推定しているが、仮に腐食によるものであったとしても、参考として算出した減肉の進行速度は1号機の減肉速度と大差はないため、このあとの評価に影響を与えるものではないと判断した。

表 減肉の進行速度の概算

	①使用時間	②減肉量	③減肉速度 (②/①)	【参考】 使用回数実績
1号機	149時間	約2mm	約 1.3×10^{-2} [mm/時間]	6回
2号機 (参考)	61時間	約1mm	約 1.6×10^{-2} [mm/時間] (参考)	2回

なお、これまでの運転実績で1回あたりの最大使用時間は約52時間（1号機）であった。

4. かくはん棒の管理方法

解析結果から、約6mmの減肉により、おもり治具による荷重（48kgf）が座屈荷重に至ることを確認したことから、保守的に減肉量5mmを使用可能と判断する設定値として設定し、さらに通常の作業時間を考慮し、その間に減肉量が5mmを超えないような管理値として4mmを設定し、今後のかくはん棒（直棒）の使用にあたっては、以下の管理を実施することとする。

- ①使用の都度、目視により減肉状態を確認する。
- ②目視確認の結果、最も減肉が大きい箇所で、4mm以上の減肉がないことを確認したうえでそのかくはん棒（直棒）を使用することとする。
- ③かくはん棒の使用時間が通常の作業時間を大きく超える可能性がある場合には、作業開始前の減肉量及び減肉の進行速度をふまえ、かくはん操作の可否を判断することとする。

なお、今後、実運転で得られる知見をふまえ、必要に応じてよりよい管理方法について検討し、改善していくこととする。

以上

側壁レンガの健全性確認

1. はじめに

ガラス溶融炉運転の安全性評価の一環として、溶融炉側壁レンガについて熱応力解析を行い、解析結果及びレンガの組積み構造の観点から、今後のガラス溶融炉の運転における溶融炉側壁レンガの損傷の可能性について評価を行った。

2. 側壁レンガの構造

図1に側壁レンガの構造を示す。側壁レンガは高さ位置により使用するレンガの種類、組積み構造が異なっている。また、せり持ちおよび側壁ケーシングからアンカレンガで支持することにより、側壁レンガを拘束し損傷を防止する構造としている。

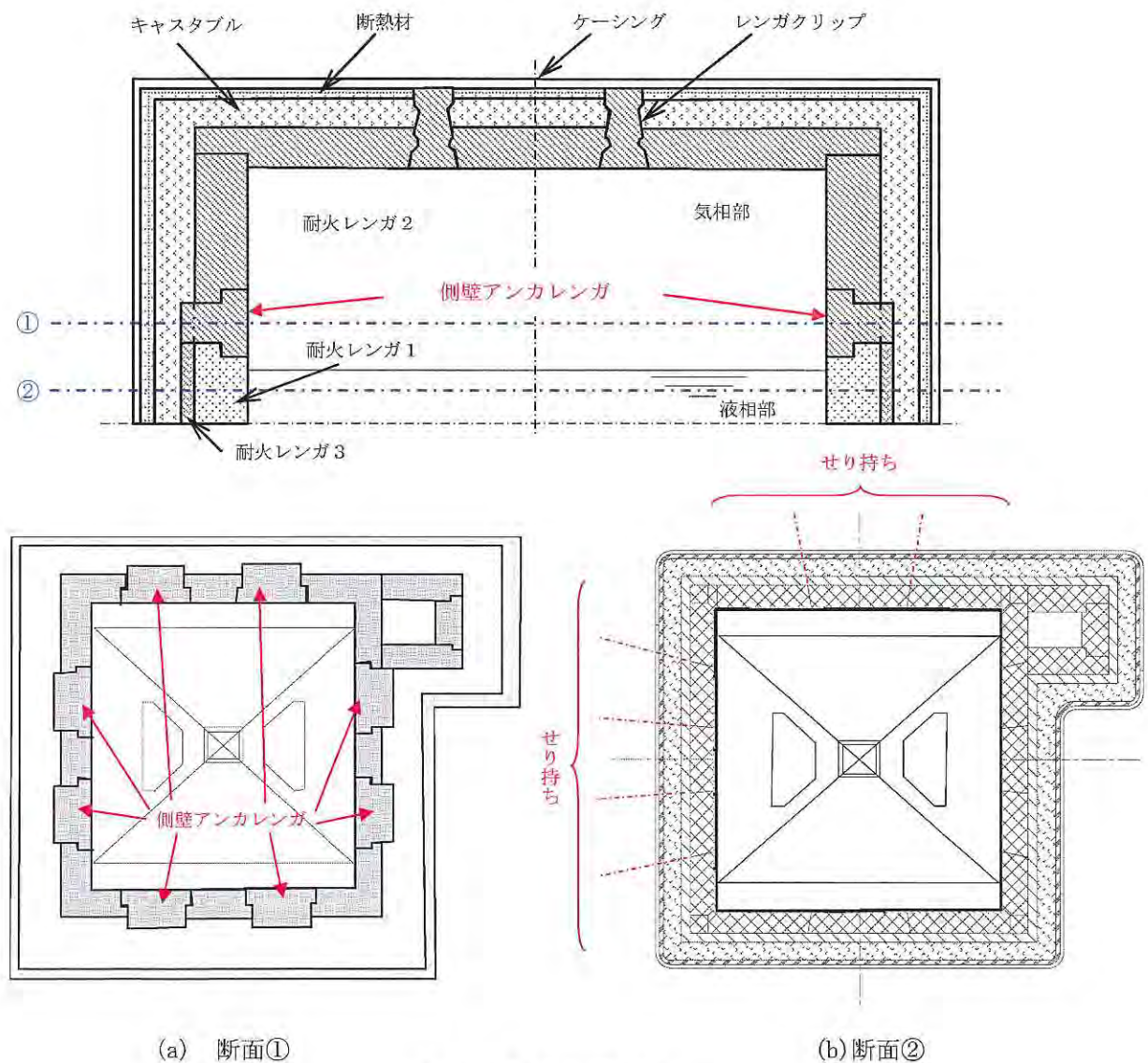


図1 側壁レンガ構造

3. 解析モデル

前項に述べたようにレンガの種類、組積み構造が異なる3つの断面に対して各々解析を行った。解析対象とした側壁レンガの位置を図2に、それぞれの高さにおける断面及び解析モデルを表1に示す。なお、断面Bでは、アンカレンガのキャストブルに埋まっている部分の金具による留めの影響を考慮し、アンカレンガとキャストブルの接触面を結合条件とした(表1参照)。また、レンガ内部の温度分布には間接加熱装置からのふく射伝熱が大きく影響することから、その影響を考慮するために断面B及びCに比較して面積の大きい断面Aにおいてはさらに解析対象断面を高さ方向に3つに分割して(間接加熱装置からの距離をパラメータとして)、解析を行った。解析対象を図3に示す。解析は、実際の運転で発生した間接加熱装置のヒータ温度が急激に低下した際の実績データを踏まえ、初期の間接加熱装置並びにガラス液面温度における側壁レンガ内の温度分布が、間接加熱装置のヒータ温度降下(間接加熱装置からのふく射入熱の低下)によりどのように変化するかといったふく射環境下での伝熱解析を行い、伝熱解析により得られた各時間における温度分布を基に熱応力解析によりレンガ内部の応力を求めた。

なお、これまで実施してきた天井レンガにおける熱応力解析の経験から、間接加熱装置のヒータ温度の急激な変化が発生応力に大きく影響を及ぼすことが確認されていることを踏まえ、温度条件としては、先の解析において一部損傷したアンカレンガに発生する応力が最も高くなる条件(間接加熱装置のヒータ温度が急激に降下した条件)を用いた。

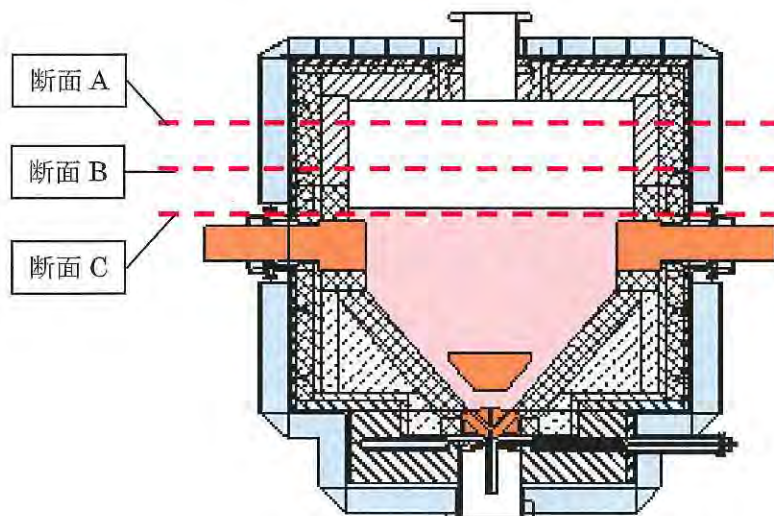
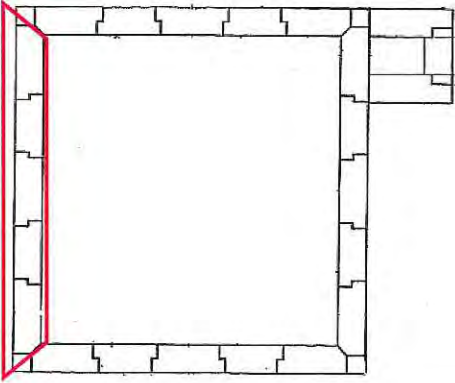
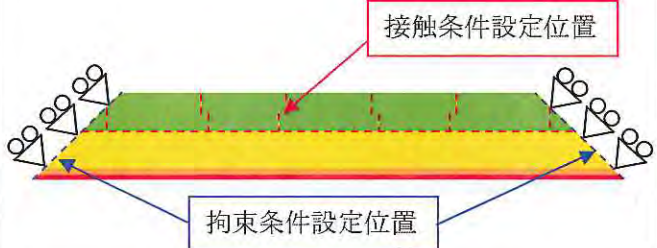
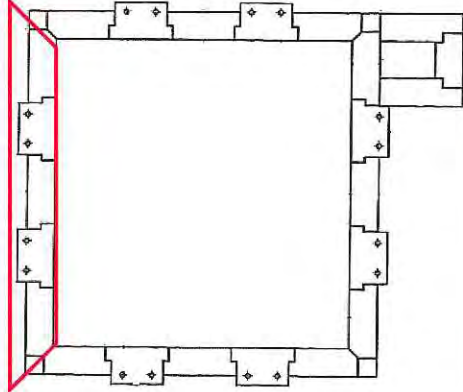
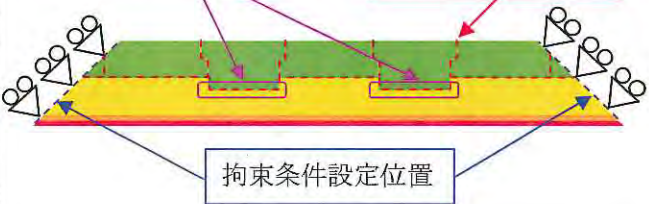
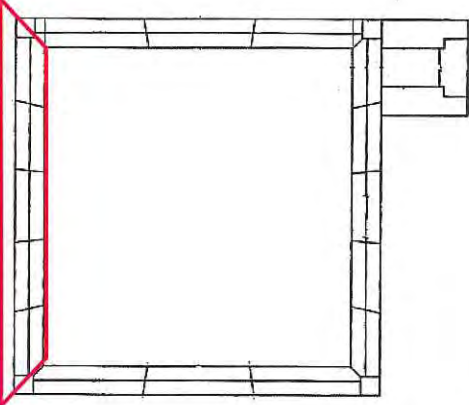
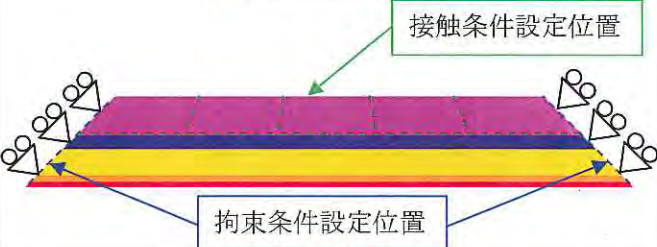


図2 解析対象とした断面高さ位置

表 1 解析モデル

	レンガ構造図 (AZGS または K3)	解析モデル					
断面 A		<table border="1" data-bbox="995 389 1248 580"> <tr><td>SUS304</td></tr> <tr><td>IBI-BOARD_30B</td></tr> <tr><td>LP-135</td></tr> <tr><td>AZGS</td></tr> </table>  <p>接触条件設定位置</p> <p>拘束条件設定位置</p>	SUS304	IBI-BOARD_30B	LP-135	AZGS	
SUS304							
IBI-BOARD_30B							
LP-135							
AZGS							
断面 B		<table border="1" data-bbox="1190 869 1442 1059"> <tr><td>SUS304</td></tr> <tr><td>IBI-BOARD_30B</td></tr> <tr><td>LP-135</td></tr> <tr><td>AZGS</td></tr> </table> <p>金具による留めの影響を考慮し、結合条件とした</p>  <p>接触条件設定位置</p> <p>拘束条件設定位置</p>	SUS304	IBI-BOARD_30B	LP-135	AZGS	
SUS304							
IBI-BOARD_30B							
LP-135							
AZGS							
断面 C		<table border="1" data-bbox="995 1368 1248 1603"> <tr><td>SUS304</td></tr> <tr><td>IBI-BOARD_30B</td></tr> <tr><td>LP-135</td></tr> <tr><td>MRT-70K</td></tr> <tr><td>K-3</td></tr> </table>  <p>接触条件設定位置</p> <p>拘束条件設定位置</p>	SUS304	IBI-BOARD_30B	LP-135	MRT-70K	K-3
SUS304							
IBI-BOARD_30B							
LP-135							
MRT-70K							
K-3							

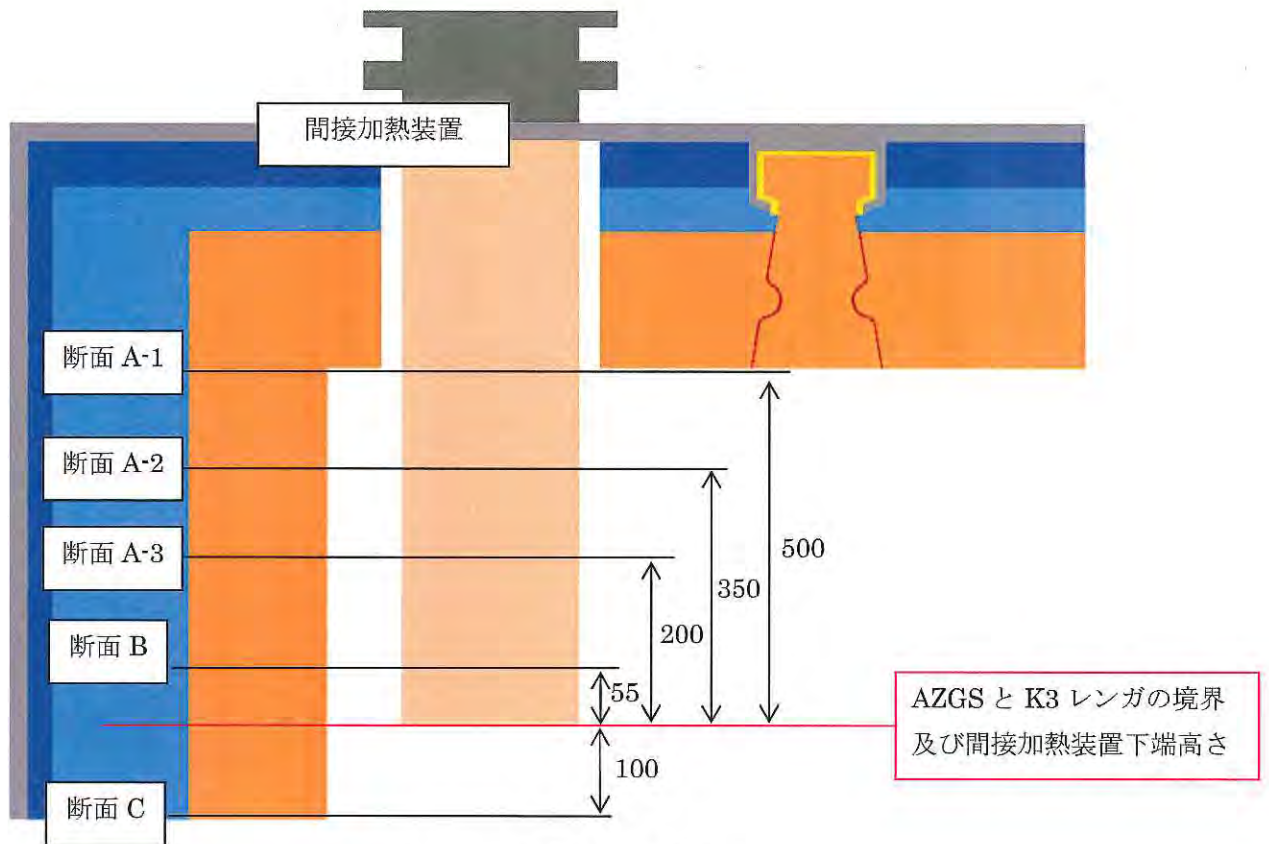


図3 解析対象断面位置

4. 解析結果及び評価

各断面における解析結果（代表例）を表2に示す。発生応力については、側壁レンガ面に対して垂直方向の応力で評価する。

間接加熱装置のヒータ温度低下に伴いレンガ表面の温度が低下する一方、内部には熱が残っていることから、この温度勾配に起因しレンガに応力が発生している。

(1) 断面A

応力の解析結果より、いずれの断面でも発生する応力は1.7MPa以下であることが確認できた。AZGSレンガの段差部（表2 断面A-1～A-3の赤丸部参照）で、熔融炉中心側にレンガを落下させる方向の亀裂を生じさせる応力は発生しないことを確認した。また、解析モデル両端部の境界条件設定位置のキャストブルで高い応力が発生した。これは間接加熱装置のヒータ温度低下により、炉表面側のAZGSレンガ温度が低下してレンガが収縮し、炉内側へ変位しようとする一方で、側壁構造物の内側のキャストブル温度が比較的高温状態で、炉外側方向への変位が維持され相対的に変位差が生じた影響によるものと考えられる。しかし、キャストブルに亀裂が発生したとしてもその炉内側にあるAZGSレンガにより支持されているため、損傷することは考えられない。

(2) 断面B

応力の解析結果より、側壁アンカレンガとキャストブルの接点付近に高い引張応力が発生した(表2 断面B 応力コンター図の赤丸参照)。これは間接加熱装置のヒータ温度降下により、炉表面側の AZGS レンガ温度が低下してレンガが収縮し、炉内側へ変位しようとする一方で、側壁構造物の内側のキャストブル温度が比較的高温状態で、炉外側方向へ変位が維持され相対的に変位差が生じ、この相反するレンガの変位の影響で、側壁アンカレンガとキャストブルの間に応力が発生したものと考えられる。

図5に応力が高く亀裂が発生する可能性がある部位を示す。AZGS レンガの比重を 3.2g/cm^3 、摩擦係数を 0.57 (摩擦試験により確認) として、側壁アンカレンガにかかる側壁レンガの荷重及び天井レンガのブロックの半分の荷重による摩擦力は 481kN と算出され、この摩擦力がアンカレンガの上下方向から働くとすると、これに打ち勝つだけの加速度はおよそ 13G と算出される。この程度の熔融炉内側方向加速度が側壁アンカレンガに働くことは考えられないため、損傷することはないと考えられる。

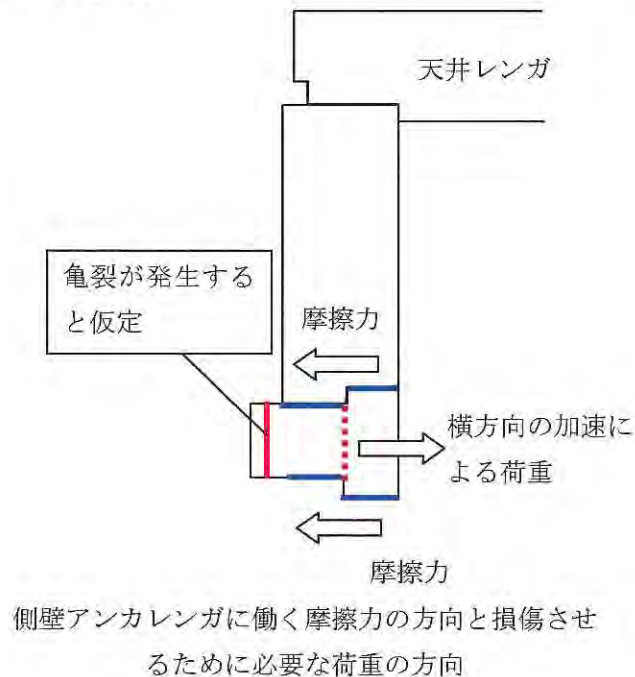
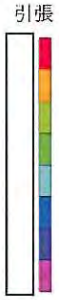
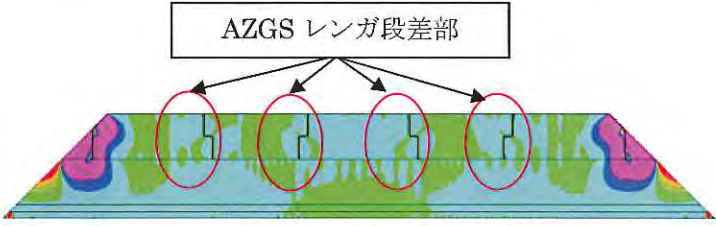
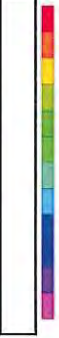

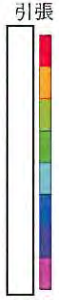
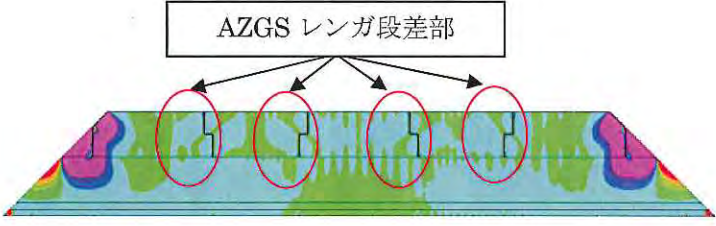
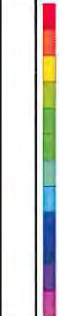
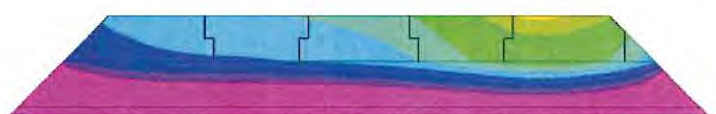


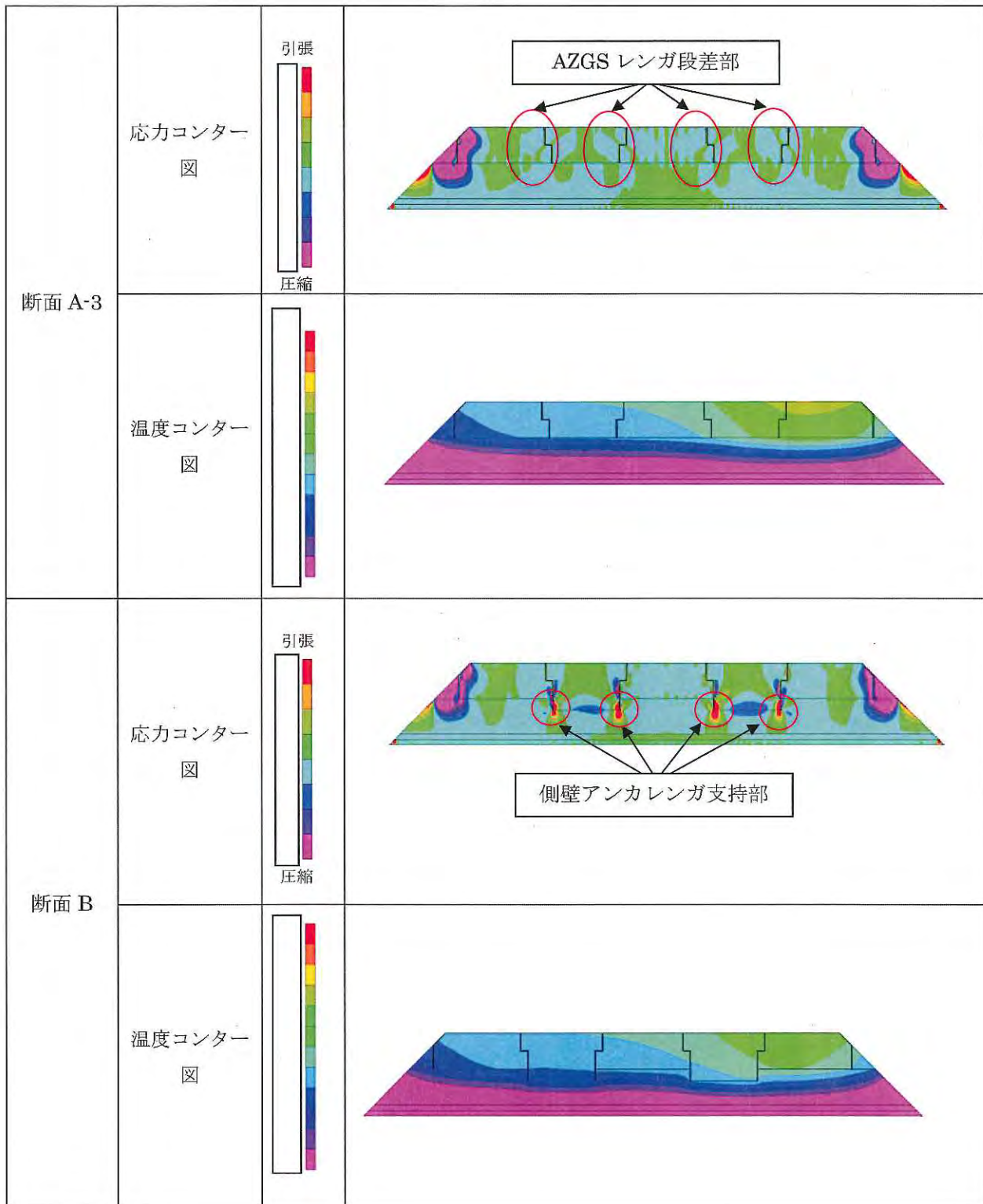
図5 断面Bにおける評価

(3) 断面C

応力の解析結果より、間接加熱装置のヒータ温度降下初期では K3 レンガ同士のせり部に圧縮応力が発生しているが、時間が経過すると高い引張応力が発生した(表3参照)。また、解析モデル両端部の境界条件設定位置のキャストブルで高い応力が発生した。これは炉表面側の K3 レンガ温度が低下して収縮しようとする一方で、側壁内部の K3 レンガ温度が比較的高温状態で、炉外側方向への変位が維持され、隣接レンガにより変位が拘束されることで、K3 レンガのせり部に引張応力が発生したためと考えられる。しかしながら仮に引張方向に亀裂が入ったとしてもレンガ同士がせり持ちする構造であることから、損傷することは構造的にないと考えられる。

表2 各断面の解析結果の例

断面位置	応力コンター図/温度コンター図		
断面 A-1	応力コンター 図	引張  圧縮	
	温度コンター 図		
断面 A-2	応力コンター 図	引張  圧縮	
	温度コンター 図		



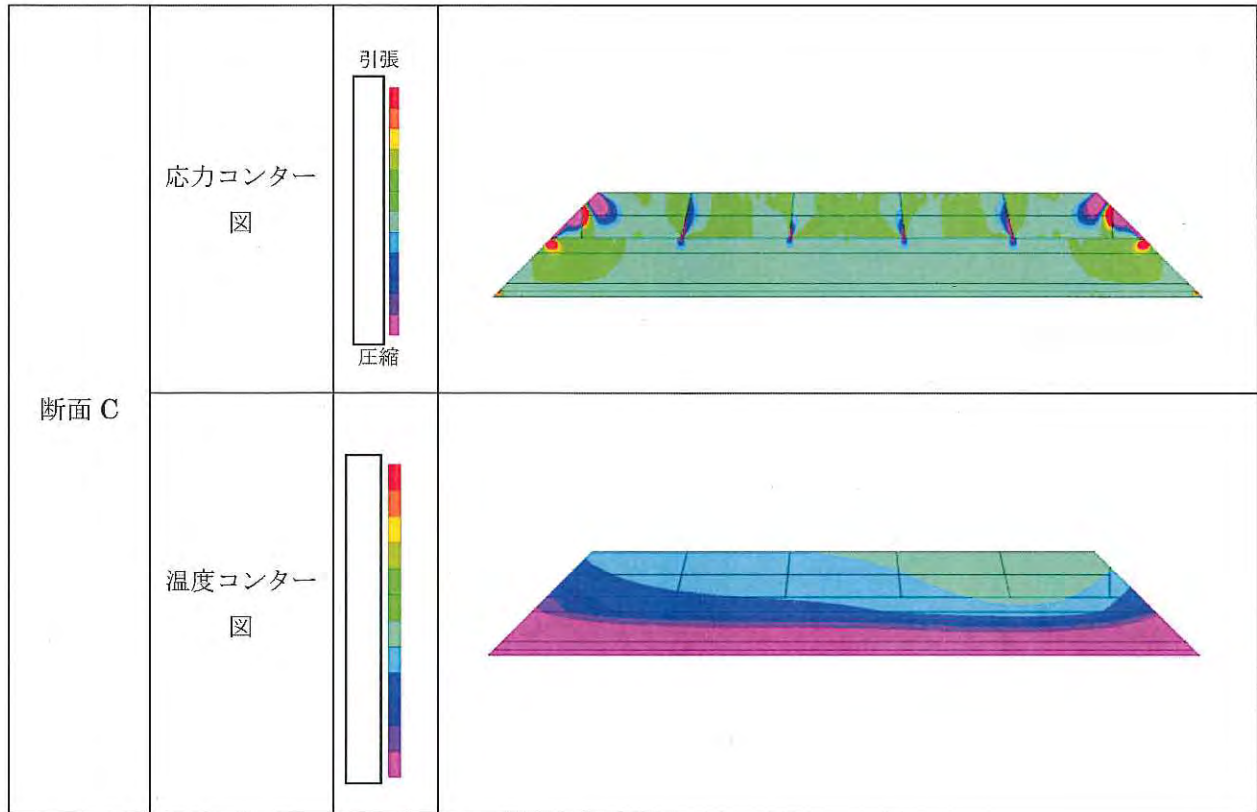
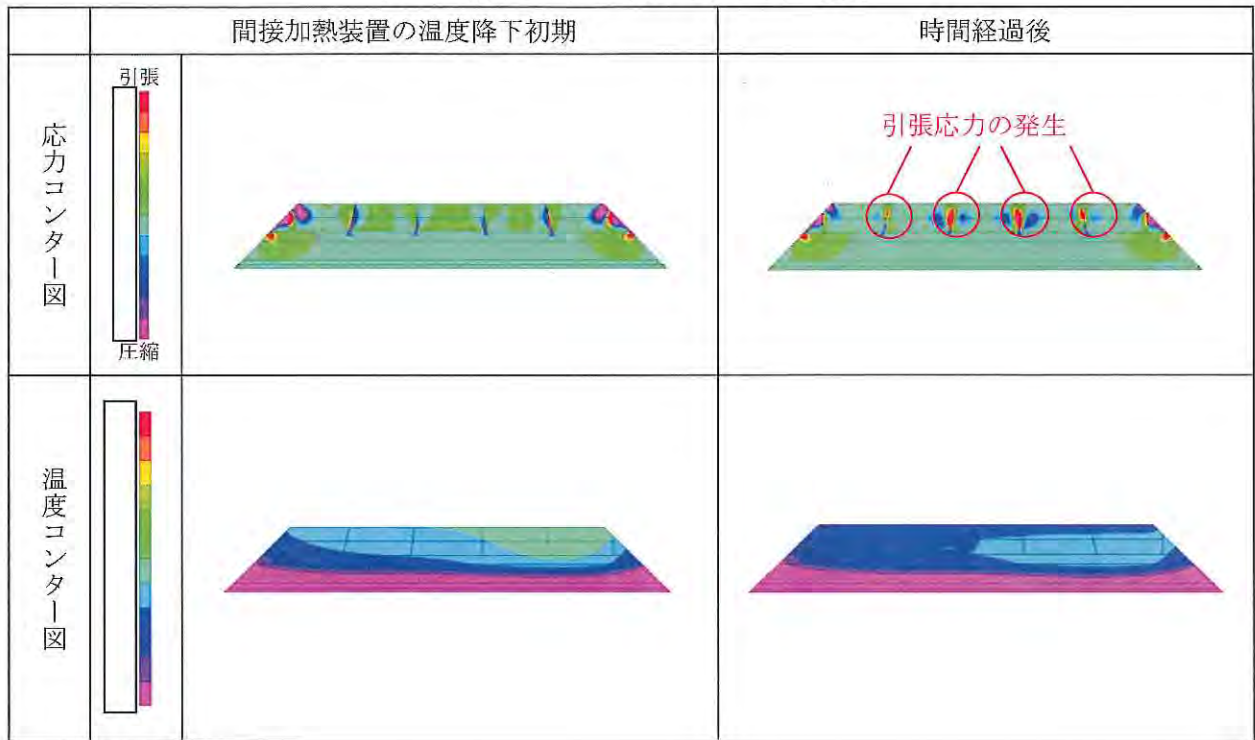


表3 断面Cにおける発生応力の経時変化



5. まとめ

熔融炉側壁レンガに対し、損傷アンカレンガに最も高い応力が発生する温度条件で応力解析を実施した結果、断面 A、B、C いずれの断面においても、接触境界付近で高い応力が発生した。

断面 A、B について応力を求めたところ、AZGS レンガ同士の取合い部で応力は極端に小さくなったが、断面 B の側壁レンガの金属支持部で高い応力となった。

しかし、この部分に亀裂が入ったとしても、およそ 13G 程度の加速度が働かない限り側壁アンカレンガが滑り出すことはなく、亀裂の発生により損傷することは考えられない。

また、断面 C においては仮にレンガに亀裂が入ったとしても、レンガ同士がせり持ちする構造となっていることから、損傷することはない。

以上