

4点曲げ試験への取組み (断熱材)

1. はじめに

曲げ強さ試験は、構造体を形成する耐火物の機械的特性を知るための重要な試験であり、JIS規格にも制定されている。試験方式には3点曲げと4点曲げがあるが(表1)、その本質的な違いから、同じ曲げ強さと称しても結果が異なることが推測される。従来、耐火物におけるこれら方式の違いを実験的に明らかにした事例は少なく、耐火物のJISは測定の簡単な3点方式を採用している。一方、4点曲げ方式は、3点に比べて偏荷重が生じやすいなど試験の実施が容易ではないという問題点はあるものの、測定精度は良好と考えられている。そこで、2021年度からの研究開発事業の1つとして、断熱れんがなどの低強度耐火物の4点曲げ強さ測定技術の確立を課題に挙げた。

表1 耐火物の曲げ強さ試験方法

規格No.	JIS R 2213	JIS R 2553	JIS R 2619
規格名称	耐火れんがの曲げ強さ試験方法	キャストブル耐火物の強さ試験方法	耐火断熱れんがの曲げ強さ試験方法
試料形状	並形れんがなし、並形相似れんが	40×40×160	並形断熱れんが、並形相似断熱れんが
曲げ方式	3点曲げ	3点曲げ	3点曲げ
参考規格No.	JIS R 1601	JIS A 1106	
規格名称	ファインセラミックスの曲げ強さ試験方法	コンクリートの曲げ強度試験方法	
試料形状	W4×H3×L36以上	標準□100×L380	
曲げ方式	3点曲げ、4点曲げ	4点曲げ	

2. 3点曲げと4点曲げの違い

理論上、3点曲げ方式では、荷重p直下の試験片位置に最大応力が生じ、4点曲げ方式では、内部荷重点下の試験片面範囲が一定の最大応力になり、不均質材料ほど方式の違いを受けやすい(図1)。

3点曲げ方式の測定では、荷重点の反対側から亀裂が生じることが期待されるが、多くの耐火物、特に、断熱れんがなしし低強度耐火物では、亀裂発生点がずれるケースが多い。この原因は、耐火物が本来持つ内在亀裂にあり、特に、断熱れんが等では、それらが多いことが挙げられる。

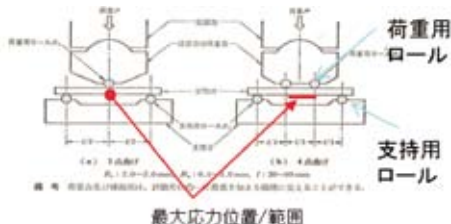


図1 3点曲げ方式と4点曲げ方式

3. 結果

1) 不均質性材料の曲げ試験

並型の断熱れんが(サンプルA: カサ比0.93, B: 0.77, C: 1.07)を用いてJIS R 2213の3点方式とJIS A 1106の4点方式の違いを比較した(表2、図2)。N数が少ないが、3点方式と4点方式とに差が認められ、また、試験片中央位置から亀裂発生点までの距離を調べると、4点の方がばらつきが大きく、現象の違いが推定される。則ち、4点方式の検討の必要性が示唆できる。

表2 3点と4点の曲げ試験結果

N=2	3点曲げ	4点曲げ
サンプル名	平均値 (MPa)	平均値 (MPa)
A	2.09	1.40
B	1.27	0.83
C	2.53	1.94

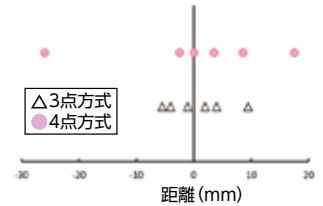


図2 亀裂発生点のばらつき

2) 4点曲げ方式の支持ロール径の影響

並型半分(W55×H65×L230)の試料を用い、JIS A 2553規定の支持ロール径(Φ8mm)とJIS A 1106規定のロール径(Φ30mm)の影響を調べた(表3、図3)。数値でも分かるが、t検定でも両者に差がないことが確認できた。亀裂発生点のばらつきも同様である。即ち、この範囲で、ロール径の影響は小さいようだ。

表3 4点方式によるロール径の影響

N=6	ロール径 Φ30mm	ロール径 Φ8mm
サンプル名	平均値 (MPa)	平均値 (MPa)
A	1.65	1.64
B	0.91	0.88
C	2.50	2.54

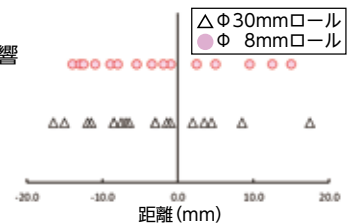


図3 亀裂発生点のばらつき

3) ワイブル分布による評価

不均質材料である耐火物では、強度値は確定値ではなく、材料の主内在欠陥に支配される統計量であるので、ワイブル分布での検討が必要である。表3のデータについて、ワイブル係数を求めると表4になるが、N数が少なく、統計的検討が難しい。例えば、サンプルAについて、寸法効果を平均曲げ強さ、有効体積、ワイブル係数を用いて調べたが、有効な結果が得られなかった。

表4 ワイブル係数

N=6	ロール径 Φ30mm	ロール径 Φ8mm
サンプル名	ワイブル係数 m	ワイブル係数 m
A	13.40	12.90
B	9.90	5.70
C	8.40	7.80

4. 今後の展開

4点曲げ試験の必要性を示唆し、4点曲げ試験の測定条件の一部を検討した。今回は、N数が少なく十分な統計的検討ができなかった。引続き測定条件の検討が必要がある。

その後は、研究成果を4点曲げ方式のJIS制定に活用する予定であり、また、試験条件が確定した場合には、断熱れんが、不定形耐火物のデータベース作成も課題になる。(副所長 内田 茂樹)