

(107)

煉瓦破壊強度の統計論的評価法  
(ワイブル理論の適用性の検討)

日本鋼管(株)技術研究所

○飯山 真人

小山 保二郎

1. 緒言  
セラミックス(煉瓦)の強度はバラツキが大きいため、強度を論ずる際には統計論的な取扱を要する。近年、統計論としては最も有力と思われるワイブル理論によって、窒化珪素やアルミナ等のいわゆるファインセラミックスの強度の解析が行なわれるようになってきたが、煉瓦に対してはワイブル理論の適用例はほとんど見られない。そこで、ワイブル理論を煉瓦の破壊強度に適用することの是非を検討するため、高炉用シャモット質煉瓦を用い実験を行なった。

2. ワイブル理論  
ワイブル分布、最弱リンク理論により、応力 $\sigma$ 、体積 $V$ の試験片の破壊確率を求めると、  
$$f_v = 1 - e^{-x^m} \{ -\int (\sigma/\sigma_0)^m \cdot dV \} \dots\dots\dots ①$$

①式より、体積 $V$ の引張および、3点曲げの平均破壊強度を計算すると、それぞれ次のようになる。

$$\bar{\sigma}_t = (\sigma_0/V^{1/m}) \cdot \Gamma(1+1/m) \dots\dots\dots ②$$

$$\bar{\sigma}_b = (\sigma_0/V^{1/m}) \cdot \Gamma(1+1/m) \cdot \{2(m+1)^2\}^{1/m} \dots\dots\dots ③$$

3. 実験

アルミナ含有率54%, 見掛 表1. 実験項目と結果

気孔率12.5%の同一ブランドのシャモット質煉瓦(A, B, C)から試験片を切り出し、ダイヤモンド砥石で研磨した後、表1の試験を行なった。表で $n$ はサンプル数、 $E$ は試験片の平均ヤング率(kg/mm<sup>2</sup>),  $\bar{\sigma}$ は平均破壊強度(kg/cm<sup>2</sup>),  $m$ はワイブル係数である。

	3点曲げ 15×15×100(80)mm		3点曲げ 30×30×200(160)mm		引張 20×20×100(60)mm	
	煉瓦A	n=30 E=5509	$\bar{\sigma}_{Ab}=234$ m=16			
煉瓦B	n=32 E=4430	$\bar{\sigma}_{Bb}=175$ m=7			n=28 E=4435	$\bar{\sigma}_{Bt}=74.2$ m=5
煉瓦C	n=32 E=4992	$\bar{\sigma}_{Cb}=209$ m=15	n=15 E=5081	$\bar{\sigma}_{Cb}=190$ m=20		

4. 検討

a. 強度の分布(煉瓦A, B, C) 15×15×100(80)

mmのサイズの3点曲げ試験の結果を図1に示す。いずれの煉瓦にも直線性があり、ワイブル分布に従うことが認められる。

b. 引張強度と曲げ強度の比(煉瓦B) 実験より $\bar{\sigma}_{Bt}/\bar{\sigma}_{Bb} = 74.2/175 = 0.424$ となる。理論値は②, ③式より $\bar{\sigma}_{Bt}/\bar{\sigma}_{Bb} = \{V_b/2(m+1)^2\}^{1/m} \cdot \Gamma(1+1/m) / \Gamma(1+1/m) = \{9/(2 \cdot 7^2 \cdot 24)\}^{1/6} = 0.395$ ,  $m=7$  0.435 となり実験値と一致する。

c. 試験片サイズと強度との関係(煉瓦C)  $\bar{\sigma}_{CB}/\bar{\sigma}_{Cb} = 190/209 = 0.909$ となる。④式より理論値は $\bar{\sigma}_{CB}/\bar{\sigma}_{Cb} = (V_{CB}/V_{Cb})^{1/m} = (1/8)^{1/18} = 0.891$ ,  $m=20$  0.901 となり、この場合も実験値と一致する。以上a, b, cより、煉瓦の破壊強度の解析、評価に対して、ワイブル理論が非常にうまく適用出来ることが確認された。

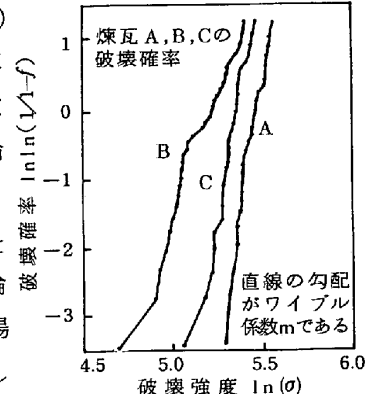


図1. 破壊強度の分布

5. 考察

同一ブランドの煉瓦でもワイブル係数に大きな差がある。図2に、ヤング率、曲げ強度、ワイブル係数の関係を示した。この煉瓦の標準ヤング率は5100kg/mm<sup>2</sup>なので、標準ワイブル係数は約15とみなせる。個々の煉瓦については、そのヤング率によりワイブル係数の大小が推定可能と思われる。

6. 結言

今回の実験では、破壊強度がワイブル理論でうまく説明出来た。この理論を用いて測定が困難な熱間引張試験を曲げ試験で代用したり、炉壁ライニングの設計をより合理的に行なうこと等の応用が可能である。しかしながら、荷重速度や、高温における塑性変形の影響等、なお検討を要す問題も多い。

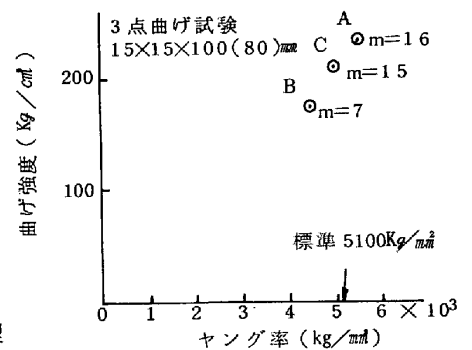


図2 ヤング率、曲げ強度ワイブル係数の関係