

モルタルの破壊挙動に関する基礎的研究

福島県

芝浦工業大学

日本セメント中央研究所

正会員 小川 航司

正会員 山本 一之

正会員 岡本 享久

1.はじめに

今日に至るまで、コンクリートの破壊挙動に関する研究は多種多様にわたり行われている。しかし、未だにコンクリートの寸法効果や形状効果といったものがどのような要因によって引き起こされているのが明確にされていない。これは本来の材料の性質を取り入れた構成則や破壊条件といったものが明確にされていないためであると思われる。

本研究では、もともと材料に圧縮破壊はないものと考え、準微視的な角度からモルタルの破壊に至る過程を数値解析により求めることを目的とした。

2.研究過程

解析手法には RBSM(剛体-ばねモデル)解析を用いた。RBSM 解析は要素の形状により、解析結果が大きく依存するため、本解析の要素形状には任意に発生させた乱数から生成される多角形(ポロノイ多角形)を用いて解析を行った。

ポロノイ多角形は、任意領域に存在する節点群をデローニ三角分割と呼ばれる極端な鋭角や鈍角が存在しないような三角形を生成した後、その三角形の外接点と隣り合う三角形の外接点とを結ぶことにより生成される。図1にその過程を示す。

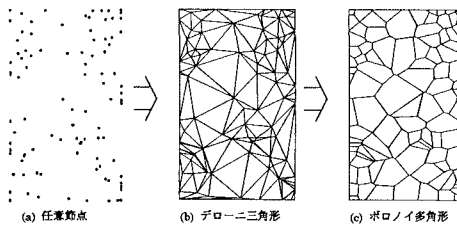


図1 ポロノイ多角形の生成過程

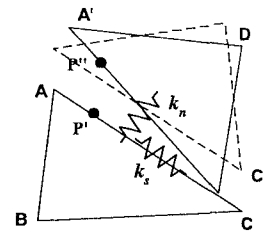


図2 要素とばねの配置

RBSMは離散化極限解析の一つとして開発されたものである。このモデルは要素を剛体として扱い、ある外力に対する変形を2つの剛体に関連付けられている垂直ばね(k_n)とせん断ばね(k_s)によりその間のエネルギーを評価することにより求める手法である(図2)。

本解析ではばねが破壊したときの荷重と変位の値が求められるように r_{min} 法による変位増分形で非線形解析を行い、ばねが破壊したときの解放力を直接反復法で収束させ、再接触も考慮した。構成則には引張りと圧縮のどちらも同じ線形関係を使用した(式1)。

$$\sigma = E\varepsilon \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\sigma = Ft \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\tau = c - \sigma \tan \phi \quad \dots\dots\dots (3)$$

また、破壊基準には引張りで破壊した場合はその材料の持っている引張り強度(式2)を採用し、せん断の破壊基準にはクーロンの破壊基準(式3)を採用した。ここで圧縮破壊の条件を取り入れなかったのは、そもそも材料は圧縮で破壊しないことを前提にしているためである。

解析対象はモルタルで、その材料定数は表1の通りである。また、解析に用いた要素分割の値を表2に示す。

表1 モルタルの材料特性

E (Gpa)	ν	Ft (Mpa)	c (Mpa)	ϕ (°)
27.0	0.2	2.0	4.0	35.0

表2 要素分割値

節点数	要素数	ばね数
785	426	1103

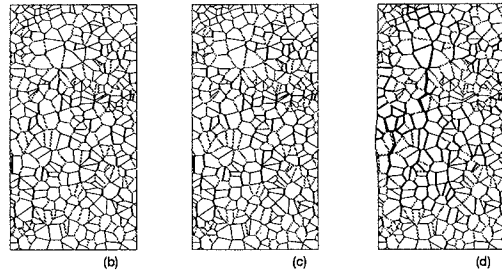
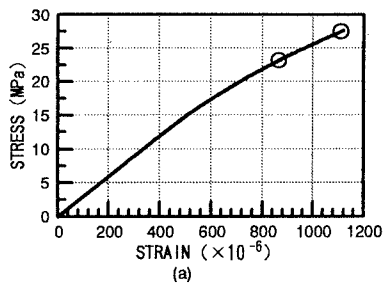


図3 圧縮荷重（水平方向拘束）

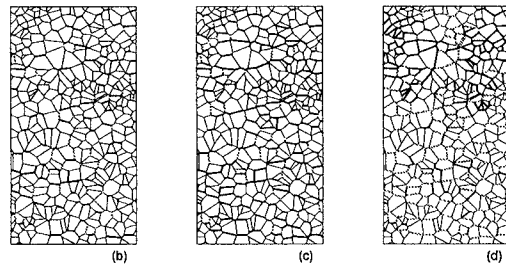
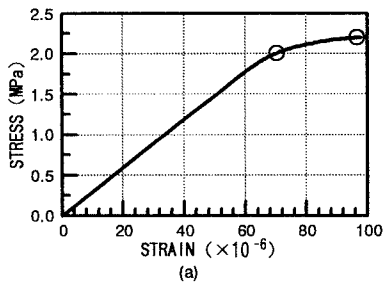


図4 引張り荷重（水平方向拘束）

3. 解析結果

載荷面の水平方向を拘束した圧縮荷重の場合の解析結果を図3に示す。(a)は応力とひずみの関係を(b)は23MPa、(c)は破壊直前そして(d)は破壊時のばねの破壊状況を示す。太い実線は引張り破壊を、薄い実線はせん断破壊を示す。(a)より、圧縮強度は27MPaとなり、実際のモルタルの強度とほぼ同じ値を示す結果となった。また、(b)、(c)、(d)より供試体が完全に破断するまでは垂直方向に引張りクラックがまばらに発生し、破壊に至ると引張りクラックの連続性が生じ、脆性的な破壊を示している。この現象は実際のモルタルが破壊に至る現象とも一致している。

引張り荷重の場合の解析結果を図4に示す。(a)は応力とひずみの関係を(b)は2.0MPa、(c)は破壊直前そして(d)は破壊時のばねの破壊状況を示す。太い実線は引張り破壊を、薄い実線はせん断破壊を示す。(a)より、材料定数として与えた引張り強度2.0MPaよりも解析強度は大きくなり、2.2MPaであった。これは微視的な角度で見ると供試体が破壊するのは引張りだけでなくせん断など混合して破壊しているためであり、すべての要素の辺の角度が影響されたためである。

また、破壊直前までは引張りクラックが全体的に分布しているのに対して破壊時は一部に集中して発生し、それ以外のところで引張り破壊が起きていたところが閉じてしまっている。これは破壊したときの応力の解放により生じたもので実際の挙動と一致するものと思われる。

4. まとめ

本解析によって圧縮強度は引張り強度の約12倍となり、普通いわれている値に近くなっている。以上のことから圧縮強度を破壊基準に取り入れなくとも巨視的な圧縮強度が得られることがわかった。つまり、現在まで使われてきた圧縮強度といったものが実際にはどのような意味を持っているのか今後議論されるべきであると思われる。

参考文献

- [1] 川井忠彦・竹内則雄：離散化極限解析プログラミング、培風館
- [2] D.F.Watson: Computing Dirichlet tessellation, The Computer Journal, Vol.24, No.2, pp.162~166, 1981