コンクリート材料に対する二次元粒子モデルの開発

名古屋大学大学院 学員 〇久保田浩 中部大学 正員 伊藤 睦 中部大学 正員 水野英二

1. はじめに

本研究では、コンクリートを構成するモルタルおよび骨材の応 カーひずみ関係を表現するための二次元粒子モデル¹⁾の開発を試 みた.ここでは、粒子モデルを 6 本のトラス部材により構成し、 トラス部材の圧縮破壊および引張破壊の進展に伴うユニットモデ ルの破壊形態の検証を行った.続いて、材料の巨視的な材料強度 を再現できるようにトラス部材の仮想的な材料定数を設定した.



2. 二次元粒子モデルの開発

2.1 二次元粒子モデルの概要

コンクリート材料を構成するモルタルおよび骨材に対するユニットモデルの概要 を図-1 に示す.本研究で提案するユニットモデルは,水平材,鉛直材ならびに斜 材を含む6本のトラス部材から構成されており,その大きさ(縦,横および奥行き) は単位長さ1を基本とする.なお,後述するように,ユニットモデルを構成するト ラス部材(6本)の圧縮破壊および引張破壊の進展に関する検討を行うことにより, 本研究にて提案する粒子モデルでは,ユニットモデルの「引張破壊」に加え,「圧縮 破壊」および「せん断破壊」を含めた3種類の破壊モードの再現が可能となる.

2.2 粒子モデル開発上の仮定

本研究の粒子モデルは、以下のような仮定に基づく.

- (1) モデルを構成する部材は、軸方向力(引張力および圧縮力)のみを負担する.
- (2) 図-2 に示すように、モデルを構成する部材の圧縮および引張挙動は、全て線形 とし、最大応力点で脆性破壊を呈する.
- 2.3 破壊モードの定義

「圧縮」、「引張」および「せん断」に対して、3種類の破壊モードを定義する.

- ・「圧縮破壊モード」: ユニットモデルの破壊進展において,第一段階として上下2 本の「水平材が引張破壊」し,次いで「鉛直材が圧縮破壊」する形態を「圧縮破 壊モード」と定義する(図-3参照).
- 「引張破壊モード」: ユニットモデルの破壊進展において、「全ての鉛直材および斜 材が同時に引張破壊」する形態を「引張破壊モード」と定義する(図-4参照).
- ・「せん断破壊モード」:ユニットモデルの破壊進展において、第一段階として「斜材(部材番号③)が引張破壊」し、次いで「全ての水平・鉛直材が同時に引張破壊」する形態を「せん断破壊モード」と定義する(図-5参照).
- 2.4 ユニットモデル構成部材の材料定数ならびに諸元

ユニットモデルを構成する 6本のトラス部材の材料定数ならびに諸元に関しては, 各々の破壊モードにおいて実際の巨視的な材料強度を表現できるように,水平材, 鉛直材ならびに斜材にはいずれも仮想の弾性定数 E^* ,断面積 A^* , 圧縮強度 f_c^* なら びに引張強度 f_t^* を設定した.ユニットモデルを構成する各トラス部材の仮想の弾 性定数,断面積,および圧縮・引張強度を**表**-1に示す.





図-5 せん断載荷状態

3. 解析結果および考察

本モデルを検討するため、2.4節で示したトラス部材の 仮想の材料定数ならびに諸元を用いて、モルタルおよび骨 材に対するユニットモデルの FEM 破壊解析を行い,3 種 類の破壊モードに至るまでの応力--ひずみ関係を求めた. 解析に用いた材料定数(引張強度 f, は圧縮強度 f, の 1/10 と設定した)を表-2に、ユニットモデルの諸元を表-3 に示す. ここでは、ユニットモデルの水平材、鉛直材およ び奥行きの大きさを単位長さ1cmとし、斜材の長さを√2 cm として解析を実施した. これら解析結果を

るように、応力-ひずみ関係は、水平トラス部材の引張破壊に起因する縦

図-6 に示す. なお, 骨材の応力-ひずみ関 係はモルタルの応力-ひずみ関係と同様の傾 向であったため、ここでは、割愛する. 図中 の挿し絵に示す線種はユニットモデル構成部 材の破壊(引張または圧縮破壊)を意味する. 圧縮破壊解析結果から分か

L	収念の留儿		小十仞 如但仞	ホナイソ			
	断面積 А.	A ₁ *	$\frac{(E-2G)+\sqrt{E^{2}+4G^{2}}}{4\left[(E+2G)+\sqrt{E^{2}+4G^{2}}\right]}$	A ₂ *	$\frac{\sqrt{2}G}{\left(E+2G\right)+\sqrt{E^2+4G^2}}$		
[弾性定数 <i>E</i> [∶]	E 1*	$E + 2G + \sqrt{E^2 + 4G^2}$	E 2	$E + 2G + \sqrt{E^2 + 4G^2}$		
	圧縮強度 f _c	f_c_1	$\frac{f_c^{'}}{2A_1^*}$	f _ 2	$\frac{2\sqrt{2}A_{1}^{*}+A_{2}^{*}}{A_{2}^{*}}\times\frac{f_{t}}{2A_{2}^{*}}$ $\sim \frac{f_{c}^{*}}{\sqrt{2}(2A_{1}^{*}+A_{2}^{*})}$		
	引張強度 f_t	f_{t1}^*	$\frac{2\sqrt{2}A_1^* + A_2^*}{2\sqrt{2}A_1^* + 2A_2^*} \times \frac{f_l}{2A_1^*}$	f_{t2}^*	$\frac{f_t}{4A_1^* + 2\sqrt{2}A_2^*}$		
- 注)							

-3

表

F.

Α,

トラス部材の仮想的な諸元

材料の巨視的な弾性定数 材料の巨視的な圧縮強度 f_c 水平・鉛直材の仮想の弾性定数 E. A:::水平・鉛直材の仮想の断面積 :水平・鉛直材の仮想の圧縮強度 f f₁₁:水平・鉛直材の仮想の引張強度 f₁₂:斜材の仮想の引張強度

- 1 涱

> : 斜材の仮想の圧縮強度 f ' 2 ユニットモデルの諸元

材料の巨視的な引張強度

斜材の仮想の弾性定数

斜材の仮想の断面積

表一2 材料定数					
	/	モルタル	骨材		
Ε	(GPa)	30. 0	60. 0		
G	(GPa)	12.5	25. 0		
f _c '	(MPa)	50.0	180. 0		
f_t	(MPa)	5.0	18.0		

モルタル 骨材 A_{1}^{*} (cm²) 0.117 0.117 (GPa) 94.05 188.10 E_1^* (MPa) 213.5 768.6 f, (MPa) 15.68 56.43 f_{t1}^* 0.188 A ^* (cm²) 0.188 *E*^{*}₂ (GPa) 94.05 188. 10 f_{c2}^{*} (MPa) 60.24 216.90 f_{t2}^{*} (MPa) 5.00 18.00

ひび割れがユニットモデルに生ずる段階(おおよそ圧縮強度の 20 %~30 %)まで初期弾性勾配(Em)で線形 挙動を,続いて鉛直材が圧縮破壊する最大圧縮強度までやや低い勾配で線形挙動を示す(図-6(a)参照).一 方、引張破壊解析では、応力-ひずみ関係は、鉛直材ならびに斜材の同時引張破壊に起因するユニットモデ ル全体の横ひび割れ破壊が生ずる段階(引張強度)まで初期弾性勾配(E_w)で線形挙動を示す(図-6(b)参 照). また、せん断破壊解析における応力--ひずみ関係は、斜めトラス部材(右上がりの斜材)の引張破壊に 起因する斜めひび割れがユニットモデルに生ずる段階まで初期せん断弾性勾配(G_w)で線形挙動を,続いて 鉛直材および水平材が同時引張破壊する段階まで低い勾配で線形挙動を示す(図-6(c)参照).本解析から得 られるせん断破壊強度は,モール・クーロンによる理論値と比較して,おおよそ 80 %の強度を示した.



4. まとめ

- 1) コンクリート材料を構成するモルタルおよび骨材に対する二次元粒子モデルの開発を試みた.
- 2) ここでは、材料の基本的な「圧縮破壊」、「引張破壊」および「せん断破壊」挙動を再現するため、ユニッ トモデルを構成するトラス部材の微視的な材料定数を設定し、各種破壊モードに至るまでのモルタルおよ び骨材モデルの応力--ひずみ挙動を検証した.
- 3) これらの解析結果より二次元粒子モデルの有効性を確認することができた.
- 謝辞:本研究は、日本私立学校振興・共済事業団の学術研究振興資金ならびに平成 16 年度土木学会中部支部調査研究委員会ワ ·クショップ助成金により行ったことを記し、ここに謝意を表す.

参考文献

1) Jirasek, M & Bazant, Z. P. : Macroscopic fracture characteristics of random particle systems, International Journal of Fracture, Vol. 69, pp. 201-228, 1994/1995