

コンクリート材料に対する粒子モデルの構築

中部大学 ○久保田浩 中部大学 正員 伊藤 睦 中部大学 正員 水野英二

1. まえがき

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「応力-ひずみ関係」を表現するための粒子モデルの構築を試みた。ここでは、モルタルおよび骨材といった材料の粒子モデル（1 ユニット）を 6 本のトラス部材により構成し、材料の基本的な「圧縮破壊」、「引張破壊」、および「せん断破壊」挙動を表現できるように、トラス部材の微視的（仮想的）な断面積、材料強度、ならびに弾性定数を同定し、それらユニットモデルの破壊形態の検証を行った。

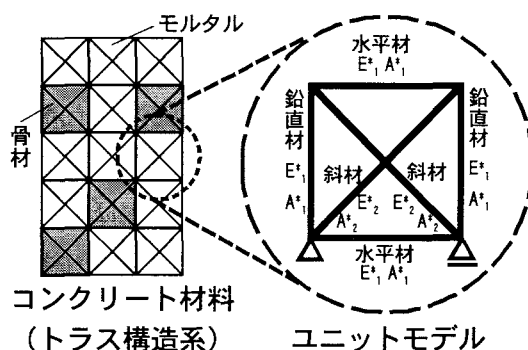


図-1 粒子モデルの概略

2. 二次元粒子モデルの構築

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のユニットモデルの概要を図-1 に示す。各々のユニットモデルは、水平材、鉛直材ならびに斜材で構成され、その大きさ（縦、横および奥行き）は単位長さ 1 を有する。Jirasek ら¹⁾は、構成するトラス部材の引張破壊のみを考慮することにより、3 点荷重による曲げ試験における切り欠きを有するコンクリート梁の引張軟化解析において粒子モデルを応用している。一方、本研究における粒子モデルでは、トラス部材の破壊形態の検証を行うことにより、「引張破壊」に加え、材料の「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である。

2.2 粒子モデル構築上の仮定

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

図-3, 4, および 5 に示すように、ユニットモデルに対する「圧縮破壊」、「引張破壊」および「せん断破壊」の 3 種類の破壊モードを以下のように定義する。

- ・「圧縮破壊モード」：部材の破壊進展において、「水平材が引張破壊」、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」：部材の破壊進展において、「鉛直材、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」：部材の破壊進展において、「斜材（部材番号③）の引張破壊」、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 本のトラス部材の諸元は、2.2 節ならびに 2.3 節に従い、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・鉛直材はいずれも仮定の弾性定数 E^* 、断面積 A^* 、圧縮強度 f_c^* 、ならびに

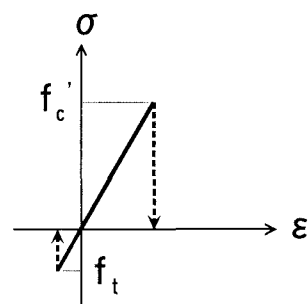


図-2 圧縮・引張挙動

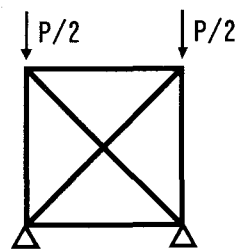


図-3 圧縮載荷状態

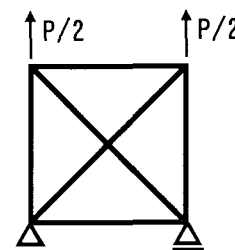


図-4 引張載荷状態

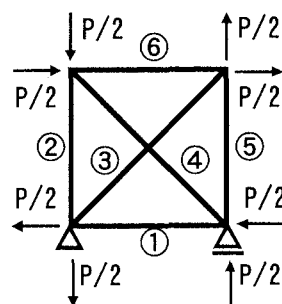


図-5 せん断載荷状態

に引張強度 f_{t1}^* を設定し、また、斜材にも同様に仮想の弾性定数 E_2^* 、断面積 A_2^* 、圧縮強度 f_{c2}^* ならびに引張強度 f_{t2}^* を設定した。

解析に用いた材料定数(引張強度 f_t は圧縮強度 f_c' の 1/10 と設定)を表-1 に、ユニットモデルの諸元を表-2 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をの大きさを単位長さ 1 cm とし、斜材の長さを $\sqrt{2}$ cm として解析を行った。

3. 解析および考察

本モデルを検証するため、2.4 節で示した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 FEM 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。

表-1 材料定数

	モルタル	骨材
E (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

表-2 ユニットモデルの諸元

	モルタル	骨材
A_1^* (cm ²)	0.117	0.117
E_1^* (GPa)	94.05	188.10
f_{c1}^* (MPa)	213.5	768.6
f_{t1}^* (MPa)	15.68	56.43
A_2^* (cm ²)	0.188	0.188
E_2^* (GPa)	94.05	188.10
f_{c2}^* (MPa)	60.24	216.90
f_{t2}^* (MPa)	5.00	18.00

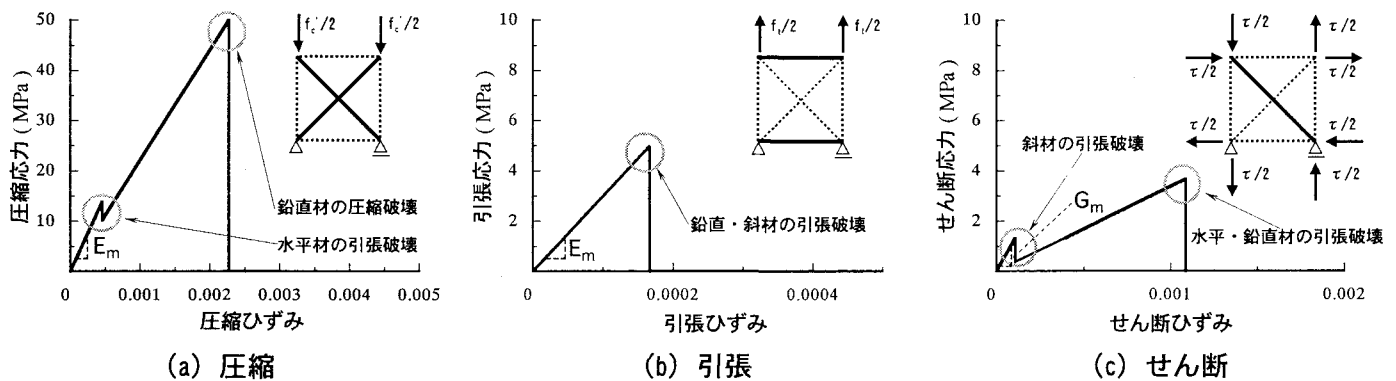


図-6 「圧縮」、「引張」、および「せん断」の载荷状態における応力-ひずみ関係(モルタル)

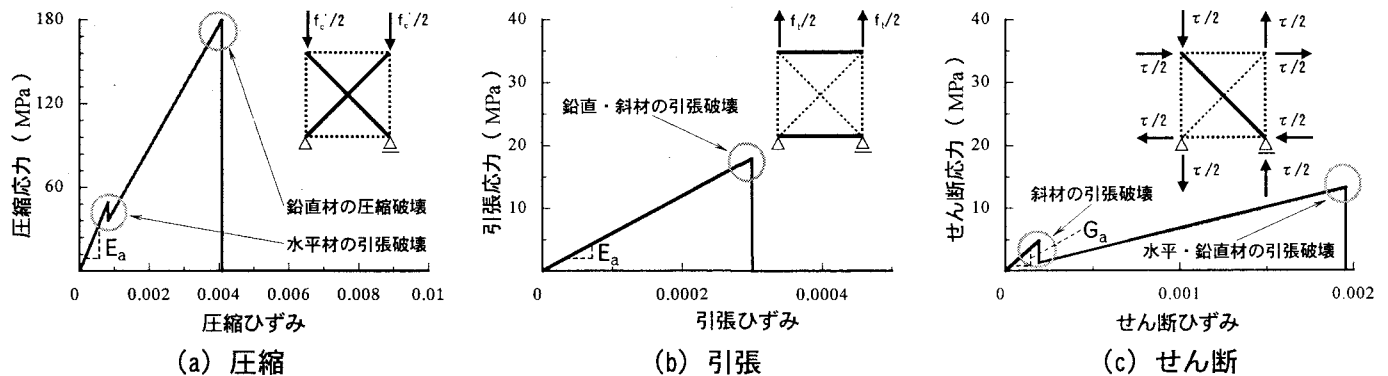


図-7 「圧縮」、「引張」、および「せん断」の载荷状態における応力-ひずみ関係(骨材)

これら解析結果を図-6 および図-7 に示す。なお、図中のユニットモデル構成部材の破線は破壊を意味する。本解析結果から分かるように、圧縮破壊解析では、応力-ひずみ関係の初期弾性勾配 (E_m および E_a) は縦ひび割れ破壊が生ずる段階(圧縮強度の 20 %~30 %)まで続く。また、せん断破壊解析における応力-ひずみ関係の初期弾性勾配 (G_m および G_a) は斜めひび割れが生ずる段階まで続くことが分かる。

4. まとめ

本研究では、コンクリート材料を構成する「モルタル」および「骨材」の粒子モデル(トラスモデル)の構築を試みた。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、本提案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の応力-ひずみ関係を検証した。

謝辞：本研究は、平成 16 年度土木学会中部支部調査研究委員会ワークショップ助成金ならびに日本私立学校振興・共済事業団の学術研究振興資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