

短繊維の配向性を考慮したメゾスケール解析手法による繊維補強コンクリートの曲げ挙動解析

清水建設 技術研究所 正会員 ○小倉 大季, 滝本 和志
 岐阜大学大学院 正会員 国枝 稔

1. はじめに

短繊維補強セメント系材料は、特に自己充填性を有する場合において、打込み時の流動方向に伴う配向性の存在が実験により確認されている。繊維配向は硬化後の力学性能に影響を与えるため、配向に起因する材料のばらつきを考慮する必要がある反面、配向を制御することができれば、積極的に配向させて繊維の補強効果を効率的に発揮させられる可能性があるといえる。しかしながら、既往の研究では力学性能に与える配向の影響が必ずしも明確になっていないため、理想的な配向状態は明らかではない。そこで本研究では、メゾスケール解析手法を用いた配向性の影響評価の第一段階として、2方向曲げを受ける平板を対象に、繊維をランダムに配向させた場合と規則的に配向させた場合を解析し、配向が破壊挙動に与える影響の検証を試みた。

2. 解析手法

本研究では、3次元RBSM(剛体-バネモデル)を解析手法に用いた。RBSMは、要素を剛体と仮定し、要素の重心に6自由度を設定する。各要素の境界面には境界と垂直、平行、回転方向にばねを配置した。垂直ばねはコンクリートの引張強度、破壊エネルギーを考慮してモデル化し、平行ばねにはモール・クーロン型の破壊基準を導入しせん断挙動を表現した。

短繊維は、所定の長さ、径の繊維を対象領域に離散的にモデル化した。繊維による補強効果は、要素境界面(ひび割れ面に相当)を跨ぐ繊維位置に長さ0のばねを配置し(図-1)、このばねに架橋力を作用させることで表現した¹⁾。なお、ひび割れ面に直交して配置されない繊維は、その配向角度に伴った引抜きに対する抵抗性の向上効果ならびに繊維強度の低減効果を考慮した¹⁾。

3. 解析概要

本研究では、2方向曲げを受ける平板を解析対象とした。解析モデルは図-2に示すようにヴォロノイ分

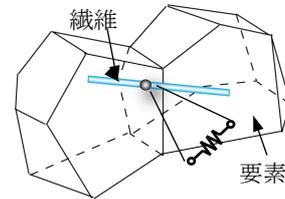


図-1 短繊維の離散モデル

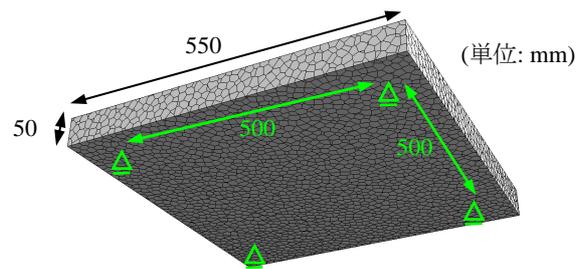
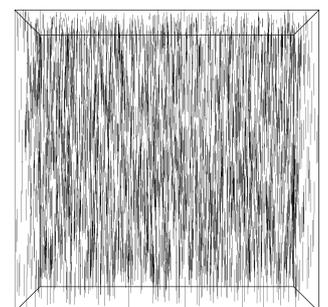
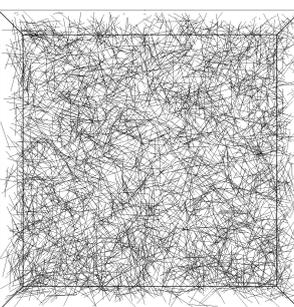
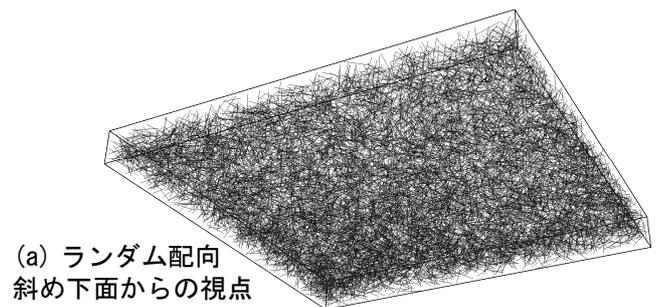


図-2 解析モデル



(a) ランダム配向 斜め下面からの視点
 (b) ランダム配向
 (c) 規則配向

図-3 短繊維のモデル化

表-1 解析に用いたパラメータ

短繊維	繊維長 L_f (mm)	30
	繊維径 d_f (mm)	0.7
	弾性係数 E_f (GPa)	9.8
	破断強度 σ_{fu} (MPa)	500
短繊維・コンクリート界面	摩擦付着強度 τ_i (MPa)	3.5
	化学付着強度 τ_s (MPa)	7.5
	付着剛性 G (MPa/mm)	25

キーワード 短繊維補強コンクリート, 繊維配向, メゾスケール解析, 3次元RBSM
 連絡先 〒135-8530 東京都江東区越中島 3-4-17 TEL 03-3820-6415

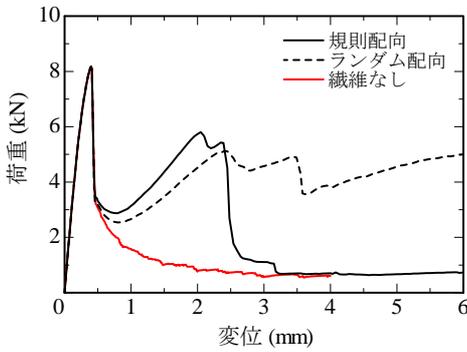


図-4 荷重-変位関係

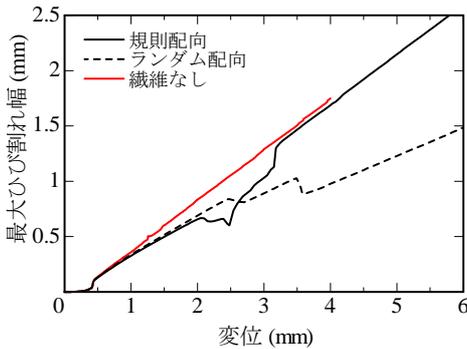


図-5 最大ひび割れ幅-変位関係

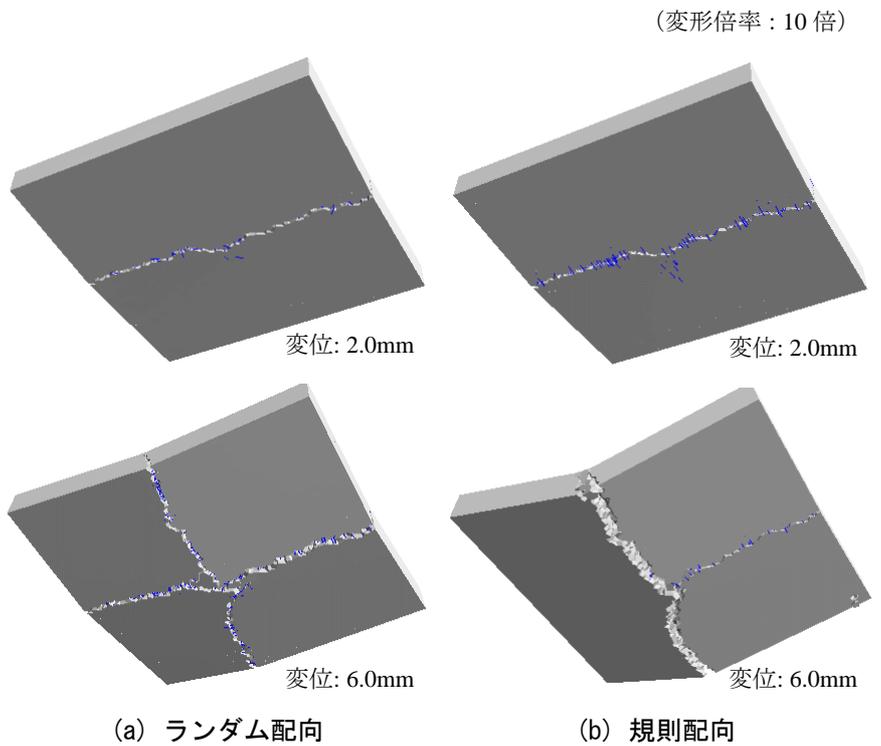


図-6 変形図 (下面からの視点)

割を用いて要素分割し, 表-1 に示す諸元の繊維を体積比で 1.0% 混入させた場合を想定した. 繊維の配置は, 図-3 のように乱数を使用して配置したランダム配向と, 初期に発生するひび割れ面と直交する角度に全繊維を配向させた規則配向をモデル化した. なお, 平板を二等分する切断面 (550×50mm) を跨ぐ繊維本数を算定すると, ランダム配向では 389 本, 規則配向では 725 本であった.

載荷は, 平板上面の中央位置に配置した載荷板要素 (40×40mm) を変位制御することにより行った.

4. 解析結果

図-4 に荷重-変位関係, 図-5 に最大ひび割れ幅-変位関係, 図-6 に変形図を示す. 図-4, 5 には繊維補強していないケースの結果も併記した. 繊維補強していない場合, 初期のひび割れ発生後に荷重が徐々に低下していくが, 繊維を配置したケースの場合, 変位 1mm を超えると繊維の架橋力により荷重が再上昇することが確認できる. また, 変位 2mm までは規則配向のほうがその補強効果は大きい. これは, 前述したようにひび割れ面を跨ぐ繊維本数がランダム配向よりも多いためである. 本結果は, 発生するひび割れの方向が既知の場合, ひび割れ面と直交する方向に繊維を配向させることが, 補強効果を効率的に発揮させる方策であることを示唆する.

さらに強制変位を付与していくと, 変位 2.5mm 付近で図-6(b) のとおり初期のひび割れと直交する方向に 2 本目のひび割れが発生するが, 規則配向の場合は当該ひび割れを跨ぐ方向に繊維が存在しないため荷重が大幅に低下する. ランダム配向の場合は, 2 本目のひび割れに対しても繊維の補強効果が発揮されたことで, 変位が 4mm を超えても荷重 4kN を負担し, 最大ひび割れ幅は規則配向の半分程度である. 以上の結果から, 繊維の配向性が破壊挙動に与える影響を表現できているといえる. なお, 2 本目のひび割れ発生荷重が初期のひび割れ発生荷重よりも低いのは, 初期ひび割れ発生に伴い 4 点の支点反力のバランスが崩れ, 反力が不均等になったためである.

5. まとめ

本研究では, 短繊維を離散化した 3 次元メソスケール解析を用いて, 繊維の配向性が破壊挙動に与える影響を表現できることを確認した. 今回は鉄筋で補強していない場合の検証のみを行ったが, 今後は鉄筋補強した繊維補強材料に対して検討を行っていく予定である.

【参考文献】

- 1) 小倉大季, 国枝稔, 中村光, 吉武謙二: 短繊維を離散化したメソスケール解析による繊維補強コンクリートの剥落挙動解析, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集, Vol.12, pp.417-424, 2012.