

骨材界面の強度の変化がモルタルの力学的挙動に及ぼす影響

Mechanical effect of change in the intensity of the aggregate interface

北海道大学工学部環境社会工学科 ○学生員 羽根佑歩 (Yuhō Hane)
 北海道大学大学院工学研究院 正会員 佐藤靖彦 (Yasuhiko Sato)

1. はじめに

コンクリートの各種特性を明らかにする上で、骨材界面の影響を排除することは不可能である。本研究では、モルタルスケールのモデルを対象とし、細骨材とモルタル間の界面強度がモルタルの全体挙動に及ぼす影響を解析的に明らかにすることを目的とし、剛体バネモデル (RBSM) を用いた準微視的 (以下、メソスケール) 構造解析を行ったのでその結果を報告する。

2. 解析概要

2.1 解析モデル

図-1 に示すように、RBSM では剛体を垂直バネ (図-2(a)) 及びせん断バネ (図-2(b)) で繋ぐことにより、要素間の応力伝達を表現している。バネの破壊、すなわち、ひび割れの判定は、モールクーロンの破壊基準に基づいて行っている。

本解析における要素間の結合としては、骨材と骨材、骨材とモルタル、モルタルとモルタルの3つのケースがある。この内、骨材とモルタルを繋ぐバネを骨材隣接要素とし、その界面隣接要素の強度を変えることによって、その影響を調査した。すなわち、均質化要素および骨材要素の力学特性には、既往の実験で求められた値を適用し、一方、隣接要素の材料値は、モルタル要素をベースとし、標準値の0.1、0.5、2倍とした合計4ケースに変化させた。

本研究で対象としたモデルは、幅30mm×長さ60mm×厚5mmのメソスケール供試体を用いた曲げ解析と、幅50mm×高さ10.0mmのメソスケール供試体を用いた圧縮解析の2種類である。図-3に要素分割を示す。なお、本研究では、1mm以下の細骨材をセメントペーストとともに均質化したものをモルタル要素と称している。すなわち、1mm~1.7mmの細骨材を再現したものが骨材要素である。なお、要素寸法は曲げ、圧縮でそれぞれ約0.5mm、1.5mmとしてポロノイ分割によってメッシュを作成し、曲げ載荷では下方方向に0.005mm/Step、圧縮載荷では下方方向に0.01mm/Stepの強制変位を与えることによって載荷を行った。

2.2 解析方法

作成したモデルに曲げ載荷および圧縮載荷を行うことによって界面情報をパラメータとする解析を行った。要素寸法を0.5mmとしてポロノイ分割によってメッシュを作成し、下方方向に0.005mm/Stepの強制変位を与えることによって載荷を行った。なお、骨材は乱数を発生させることでランダムに配置されている。解析に用いた材料値を表-1に、モデルの概形及び寸法を図-4および図-5に示す。

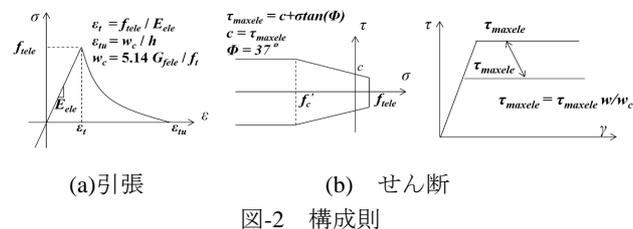


図-2 構成則

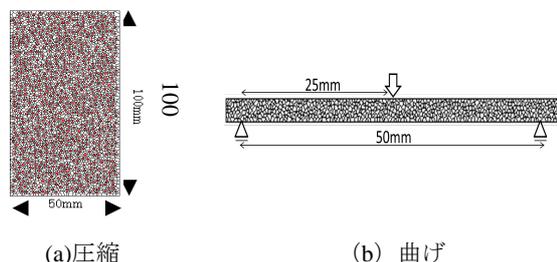


図-3 解析モデル

表-1 解析に用いた材料値

| 材料 | 弾性係数E (MPa) | 引張強度f _t (MPa) |
|------|------------------------------|---------------------------|
| 骨材 | 50000 | 300 |
| モルタル | 25840 | 4.81 |
| 材料 | 破壊エネルギーG _r (N/mm) | せん断強度f _s (MPa) |
| 骨材 | 1 | 300 |
| モルタル | 0.047 | 12.08 |

3. 解析結果および考察

曲げ解析により得られた結果を表-2に、曲げ応力-変位関係を図-4に示す。図より、骨材界面の均質化要素に対する材料値の変化が、曲げ載荷試験の最大荷重に与える影響が認められる。界面特性が2倍の場合には最大荷重が早期に現れ、脆性的に破壊している。0.5倍と1倍は概ね同様の挙動を示しており、0.1倍まで低下する

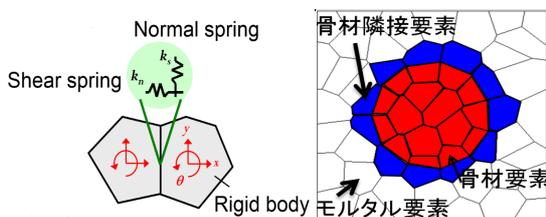


図-1 RBSM の概念図

と、じん性のある変形形態となることがわかる。また、界面特性が最も低い 0.1 倍の最大荷重は 7.79N であるが、界面特性 0.5 倍にすると、最大荷重は 13.5%程度向上し、本解析で設定したパラメータ間で最大の上昇率となった。

圧縮解析により得られた結果を表-2 に、応力ひずみ曲線を図-5 に示す。圧縮解析において、界面特性が 0.1 倍では弾性係数がかなり小さくなり、1 倍のものと比較すると半分程度となっている。一方で、界面特性が 2 倍の解析では、1 倍の解析の最大荷重を下回る結果になった。その差は 0.2MPa 程度と小さく、界面特性の上昇が最大荷重に及ぼす影響は無視できるほど小さいと判断できる結果となった。したがって、圧縮強度に関してはモルタルの強度が支配的であると考えられる。一方で弾性係数に差がでていることから、破壊形態には変化が現れるものと推測できる。

解析により求めた圧縮強度と曲げ強度の関係を図-7 に示す。図には、過去に得られた圧縮強度と曲げ強度の関係が実線で示されている。界面強度の低い範囲での圧縮強度に対する曲げ強度は同様の傾向を示すものの、界面特性が高い領域では急激に曲げ強度が上昇していることがわかる。すなわち、界面特性がモルタルの強度に及ぼす影響は、圧縮や曲げなどといった応力状態により異なる。

4. まとめ

剛体バネモデルを用い、界面特性がモルタルの圧縮及び曲げ特性に及ぼす影響を解析的に検討した。限られた範囲の中で得られた主たる知見を以下に示す。

- 1) 解析結果から、骨材界面の影響は、曲げ挙動に顕著に表れ、圧縮挙動には表れにくい傾向にあった。
- 2) 骨材界面特性の向上は弾性係数には影響するものの、最大荷重には大きな影響を及ぼさないことが分かった。これは、骨材界面強度がモルタル強度に近づくと、モルタルにひび割れが進行し、破壊に至るためであると考えられる。

5. 参考文献

- 1)三浦泰人：セメント系複合材料の準微視的力学—力学連成解析システム、北海道大学学位論文、2015
- 2)Kohei NAGAI：Mesoscopic Simulation of Failure of Mortar and Concrete by RBSM、北海道大学学位論文、2006

謝辞

本研究において、名古屋大学大学院助教の三浦泰人博士に多大なご協力をいただきました。ここに深く御礼申し上げます。

表-2 解析結果

| 解析値 (MPa) | 界面特性 | | | |
|-----------|-------|-------|-------|-------|
| | 0.1 倍 | 0.5 倍 | 1.0 倍 | 2.0 倍 |
| 曲げ強度 | 7.8 | 8.8 | 9.6 | 9.8 |
| 圧縮強度 | 39.1 | 58.5 | 61.2 | 61.0 |
| 弾性係数 | 13459 | 19425 | 22744 | 25917 |

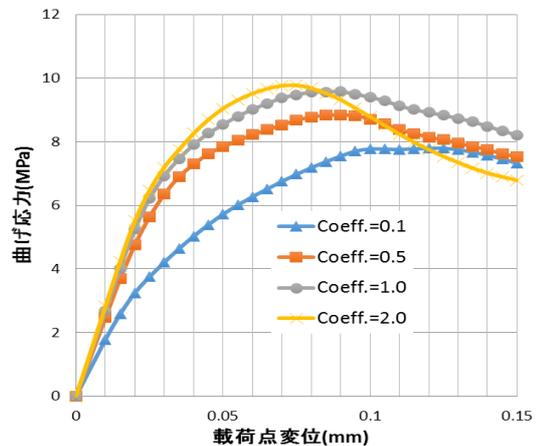


図-4 曲げ応力-変位関係

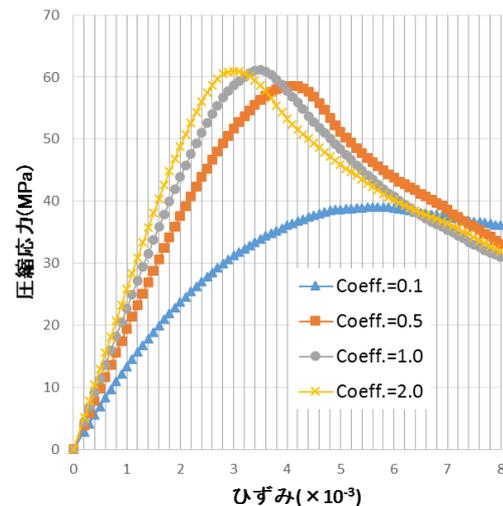


図-5 圧縮応力-ひずみ関係

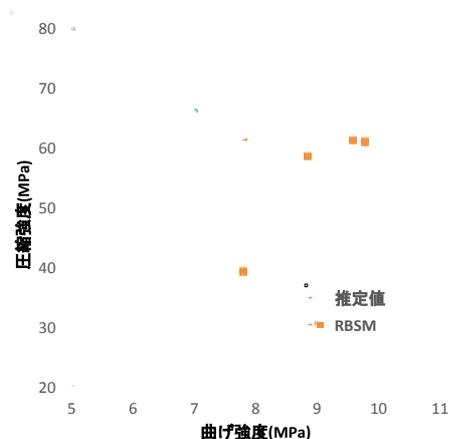


図-6 圧縮強度と曲げ強度の関係