

## 二層モルタルの圧縮破壊特性に関する実験および数値解析的研究

琉球大学大学院 学生員 ○白石 佳一郎 琉球大学 正会員 松原 仁

### 1. はじめに

既設コンクリート構造物の上に新たにコンクリートを打設した場合、上部と下部に強度差が生じ、接合部にて意匠性の低下や強度低下の可能性が懸念される。実際に、接合部が原因とみられる事故が多数報告されており<sup>1)</sup>、接合部における破壊特性の把握や材料特性の獲得等、力学的な検討が急務となっている。一般に、接合部の力学的挙動を検討する場合、当該部位における剥離剥落を防止するために必要な附着強度を評価する機会が多い。しかしながら、強度差のある二層材料が圧縮外力を受けた場合の挙動については、理論的・破壊力学的な評価が欠落しているのが現状である。

そこで、本研究では、強度差のある二層モルタルの圧縮破壊メカニズムの解明を指向し、二層モルタル試験体の作成方法を提案するとともに、それらの破壊特性について実験および数値破壊力学シミュレーションにて検討する。

### 2. 二層モルタル試験体の作成方法

二層モルタルの圧縮試験を実施する際に、圧縮力が全断面に均等に伝わるように、接合部設定することが必要である。そこで、本研究では接合面における凹凸を最小限に抑えるために、以下の手順に沿って二層モルタル試験体を作成した(図-1参照)。

- (1) 一層目のモルタルを型枠 ( $\phi 100 \times 200\text{mm}$ ) の高さの1/2強まで打設し、7日間、 $20^\circ\text{C}$ で気中養生する(図-1(a))
- (2) (1)で作成したモルタルを高さ100mmになるように研磨する(図-1(b))
- (3) (2)のモルタルを型枠 ( $\phi 100 \times 200\text{mm}$ ) に戻し、残り1/2の高さに二層目のモルタルを打設し、7日間、 $20^\circ\text{C}$ で気中養生した後、21日間、 $20^\circ\text{C}$ で水中養生する(図-1(c))
- (4) (3)のモルタルに対して、 $\phi 50 \times 100\text{mm}$  のコア試験体を作成する(図-1(d),(e))

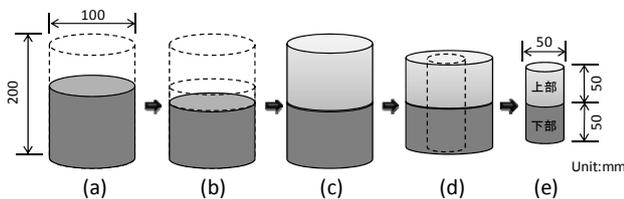


図-1 二層モルタル試験体の作成方法概念図

### 3. 実験によるひび割れパターンの検討

本研究では、二層モルタルの圧縮強度試験に伴うひび割れパターンを抽出するために、異なる水セメント比(w/c)を有する二層モルタル試験体にて検討した。具体的には、図-1(e)の上部/下部に対して、w/cが35%、45%、55%、65%の4

種類を振り分け、合計10パターンの二層モルタル試験体を作成し、応力-ひずみ試験を実施した。なお、各w/cを有するモルタルの圧縮強度、ヤング係数、ポアソン比を表-1に示した。

図-2に上部ひずみと下部ひずみの関係、図-3に二層モルタルの下部のw/cを35%に固定し、上部のw/cを35%から65%に変化させた場合の破壊形状の様子を示した。w/cの増加に伴い、クロス状のひび割れが上層部に表れることを確認した。これは上層部では下層部よりもせん断項が卓越しているためだと考えられる。また、不連続面が破壊性状に及ぼす影響は少ないことが考えられた。

表-1 各水セメント比の材料特性

w/c	35%	45%	55%	65%
圧縮強度 (Mpa)	50.41	35.61	29.19	14.77
ヤング率	21281.0	16216.2	15443.8	7987.9
ポアソン比	0.34	0.39	0.36	0.38

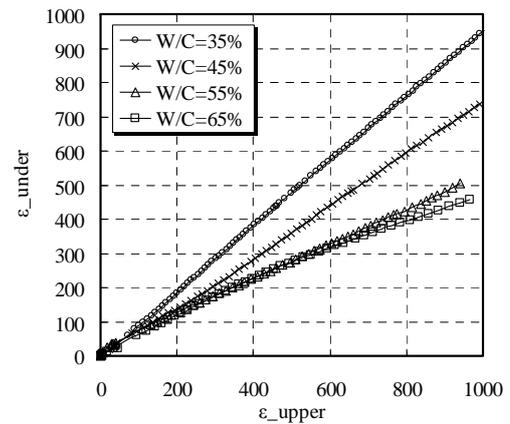


図-2 上部ひずみと下部ひずみの関係

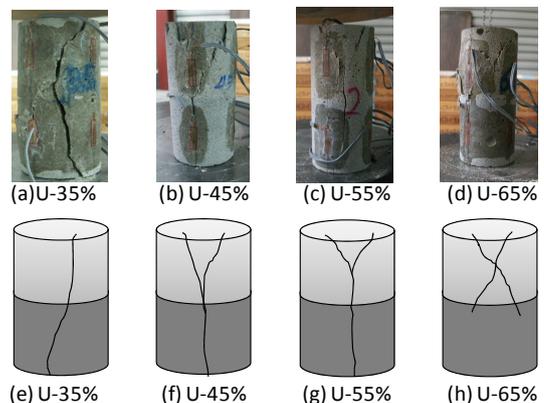


図-3 上部の水セメント比の変化に伴う破壊形状の変化 ((a)~(d): 破壊の実際様子, (e)~(h): 模式図)

#### 4. 数値解析によるひび割れパターンの検討

本研究では、3次元有限要素法を用い、モルタルが引張強度に達した後は、ひび割れ面の応力が0となる単純な方法<sup>2)</sup>を採用し、モルタルの破壊性状を解析する(図4参照)。本手法では、領域に存在する要素の最大主応力が引張強度に達する荷重比率を計算し、次の段階ではその要素を図4(a)に示すようなひび割れ要素とし、解析を進めてゆく。具体的に示すと、 $r = (\sigma_{1,max} - f_t) / f_t$  ( $\sigma_{1,max}$ :最大主応力値,  $f_t$ :引張強度)で定義される $r$ が最も大きな要素を検索し、次のステップでこの要素をひび割れ要素とする。このときの要素の物理量については、 $u_{mod} = u / (1+r)$ で定義される。以上の計算を応力が低減するまで繰り返すことで、モルタルのひび割れを表現する。よって増分解析ではない。したがって、不安定な計算になりやすい非線形解析でも極めて安定した解析が期待できる。

数値解析モデルとして、二層モルタルの下部側のw/cを35%に固定し、上部のw/cを35%から65%に変化させた場合の4パターンについて検討した。なお、各層の材料係数は表-1に示す通りであり、要素数は331,849、節点数は57,667である。また、境界条件として試験体下端において全方向固定とし、上端では載荷軸方向以外を固定条件とした。なお、本研究では変位制御で解析を進めた。

図-5に繰り返し回数と平均主応力の関係を示す。同図より、繰り返し回数の増加に伴い、主応力値が低下し、その後はほぼ一定のまま推移してゆく様子が確認できた。また、w/cの増加に伴い最大主応力の値が低下する様子も表現できている。

図-6に上面のw/cが55%の時のひび割れの進展の様子を示す。固定・載荷面や接合面において、ひび割れの“種

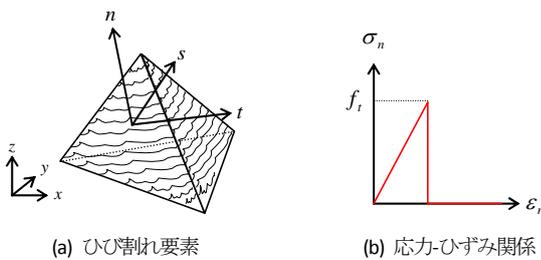


図4 ひび割れ要素とその応力-ひずみ関係

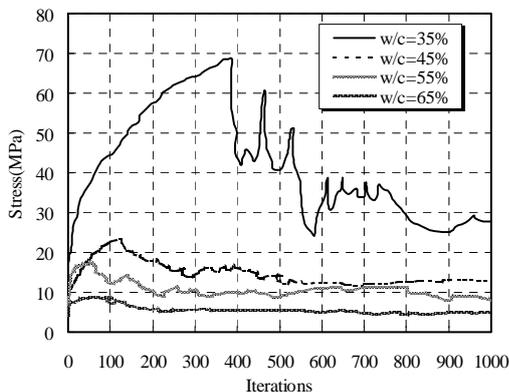


図5 解析で得られた繰り返し回数と平均応力の関係

が幾つか発生している(図-6(a))。その後、接合面にひび割れが集中し、それらが試験体の下部方向(高剛性側)に進展してゆく(図-6(b)~(d))。さらに、その後、試験体上部方向に進展することを確認した(図-6(e)~(g))。これはよく知られているように、力が剛性の高い方向へ流れていくことが原因であると考えられる<sup>3)</sup>。このことについて、実験結果との比較を行ったところ、図-7に示すように、定性的ではあるが、実験においても高剛性側へのひび割れの進展を確認することができた。

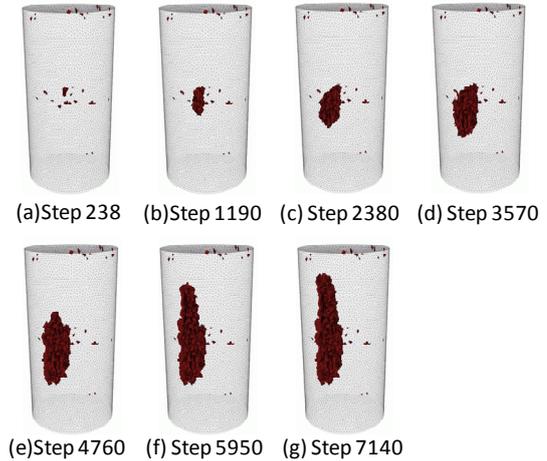


図-6 ひび割れ進展の様子(赤色:ひび割れ要素)

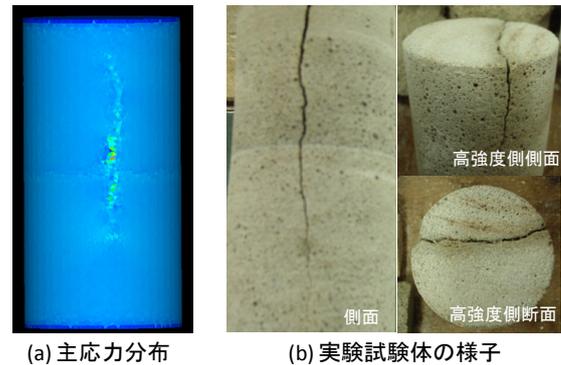


図-7 ひび割れ面の解析結果と実験結果との比較

#### 5. おわりに

本研究では二層モルタル試験体の作成方法を提案し、二層モルタルの破壊性状について実験および数値解析にて検討した。数値解析においては、実験で得られた載荷軸方向のひび割れを再現できたが、実験で見られたクロス状のひび割れについては再現することは出来なかった。今後更なる検討が必要である。

#### 参考文献

- 1) 佐藤啓幸, 地濃茂雄, コンクリート構造物におけるコールドジョイントに関する2,3の実験, 日本建築学会北陸支部研究報告集, Vol. 46, pp.1-4, 2007.
- 2) 安和守史ほか, 3次元フリーメッシュ法を用いたコンクリートの破壊解析手法に関する研究, コンクリート工学年次論文報告集, Vol. 24, No. 2, pp. 55-60, 2002.
- 3) 川面恵司ほか: 有限要素法のモデル化技術と応用解析, 養賢堂, 2007.