V - 17

# 再生細骨材を用いたモルタルの降伏条件について

A study on failure criterion of mortar made of recycled fine aggregate

北海道工業大学大学院工学研究科土木工学専攻 ○学生員 金子 修平 (Syuuhei Kaneko) 北海道工業大学社会基盤工学科 正 員 今野 克幸 (K.Konno) アグロ技術株式会社 伊藤 正澄 (M.Ito)

# 1. はじめに

本研究における実験は、再生コンクリートの破壊のメ カニズムについて考察するために用いる解析プログラム に導入する構成則として、再生細骨材を用いたモルタル (以降、再生モルタルと呼ぶ)の降伏条件を求める目的 で行ったものである。再生モルタルの降伏条件について は図-2 に示すような供試体を用いた要素試験によって検 討が行われた。

#### 2. 実験概要

降伏条件の検討に用いる供試体は図-2 の AB 間に破壊 面を生じさせるようした.実験結果の整理について図-1 に示す模式図を例に以下に記す.

まず,載荷面に載荷板との摩擦を除くためにテフロン シートを2枚重ねて設置し,供試体に載荷速度毎秒0.2~  $0.3N/mm^2$ で荷重 P を与え,AB 間(図-2 参照)に破壊面 を生じさせ最大荷重を得る.最大荷重をAB 間の水平面 に対する投影面積で除した値を最大主応力 $\sigma_1$  と仮定する. なお,水平方向には加力していないので最小主応力 $\sigma_3$ は ゼロと仮定する.次に図-1の模式図に示すように2つの 主応力によって半円を描き,破壊面AB と平行な直線と の交点を求める.以上の手順で破壊面AB が水平面とな す角度  $\alpha$  を変化させ載荷試験を行うことによって,モー ルの応力円と破壊面と平行な直線との交点を複数得る. それら,交点を結ぶことによって降伏曲面が得られると 考える.

また、本実験は再生モルタルを用いた試験を行う前に、 バージン細骨材を用いたモルタル(以降,普通モルタル と呼ぶ)による試験を行い、既往の研究<sup>1)</sup>で示されてい るモール・クーロン型の降伏条件と比較し、本研究にお ける実験結果の検証を行った.

#### 2.1 使用材料

#### (1) 普通細骨材及びセメント

普通モルタルの作製には,細骨材として密度 2.73kg/cm<sup>3</sup>,吸水率 1.72%の沙流川産砂を使用した.セメ ントは普通ポルトランドセメントを使用した.

#### (2) 再生細骨材

再生細骨材の製造は、原コンクリートを作製する段階 から始めた.原コンクリートには、レディーミクストコ ンクリートを使用した.呼び強度は 24N/mm<sup>2</sup>、スランプ は 10cm,粗骨材は由仁産砂利を使用しており、最大寸法 は 25mm,粗骨材の表乾密度は 2.62g/cm<sup>3</sup>、吸水率は 2.00%であった.細骨材は2 種類使用されており、細骨材 ①は沙流川水系門別産で表乾密度が 2.67 g/cm<sup>3</sup>、吸水率が



図-2 モルタルの最大せん断応力基準の供試体図

表-1 実験で使用した細骨材の物性値

	表乾密度	絶乾密度	吸水率
	$(g/cm^3)$	$(g/cm^3)$	(%)
普通細骨材	2.73	2.68	1.72
再生細骨材 H	2.62	2.52	3.09
再生細骨材 M	2.50	2.38	5.09

1.52%, 細骨材②は幌延町浜里産で表乾密度が 2.65g/cm<sup>3</sup>, 吸水率が 1.14%であった. なお, 細骨材①と細骨材②の 混合比は4:6であった.

再生骨材作製の一次処理として原コンクリートを材齢 56~58 日目にジョークラッシャーで破砕した.二次処理 として,ジョークラッシャーで破砕して得られたコンク リートがらに対してアトリッションミルを用いモルタル 及びセメントペーストの剥離を行った<sup>20</sup>.アトリッショ ンミルの処理工程において再生細骨材を 75μm~0.6mm と 0.6~5.0mm に分けて製造した.

# 平成17年度 土木学会北海道支部 論文報告集 第62号

供試体	W/C	空気量	単位量(kg/m <sup>3</sup> )			
	(%)	(%)	水	セメント	細骨材	混和剤
WC40 シリーズ	40	8.4	276	691	1146	0.670
WC50 シリーズ	50	8.4	281	563	1244	0.546
WC60 シリーズ	60	8.3	284	473	1319	0.458
WC50-Н	50	8.4	281	563	1194	0.546
WC50-M	50	8.4	281	563	1194	0.546

表-2 モルタルの降伏条件の実験における示方配合

二次処理の段階では粒度を 2 つに分けたため, 土木学 会の標準値の範囲 <sup>3)</sup>となるように粒度の調整を行った. 粒度の調整の際には, 密度及び吸水率が JIS の再生骨材 H<sup>4)</sup>相当のものとそれ以下のものの 2 種類の再生細骨材を 製造した(それぞれ再生細骨材 H, 再生細骨材 M と呼 ぶ). 再生細骨材 H は 0.6mm~5.0mm の再生細骨材と 75  $\mu$  m~0.6mm の普通細骨材を混合することによって製造 し, 再生細骨材 M は 0.6mm~5.0mm の再生細骨材と 75 $\mu$ m~0.6mm の再生細骨材を混合することによって製造 し, 再生細骨材 M は 0.6mm~5.0mm の再生細骨材と 75 $\mu$ m~0.6mm の再生細骨材を混合することによって製造

以上の工程によって,製造した細骨材の物性値を表-1 に示す.

#### 2.2 モルタルの最大せん断応力基準

この実験に用いた供試体には図-2 に示すようにスリットを設け、その角度αを 65°, 50°, 45°, 42°, 40°, 35°, 30°の7 種類とした.なお、スリットはこれを含む平面内に破壊面が誘導されるよう考慮したものである.また、鉛直方向に割裂ひび割れが生じないようにするために、供試体側面に鋼板を設置し拘束した.

この実験で使用するモルタルは、普通モルタルと再生 細骨材 H を用いたモルタル(以降,再生モルタル H と呼 ぶ)と再生細骨材 M (以降,再生モルタル M と呼ぶ)を 用いたモルタルの 2 種類とした.表-2 にモルタルの示方 配合を示す.

普通モルタルにおける供試体は圧縮強度を変化させる ために水セメント比を 40%, 50%と 60%の 3 水準とした. 供試体の名称は,水セメント比が 40%の供試体を WC40-01,WC40-02 の 2 シリーズ,水セメント比が 50%の供試 体を WC50-01,WC50-02,WC50-03 の 3 シリーズ,水セ メント比が 60%の供試体を WC60-01,WC60-02,の 2 シ リーズをそれぞれ用意した.再生細骨材を用いたモルタ ルにおける供試体の水セメント比は 50%の 1 水準で,再 生細骨材 H を用いたモルタルの供試体名称を WC50-H, 再生細骨材 M を用いたモルタルの供試体名称を WC50-M

とした.

供試体は1日間の湿布養生を経た後20℃の水中養生とし、材令14日目で載荷試験を行った.

### 3. 実験結果と考察

# 3.1 円柱供試体の圧縮試験結果

実験で使用したモルタルについて圧縮試験を行った.

# 表-3 圧縮強度試験結果

	圧縮強度の平均値(N/mm <sup>2</sup> )
WC40-01	38.5
WC40-02	43.9
WC50-01	35.9
WC50-02	35.3
WC50-03	35.3
WC50-H	35.3
WC50-M	36.0
WC60-01	34.0
WC60-02	32.2

供試体は直径 100mm, 高さ 200mm で作製した. 圧縮試 験の結果を表-3 に示す. 同一水セメント比である普通モ ルタルの供試体 WC50-01, WC50-02 と再生モルタルの供 試体 WC50-H, WC50-M を比較したが圧縮強度は同等の 結果となった. 再生細骨材を用いたコンクリートは普通 コンクリートに比べ圧縮強度が低いという報告<sup>55</sup>がある が,本実験の結果から水中養生を行ったモルタルにおい て圧縮強度に差異は見られなかった.

### 3.2 試験結果

#### (1) 普通モルタル

載荷試験の結果を2章で説明した方法で整理し、図-3 ~5に示した.図中の実線は文献1に示されている降伏破 壊曲面であり、①は弾性、②は圧縮第1降伏、③はせん 断すべりが発生した状態で、その後②の圧縮第1降伏の 領域に入った場合④の経路をたどる、と表されている.

本研究の実験結果として示した●印は AB 間(図-2 参照)に明確なせん断すべり破壊を生じたもので、〇印は 点 A 及び B からひび割れが発生した後、AB 間(図-2 参 照)の領域が圧縮破壊とせん断すべり破壊の中間的な破 壊形式によって終局に至ったものである.

**文献** 1 の結果と比較すると、本実験結果は何れの供試体においても $\sigma$ の値が同じとき $\tau$ の値がやや大きい傾向にあるが、明確なせん断すべり破壊を呈した実験値と圧縮破壊とせん断すべり破壊の中間的な破壊を呈した実験値は、それぞれ**文献** 1 の同一の破壊形式に対応する位置にプロットされている.

以上より、本研究における実験方法はモルタルの最大 せん断応力を求める目的において妥当であると判断し、 以降,同様の実験方法で再生モルタルの最大せん断応力 について検討を行った結果を記す.

#### (2) 再生細骨材を用いたモルタル

再生モルタル H 及び再生モルタル M について普通モル タルと同様に実験結果を整理し、その結果を図-6、7 に示 す.これらの実験結果は既往の研究<sup>1)</sup>と比較すると、せ ん断すべりが発生した状態(図-3 の③)の領域付近のデー タは普通モルタルと同様に $\sigma$ の値が同じとき $\tau$ の値がや や大きい傾向にある.しかし、図-3 の④にあたる領域に あるデータは一定個所にプロットされる結果となり、こ れらの供試体は普通モルタルと同様に圧縮破壊とせん断 すべり破壊の中間的な破壊形式に至ったものである.

# 3.3 試験結果を各シリーズの圧縮強度で正規化した 結果

図-3~5の実験結果をそれぞれの圧縮強度で正規化し, それぞれの水セメント比で異なる記号を用いて図-8 に表 した.この結果,普通モルタルにおいては,圧縮強度が 変化しても降伏曲面に差異が無いことが確認された.

次に普通モルタルの供試体 WC50 シリーズと再生モル タルの供試体 WC50-H, WC50-M シリーズを比較した結 果を図-9 に表す. 全体的に文献 1 より引用した破壊曲面 より実験値の方が大きい結果となった. 普通モルタルと 再生モルタルの比較検討を詳細に行うため,図-9 のσf'<sub>c</sub> が 0.5 以下,つまりせん断すべり破壊を生じる領域と,σ f'<sub>c</sub> が 0.5 以上,つまりせん断すべり破壊と圧縮破壊の中 間的な破壊を生じる領域に分け,それぞれ図-10 と図-11 に示す.

図-10の太実線,細実線,破線はそれぞれ供試体 WC50 シリーズ,WC50-H シリーズ,WC50-M シリーズについ て線形に回帰した直線である.この図より,せん断すべ り破壊を生じる領域において, $\sigma$ に対しての $\tau$ は,普通 モルタルが最も大きく,次に再生モルタル H,再生モル タル M の順になった.

図-11 実線は供試体 WC50 シリーズの実験値を線形回 帰したものである.再生モルタルについては,この領域 の実験データが少ないので回帰直線は示していない.普 通モルタルとの比較を行うために再生モルタルのデータ 数が必ずしも十分であるとは言えないが,この領域にお いて,σに対してのτは,普通モルタルと再生モルタル が同等の値を示している.

3.1に記したように、モルタルの圧縮試験の結果は 普通モルタルと再生モルタルで同等の結果を示した.通 常の圧縮試験における円柱供試体の破壊は縦に割裂ひび 割れを生じるのではなく、斜めにひび割れが形成され、 これは、3.2(1)で述べたせん断すべり破壊と圧縮 破壊の中間的な領域(図-3の④)にあると考えられるの で、圧縮試験の結果と図-9に示した実験結果との整合性 があると思われる.





図-8 普通モルタル供試体の実験結果



図-9 WC50%の普通モルタルと再生モルタルの実験 結果



図-10 実験結果を線形回帰した図その1



図-11 実験結果を線形回帰した図その2

# 6. 結論

本研究で確認された事実と,新たに得られた知見を以 下にまとめる.

- (1)水温 20℃で水中養生を行った普通モルタル,再生 モルタル H,再生モルタル M の円柱供試体を用いた 圧縮強度試験の結果,それらの圧縮強度に明確な差 はみられなかった.
- (2) 文献 1 に記されている破壊曲面におけるせん断す べりの領域においては、普通モルタルの破壊曲面が 最も大きく、次に再生モルタル H、再生モルタル M の順となった。
- (3) **文献 1** に記されているせん断すべりが発生した状態で、その後圧縮第 1 降伏の領域に入った場合たどる経路の近傍では、普通モルタルと再生モルタルに差異は見られなかった.

### 参考文献

- 1)上田眞稔,竹内則雄,樋口晴紀,鬼頭宏明,川井忠 彦:引張・圧縮破壊を考慮した RC 構造物の離散化 極限解析,構造工学論文集, Vol.36A, pp.315~323, 1990年3月
- 2) 松村宇,伊藤正澄,平島剛,桂修:湿式選別法による再生骨材及び再生微粉末の製造,コンクリート工学年次論文報告集,Vol.26,No.1,pp.1533~1538,2004
- 3)土木材料実験指導書、土木学会コンクリート委員会 土木材料実験指導書編集小委員会
- JIS ハンドブック生コンクリート 2005, 日本規格協会
- 5)例えば、新井暢、中村成春、桝田佳寛、阿部道彦: 再生差異骨材コンクリートの強度及び変形性状、コンクリート工学年次論文報告集、Vol.19, No.1, pp.1081~1086, 1997