

貫入抵抗試験機を利用した圧縮強度の推定に関する一考察

日本大学大学院生産工学研究科 学生会員 ○柳田 彩代子
日本大学生産工学部 正会員 鵜澤 正美
日本大学大学院生産工学研究科 学生会員 青木 康平

1. 目的

フライアッシュ(石炭灰, 以下 FA と略記)は石炭火力発電による燃焼灰であり, セメント分野などで利用されている資源である. 現在, 東日本大震災の影響により原子力発電所の稼働率が大幅に低下しており, それを補うための火力発電所の稼働率が上昇している. また, 石炭火力発電は天然ガスに比べて安価な石炭を使用することから, 今後も増えていくことが予想される.¹⁾²⁾ FA は混和材としての特長を生かし, 主にセメント・コンクリート混和材, セメント原料として使用されている. しかし, FA は強度増進時期が遅く, 強度増進の程度に差異が生じるという欠点があることから, 現状では同様にコンクリート混和材として使用される高炉スラグがセメント分野の材料として有意な位置づけにある. 本プロジェクトは FA を高炉スラグ並みに高活性にすることを最終目標としている. すなわち余剰の FA を高付加価値なセメント混和材化にする手法を探索することである. 本研究はセラミックスボールによるボールミル混合方法で FA の最適な処理方法の検討を行った. しかし, 最適化には多数の実験点について 28 日材齢の圧縮強度を測定する必要があり効率が悪い. そこで貫入抵抗試験を圧縮強度試験のスクリーニング試験と位置づけ, 最適な高活性化処理方法の範囲を狭めることを目的とした. また 7 日材齢による貫入抵抗試験の実験結果から 28 日材齢の圧縮強度を推定できるか考察を行った.

2. 実験方法および測定方法

2.1 実験方法

本研究ではJIS A 6201³⁾ に準拠し普通ポルトランドセメントの25質量%をFAに置換したモルタルを作製し, 貫入抵抗機を使用した代替試験および圧縮強

度試験で測定を行った. 使用材料は水道水(W)・普通ポルトランドセメント(C)・FA・飽和水酸化カルシウム溶液・JIS標準砂(S)とし, 表-1に配合表を示す. ボールミル混合方法では, 容量500mLのボトル内に飽和水酸化カルシウム溶液・FA・砂・セラミックスボールを加え回転機を使用し混合を行った. 供試体は4×4×16cmの型枠を使用して作製し, 脱型後は7日間水中養生を行った.

2.2 測定方法

貫入抵抗試験機を使用した剪断強度試験は 7 日間の水中養生を行った供試体を, ダイヤモンドカッターで 7mm サイズにカットし JIS A 1147:2007 を参考に測定を行った. なお, 貫入針は直径 3.5mm を使用し, 供試体は 4 枚ずつ測定を行い, その平均を測定値とした.

3. 貫入抵抗試験結果

3.1 セラミックスボールの種類および構成の結果

混合時に使用するセラミックスボールの種類や構成を変えることで強度に差が生じるか検討を行った. ボールの種類はアルミナボールおよびジルコニアボールを使用した. 一方, ボールの構成は容器内で各材料との混合率が高い組み合わせを使用した. 結果として, 種類はアルミナボールが良く, 構成においては 15mm10 個と 13mm5 個を混合した場合が最も強度が高く, 次いで 25mm 3 個となった. これらの条件で, 次に圧縮強度試験による再検討を行うこととした.

表-1 FA含有モルタルの配合表

FA/(C+FA)(%)	(kg/m ³)			
	W+Ca(OH) ₂	C	FA	S
0	225.0	450.0	0.0	1350.0
25	225.0	337.5	112.5	1350.0

キーワード フライアッシュ, ボールミル混合, 剪断強度, 圧縮強度, 相関性

連絡先 〒275-8575 千葉県習志野市泉町 1-2-1 日本大学生産工学部土木専攻 T E L 047-474-2201

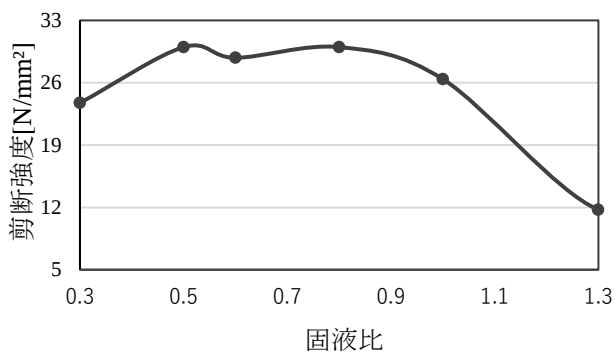


図-1 飽和水酸化カルシウム水溶液およびFAの固液比と剪断強度の関係

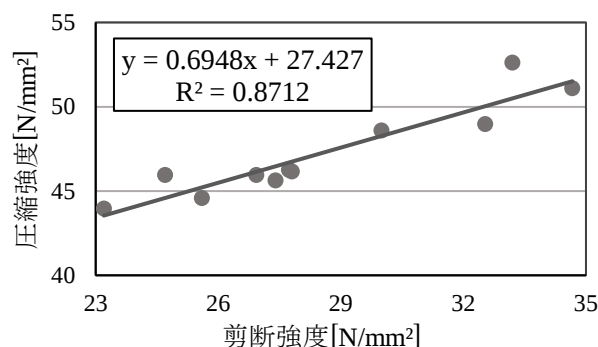


図-2 圧縮強度と剪断強度の相関性

3.2 最適固液比率および水量の結果

前年度の研究を参考⁴⁾に混合中の飽和水酸化カルシウム溶液の最適固液比率と水量を変化させることで強度に差が生じるか検討を行った。固液比率は混合中の飽和水酸化カルシウム溶液の最適固液比率と水量を変化させることで強度に差が生じるか検討を行った。固液比率はFAと飽和水酸化カルシウム溶液の比をFAが重量で1とした場合に飽和水酸化カルシウム溶液を0.3～2の重量比率で検討を行った。一方、水量は50ml～110mlと変化させて検討を行った。結果としては、固液比率が1:0.5で最も強度が高く、混合状態としても適度なペースト状になる比率であった。そして、水酸化カルシウムの水温20℃への溶解度は0.126g/100cm³であることから、1:0.5の比率に含まれる0.0709gより水酸化カルシウムの量が上回っていても下回っていても圧縮強度が低下する傾向が確認された。以上の結果より飽和水酸化カルシウム溶液の最適固液比率は1:0.5と決定した。水量においては、70ml, 75ml, 85mlの変則的な分量で強度増進が見られたため、傾向が確認できなかった。従って、水量70ml, 75ml, 85mlで圧縮強度試験により今後再検討することとした。

3.3 回転数の結果

混合時の最適な回転数の検討を行うために25rpm, 30rpm, 40rpm, 50rpmと変えることで強度に差が生じるか検討を行った。結果としては、40rpmが最も強度が高く、次に30rpm, 50rpm, 25rpmの順であった。しかし、40rpmにおいては容器内で過度なCSHの生成でゲル化し、ボールミル混合が満遍なく行えなくなった。以上から、30rpmおよび40rpmで圧縮強度試験により再検討することとした。

3.4 剪断強度と圧縮強度の相関性

これまでによる貫入抵抗試験のFAの最適処理方法の検討を行ってきたが、圧縮強度を推定することができるか、剪断強度と圧縮強度の相関性の検討を行った。得られた回帰式を下記に示す。

$$y = 0.6948x + 27.427, R^2 = 0.8712$$

ここで、

y : 材齢1か月の圧縮強度 [N/mm²]

x : 材齢1週間の剪断強度 [N/mm²]

4. まとめ

3.4の結果から高い相関性が得られたため、7日材齢での貫入抵抗試験による剪断強度から圧縮強度を推定できることが判明した。この成果は、材齢を28日間待たずとも圧縮強度が推定できるので、前処理条件の試行錯誤的実験条件の抽出などの一助となると考えている。

参考文献

- 1) 日本フライアッシュ協会：石炭灰ハンドブック -Coal Ash Handbook- (第6版) p.1-14
- 2) 金津努ほか、フライアッシュの活用による環境負荷低減への取り組み、特集/CO2削減に向けて/II. 各論, 2. 材料製造における組, Vol. 48, No. 9, pp. 54-57 (2010)
- 3) JIS A 6201:2008 コンクリート用フライアッシュー日本工業規格の簡易閲覧
- 4) 増田翔平：フライアッシュの高活性化による強度比較と化学成分依存性に関する研究 土木工学専攻 修士学位論文(令和1年度) p. 61-74 2020