ロジスティック回帰分析を用いた高流動・中流動コンクリートの目視材料分離予測手法の検討

野中 潔^{*1} 目黒 貴史^{*1} 石田 征男^{*1} 山田 義智^{*2}

^{*1} 太平洋セメント株式会社 中央研究所(〒285-8655 千葉県佐倉市大作 2-4-2)

^{*2} 琉球大学 工学部(〒903-0213 沖縄県中頭郡西原町字千原 1)

要旨：本研究では高流動・中流動コンクリートについて、従来目視で行われる材料分離の判定をコンクリートのスランプフローの挙動と関連付け、レオロジー定数である塑性粘度、降伏値および観察状況を説明変数とし、ロジスティック回帰分析により予測する取組みを行った。p 値や調整済みオッズ比の指標から全ての説明変数が材料分離判定に影響していると統計的に判定され、得られた回帰モデルで実験データの最大 90.7 %において材料分離の有無を正しく予測できた。また、目的に応じてより安全側の判定を行うことも可能であった。本研究の結果においては、一般的に中流動コンクリートに分類されるスランプフロー径 550mm 以下のコンクリートでは材料分離はほぼ起こらないと予測された。

キーワード：ロジスティック回帰分析、高流動コンクリート、材料分離、レオロジー定数、フレッシュコンクリート、塑性粘度、降伏値、統計解析

1. はじめに

昨今のコンクリート構造物における鉄筋の複雑化・過密化に対応するため、また、施工の省力化のため、加振による締固めを必要としない高流動コンクリートや、補助的な締固めのみで対応できる低粉体系の高流動コンクリート(中流動コンクリート)が開発され、その普及が期待されている。一方、これらの流動性の高いコンクリートは骨材の沈込みやセメントペーストの先走りといった材料分離に由来する欠陥が通常よりも起こりやすく、JIS A 1150「コンクリートのスランプフロー試験方法」などに定められる目視による材料分離の有無の判定が行われる。しかし、目視による材料分離の判定は人的コストや判定者間のばらつきの課題がある。また、判定結果が 2 値(材料分離するかしないか)であり情報量が少ないこともあり、材料分離した場合に原因を推定する方法が確立されていない。この点は今後、省力化の推進や IT 技術との連携を考える上で課題となる。

そこで本研究ではこれらの課題に対応するため、スランプフロー試験から読み取れるフレッシュコンクリートのレオロジー定数と目視による材料分離の判定結果を関連付け、統計解析手法の一つであるロジスティック回帰分析を用いて、どのようなレオロジー定数の範囲を持つフレッシュコンクリートが材料分離しやすいのかを明らかにすることを試みた。

なお、本報告では加振下および間隙通過後の材料分離については取り扱っていないが、特に中流動コンクリートの施工においては、加振下および間隙通過後の材料分離を予測することも重要となる。本研究は加振下および

間隙通過後の材料分離も含めた解析や予測を行うことを最終目的としているが、本報告の取組みでは、材料分離判定の解析方法を確立し、加振なしでも材料分離するリスクが高い領域を明示することまでを目的とした。

2. 実験方法

2.1 ロジスティック回帰分析について

ロジスティック回帰分析は、事象を説明する複数の変数(説明変数)を用いて事象の予測を行う多変量解析の一つであり、本報告で扱う二項ロジスティック回帰分析は、ある事象が起こるか否かの確率を目的変数として、説明変数から目的変数の値を予測する分析手法である。医学統計における疾患発症の予測などに用いる例が多いが、土木や建築の分野においても災害発生リスク評価^{1, 2)}やコンクリートのプラスチックひび割れ発生予測³⁾への活用例がある。

二項ロジスティック回帰分析(以下 ロジスティック回帰分析)における予測式は式[1]で表され、 X と o の関係は Fig. 1 に示される曲線(シグモイド曲線)となる。

$$o = \frac{1}{1 + e^{-(w_1x_1 + w_2x_2 + \dots + w_nx_n + w_0)}} = \frac{1}{1 + e^{-(X)}} \quad [1]$$

ここに o : 目的変数(事象が起こる確率)

$x_1, x_2, \dots, x_n$: 各説明変数の値

$w_1, w_2, \dots, w_n$: 各説明変数の係数

w_0 : 定数項

Fig. 1 Relationship between o and X

X : 各説明変数の影響の和
 $(=\sum_{k=1}^n w_k x_k + w_0)$

2.2 スランプフロー挙動とレオロジー定数の関係

小門らの報告⁴⁾では、球引上げ試験により得られるレオロジー定数と、スランプフローの挙動(スランプフロー径、400mm および 500mm フロー到達時間)の関係が得られている。この結果から、古賀ら⁵⁾はスランプフロー径 S_f と降伏値 τ_y の関係について式[2]を、400mm および 500mm フロー到達時間(t_{400} , t_{500})と塑性粘度 η の関係について式[3]～式[5]の近似式を求めた。本報告ではこれらの式を引用して使用する。

$$\tau_y = 9473.2e^{-0.009S_f} \quad [2]$$

$$\eta = 24.434t_{400} - 11.217 (S_f < 500) \quad [3]$$

$$\eta = 3.7342t_{500} + 14.37 (500 \leq S_f < 600) \quad [4]$$

$$\eta = 7.8736t_{500} + 1.3075 (600 \leq S_f) \quad [5]$$

2.3 目的変数と説明変数の設定

ロジスティック回帰分析を行う場合、解析結果として得られる値(目的変数)は「材料分離する確率」である。一方、学習データとしては「材料分離するか否か」の2値(材料分離した:1、材料分離しない:0)をダミー変数として使用する。

説明変数としては、スランプフローの挙動から推定される塑性粘度 η と降伏値 τ_y に加え、観察状況により目視判定結果が変わるのかを検討するため、観察状況 μ を使用した。観察状況とは、ここでは「スランプフロー試験を実施後のスランプフロー板上」または「ミキサから排出後の練り舟上」のいずれかである。スランプフロー板上での観察による判定データなら0、練り舟上での観察による判定データなら1とした2値のダミー変数を用いた。

2.4 実験データと配合

分析には Table 1 に示す3つの実験データをデータセットとして使用した。データセット①と③は同一水準でフロー板上と練り舟上の両方で判定を行ったため、1水準あたり2データとなっている。データセット②はフロー板上のみの判定を行い、練り舟上のデータはない。

今回のデータに含まれるフレッシュコンクリートの配(調)合設計の範囲を Table 2 に示す。一般に流動性と

Table 1 Overview of analysis target data

Dataset number	Reference	Number of experiment	Number of data
①	Lit. 6)	31	62
②	Lit. 7)	39	39
③	—	30	60
Total		100	161

Table 2 Concrete mix ratio design

	Dataset ①②	Dataset ③
Water/Powder* ratio [%]	31~67	24~35
Water content [m ³ /m ³]	160~185	155~170
Absolute volume of coarse aggregate [m ³ /m ³]	0.298~0.346	0.320~0.350

*powder: ordinary portland cement, fly ash

の関連が高いとされる水粉体比、単位水量、絶対粗骨材容積を変化させ、スランプフロー値が望ましい範囲(400~750mm)になるよう高性能減水剤の使用量を調節した。ここで、データセット③は、ロジスティック回帰分析の精度向上のために既報^{6,7)}のデータセット①②で不足しているレオロジー定数領域のデータを補完する目的で実施した実験のデータであり、Table 2 に示す通り、高塑性粘度を狙った低水粉体比、低単位水量の配合となっている。

なお、セメントの種類として、普通ポルトランドセメントのみを使用したデータと、フライアッシュを普通ポルトランドセメントに最大40%容積置換したデータが混在しているが、本報告においては、配(調)合によらずレオロジー定数のみで材料分離を予測することを目的としており、配(調)合によるデータの区別は行っていない。

2.5 スランプフロー到達時間の計測

式[3]～[5]の t_{400} および t_{500} を正確に測定するため、各スランプフローはフロー板直上から動画を撮影してスランプフロー径の変化を連続的に測定し、その値が400mm および 500mm を超えた時間をフロー到達時間とした。

スランプフロー径の測定について、より具体的には動画を30fps(1秒あたり30枚の静止画)で撮影し、各静止画に対して画像解析プログラムにより、フローが占める部分を検出し、その領域に対して最小外接矩形の検出を行い(Fig. 2 に検出例を示す)、その長辺と短辺の平均をその時間のスランプフロー径とした。

S_f は JIS A 1150「コンクリートのスランプフロー試験方法」に定められる方法で測定した。 t_{400} および t_{500} は同 JIS のストップウォッチの精度に合わせ、四捨五入して0.1秒単位に丸めた。

Fig. 2 Detection of Minimum bounding rectangle

2.6 材料分離判定の方法とデータの取扱い

一般的には、ロジスティック回帰分析の学習データにおいて目的変数は2値の値(今回で言えば材料分離したかしないか)を用いるが、実際の目視判定では「分離気味」といった判定がなされる場合や、判定者により判断が分かれる場合がある。本研究ではそのような性質を持つ目視での材料分離判定に対して、ある程度妥当な判定結果の予測を行うことを目的としている。

そこで各実験においては、その実験に参加した全員(経験年数、立場問わず)が目視による材料分離判定を行い、全員が材料分離と判定した場合に1.0点、全員が分離なしと判定した場合に0.0点とし、分離気味の判定を行った場合や意見が分かれた場合は小数値(例えば分離気味は0.5点など)とすることにした。その上でロジスティック回帰分析を行う際に閾値を設定し、閾値以上であれば分離:1、閾値未満であれば分離なし:0とした。

材料分離と判定する基準について、事前の打合せなどを行わず、判定者が各々の基準で総合的に判断することとした。例として、スランプフロー板上ではペーストの先走りなどが、練り舟上では骨材の沈み込みなどが判定基準として想定される。

更に、スランプフロー板上では試験後のコンクリートの触感確認は不可としたが、練り舟上では各判定者が必要と判断した場合は触感の確認(例えば切り返した後の骨材沈降の様子を確認するなど)をしてもよいとした。この差を設けたのは、スランプフロー板上での判定はJIS A 1160:2018「増粘剤含有高性能 AE 減水剤を使用した高流動コンクリートのワーカビリティの評価基準」で定められるスランプフロー試験後の状態での目視確認を想定したのに対し、練り舟上での判定は現場において打設可能かを判断する状況を想定しており、その場合には触感確認することも出来るためである。

具体的な小数値の算出方法はデータセットにより若干異なっている。データセット①では「分離なし(0点)、分離気味(0.5点)、分離(1点)」の3段階の判定を各判定者(10名前後)が行い、その平均値を点数とした。データセット②では同じく3段階の判定を、5人前後の判定者の相談により行い、データセット③では上記に「わずかに分離気味(0.125点)、やや分離気味(0.25点)」を加えた5段階での判定を同じく5人前後の判定者の相

談により行った。

小数値をダミー変数に変換する閾値を変えることで判定の安全性を変えられるが、ここでは比較的安全側を取り、0.2点以上であれば材料分離として扱うこととした。

2.7 使用したツールとアルゴリズム

ロジスティック回帰分析には、プログラミング言語Python(v 3.7.3)により機械学習ライブラリ scikit-learn (v 0.21.3)を用いたプログラムを作成して行った。

ロジスティック回帰分析には scikit-learn の提供する関数 LogisticRegression を使用した。また、学習データとテストデータの分割も行わず、全データに対して誤差を最小にするような条件とした。

3. 結果および考察

3.1 実験による目視材料分離判定結果

Fig. 3 および 4 に横軸を降伏値、縦軸を塑性粘度として実験で得られた全データの目視材料分離判定結果をプロット(○:分離なし、×:分離あり)した図を示す。Fig. 3 はスランプフロー板上、Fig. 4 は練り舟上の観察結果である。どちらのグラフも左側に×が集中していることから、降伏値が小さい、すなわちスランプフロー径が大きい場合に材料分離しやすくなっている。加えて、降伏値が小さくても塑性粘度が十分大きければ材料分離しない傾向が見られた。

3.2 ロジスティック回帰分析の結果

ロジスティック回帰分析の結果の概要を Table 3 に示す。解析の結果、材料分離の予測式[6]が得られた。

$$o = \frac{1}{1 + e^{-(-0.107\tau_y - 0.041\eta + 2.166\mu + 3.629)}} \quad [6]$$

この式に表現される境界を Fig. 3 および 4 の散布図に重ね、低塑性粘度・低降伏値領域を拡大表示したものを Fig. 5 および 6 に示す。

Fig. 5 および 6 の中央の黒いラインは、ラインより左下の領域であれば材料分離する可能性が50%以上(式[1]において $o > 0.5$)であることを示している。加えて、後の議論のため、 $o > 0.2$ の境界である青いライン、 $o > 0.8$ の境界である赤いラインも示している。例えば青いラインの右上の領域であれば材料分離する確率は20%以下であると判定される。

式[6]および Table 3 から塑性粘度と降伏値はいずれも係数が負であり、Fig. 5 および 6 から読み取れる通り、大きいほど材料分離が起こりにくくなる(式[1]参照)と判定されている。また、観察状況については式[6]より、スランプフロー板($\mu=0$)よりも練り舟($\mu=1$)の方が o の値が大きくなることや、Fig. 5 と Fig. 6 の各ラインの左下の領域の広さを比較した時に Fig. 6 の練り舟の方が広いことから、練り舟上の方が材料分離していると判定される傾向があることが分かった。

Table 3 に得られた回帰モデル(式[6])の各説明変数

Fig. 3 Scatter plot
(X : segregated on slump flow board)

Fig. 4 Scatter plot
(X : segregated in mixing vessel)

Table 3 Result of logistic regression analysis

Variables	Regression coefficient	P-value	Adjusted odds ratio				
			Value	95 % coef. interval limit		99 % coef. interval limit	
				lower	upper	lower	upper
Yield value	-0.107	1.5E-06	0.899	0.859	0.934	0.847	0.953
Plastic viscosity	-0.041	2.1E-05	0.960	0.942	0.979	0.936	0.985
Judging location	2.166	5.0E-04	8.73	2.42	31.4	1.62	47.0
Constant	3.629	7.6E-06	37.7	7.31	194	4.36	325

Fig. 5 Result of logistic analysis
(on slump flow board)

Fig. 6 Result of logistic analysis
(in mixing vessel)

の係数の評価に関する統計的指標を示す。p 値とは、ここでは各変数の係数が 0 になる (すなわち、回帰モデルに影響がなく、説明変数として不適である) 確率であり、一般的に 0.01 未満であればその変数の影響が確実にあると判定される。今回の結果ではいずれの変数の p 値も 0.01 未満であり、全ての説明変数の影響があると考えられた。特に降伏値の p 値が最も小さく、降伏値が材料分離に与える影響が最も明確であると考えられた。

次に Table 3 で示した調整済みオッズ比の結果について述べる。

$$\text{Odds ratio} = \frac{o}{1-o} \quad [7]$$

ここで、調整済みオッズ比 (Adjusted odds ratio) とは、式[7]で表現されるオッズ比に対し、対象とする説明変数に対して他の説明変数の影響を除外した場合のオッズ比を計算するもので、説明変数 k の係数 w_k に対して指数関数 $\exp(w_k)$ で与えられる。調整済みオッズ比が 1 より小さければ係数は負であり、1 より大きければ正であり、1 であれば 0 (影響なし) である。いずれの変数も、99 % 信頼区間の範囲においても 1 (影響なし) を含んでおらず、各変数の影響が確実にあると判定された。

3.3 回帰モデルによる分類性能

Table 4 に得られた回帰モデル (式[6]) を用いて、 $o > 0.5$ であれば材料分離するという判定を今回のデータセットについて適用した時の分類性能の指標を示す。こ

Table 4 Classification performance
(Threshold : $\phi=0.5$)

	on board	in vessel	total
Accuracy rate(%)	92.0	88.5	90.7
False positive rate(%)	5.1	9.5	6.6
False negative rate(%)	19.0	15.8	17.5

Fig. 7 Prediction of segregation for S_f vs t_{500} on slump flow board

ここでは、観察状況別にスランプフロー板上(on board)、練り舟上(in vessel)、全体(total)の値を示した。

また、正解率(Accuracy rate)の他に、ここでは偽陽性率(False positive rate)と偽陰性率(False negative rate)を示した。偽陽性率とは、材料分離しないデータのうち誤って材料分離すると判定した割合、偽陰性率とは、材料分離するデータのうち誤って材料分離しないと判定した割合を示す。偽陽性率と偽陰性率はどちらも誤答率に関する指標で小さい方が好ましいが、材料分離のリスクを抑える安全側の観点からは、偽陰性率が小さい方がより好ましい。

Table 4 から全体の正答率は 90.7 % であった。観察状況別ではスランプフロー板上では 92.0 %、練り舟上では 88.5 % で、練り舟上の方が若干低い正解率だったが、ここではデータの母数から考えて有意な差ではないと判断した。また、誤答率 9.3 % に対し偽陽性率は 6.6 %、偽陰性率は 17.5 % であり、誤答の中でも、材料分離するにも関わらず分離しないと判定してしまった、安全側の観点からは望ましくないケースが比較的多いことが分かった。そこで、続いて偽陰性率を下げるために閾値を変更することを検討した。

Table 4 は $\phi > 0.5$ であれば材料分離するとして判定を行った結果だが、ロジスティック回帰分析においては判定の閾値を変えることにより安全側の判定を下すことが可能である。Table 5 に閾値を変更し、 $\phi > 0.2$ であれば材料分離するとして判定した場合の分類性能を示す(これは Fig. 5 および 6 において、青いラインを材料分離するか否かの判定に使用することを意味する)。

閾値を変更することで偽陰性率を 17.4 % から 5.0 % まで大幅に下げ、材料分離判定予測の安全性を高めるこ

Table 5 Classification performance
(Threshold : $\phi=0.2$)

	on board	in vessel	total
Accuracy rate(%)	86.0	85.2	85.7
False positive rate(%)	16.4	19.0	17.4
False negative rate(%)	4.8	5.3	5.0

Fig. 8 Prediction of segregation for S_f vs t_{500} in mixing vessel

とが出来た。一方、正解率は 90.7 % から 85.7 % に低下、偽陽性率は 6.6 % から 17.4 % と上昇しており、偽陰性率と正解率・偽陽性率の間にはトレードオフの関係があることが分かった。閾値を適宜変更することで目的に応じた回帰モデルの運用が可能である。

3.4 スランプフロー特性による目視材料分離判定

Fig. 7 および 8 にロジスティック回帰分析で得られた回帰モデルについて、式[4][5]によりレオロジー定数をスランプフロー径と 500mm フロー到達時間に変換し、分離判定の結果を図示したものを示す。ここで、Fig. 7 はフロー板上での目視材料分離観察を表し、Fig. 8 は練り舟上での目視材料分離観察を表している。それぞれの図中の実線のライン($\phi=0.5$ の場合は太い黒線、 $\phi=0.2$ の場合は青線)より左上であれば分離しない、右下であれば分離すると判定されることを示している。

ここで、 $S_f=600$ mm(黒の点線)を境に異なる式を使用しており、線が黒点線を境に途切れている。これは式[4][5]が必ずしも連続していないためである。すなわち、式[4][5]は $t_{500}=3.16$ s の時に連続するが、それ以上やそれ以下であると塑性粘度に対応する t_{500} が $S_f=600$ mm を境に不連続的に変化する。特に $\phi=0.2$ の場合には t_{500} が大きく、不連続な変化の幅も大きくなっている。

これを防ぐには式[4][5]を、任意の t_{500} において $S_f=600$ mm で連続するよう曲線近似するといった方法が考えられるが、そのような補正を行う場合、逆に標準的な塑性粘度のコンクリートについての予測精度が低下する恐れがある。従ってここでは式[4][5]の補正は行わず、両式が連続する $t_{500}=3.16$ s を大きく外れるような高塑性粘度においては塑性粘度の誤差が大きいと見なすこと

とした。高塑性粘度領域のスランプフロー到達時間とレオロジー定数の関係式の精度向上は今後の課題とする。

Fig. 7 および 8 から、スランプフロー径が 550mm 以下すなわち中流動コンクリートの領域であれば、フレッシュコンクリートの塑性粘度によらず、材料分離と判定されることはほとんど無いと予測された。一方、550mm 以上の高流動コンクリートの領域になると、高塑性粘度でないと材料分離するリスクが高いと判定された。

加えて、スランプフロー板上での判定か、練り舟上での判定かにより判定のラインが大きく異なっていた。例えばフロー径 650mm においては、スランプフロー板上では閾値 $\phi=0.5$ において分離しないと判定される条件は $t_{500} \geq 2.0s$ (今回の実験の範疇ではこれを満たさないフレッシュコンクリートは存在しない) であるのに対し、練り舟上では前述の通り誤差は大きいと思われるが、 $t_{500} \geq 8.8s$ でないと分離すると判定された。

観察状況により結果が大きく異なったことについて、練り舟上ではスランプフロー板よりもフレッシュコンクリートの深さが大きく、骨材の沈込みや水の分離といった現象に注目して分離と判定しやすいためではないかと推測する。材料分離判定を行う際には観察状況を加味して行う必要があり、また、目視材料分離判定に関するデータを収集・評価する際には、観察状況を含めたデータを使用する必要があることが分かった。

4. まとめ

本研究では高流動・中流動コンクリートにおける材料分離抵抗性に関して、目視で行われる材料分離の是非の判定を、レオロジー定数を用いて予測する回帰モデルを作成することを試みた。解析手法としてロジスティック回帰分析を使用し、説明変数としてスランプフローの挙動から推定される塑性粘度、降伏値および観察状況(スランプフロー板上または練り舟上)を用いた。解析の結果、以下の知見が得られた。

- 1) 降伏値、塑性粘度、観察状況の 3 変数を用いたロジスティック回帰分析を行うことで、 p 値や調整済みオッズ比の観点から良好と判断される予測モデルが得られた。降伏値、塑性粘度はいずれも高い方が材料分離抵抗性の高いフレッシュコンクリートであると判定され、また、練り舟上では、スランプフロー板上よりも材料分離していると判定されやすい傾向があることが分かった。
- 2) 得られたロジスティック回帰モデルを用いて「分離する確率が 50 % 以上であれば分離すると判定する」としたところ、使用データのうち 90.7 % を正しく判定することが出来、観察状況によらず高精度であっ

た。一方この時、分離するデータの 17.5 % を誤って「分離しない」と判定した。より安全側の判定を行うため「分離する確率が 20 % 以上であれば分離すると判定する」ように判定の閾値を変更したところ、正しい判定の割合は 85.7 % と減少したが、分離するデータを分離しないと判定する割合を 5.0 % まで減らすことができた。このように、目的に合わせて判定の閾値を最適化することで正答率と安全性の優先度を調節できる回帰モデルが得られた。

- 3) 今回の回帰モデルをスランプフロー径とフロー到達時間に換算したところ、スランプフロー径が 550mm 以下の中流動コンクリート領域であれば、塑性粘度、観察状況によらずほぼ材料分離しないと判定された。スランプフロー径が 550mm 以上の高流動コンクリート領域では高塑性粘度である(500mm フロー到達時間が長い)ことが材料分離しないという判定に繋がるが、それに加え観察状況によっても結果が大きく異なり、材料分離判定は観察状況を加味して行う必要があることが分かった。

参考文献：

- 1) 篠崎嗣浩ほか：ロジスティック回帰分析を用いた土砂災害発生危険基準線の確率的評価、土木学会論文集 F 第 66 号、pp. 122-131 (2010)
- 2) ハスパートルほか：ロジスティック回帰分析を用いた既存地すべり地形の地震時の危険度評価、日本地すべり学会誌第 49 巻 1 号、pp. 12-21 (2012)
- 3) S. Maruyan et al. : Model to Predict Plastic Shrinkage Cracking of Freshly Placed Concrete, 5th International Symposium on Advances in Civil and Environmental Engineering Practices for Sustainable Development, pp. 442-448 (2017)
- 4) 小門武、宮川豊章：スランプフロー試験による高流動コンクリートのレオロジー定数評価法に関する研究、土木学会論文集、No. 634、pp. 113-129 (1999)
- 5) 古賀志門ほか：ロジスティック回帰分析による高流動コンクリートの目視材料分離判定に関する研究、日本建築学会九州支部研究報告集第 59 号、pp. 157-160 (2020)
- 6) 鹿毛忠継ほか：低粉体系高流動コンクリートのフレッシュ性状に関する検討(その 1~7)、日本建築学会大会学術講演梗概集、pp. 491-504 (2019)
- 7) 石田征男：加熱改質フライアッシュの粉体特性が高流動コンクリートのコンシステンシーおよび強度発現性に及ぼす影響に関する研究、大分大学大学院工学研究科博士論文(未公開) (2018)

PREDICTION OF VISUAL SEGREGATION JUDGEMENT BY LOGISTIC REGRESSION ANALYSIS FOR HIGH AND MEDIUM FLUIDITY CONCRETE

Kiyoshi NONAKA^{*1}, Takafumi MEGURO^{*1}, Masao ISHIDA^{*1} and Yoshitomo YAMADA^{*2}

^{*1} TAIHEIYO CEMENT CORPORATION, Central Research Laboratory (2-4-2, Osaku, Sakura-shi, Chiba 285-8655, Japan)

^{*2} UNIVERSITY OF THE RYUKYUS, Faculty of Engineering (1, Senbaru, Nishihara-cho, Nakagami-gun, Okinawa 903-0213, Japan)

ABSTRACT : Segregation for high and medium fluidity concrete is visually judged conventionally, which has difficulty for labor saving and IT-driven optimization due to variation between observers and small amount of information. In this study, binomial logistic regression analysis is utilized to relate rheological constants and standard segregation judge. Plastic viscosity, yield value, and judging location (in mixing vessel or on slump flow board) are chosen as explanatory variables. Analysis result evaluated that the lower the plastic viscosity and the lower the yield value, the higher the risk of segregation, and observation in mixing vessel tend to judge as segregated than observation on slump flow board. Statistically, all explanatory variables are evaluated as significant factors ($p\text{-value} < 0.01$). When standard threshold, which judge as segregated when the segregation risk is higher than 50 percent is used, 90.7 % of experimental data are predicted correctly. In addition, safer threshold could be chosen to lower false negative rate (risk to overlook segregation). The result of this study determined almost no medium fluidity concretes slump flow of which is less than 550mm are judged as segregated regardless of plastic viscosity and judging location. On the other hand, when slump flow is more than 550mm, not only plastic viscosity but also judging location has an important effect on segregation judge.

KEY WORDS : Logistic regression analysis, High fluidity concrete, Segregation, Rheological constants, Fresh concrete, Plastic viscosity, Yield value, Statistical analysis