

V-207 凍結融解時におけるスケーリングの定量化に関する基礎的研究

神戸市立工業高等専門学校 正会員 高科 豊

1. はじめに

凍結融解時に、モルタル又はコンクリートの表層部がフレーク状に剝離する現象をスケーリングというが、一般に、凍結融解試験では質量減少率をその劣化対象指標と考える。

本研究は、モルタルのスケーリングの定量化を次の3点から検討考察する。

(1) 調(配)合目的の中で、スケーリング(耐久性)を施工性、強度特性の二面から位置づけ、各調合要因から、スケーリングへの影響度を考察する。

(2) 量的要因である細骨材セメント比をもとに、その水準効果を確認するとともに、直交多項式による分解を行い、定量化の基礎モデル式を構築する。

(3) 調合要因間の交互作用を算定し、スケーリングを構成要素から考察する。

2. 実験概要

2.1 使用材料とモルタルの調(配)合

調合計画表及びそのフロー値を表1に示す。モルタル(W/C=0.65)は4×4×16cmの角柱供試体(翌日脱型後水中養生)を各実験ケース3本ずつ作製した。細骨材は海砂(除塩分:表乾(かさ)比重2.60)及び豊浦標準砂をほぼ絶乾状態で計量した。なお、粒度分布は粒度調整したもの(粒度区分A-D)としないもの(粒度区分N)に大別し、モルタルに混入するエントラップドエアに変化を与えることを目的として、0.30mmふるいを通過する細粒分の通過重量百分率を10%及び35%の二水準とし、その上限を1.2mm, 2.5mmにそれぞれ設定した。なお、0.30mmふるいを通過する細粒分としてのみ豊浦標準砂を使用した。その各粒度状況及び粗粒率(FM)を図1に示す。

表1 調合計画表

S/C	粒度調整区分	混和剤	フロー値
3.2	N	-	156
3.0	N	-	175
2.8	N	-	205
2.6	N	-	228
3.0	A	-	154
3.0	B	-	152
3.0	C	-	197
3.0	D	-	182
3.0	A	高性能減水剤	166
3.0	A	A E減水剤	170
3.0	A	A E剤	182
3.0	B	高性能減水剤	161
3.0	B	A E減水剤	164
3.0	B	A E剤	172

2.2 試験方法

各実験ケース供試体について、材令14日において、水中凍結水中融解試験(2本)を開始し、同時に圧縮試験を実施した。冷媒(ブライン液)温度は融解温度+10℃、凍結温度-25℃に設定し、凍結融解1サイクルの所用時間6時間(凍結3時間, 融解3時間)、測定最終サイクル52サイクルの融解行程終了後に質量減少率を算出した。

3. 結果及び考察

3.1 スケーリングの位置づけ

図2に測定したスケーリング(質量減少率)とフロー値(施工性)及び圧縮強度(凍結融解試験開始時材令)の関係を示す。W/Cが一定の場合、フロー値及び強度が大きくなるとともに、スケーリングは増大する傾向にあり、また、粒度による変動がみられ、スケーリングが表層部マトリックス構成に支配されることが推察される。

3.2 スケーリングへの調(配)合要因の影響度

スケーリング率を外的基準として調合要因の影響度を数量化I類により分析した。その結果を図3に示す。各偏相関係数をみると、

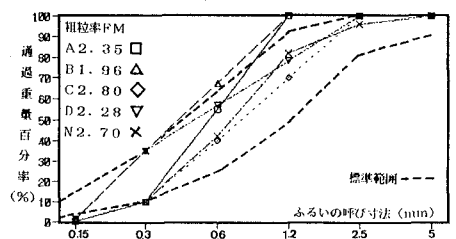


図1 粒度調整区分の設定

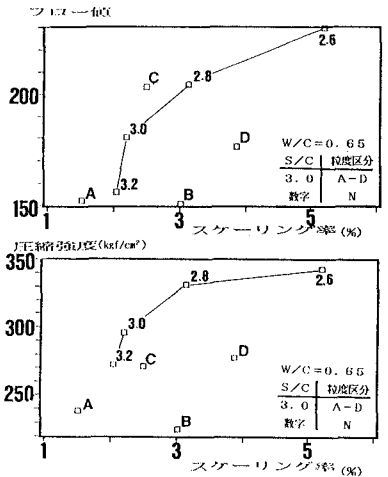


図2 スケーリングの位置づけ

細骨材セメント比が0.970(比 $\gamma$ :3.170)と最も大きく、添加混和剤種別、粒度調整区分がそれに続く。各要因とも、スケーリングへの影響は十分考えられ、その重相関係数は0.989を示した。また、S/Cの減少とともに、カテゴリ-数量が増加し、ペーストマトリックス容積の影響を示唆している。粒度調整区分では、B及びD粒度がA及びC粒度より大きく、細粒分構成がスケーリング増大に影響することがわかる。また、添加混和剤種別では、ブレンモルタルと各混和剤モルタルの相違が明確に判別できる。(定数項2.150)

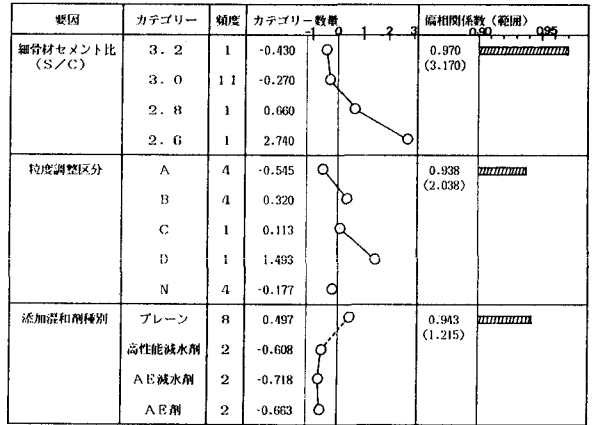


図3 各調合要因とスケーリング率の関係

3.3 細骨材セメント比からの定量化

表2にスケーリング率(粒度区分N)の分散分析によるS/C水準効果の算定及び直交多項式による分解の結果を示す。なお、Bartlettの検定結果より、測定値による誤差項の分散の一意性(誤差項は一定の分散 $\sigma\epsilon^2$ をもつ正規分布に従う)の仮定は成り立つものと考えられる。S/Cと誤差項の平均平方の比  $F_0$  の大きさを各自由度のF分布の限界値と比較すると、S/Cの水準間に1%水準で有意差が認められる。また、S/Cの平方和を多項式に対応して分解すると2次の項まで1%有意として認められ、2次曲線がその応答関数として該当する。

表2 S/C水準効果と直交多項式の分解

要因	平方和	自由度	平均平方	$F_0 = V_{s,c}/N_0$
細骨材セメント比 (S/C)	12.716	3	4.239	49.65
1次	10.879	1	10.879	127.42
2次	1.824	1	1.824	21.37
3次	0.013	1	0.013	0.15
誤差項	0.342	4	0.085	
計	13.058	7		

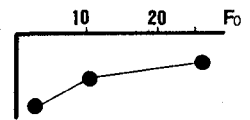
(スケーリング率 = (118.066) - (74.453 (S/C)) + (11.938 ((S/C)<sup>2</sup>)) (5.2サイクル時)  
 分散の一意性の検定 (Bartlettの検定)  $\chi^2 = 0.541 < \chi^2(3, 0.05) = 7.8147$   
 完全無作為化法(繰返し数2)

3.4 交互作用の検討

細骨材粒度(粒度区分A、B)と混和剤種別(有無含む)の各要因主効果及び交互作用効果の検討結果を図4に示す。各2要因の主効果はそれぞれ交互作用効果より大きい(各1%有意)ことを示した。しかし、各混和剤カテゴリ-について、A、B粒度区分別に母平均の差の推定を行った結果、ブレン、減水剤、A E剤の較差の位置づけはそれぞれ異なり、母平均の差の信頼限界(95%、99%有意水準)の算出結果及び Tukeyの多重比較による方法のものをみても各相違する。

要因	平方和	自由度	平均平方	F <sub>0</sub>
主効果				
粒度調整区分	3.010	1	3.010	23.26
添加混和剤種別	4.036	3	1.345	10.40
交互作用効果	1.004	3	0.335	2.59
誤差項	1.035	8	0.129	
計	9.085	15		

完全無作為化法(繰返し数2)



4. まとめ

(1)スケーリングは調合要因の影響を受け、細粒分が多いと一般にその増加につながる。

(2)スケーリングを定量的因子の一つであるS/Cをもとに、応答関数を見ると、2次関数式として表現でき、細骨材粒度における交互作用効果は小さいがA E剤使用有無にその較差がみられた。今後、交互作用を含めた評価式の伸展に取り組む予定である。

粒度調整区分相違 (A、B粒度区分の相違)		
	母平均の差の推定	Tukey 多重比較
95%有意水準○	0.830	1.423
99%有意水準◎	1.207	1.901
ブレン	1.495◎	○
高性能減水剤	0.900○	
A E減水剤	0.980○	
A E剤	0.095	

A、B粒度区分のスケーリング率の差

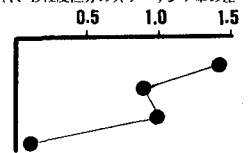


図4 各要因主効果及び交互作用の検討結果

参考文献

田中豊、垂水共之編：パソコン統計解析ハンドブック I、II、III、共立出版