

コンクリートの耐凍害性評価方法に関する研究

福岡大学 正会員 ○大和竹史
福岡大学 正会員 江本幸雄
福岡大学 正会員 添田政司

1. はじめに

コンクリートの耐凍害性に対する影響要因には使用材料、配合、強度等の内的要因と凍結融解条件、乾燥あるいは湿潤度合等の外的要因が存在する。今まで、個々の内的要因の影響について実験的に検討した例は数多く認められるが、外的要因の影響および両要因の影響を総合的に検討した例は少ない。各種の要因の影響を総合的に評価することは、今後、コンクリート構造の耐久設計を行う上で非常に重要なことである。本研究では、筆者らが約二十年間で得た実験結果を検討し、明らかに影響度合の少ない内的要因は棄却し、残りの内的要因および外的要因を説明変数とする多変量解析を行ったので報告する。

2. 凍結融解試験方法

凍結融解試験は凍結最低温度や供試体の乾燥度合の影響を検討する場合以外は全て、ASTM-C666 A（水中凍結融解試験方法）に従って行った。試験機は三槽式凍結融解試験機および一槽式凍結融解試験機である。コンクリート供試体にはほとんどの場合、10×10×40cmの角柱を用いたが、初期の段階では円柱（φ10×20cm）および7.5×10×40cmの角柱を用いた。凍結融解試験開始時におけるコンクリート供試体の材令は28日とし、それまでは20℃の水中で養生を行った。凍結融解サイクルの進行に伴うコンクリート供試体の劣化を評価するため、たわみ振動による一次共振振動数および質量を測定した。

3. 多変量解析に採用する要因

使用材料に関する要因のなかで、セメントの耐凍害性に及ぼす影響は小さいので多変量解析には採用していない。耐凍害性に対する粗骨材の影響が非常に大きいので、普通骨材コンクリートと人工軽量骨材コンクリートに大別して多変量解析を行った。示方配合が与えられれば耐久性指数(DF)が推定できるように、単位水量W、単位セメント量C、水セメント比W/C、セメント水比C/W および空気量Air を多変量解析における説明変数として採用した。以上の要因の他に凍結融解作用の劣化に大きな影響を与える外的要因として、

表-1 普通コンクリートに関する解析データ

種 類 項 目		普 通 骨 材 n=178			
		最大値	最小値	平均値	標準偏差
内 的 要 因	単位水量 W(kg/m ³)	200.2	125	174.1	14.90
	単位セメント量 C(kg/m ³)	697.0	305	368.2	90.89
	水セメント比 W/C(%)	55	24	46.3	4.65
	セメント水比 C/W (-)	4.17	1.818	2.161	0.735
	空気量 Air (%)	6.5	1.5	3.874	1.438
外 的 要 因	圧縮強度 σ ₂₈ (kgf/cm ²)	689	213	382.6	107.5
	温度 Temp (°C)	-18	-7	-17.2	2.601
	飽水度 Satu. (%)	100	75	97	7.076
	塩分量 Cl (%)	0.5	0	0.076	0.155
耐久性指数 DF (%)		99	8	77.2	75.2

凍結最低温度（供試体中心温度で管理）、飽水度（定義は後述）および塩分量（環境によりコンクリートへ浸透する塩分を想定）を採用した。

ここで、飽水度 (Satu) は次式

$$\text{Satu} = \frac{W_s - W_d}{W_s - W_d} \times 100$$

で計算したものとする。

表-2 多変量解析により得られた回帰式

- D.F= -19.02+19.00C/W+17.60Air (1)
D.F= -36.07+21.13C/W+22.63Air-1.28Air² (2)
D.F= 93.51- 1.52W/C+17.60Air-0.66Air² (3)
D.F= -20.49+ 0.13σ₂₈+11.63Air (4)
D.F= - 4.72+ 0.14σ₂₈+ 0.1Air+1.69Air² (5)
D.F= 77.80-0.57W+0.1C+21.79Air-1.42Air² (6)
D.F= 135.49+24.66Air-1.83Air²-0.08C+1.67Temp-0.72Satu-72.4Cl (7)
D.F= 59.25+22.48Air-1.43Air²-0.31W-0.14C-0.54Satu-88.37Cl (8)
D.F= 135.70+15.28C/W+16.78Air-0.93Air²-0.16W+1.75Temp-0.83Satu-67.7Cl (9)
D.F= -231.31+0.27W+0.03C+72.58Air-4.77Air² (10)

ここに、 W_s : 表面乾燥飽水状態の供試体質量

W_0 : 絶対乾燥状態の供試体質量

W_e : 試験直前の供試体質量

表-1に、普通骨材コンクリートに関する解析データの個数、最大値、最小値等を示す。

4. 多変量解析結果

多変量解析により得られた回帰式を表-2に示す。なお、各式の説明変数の偏相関係数、偏回帰係数の t 値、データの個数、相関係数等の掲載は省く。回帰式(1)は C/W と Air を説明変数として得られた式で、相関係数は0.81である。内的要因のみを考慮した回帰式のうち、相関係数が最大のものは式(6)で、その値は0.88である。また、内的要因と外的要因を説明変数として解析した結果、得られた回帰式が式(7)~(9)である。式(6)に対比する人工軽量骨材コンクリートの回帰式が式(10)である。

5. 耐久性指数推定式による計算値と実測値との比較

表-2の回帰式(6)および回帰式(10)による推定値が果たして他の研究者の実験結果とどの程度の相関性を有するのか検討を加えた。図-1に普通骨材コンクリートおよび人工軽量骨材コンクリートの耐久性指数推定値(DF_c)と実測値(DF_m)との関係を示す。両者の関係式は、

普通骨材コンクリートでは

$$DF_c = 2.892 + 1.030 DF_m \quad (\text{相関係数は} 0.899)$$

人工軽量骨材コンクリートでは

$$DF_c = 0.527 + 0.959 DF_m$$

(相関係数は0.907)

となり、大きな相関係数が得られた。したがって、推定式は実用可能なものと思われる。

6. 外的要因に関する補正係数

表-3に凍結最低温度、飽水度および塩分環境を考慮する場合の補正係数を示す。係数の決定は実験結果をもとに行なった。その詳細については講演時に報告する。

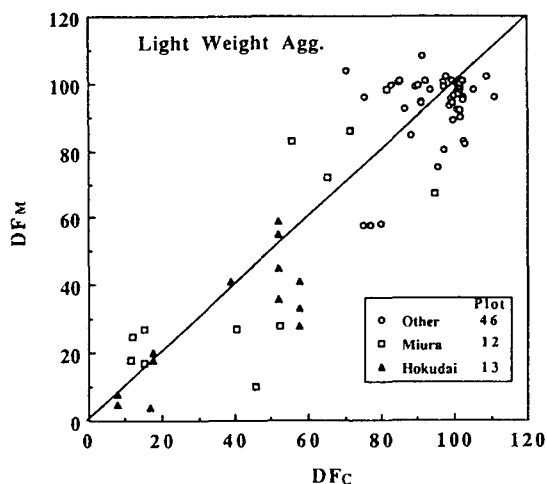
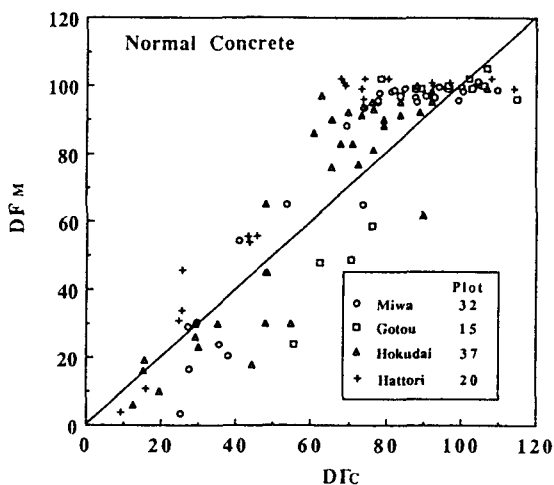


図-1 耐久性指数推定値と実測値との関係

表-3 外的要因に関する補正係数

補正係数	区 分	値
凍結最低温度別補正係数(ν_1)	普通骨材コンクリート: $\nu_1 = 1.846 + 0.047 \text{Temp.}$ Temp.: 凍結最低温度(°C) 人工軽量骨材コンクリート: $\nu_1 = 1.648 + 0.036 \text{Temp.}$ Temp.: 凍結最低温度(°C)	普通骨材コンクリート: -7°Cの時は $\nu = 1.5$ -10°Cの時は $\nu = 1.2$
飽水度別補正係数(ν_2)	常に湿潤状態の部位 しばしば乾燥する部位	1.0 1.4
塩分環境別補正係数(ν_3)	塩分が供給される環境ではない場合 浸透塩分量が比較的少なくても、海水中凍結融解作用を受ける環境 飛沫帯などで浸透塩分量が多く、海水中あるいは淡水中で凍結融解作用を受ける環境	1.0 0.8 0.5