

V-253

信頼性解析によるコンクリートの表面劣化の予測と考察

北見工業大学工学部 正員 桜井 宏 鮎田 耕一
 北見工業大学客員教授 正員 藤田 嘉夫
 北海道大学工学部 正員 佐伯 昇
 北見工業大学大学院 学生員 阿部 誠

1. はじめに

コンクリート構造物の耐用年数予測評価は、コンクリート構造物の維持管理や耐久性設計に必要不可欠であり、この時の中心的な検討内容には劣化予測がある。本研究では表面剥離の劣化予測を信頼性理論により、寒冷地海洋環境下の曝露実験による表面剥離深さの測定データを用いて、セメントの種類、水セメント比で検討を行う。

2. 検討方法¹⁾

2.1. 検討手順

検討方法のフローを図-1に示す。検討方法として劣化の定義、限界値とそれに達する前の段階の設定値を仮定する。理論式の導入を行う。2.2での述べる測定より得た解析データのインプットを行う。重回帰分析などにより劣化の主要な要因を抽出する。適切な確率密度関数を求め、その主要因を共変量として設定値に達したものを故障(hazard)と仮定して信頼性解析(解析プログラム:SAS.LIFEREG)により確率密度関数を求め、それを積分して信頼度関数を求める。また、適切な確率密度関数と信頼度関数の選定を行う。さらに信頼度関数の共変量を変動させて信頼度関数の形状を検討する。

2.2. 劣化限界値の設定

曝露供試体のかぶりを80mmと仮定し、許容される限界の剥離深さ(剥離深さの劣化限界)を20mmと仮定した。剥離深さの格段階の設定値(hazardと仮定)を1/1、1/10、1/20とすると、各値は表-1のようになる。なお、本解析では設定値の水準を1/10、1/20、の各々2mmと1mmとした。

2.3. 信頼性解析のための理論式

故障する(hazardが発生する)時間を表す反応変数を t として、工学的によく用いられかつ分布形状を的確に表すことのできるワイブル分布を確率密度関数と仮定し共変量を考慮し、信頼度関数を求めた。以下にその式を表す。

$$\text{信頼度関数: } R(t) = \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right) \cdots \cdots \text{式(1)}$$

ここで $\alpha=1/\sigma$ 、 σ は尺度母数である。また不信頼度関数は $R(t)=1-F(t)$ である。

$$\text{確率密度関数: } f(t) = (F(t))' = \frac{\alpha t^{\alpha-1}}{\beta^{\alpha}} \exp\left(-\left(\frac{t}{\beta}\right)^{\alpha}\right) \cdots \cdots \text{式(2)}$$

$$\beta = \exp(\mu) \cdots \cdots \text{式(3)}$$

$$\text{ここで } \mu = \exp(b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 + \cdots + b_n x_n) \cdots \cdots \text{式(4)}$$

b : 未知パラメータ, x : 共変量ベクトル

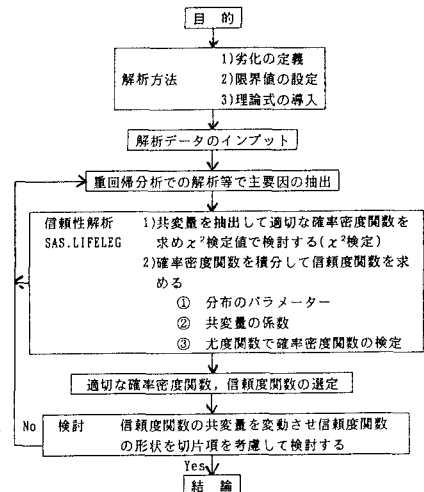


図-1 検討方法のフロー

表-1 劣化限界の設定値

劣化限界に対する 設定値の水準	1/1	1/10	1/20
剥離深さ	20mm	2mm	1mm

表-2 セメントの化学的組成

セメント の種類	セメントの成分(%)	
	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃
普通ポルト ランドセメント	3.1	5.4
高炉セメント	1.8	9.1

2.4.実験方法

図-2に紋別大型供試体の形状を示す。測定は、各供試体ごとに天頂・上段・中段・下段の高さ別、さらに東西南北の方向別に分けて行った。剥離深さの測定方法は剥離をスケーリングによる剥離とポップアウトによる剥離とに分けて行った。スケーリングによる剥離については、最大35箇所、ポップアウトによる剥離については最大12箇所を選んで測定した。また、剥離深さの経年変化を正確に追うために、各年度で測定した剥離部分の座標に合わせて、剥離深さを測定した²⁾。

3.解析結果及び考察

3.1.解析結果

セメントの化学的成分を表-2に示し、設定値：剥離深さ2mmの信頼性解析結果を表-3に示す。共変量として水セメント比、酸化第二鉄を抽出した。各々の共変量の係数は水セメント比が負、酸化第二鉄が正であった。それぞれが有意水準1%以内に入っている。すなわち、水セメント比が大きくなると耐久性が低下するのと一致する。また、酸化第二鉄が多くなり鉄率(Al_2O_3/Fe_2O_3)の低いセメントはC4AFの生産量が多く、海水に対する化学抵抗性が良好であるとされていることと一致している。

3.2.考察

曝露供試体の剥離深さに対する信頼度に影響を与えている劣化要因の一つは、3.1から水セメント比であるため、共変量の水セメント比に着目し劣化予測をする。普通ポルトランドセメント、水セメント比45%、淡水養生5日間(N45F5)、同様に水セメント比55%(N55F5)の信頼度関数を図-3に、高炉セメント、水セメント比45%、淡水養生5日間(BB45F5)、同様に水セメント比55%(BB55F5)の信頼度関数を図-4に示す。水セメント比が低くなると信頼度が高くなる傾向がみられ、図-3では10年でN45F5の信頼度は58%、N55F5の信頼度は35%である。同様に図-4では10年でBB45F5の信頼度は35%、BB55F5の信頼度は14%である。

4.まとめ

信頼性理論によるコンクリートの表面劣化予測として、寒冷地海洋環境下の曝露実験による表面剥離深さの測定データを用いた検討結果を以下に示す。

- ①信頼度関数の共変量として水セメント比、酸化第二鉄の各々が有意水準1%以内で抽出され、各々の共変量の係数は水セメント比が負で、酸化第二鉄が正であった。
- ②水セメント比が低くなると表面剥離に対する信頼度が高くなる。

【謝辞】本研究に対し北見工業大学岡田技官、猪狩技官、北見工業大学大学院の田中氏の御協力を得た。解析には北大及び東大大型計算機センターの御協力を受けHITACを使用した。ここに感謝する。

【参考文献】

- 1) 桜井 宏、鮎田 耕一、藤田 嘉夫、佐伯 昇、阿部 誠：曝露供試体のデータの信頼性解析による耐久性評価の検討、土木学会北海道支部論文報告集第50号、平成6年2月、pp.1050～1053
- 2) 桜井 宏、鮎田 耕一、佐伯 昇：寒冷地海洋環境下に曝露されたコンクリートの表層部の劣化とその要因の検討、セメント技術年報41、1987、pp.379～382

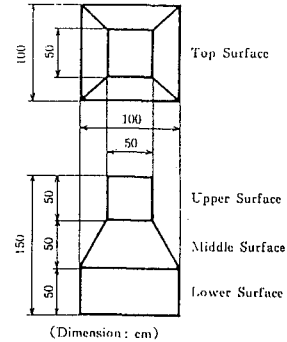


図-2 紋別大型供試体の形状

表-3 設定値：剥離深さ2mmの信頼性解析結果

設定値2mm	推定値	PR>CHI
切片 (μ)	3.3448	0.0001
共変量 酸化第二鉄	0.2665	0.0001
の係数水セメント比	-0.0344	0.0001
尺度母数(δ)	0.5445	
最大化対数尤度	-284.0681	

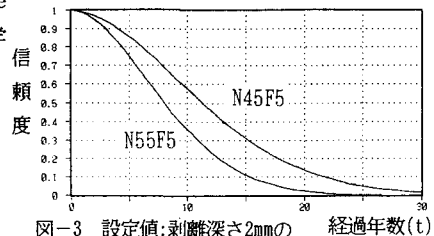


図-3 設定値：剥離深さ2mmの信頼度関数 (N45F5, N55F5)

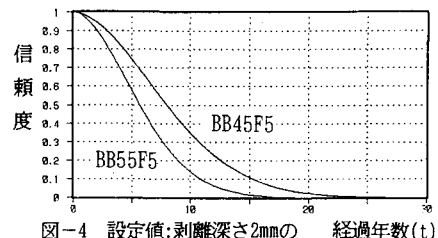


図-4 設定値：剥離深さ2mmの信頼度関数 (BB45F5, BB55F5)