

寒冷地海洋環境下のコンクリート表面劣化の耐久性に対する信頼性解析

北見工業大学 正員○桜井 宏 正員 鮎田 耕一
北海道大学 正員 佐伯 昇
日鐵セメント 正員 藤田 嘉夫

1. はじめに

社会資本としてのコンクリート構造物が増加するのにもない、これらの維持管理の重要性が増している。しかし、これらを科学的かつ合理的に行う工学的な手法は、まだ確立されていない。そのため、現在、土木学会やコンクリート工学協会でこれらを指針や基準化する研究や作業が進められている。これらを具体化するためには、前提として、コンクリートの耐久性や耐用年数を理論的に評価する手法や、コンクリートの劣化予測する理論や技術の確立が重要である。また、実構造物や曝露実験等より、コンクリートの劣化程度とその発生時期を定量的にかつ経時的に測定することが重要である。

本研究は、寒冷地海洋環境下のコンクリートの長年の曝露実験データよりコンクリート表面劣化の耐久性に対する信頼性解析¹⁾を可能とするために、各種劣化要因と劣化の発生に対して、劣化限界値とそれを管理するための設定値を導入して経年的に劣化の発生を明かにし、劣化の確立密度関数や信頼度関数を求める。さらに、劣化要因の変化で信頼度関数の形状が変化し、経年における劣化の発生の仕方が変化することをシミュレーション可能とするための基礎的検討を行う。

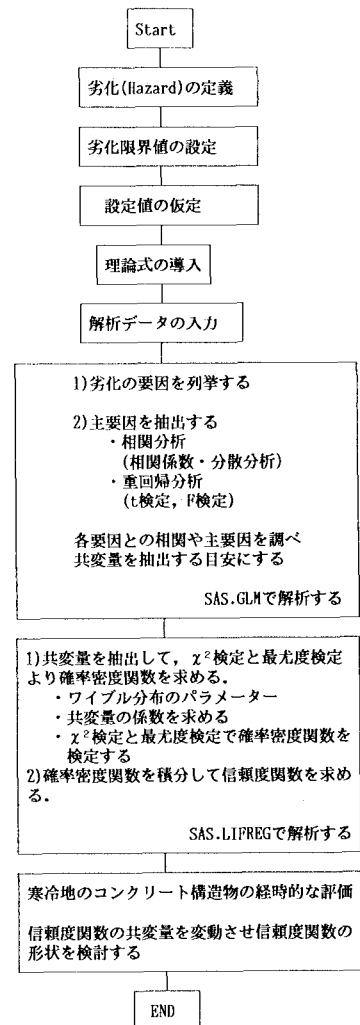


Fig.2.1.1 The method of study

Reliability Analysis to Durability of Surface Deterioration of Concrete in Cold Sea Environment
by Hiroshi SAKURAI, Koichi AYUTA, Noboru SAEKI, Yoshio FUJITA

2. 検討方法

2.1 検討のフロー

Fig.2.1.1にコンクリートの耐久性に対する信頼性解析の検討の方法を示す。まず、劣化の定義を行い、劣化限界値を設定し、その何分の一かの設定値を設定する。これに適切な分布の理論式(ここでは、適合性の良いワイブル分布を適用)を導入する。測定データを整理し、解析データを入力する。これらより、相関分析、重回帰分析を実施し、t検定やF検定を行い、各要因との相関や主要因を調べる。これを、信頼性解析する際の共変量を抽出する際の目安にする。次に、ワイブル分布のパラメーターや共変量の係数を求め、同時に χ^2 検定や最尤度検定を行い確率密度関数を求める。確率密度関数を積分して信頼度関数を求める。これより、寒冷地のコンクリート構造物の経時的な劣化の評価を行うことを可能とさせる。

2.2 検討理論

規準分布をワイブル分布として共変量を考慮した故障率関数を考え、これより確率密度関数や信頼度関数を求める信頼性解析を行う^{2), 3)}。

2.3 検討の対象

検討の対象は寒冷地海洋環境下のコンクリートの表面劣化である表面剥離とした。Table2.3.1に検討の対象の実験の要因を示す。これは、寒冷地海洋環境下のオホーツク海の紋別での曝露実験結果である。

Table 2.3.1 The external and internal factor of specimens

External factor			Internal factor								
Cycles of freeze-thaw per year (cycles)	Distance from sea (sea side) (m)	N _a	C·W/C·CC·CD				N _a	C·W/C·CC·CD			
59.4 (8 years) (average)	From 30 to 50 (Seasonal) (change)	1	N	55	F*	0	7	FB	65	F	0
		2	N	55	F	5**	8	FB	55	F	5
		3	N	55	F	14	9	FB	55	F	14
		4	N	45	S*	5	10	FB	45	F	0
		5	N	45	F	5	11	FB	45	F	5
		6	N	45	F	14	12	FB	45	F	14

*: F : Fresh water curing, S: Sea water curing

** : Specimen measuring temperature in the same mix proportion as N55F5 Specimen.

Note; C: Cement, W/C: Water cement ratio, CC: Curing condition, CD: Number of curing days

N: Normal portland cement, FB: Fly ash cement type B, BB: Blast furnace cement type B

3. 検討結果
3.1 検討結果

検討例として表面剥離深さ1mmを越えた経過年数ごとのヒストグラムをFig3.1.1に示す。10年までに1mmの剥離深さをほとんど越している。

信頼性解析の検討結果をTable3.1.1に示す。そして、検討結果のケース1についての予測値をFig.3.1.2に示す。予測値と実測値はほぼ一致している事がわかる。

3.2 今後の課題

劣化要因である共変量の変化と劣化の信頼度関数の変化の関係を示し、経年変化の傾向の変化を検討する予定である。

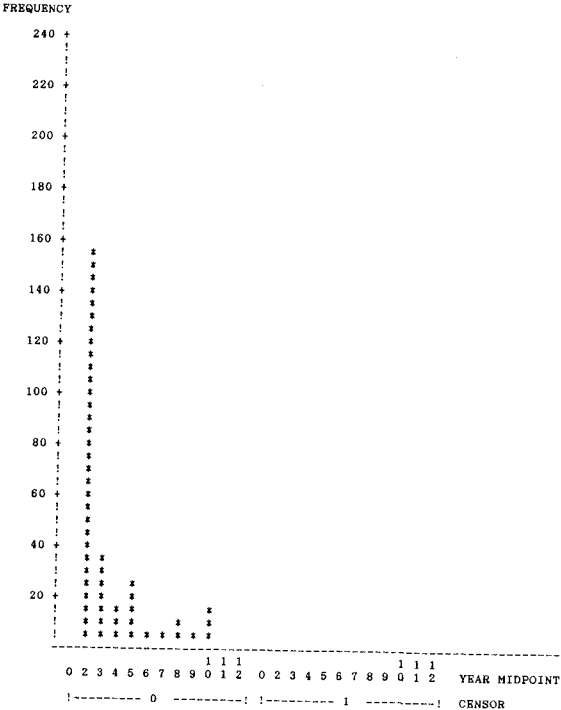


Fig.3.1.1 Histogram of lapse year and the frequency.

Table 3.1.1 The result of analysis

剥離深さ		CASE 1		CASE 2	
D 1		推定値	PR>CHI	推定値	PR>CHI
共 変 量 の 係 数	切片 (μ)	-0.8812	0.0001	-0.0166	0.7220
	CaO	.....	.....	.....	.....
	MgO	.....	.....	.....	.....
	Al2O3	.....	.....	-0.0770	○0.0242
	Fe2O3	-0.0051	0.7103	.....	.....
	RATIO	0.0108	◎0.0001	.....	.....
	WTR2	-0.0201	◎0.0004	-0.0175	◎0.0025
	DAYS	-0.0060	◎0.0007	.....	.....
	SSTR	.....	.....	.....	.....
	P	0.0071	◎0.0001	0.0008	0.2087
	NO	0.0048	◎0.0001	0.0049	◎0.0001
	UML2	0.0003	○0.0292	0.0003	0.0639
	HOKO2	.....	.....	.....	.....
尺度母数 (δ)		0.0895	.....	0.0921	.....
最大化対数尤度		218.5281	.....	207.3113	.....

◎有意水準1%以内
○有意水準5%以内

4.まとめ

寒冷地海洋環境下のコンクリート表面劣化の耐久性に対する信頼性解析の検討の結果表面剥離の剥離深さの設定値1mmに対して信頼性解析が可能であることが明らかになった。

今後の課題として劣化要因である共変量の変化と信頼度関数の変化の関係を明らかにしたい。

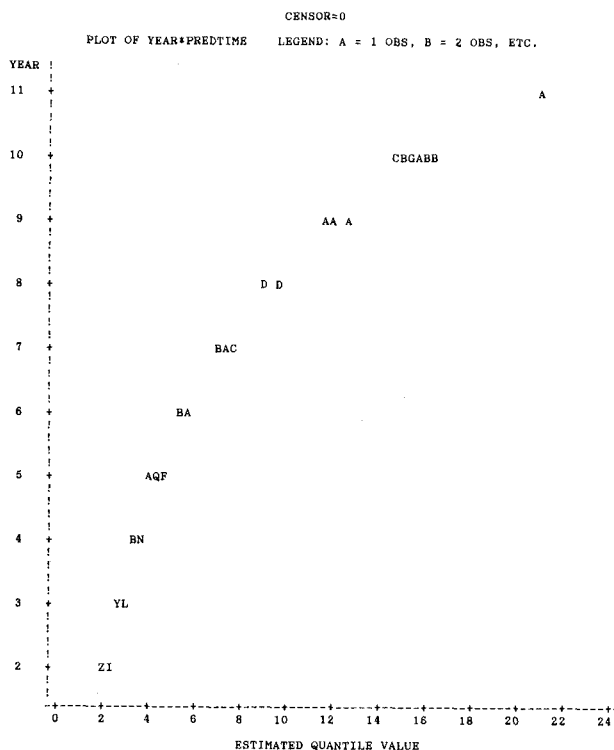


Fig.3.1.2 The relationship between of estimated quantile value year ($R(t)=50\%$) and measured year

【謝辞】

本研究に対し北見工業大学岡田包儀技官及び猪狩平三郎技官，北見工業大学コンクリート研究室卒論生の阿部，成田両氏他の御協力を受けた。また，解析等の際に北大及び東大大型計算センターのご協力を受けた。西村組，島田建設，水元建設等よりご協力を頂いた。ここに，感謝する。

【参考文献】

- 1) 桜井宏，鮎田耕一，佐伯昇，鈴木明人：信頼性理論によるコンクリート構造物の劣化の評価，コンクリート工学年次論文報告集，13-1，pp629-632，1991
- 2) 真壁肇：信頼性データの解析，岩波書店，1987年
- 3) 菅野文友：信頼性工学，電子通信学会編，コロナ社，1980年