

V-5 寒冷地各種環境下のコンクリートの非線形解析による劣化予測

北見工業大学大学院 学 生 員 西村貴志
 北見工業大学工学部 正 員 桜井 宏
 北見工業大学工学部 フェロー 鮎田耕一
 北見工業大学工学部 正 員 岡田包儀

1. はじめに

寒冷地各種環境下のコンクリート構造物は、劣化の外的要因である気象条件及び環境条件や内的要因である水セメント比の影響によって凍害や塩害等の劣化作用を受ける。それによってコンクリートの耐久性の変化や低下が引き起こされる。コンクリートの耐久性の変化や低下を定量的に把握すること、すなわち劣化予測は、コンクリートの耐用年数を予測するために必要不可欠である。また、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耐久性設計や維持管理を可能にする。

コンクリートの凍害による劣化を検討する試験方法としては、従来よりASTM C 666法等の急速水中凍結融解試験が一般的である。しかし、実構造物が受ける凍結融解は気中凍結融解が主であるが、急速水中凍結融解試験と実構造物のコンクリート部材等の耐力等の性能との関係や海水中における劣化についての検討は十分に行われていない。

本研究は、実構造物の耐用年数予測のための基礎的な検討を行うために非線形解析を用いてASTMの試験の可能なRCモデル化供試体での促進試験(気中、淡水中、海水中)及び曝露試験の超音波伝播速度等の測定結果から非線形解析によるコンクリートの劣化予測モデルを検討する。

2 研究方法

2. 1 実験方法

RCモデル化供試体作成に使用したコンクリートの配合と練上がり性状を表-1に示す。

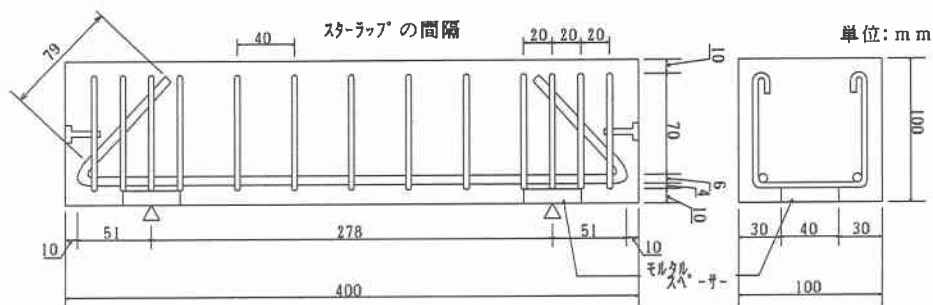
セメントは普通ポルトランドセメントを使用し、コンクリートの配合は、水セメント比45%, 55%, 65%, 単位水量が152Kg/m³のAEコンクリートとした。打込み時における目標空気量及び目標スランプをそれぞれ4.5±0.5%及び8.0±1.0cmとした。

RCモデル化供試体は、10×10×40cmの角柱供試体を作成した。供試体の形状及び寸法を図-1に示す。

表-1 コンクリートの配合と練上がり性状

示方配合							フレッシュコンクリートの性質			
W／C (%)	S／a (%)	単位量 (K g／m ³)				A E 剤 (c c)	スランプ (c m)	空気量 (%)	温度 (℃)	
		W	C	S	G					
4 5	3 1	1 5 2	3 3 8	5 6 4	1 2 7 7	4 8 . 5	6 . 3	3 . 5	2 4 . 5	
4 5	3 1	1 5 2	3 3 8	5 6 4	1 2 7 7	3 9 . 7	8 . 0	4 . 8	2 4 . 0	
5 5	3 4	1 5 2	2 7 6	6 3 4	1 2 5 8	4 6 . 9	8 . 0	4 . 5	2 5 . 0	
6 5	3 4	1 5 2	2 7 6	6 4 7	1 2 7 9	5 2 . 9	9 . 2	5 . 1	2 1 . 5	

Study on deterioration prediction of concrete in cold sea environment by non-linear exponential analysis by Takashi NISHIMURA, Hiroshi SAKURAI, Koichi AYUTA, Kaneyoshi OKADA.



図ー１ 供試体の形状及び寸法

2. 2 測定方法

測定は耐力の変化を表す指標として超音波伝播速度(P波)をパンジットで測定した。

2. 3 解析式

耐力への影響が大きい超音波伝播速度変化率の測定結果を解析した^{1) 2)}。モデルは筆者等が開発した以下の非線形指数関数モデル³⁾を仮定し、最適な係数A, B, Cを最小自乗誤差により求めた。

$$U = A * CYC * (\exp (-C * CYC)) + B \dots \dots \text{式(1)}$$

ここで、U: 超音波伝播速度変化率, CYC: 凍結融解回数, A, B, C: 係数

なお、係数Bを初期値である100%と固定せず、解析によって推定される係数としたのは、初期値も変動する測定値の1つと考えて、ばらつきを考慮したためである。

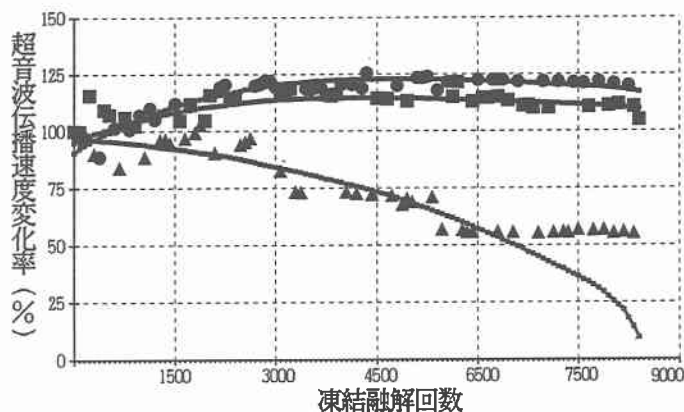
3 解析結果と考察

3. 1 解析結果

3. 1. 1 気中凍結融解試験解析結果

図ー2に気中凍結融解の解析値と実測値の関係を示す。モデル式の曲線の形状がはっきりと上に凸であることが認められる。

実構造物では材令によるコンクリート強度の増加があり、気中凍結融解の条件により近い。気中凍結融解試験結果は、本モデルの上に凸の非線形モデル曲線で適確な劣化予測が可能である。



図ー2 実測値と解析したモデル曲線の関係

3. 1. 2 各種環境下の解析結果

曝露試験，水中凍結融解試験（淡水），水中凍結融解試験（海水）の3つの環境要因では上に凸の傾向が小さい。しかし，ほぼ水セメント比などの内的要因，環境要因などの外的要因を考慮した非線形指数関数モデル曲線を示すことができた。

寒冷地各種環境下のコンクリートの各種実験と非線形解析による劣化予測を検討した結果を図-3及び図-4に示す。図-3の水セメント比と係数Aの関係は，水セメント比が大きくなると，係数の絶対値が大きくなる。従って，係数Aは内的要因である水セメント比の影響を受ける傾向が認められる。

次に図-4の各種環境要因と係数Cの推定値の関係で，係数Cは，気中凍融に対し，曝露ではやや増加し，水中では減少し，海水中では最も小さい値を示し，環境要因により違いがみられ，劣化の外的要因である環境要因の影響を受ける傾向が認められる。

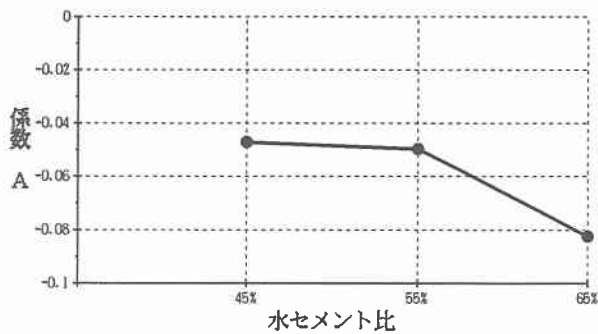


図-3 係数（A）の推定値と水セメント比の関係

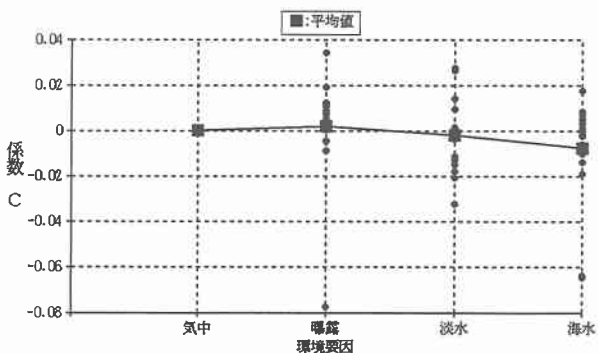


図-4 環境要因と係数（C）の関係

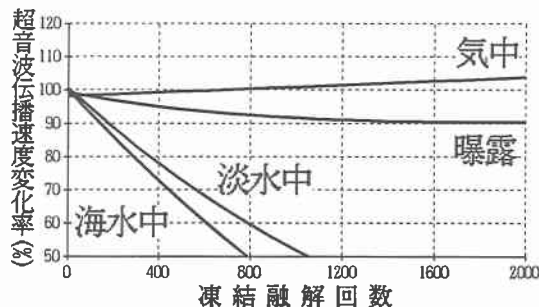


図-5 環境要因別のモデル曲線の比較

3. 1. 3 環境要因別の解析結果

非線形解析で劣化予測した曲線と超音波伝播速度変化率の関係を図-5に示す。気中凍結融解試験、曝露試験、水中凍結融解試験（淡水）、水中凍結融解試験（海水）の4つの環境要因のケースについて検討した。

気中凍結融解に関しては、モデル曲線の形状がはっきりと上に凸であることが認められる。

実構造物では材令によるコンクリート強度の増加があり、気中凍結融解の条件により近く、非線形モデル曲線で適切に予測できるものと思われる。

3. 2 考察

3. 2. 1 母集団と解析結果の関係について

気中凍融に関しては、水セメント比ごとに解析をおこなったが、モデル式の曲線の形状がはっきりと上に凸であることともに、実測値と解析結果のモデル曲線がよく適合した。

曝露試験、水中凍結融解試験（淡水）、水中凍結融解試験（海水）の3つの環境要因については実測値に供試体の測定本数が多く、それぞればらつきがある。非線形指数関数のモデル式の曲線を水中凍結融解試験（淡水）、水中凍結融解試験（海水）においては描くことは可能であったが、さらに適用性と適用範囲について検討する必要がある。曝露試験においては、曝露条件による分類を行い、解析を検討する必要もある。なお、曝露試験のモデル曲線は下に凸のモデル曲線を描く結果になった。

3. 2. 2 解析精度について

解析においては適切な母集団を定めなければならないが、気中凍結融解試験結果の解析では、係数Aについては、水セメント比ごとに分類し、解析をおこなった方がよい。また、係数Cについては、解析の際に小数点以下を6桁までとった方がモデル曲線と実測値に適合した。

4 まとめ

寒冷地各種環境下のコンクリートの非線形解析による劣化予測の結果以下のことがわかった。

- ① 気中凍融の実験結果は水セメント比ごとに45, 55, 65%の母集団に分け、非線形モデル関数式による劣化予測が可能であった。
- ② 環境要因について適切な母集団を設定することにより非線形モデル関数式による解析が可能である。

【謝辞】本研究にあたり北海道大学佐伯昇教授、藤田嘉夫前北見工業大学客員教授のご指導を受けた。また、北見工業大学猪狩技官の御協力を受けた。解析において北海道大学及び東京大学大型計算機センターの御協力を受けHITACを使用した。文部省科学研究補助金(H8年度)の交付を受けた。ここに感謝する。

【参考文献】

- 1) 桜井宏, 鮎田耕一, 岡田包儀, 田中純: コンクリートの耐凍害性の気中凍結融解試験による検討, 土木学会北海道支部論文報告集第51号, 平成7年2月, PP. 388-391
- 2) 桜井宏, 鮎田耕一, 岡田包儀, 田中純: 凍結融解8000回の気中凍結融解試験と指数関数モデルによるRCの耐凍害性評価, 第50回土木学会年次学術講演会講演概要集V, 平成7年9月, PP. 268-269
- 3) H. SAKURAI, K. AUTA, K. OKADA, J. TANAKA: Study of 8000 cycles Freezing and Thawing Tests in Air by RC Model Specimen Using Non-linear Exponential Function Models, 1995年9月