

第V部門

塩害環境下のコンクリート道路橋の劣化予測に及ぼす設定条件の影響

関西大学工学部

学生員 ○高柳 創

関西大学工学部

正会員 鶴田 浩章

1. はじめに

現在のコンクリート構造物の劣化予測、LCC 評価という分野においては、「仮定が多い」、「信頼できる正確なデータが少ない」というような問題があり、信憑性に欠ける部分がある。そこで、本研究では、LCC 評価システムから仮定を減らし精度を上げ、根拠のあるものにしていくための一ステップとして、劣化予測に及ぼす設定条件の影響について明確にすることを試みた。

2. 解析手法

本研究では、コンクリート構造物の劣化予測に注目して塩害環境下におけるコンクリート道路橋の劣化予測を既存の評価システム¹⁾を用いて検討した。検討に当たっては、ポストテンション方式 PC 道路橋を対象として、塩害対策 3 ケース(1. 無体策の場合 2. 表面被覆工を施す場合 3. エポキシ樹脂塗装鉄筋を使用する場合)を設定し、各ケースにおける鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度(Cl_{lim})、鉄筋の腐食速度(k_2)を変化させた場合の鋼材腐食発生時期、コンクリート断面補修時期を算定した。算定に当たっては、コンクリートの表面塩化物イオン濃度や拡散係数等の確率変数パラメータに対して 5000 の乱数を発生させ、モンテカルロ法を用いて収束計算し、確率論的手法により検討を行った。また、初期設定として鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度を 1.2kg/m^3 、補修基準値として鋼材の断面減少率を 10%、鉄筋径 ϕ を 31.8mm(D32)、再劣化係数を平均値 0.9、その標準偏差を 0.02、50 年試算の場合の W/C を 0.4、100 年の場合を 0.35 と設定した。

3. 劣化予測による検討

(1) 鋼材の腐食発生時期の予測

塩化物イオンの浸透はフィックの拡散方程式に従うとして、以下の式を用いて算定を行った。

$$C_d = C_0 \left[1.0 - \operatorname{erf} \left\{ \frac{0.1}{2\sqrt{t}} \left(\frac{c}{\sqrt{D_d}} + \frac{c_{ep}}{\sqrt{D_{epd}}} \right) \right\} \right]$$

ここに、 C_d :鋼材位置における塩化物イオン濃度の設計値(kg/m^3)、 C_0 :表面における想定塩化物イオン濃度(kg/m^3)、 c :かぶりの期待値(mm)、 D_d :塩化物イオンに対する設計拡散係数(cm^2/year)、 c_{ep} :エポキシ樹脂の塗膜厚さの期待値(mm)、 D_{epd} :エポキシ樹脂への見掛けの拡散係数(cm^2/year)、 t :経過時間(year)

この式を用いて、 $C_d = Cl_{lim}$ となる腐食開始時期 t_1 を求めることにして、 Cl_{lim} を 1.2kg/m^3 から 1.8kg/m^3 に変化させて検討した。

(2) 腐食進行過程の予測

本研究では、鋼材腐食発生後の腐食進行過程の予測として、計算を容易にするため、バイリニア型の鋼材腐食発生モデル¹⁾を用いて、進展期及び加速・劣化期における腐食速度は一定であること、経過年数 t_2 で鋼材腐食量が補修基準値の断面減少率 10%に達するものと仮定した。そして、進展期の腐食速度 k_1 を $15(\text{mg}/\text{cm}^2/\text{year})$ 一定とし、 k_2 は $50(\text{mg}/\text{cm}^2/\text{year})$ を基本として、30 あるいは $70(\text{mg}/\text{cm}^2/\text{year})$ に変化させて検討を行った。

4. 算定結果

(1) Cl_{lim} を変化させた場合

図-1 に鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度が、 1.2kg/m^3 の場合と 1.8kg/m^3 に変化させた場合(50年試算)の鋼材腐食発生時期の頻度分布の算定結果を示す。その結果をまとめた表-1から、各ケースの腐食発生時期の平均値を比較すると、どのケースでも約 1.5 倍に延びていることが分かる。しかし、年数で見ると無対策ケースで約 14 年、表面被覆工ケースで約 26 年、エポキシ樹脂鉄筋ケースで約 70 年延びており、橋梁の供用期間が基本的に 100 年とされる場合が多いことから考えるとかなり大きな変化である。

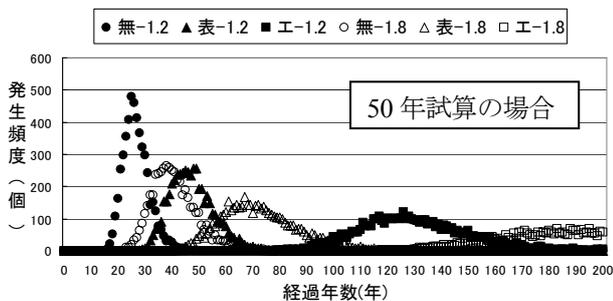


図-1 鋼材腐食発生時期の頻度分布の算定結果

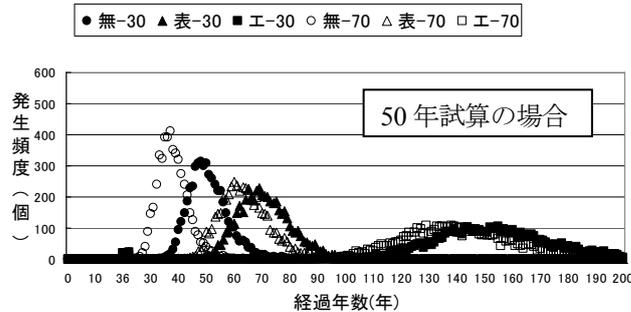


図-2 第一回補修時期の頻度分布の算定結果

表-1 鋼材腐食発生時期の最小、最大、平均値

50年試算 単位:年		最小	最大	平均
1.2kg/m ³	無対策	15	63	26.9
	表面被覆工	24	96	47.5
	エポキシ樹脂塗装鉄筋	74	286	130.1
1.8kg/m ³	無対策	21	141	41.3
	表面被覆工	35	184	73.2
	エポキシ樹脂塗装鉄筋	106	620	201.4

表-2 第一回補修時期の最小、最大、平均値

50年試算 単位:年		最小	最大	平均
30(mg/cm ² /year)	無対策	33	92	50.8
	表面被覆工	44	133	71.3
	エポキシ樹脂塗装鉄筋	98	305	154.1
50(mg/cm ² /year)	無対策	27	73	41.8
	表面被覆工	37	108	62.4
	エポキシ樹脂塗装鉄筋	90	298	145.1
70(mg/cm ² /year)	無対策	24	69	37.9
	表面被覆工	33	112	58.3
	エポキシ樹脂塗装鉄筋	86	295	141.2

(2) 鉄筋腐食速度 k2 を変化させた場合

図-2 は第一回補修時期の頻度分布の算定結果であり、その平均値等をまとめたものが表-2 である。表より、基本の k2=50mg/cm²/year から 20mg/cm²/year 増加させた 70mg/cm²/year の場合には、各ケースで約 4 年補修時期が早くなるという結果であることがわかる。また、30 mg/cm²/year に変化させた場合、各ケースで補修時期が 10 年程度延びるという結果であった。ひび割れ発生後の鉄筋腐食速度が増加することによる補修時期の早期化という点では、あまり腐食速度変更前と補修時期にそれほど差は現れなかった。

表-3 及び 4 は試算年数 50 年と 100 年における補修回数の発生確率を示している。表より、30mg/cm²/year の場合、一回ずつ補修回数が増える確率が高くなる結果となるが、無対策でも補修 0 回となる確率が存在する。これは、設定条件のばらつきに依存することとなる。

表-3 補修回数の発生確率 (k2=30mg/cm²/year の場合)

補修回数	試算ケース					
	無-50	表-50	エ-50	無-100	表-100	エ-100
	確率					
0	0.466	0.997	1.000	0.001	0.020	0.999
1	0.534	0.003	0.000	0.526	0.979	0.001
2	0.000	0.000	0.000	0.472	0.001	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

表-4 補修回数の発生確率 (k2=70mg/cm²/year の場合)

補修回数	試算ケース					
	無-50	表-50	エ-50	無-100	表-100	エ-100
	確率					
0	0.023	0.823	1.000	0.000	0.001	0.997
1	0.974	0.177	0.000	0.029	0.913	0.003
2	0.003	0.000	0.000	0.744	0.085	0.000
3	0.000	0.000	0.000	0.224	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	0.003	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000

ただし、このような検討には各種条件値の平均値や標準偏差の影響も大きいとため、データの取得や蓄積が非常に重要となる。

参考文献

(1) 白武、松下他：割引率がコンクリート道路橋の LCC 評価に及ぼす影響、コンクリート工学論文集、Vol.27、No.2、pp.1615-1620、2005

5. まとめ

本研究の範囲で、以下のことが明らかとなった。

- (1) 鋼材位置での鋼材腐食発生限界塩化物イオン濃度が増加することにより、その後の腐食発生時期に大きく影響を及ぼすということがわかった。
- (2) ひび割れ発生後の鉄筋の腐食速度が補修時期に及ぼす影響よりも、鋼材腐食の発生限界濃度の影響の方が大きいことがわかった。