

第V部門

表面被覆工の経年劣化を考慮した塩分浸透解析に基づく LCC 算出

京都大学

学生員 ○土橋 和也 内藤 翔

京都大学

正会員 松本理佐 服部篤史 河野広隆

1. はじめに

ライフサイクルコスト(以下, LCC)の算出で, 補修後の劣化予測を行わない場合は, 経年による補修材の劣化による想定外の変状や, それに伴う予算不足などが危惧される. 本研究では, 暴露報告の多い表面被覆工に着目し, 塩化物イオン浸透予測と経年劣化を考慮した LCC 算出を行った. 表面被覆工を施した場合での塩分浸透解析手法は, 様々なモデルが提案されているが, それらの違いが検討されていない. そこで, 塩分浸透解析手法の検討を行い, 被覆材遮蔽機能の経年劣化を考慮した LCC 算出を行うことで, 予算不足となるリスクを検証する.

2. 表面被覆工を施した塩分浸透解析手法の検討

2.1 塩分浸透解析手法

塩害を想定した劣化予測では, 拡散方程式に基づき, 鉄筋周辺部の塩化物イオンを算出することで劣化時期を推定する場合が多い. 表面被覆工を施した際には, 塩化物イオンの表面からの浸透が妨げられ, 劣化進行が抑えられる. 被覆工を施した際の浸透予測手法は, いくつか提案されているが, その中の手法として2つ紹介する.

コンクリートと同等に被覆材にも拡散方程式を導入し, 異なる2層の物質での拡散方程式により, 塩化物イオン浸透量を予測する手法で, これを2層拡散解析と呼ぶ(図1). ここでは, 被覆材表面の塩化物イオン濃度を設定する必要があるが, 適切な値の設定が難しいと考えられる.

2つ目は, かぶり厚を深くするとみなして遮蔽性を評価する, 等価かぶりという手法がある(図2). 等価かぶりでは, 表面濃度一定という定常状態では解析解により算出が可能であるが, 被覆性能の評価がコンクリート拡散係数にも左右されると言った問題点が挙げられる.

そこで, 本研究では, 境界条件に流束を用いるモデルを提案する. 遮塩性試験(図3)で測定された塩化物イオン透過量(kg/m³/年)をコンクリート表面に流束を与え, 拡散方程式を数値解析により解くことで, 鉄筋付近での塩化物イオン濃度を算出する. これを透過量モデルと題す.

また, 被覆材は経年と共にその遮蔽性能が低下するこ

とが知られている¹⁾. そこで, 本モデルに式(1)に示した性能低下式を導入することで, 経年劣化を想定する. これは, 経年的に塩化物イオン透過量が增大することを表している式であり, 実構造物から採取した被覆材の遮塩性試験より, 透過量を定量的に評価している¹⁾. これらのモデルを用いて塩化物イオンの浸透量を算出し, 既往の調査結果²⁾と比較し, モデルの妥当性を評価する.

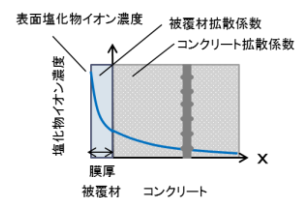


図1 2層拡散解析の概要

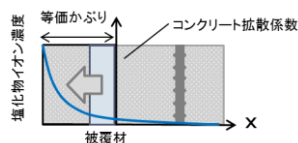
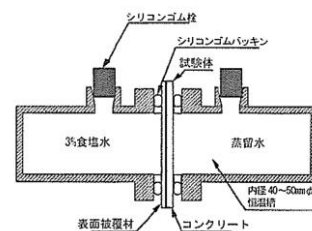


図2 等価かぶりモデルの概要

図3 遮塩性試験の概要¹⁾

$$S = 1 - 1 \times 10^{-5} \exp(A \times t_{rep}) / 0.05 \quad (1)$$

S: 被覆材機能定数, A: 材料定数, t_{rep} : 被覆後経過年(年)

2.2 浸透量の検討

既往の調査結果²⁾を用いて, 被覆後に新たに浸透した塩化物イオン濃度を算出する. 被覆前後の塩化物イオン分布(図4)から浸透量を算出し, 両者の差をとることで, 被

覆後新規浸透量を算出した。表 1 に実測値を 1 としたときの各モデルの浸透量を示す。表 1 より、2 層拡散解析と透過量モデルでは、実際よりも少量の浸透を予測しており、鉄筋腐食を見逃す可能性のある危険側での評価となる。そこで、透過量モデルに経年劣化式を導入することで、ある程度の評価が可能であることを示された。一方、等価かぶりでは、多くの浸透を評価するが、劣化を早期に予測する簡易的なモデルとして適用可能性を示した。

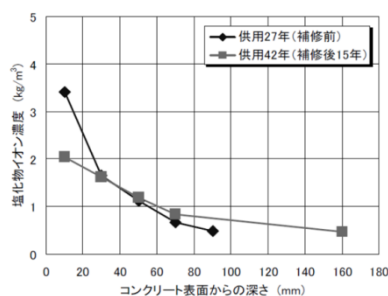


図 4 A 地点(栈橋)被覆前後の塩化物イオン分布²⁾

表 1 モデル毎の被覆後新規浸透量

	実測値	2層拡散解析	透過量	等価かぶり	経年モデル
A地点	1	0.159	0.0731	3.53	0.946
B地点	1	-3.34	-1.31	-42.4	-11.2
D地点	1	0.123	0.0512	4.54	0.781

3. 表面被覆工の経年劣化を考慮した LCC 算出

以上より、経年劣化を考慮した透過量モデルを用いて LCC 算出を行った。補修工法の違いでどれだけ工費が増大するか検討するため、断面修復(断面深さ：鉄筋表面まで、または、鉄筋裏+2cm)と脱塩工法を設定した。表面被覆工の塗り替え期間を検討するために、塗り替え周期を 4 水準設定した。鉄筋かぶり厚を 5cm, 7cm の 2 水準設定し、環境条件は、コンクリート示方書を参考に 3 水準設定し、コンクリート表面塩化物イオン濃度に相当する流束値を与えることで、環境条件を反映させる。

3.1 補修工法毎の検討

表 2 に経年劣化を想定しない場合の LCC を 1 としたときの各シナリオの LCC 増大比を示す。白抜きを最も高価、色つきを最も安価として示す。最大で 2 倍程度の工費増大となり、経年劣化を想定しない場合、予算不足のリスクが想定される。鉄筋裏までは取り除くことで、高価となり、劣化が大きく進行していない段階での断面修復では深くは取り除く必要はないと言える。また、脱塩工法では、安価な工法となる傾向となるが、非常に厳しい条

件では、塩分除去しきれず、高価な工法となった。

3.2 塗り替えスパンの検討

表 3 に経年劣化を想定しない 20 年塗り替えでの LCC を 1 としたときの LCC 増大比を示す。塗り替えスパンが長い場合では、短い期間では工費が抑えられるものの、厳しい条件や、長期間の LCC では、工費が増大する。15 年塗り替えでは、塩分浸透が抑えられ、補修回数を少なくできるものの、塗り替え工費の増大により高価となった。20 年塗り替えによって工費が抑えられることから、被覆を予防保全的に塗り替える必要はなく、多少の変状時に塗り替えるもので適用可能と言える。

表 2 供用 100 年後 LCC 増大比

環境条件		断面修復		脱塩工法
		鉄筋表面	鉄筋裏	
かぶり5cm	C _a =18.21	1.53	1.8	2.13
	C _a =13	1.53	1.8	1.56
	C _a =9	1.53	1.8	1.56
かぶり7cm	C _a =18.21	1.73	1.92	1.56
	C _a =13	1.73	2.01	1.56
	C _a =9	1	1	1

表 3 かぶり 7cm 時 LCC 増大比

年	環境条件	塗り替え周期			補修時のみ
		15年	20年	25年	
50年	C _a =18.21	1.43	1	2.18	1.75
	C _a =13	1.43	1	1.67	1.75
	C _a =9	1.43	1	0.57	0.15
100年	C _a =18.21	1.46	1	2.27	1.81
	C _a =13	1.46	1	1.64	1.81
	C _a =9	1.46	1	1.64	0.95

4. 結論

(1) 2 層拡散と透過量モデルでは浸透量を少なく評価し、鉄筋腐食を見逃す可能性が考えられる。そこで、経年劣化式を導入することで、評価可能となった。等価かぶりモデルでは、多くの浸透量を評価するが、安全側の評価手法として適用可能と言える。

(2) 表面被覆材の経年劣化を考慮した LCC 算出を行った結果、従来に比べ、最大 2 倍程度の補修費が必要となった場合除去工法が必要となることから、従来の LCC 算出方法では予算不足となるリスクが示された。

参考文献

- 1) 平田正憲, 堤知明, 佐藤道生, 松井淳, 横田優: 表面被覆材および断面修復材の遮塩性能に関する研究, コンクリート構造物の補修, 補強, アップグレード論文報告集 Vol.13, pp.341-348, 2013.11
- 2) 鬼束俊一, 瀬下雄一, 中川貴之, 堤知明, 岩波光保: 塩害劣化した鉄筋コンクリートに対する補修効果の定量評価に関する研究, 土木学会論文集 E, Vol.62, No.4, 832-843, 2006.12