

学位論文の要旨（和文）

論文題目 厳しい寒冷地海洋環境における混合型含浸材を用いたコンクリートの耐用年数予測と経済的評価

専攻名 社会基盤工学専攻 専攻 学位の種類 博士（工学）

学籍番号 D19301 氏名 コウ エンカ（邝 艳华）

[要旨]

現在、多くの社会基盤構造物が老朽化に直面しており、維持管理・更新が必要となる社会基盤構造物は、今後さらに増加する。過酷な供用環境下において、コンクリートの耐用年数を効果的かつ経済的に延長することは、技術者にとって非常に重要な課題の一つである。

本論文では、混合型含浸材を用いたコンクリートの維持管理について検討を行った。第一に、室内試験により、コンクリートの各種性能に及ぼす含浸材の影響を検討した。次いで、20年間に渡る実構造物（苫小牧防波堤）の調査に基づき、寒冷地海洋環境下におけるコンクリートへの混合型含浸材の適用性について評価・検討を行った。さらに、それらの結果を用いて、ケース・スタディとして、実環境における残存性能およびLCC（Life Cycle Cost）の推定を行った。

本研究で用いた混合型含浸材は、コンクリート表面にけい酸塩系（けい酸塩ナトリウム）含浸材を塗布した後、シラン系含浸材を塗布するものである。

含浸材塗布後のコンクリートに対して、表面吸水速度、表層透気性、pH、細孔特性（細孔容積および細孔分布）および凍結融解抵抗性の測定を行った。これらの検討結果より、以下のことが示された。

含浸材を塗布したコンクリートは、無塗布のものと比較して、

- ① 表面吸水速度：大幅に減少（60.97%）
- ② 表層透気試験：ほぼ同程度。含水率の減少に伴い、透気係数がやや増加傾向
- ③ 試験時（材齢390日、含浸材施工後330日）の硬化体中のpHが増加
- ④ 表層10mmまでにおける40-1000nmの細孔が大幅に減少

混合型含浸材の使用は、コンクリート表面をより緻密化し、かつ疎水層を形成することとなる。この疎水層は、遮水性と透気性を有する。混合型含浸材の塗布量について検討を行い、塗布前のコンクリートの表層品質に基づく適切な含浸材塗布量の提案を行った。含浸材塗布前のコンクリートの表面吸水速度が低く（ $\leq 0.12 \text{ ml/m}^2/\text{s}$ ）、表層品質が高い場合、含浸材塗布量は、推奨量の50%に低減することが可能である。

苫小牧防波堤では、寒冷海洋環境における混合型含浸材を用いたコンクリート構造物の調査研究を行った。この調査研究では、対象構造物の建設後、3、12および20年経過後に、対象鈷物の含浸材塗布部および無塗布部よりコア供試体を採取し、各種試験の実施およびその結果に基づく残存性能の試算と維持管理計画・LCCの分析を行った。

対象構造物の建設後3、12および20年経過後に、含浸材塗布部および比較部（無塗布部）より採取したコア供試体を用いて、中性化深さ、塩化物イオン濃度分布、pH、水銀圧入式ポロシメータ（MIP）による細孔特性、含浸材再処理の有無による凍結融解（スケーリング）抵抗性の測定を実施した。これらの実験結果に基づき、対象構造物の余寿命の算出お

よび維持管理計画・LCCの試算・分析を行った。

中性化、塩化物イオン浸透、凍結融解作用に対する対象構造物の余寿命を、決定論的計算法、確率と信頼性法、モンテカルロ法それぞれにより求めた。算出結果より、

- ① 対象環境では、含浸材塗布により中性化に対する寿命が70%程度短縮される。ただし、中性化の進行は遅く、コンクリートのかぶり厚さを50mmとすると、含浸材を塗布したコンクリートの中性化に対する寿命は最大170年となり、一般的な設計目標寿命よりも長くなる。
- ② 混合型含浸材の使用により塩化物イオン浸透性は著しく低減され、対象環境下におけるコンクリートの寿命は、含浸材無塗布の場合と比較して1.1~3.5倍程度となる。
- ③ 寒冷海洋環境下でのコンクリートの寿命は、塩化物イオン作用下での凍結融解抵抗性により決定される。つまり、含浸材の塗布により中性化抵抗性が低下するが、塩化物イオン作用下での凍結融解抵抗性が向上し、結果として耐用年数の増加につながる。
- ④ 計算においても、かぶり厚さとその品質はコンクリートの寿命に大きな影響を及ぼすことが示された。かぶり厚さが20mm以上である場合、保証率の10%増加に対して、中性化による寿命は平均37年増加する。
- ⑤ 本研究で検討した混合型含浸材は、塩化物イオンの浸透および凍結融解作用に対する耐久性を著しく向上させるが、中性化に対する耐久性を向上させるものではない。したがって、中性化が進行しやすい乾燥した暖かい環境下での使用には適していない。
- ⑥ 室内における凍結融解抵抗性試験結果より、混合型含浸材の再塗布は、著しいスケール発生期間を約20~65サイクル遅らせる可能性が確認された。
- ⑦ スケール深さが2.5mmに達するまでに混合型含浸材による維持管理を行うことで、LCCが少なくとも50%効果的に削減することが可能である。構造物建設直後に複合型含浸材を施工した場合、2次メンテナンス（含浸材の再塗布）期間は33年以内とする必要があり、建設当初に含浸材を施工していない構造物の場合は、17年以内とする必要があることが示された。

本研究で検討した具体的な3つの試算法のうち、コンクリートの寿命予測においては、モンテカルロ法が推奨される。

室内試験による凍結融解サイクル数（ASTM-C672に基づく）が、実環境下における凍結融解サイクル数の何サイクルに相当するかを決定することは非常に困難であるが、耐久性予測・維持管理計画を検討する上で重要な事項の一つである。

主指導教員 _____