

塩分環境下における寒冷地道路橋コンクリートの 耐凍害性に関する研究

学位論文内容の要旨

これまで、コンクリート構造物の安全性に大きな影響を与えるのは塩害であり、凍害は構造的な劣化には大きな影響を及ぼさないものと考えられてきた。そのため、1991年のスパイクタイヤ製造販売禁止により凍結防止剤が道路路面に大量に散布されるようになってからも、凍結防止剤に含まれる塩分による塩害つまり鉄筋腐食にのみ構造物の安全性について注目が集まり、塩水による凍結融解作用の激化が構造物の安全性に大きな影響を与えるほどの凍害劣化をコンクリートそのものに及ぼしていることは注目されてこなかった。しかしながら、今後コンクリート構造物の長寿命化を目指すためには、コンクリート構造物の耐久性に大きく影響を及ぼす耐凍害性の研究が必要不可欠である。

本論文は、塩害から鉄筋を守る保護材料として考えられてきたかぶりコンクリートを、鉄筋を拘束する構造材料として考え、塩水による凍結融解作用の激化や夏場の維持管理がかぶりコンクリートに及ぼす影響を検討したものである。以下に本論文の概要について述べる。

第1章では、本論文の目的、および概要について述べている。

第2章では、これまで海岸部にのみ見られた塩水環境によるコンクリートの凍害の激化が内陸部にも広まった社会的な原因である凍結防止剤について、その効果と限界が凍結防止剤の種類にかかわらずにモル濃度により決まることを明らかにし、その結果、もっとも安価である塩を大量使用するようになった技術的背景を記述している。これにより、凍結防止剤が大量に散布されるようになり、北海道の道路におけるコンクリートが、内陸部でも塩水による凍害劣化を受けるようになったことを述べている。

第3章では、既設PC橋の解体調査結果から、PC鋼材の腐食はコンクリート表面のひびわれと密接に関係しており、ひびわれの無い箇所ではPC鋼材の腐食は発見されなかったことを示している。コンクリート表面のひびわれはPCグラウトの施工の良し悪しに大きく影響されており、グラウトが凍結膨張した時や空隙部の水分が凍結膨張した時にひびわれが発生したと思われる。それ以外の場合にはPC鋼材は桁の中心部にあるため、PC鋼材としてはコンクリートのかぶりは十分に確保されていた。このことから塩害対策を考えるにはPC鋼材よりも鉄筋に重点を置くべきであることを述べている。

第4章では、エポキシ樹脂被覆鉄筋と無処理鉄筋とで、重ね継手に及ぼす重ね長さ・かぶり厚・コンクリート強度・横方向鉄筋の検討を模型桁にて実験を行った。実験結果からコンクリートとの付着がほとんど期待できないエポキシ樹脂被覆鉄筋は、無処理鉄筋に比べて、重ね長さ・かぶり厚・コンクリート強度・横方向鉄筋といった拘束をより大きく必要とすることが確認された。また、エ

ポキシ樹脂被覆鉄筋と無処理鉄筋とで、重ね継手に及ぼす疲労の影響を調べるために、疲労試験を行い、どちらも重ね継手からの破壊は、かぶりコンクリートの疲労によることが確認された。このことから、これまで保護材料として考えられてきたかぶりコンクリートの厚さ・強度と言った構造材料として役割が構造物の安全性に大きく影響することと、その影響はエポキシ樹脂被覆鉄筋のほうが無処理鉄筋よりも大きいことを述べている。また、保護材料としてのかぶりコンクリートに頼ることなく、鉄筋を腐食から守るためエポキシ樹脂被覆鉄筋を用いることは、鉄筋を拘束する構造材料としてのかぶりコンクリートに頼ることになるという矛盾が出てきたことを述べている。

第5章は、一般国道229号神恵内村の海岸PC橋である大森大橋に関するケーススタディ研究である。大森大橋の施工途中の昭和59年2月には日本道路協会より道路橋の塩害対策指針(案)が出された。この指針(案)では、塩害対策としてかぶり増、塗装鉄筋、コンクリート塗装をあげている。施工途中である大森大橋はかぶり厚で対応することは不可能であったため、塗装鉄筋とコンクリート塗装により対応することとなり、第4章の研究結果と現地試験結果を実際の工事に適用するとともに、コンクリート塗装についても現地試験結果をもとに、実際の工事を行った。床版には、床版上面からの塩害防止と床版かぶりコンクリートの保護のため、全面に亘って防水工を施工した。これにより、構造材料としてのかぶりコンクリートが保護された。その後、約20年後に台風による高波により流失したため、解体調査された結果、塗装鉄筋とコンクリート塗装ともに塩害対策として有効であったことが確認されたことを述べている。

第6章では、コンクリート表層部の強度増加を図るために有孔布張型枠を用いて、ブリージング水や空気を効果的に排出してする試験施工を行い、表面アバタ率、表面強度、表面反射率、気泡パラメータ、比重・吸水率を測定した。その結果、コンクリート表面の気泡アバタの著しい減少、コンクリート表面強度の増大、コンクリート表層部の初期強度の増大、コンクリート表層部の吸水率が低下、コンクリート表層部の気泡間隔係数の低下など、コンクリート表層部の品質が大きく改善された。これにより、コンクリート構造物の傾斜面のように気泡アバタの多い表層コンクリートの品質を有孔布張型枠により改善し凍害抵抗性を向上させるとともに、構造材料としても表層コンクリートを強化したことを述べている。

第7章では、コンクリートの凍害劣化に、塩水の有無や夏場の維持管理がどのように影響するかを調べるために塩水による凍結融解試験の途中に乾燥状況や湿潤状況を挟み込む実験を行った。その結果、乾燥状況を挟み込む実験では対凍害抵抗性は向上したが、湿潤状況を挟み込む実験では塩水による凍結融解試験でも真水による凍結融解試験でも凍害劣化を激化させた。それは耐久性指数低下や強度低下ばかりで無く、質量減少量が3割にも達するものもあり、このことはスケーリングによりコンクリート表層が1cmも消滅したことを意味している。また、コンクリートの耐凍害性を評価する試験法として広く普及しているJIS試験を活用してのスケーリング評価の可能性をRILEM試験と比較することで検討したことなどを述べている。これにより、塩水による凍結融解を受けるコンクリートは夏季の維持管理によっては構造材料としてのかぶりコンクリートが無力化するほどの深いスケーリングなどの凍害を受ける可能性を述べるとともに、夏季の維持管理とくに排水状況の改善などによりコンクリートの対凍害抵抗性を向上させることも可能であることを述べている。

第8章は、本論文の総括であり、本研究によって得られた結果をまとめ、結論を述べるとともに、今後の展望について述べている。

学位論文審査の要旨

主 査	准教授	堀 口	敬
副 査	教 授	千 歩	修
副 査	教 授	杉 山	隆 文
副 査	教 授	鮎 田	耕 一（北見工業大学）

学 位 論 文 題 名

塩分環境下における寒冷地道路橋コンクリートの 耐凍害性に関する研究

コンクリートの耐凍害性に関する研究は国内外において古くから実施されており、それほど新しい研究ではない。特に寒冷地地方におけるコンクリート構造物では耐凍害性を考慮することは必要不可欠の項目である。ところが、構造物の安全性と凍害との直接的な関係は明確ではなく、凍害が構造物の安全性に大きな脅威を及ぼすことを指摘する研究は少ない。さらに、近年急増する凍結防止剤・融雪剤の使用により、塩分環境下におけるコンクリート構造物の凍害が顕在化し、寒冷地におけるコンクリート構造物の安全性が危惧されている。

本論文は、凍害と塩害を同時に受ける寒冷地のコンクリート構造物、特に道路橋コンクリートの耐久性向上を目的とした一連の研究である。著者の長年の道路橋の施工と維持管理に関する貴重な研究成果をまとめ、さらにコンクリートの実環境に即した塩分環境下の凍結融解抵抗性について詳しく検討した研究成果を纏めたものである。

本論文は 8 章から構成され、2 章から 6 章は著者の長年にわたる研究成果を纏めたものであり、コンクリート実構造物の耐久性向上に関する経験的研究成果が纏められている。続く 7 章では、これらの成果をもとに、新たな視点でコンクリートの耐凍害性を検討したものである。その詳細を纏めると以下ようになる。

第 1 章では、本論文の目的、論文の概要について述べている。

第 2 章では、これまで海岸部にのみ見られた塩分環境によるコンクリートの凍害の激化が内陸部にも広まった社会的な原因である凍結防止剤について、その効果と限界が凍結防止剤の種類にかかわらずにモル濃度により決まることを明らかにしている。

第 3 章では、寒冷地の既設 PC 橋の解体調査結果から、PC 鋼材の腐食はコンクリート表面のひびわれと密接に関連しており、ひびわれの無い箇所では PC 鋼材の腐食は発見されなかったことを示し、寒冷地の既設 PC 橋の塩害対策を考えるには、かぶりコンクリートの品質向上に重点を置くべきであることを述べている。

第 4 章では、寒冷地道路橋コンクリートに対してエポキシ樹脂被覆鉄筋の適用を検討したものである。保護材料としてのかぶりコンクリートに頼ることなく鉄筋を腐食から守るためにエポキシ樹

脂被覆鉄筋を用いることは、鉄筋を拘束する構造材料としてのかぶりコンクリートに頼ることになるという矛盾を明らかにしている。

第5章では、寒冷地海岸 PC 橋である大森大橋に関するケーススタディー研究を纏めたものである。大森大橋の施工途中に道路橋の塩害対策指針(案)が出され、塗装鉄筋とコンクリート塗装により対応することとなり、第4章の研究結果と現地試験結果を考慮して実際の工事を行った。床版には、床版上面からの塩害防止と床版コンクリートの耐凍害性確保のため、全面に亘って防水工を施工した。その後、約20年後の解体調査の結果、塗装鉄筋とコンクリート塗装ともに塩害対策として有効であったことが確認された。

第6章では、コンクリート表層部の耐凍害性の改善を図るために有孔布張型枠を用いて、ブリージング水や空気を効果的に排出する試験施工を行い、これにより、コンクリート構造物の傾斜面のように気泡アバタの多い表層コンクリートの品質を有孔布張型枠により改善し耐凍害性を向上させることが有効であることを明らかにしている。

第7章では、コンクリートの凍害劣化に、塩水の有無や夏場の維持管理がどのように影響するかを調べるため凍結融解試験の途中に乾燥状況や湿潤状況を挟み込む実験を行った。その結果、乾燥状況を挟み込む実験では耐凍害性は向上したが、湿潤状況を挟み込む実験では凍害劣化を激化させた。この傾向は特に塩水環境において顕著な劣化を示した。また、コンクリートの耐凍害性を評価する試験法として広く普及している JIS 試験によるスケーリング評価の可能性を示した。夏季の維持管理とくに排水状況の改善などによりコンクリートの耐凍害性を向上させることが可能であることを示している。

第8章は、本論文の総括であり、本研究で得られた結果をまとめ、結論を述べるとともに、今後の展望について述べている。

これを要するに、著者は、寒冷地におけるコンクリート構造物の耐久性向上に不可欠な塩分環境下の道路橋コンクリートの凍結融解作用の解明とその改善対策、かぶりコンクリートの品質が耐久性に及ぼす重要性を指摘し、さらに年間を通じての排水対策がコンクリート構造物の耐凍害対策に有効であることを実験的に明らかにしたものである。コンクリート工学および構造物の維持管理工学の発展に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、北海道大学博士(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。