

学 位 論 文 題 名

実構造物の調査に基づいた鉄道コンクリート橋りょうの 耐久性照査法に関する研究

学位論文内容の要旨

構造物を新設する際に、耐久性について十分に検討を行うことは大変重要なことである。特に、鉄筋の腐食を引き起こす中性化や塩化物イオンの浸透は、耐荷力の低下など構造物が有する性能を低下させるため、設計段階で十分に検討しておく必要がある。

鉄道においては、耐久性に関連する事項としてかぶりの最小値が規定されており、平成4年制定の鉄道構造物等設計標準・同解説(コンクリート構造物)では、かぶりと水セメント比によって規定されていた。

設計における耐久性の検討は、すでに耐久性照査型に移行され、各検討項目について定量的な方法によって行われている。

耐久性照査をより合理的に行うためには、コンクリートの材料係数と、環境作用の程度を表す係数を適切に設定する必要がある。しかしながら、構造物の各部材における具体的な取り扱い方法については記述がない。また、鋼材腐食発生限界中性化深さは、かぶりと中性化残りから算定されるが、実際は鉄筋のかぶり不足によって劣化を生じる構造物が少なくない。このため、合理的な耐久性照査を行うためには、施工誤差を考慮して鋼材腐食発生限界中性化深さを算定するのに用いる鉄筋のかぶりを設定する必要がある。

塩化物イオンに関する耐久性照査では、境界条件となるコンクリート表面の塩化物イオン濃度が具体的な数値で与えられているが、全国一律の値となっており、実際の設計では対象地域の飛来塩分量や構造物が置かれる環境を考慮して適切に設定することが肝要であると記述されている。しかし、それらの環境条件を具体的にどう考慮するかについては示されていないのが現状である。

本研究では、鉄筋コンクリート構造物の耐久性照査において、最も重要なパラメータとなる環境条件の影響を定量的に評価すること、ならびに耐久性照査において考慮すべきかぶりの施工誤差について検討することを目的としている。そして、鉄筋コンクリート構造物の性能に大きく影響する鋼材の腐食を対象とし、これに影響する劣化要因である中性化と塩化物イオンに着目することとした。対象とする構造物は鉄道高架橋および橋りょうとし、環境条件の影響ならびに施工誤差の実態を検討するにあたり、実構造物の調査を行い、その調査結果に基づいて検討を行うこととした。

第1章は、本研究の背景および目的について述べた。

第2章では、鉄道高架橋の実態調査を行い、調査結果から部材毎の中性化深さ分布を把握するとともに、各部材における環境条件の影響について定量的に評価した。実態調査は、広範囲に大量なデータを得ることを目的に、ドリル法により行った。

第3章では、全国の海岸線付近に建設された鉄道コンクリート橋りょうを対象に実態調査を行っ

た。調査結果から、コンクリート表面からの塩化物イオン濃度分布を把握するとともに、構造物が位置する地域と海岸線からの距離により、耐久性照査で用いるコンクリート表面の塩化物イオン濃度の値を提案した。

第4章では、近年建設された鉄道高架橋を対象に実態調査を実施して、部材毎にかぶりの施工誤差が発生する要因について検討し、耐久性照査において考慮すべきかぶりの施工誤差の値を提案した。耐久性照査では、かぶりが重要なパラメータとなる。そこで、かぶりの施工誤差について検討し、定量的に把握することとした。かぶりの測定は、電磁誘導法により非破壊で行ったが、これに先立ち、鉄道コンクリート橋りょうにおける電磁誘導法の適用性についても検討している。第4章で得られた結果は、第2章、第3章、第4章に反映されている。

第5章では、学会示方書に示されている中性化および塩化物イオンに関する耐久性照査法をベースに、第2章、第3章および第4章で得られた結果を反映した耐久性照査法を提案した。また、実設計を考慮し、中性化および塩化物イオンに関して、耐久性照査を満足するかぶりと水セメント比の関係について検討するとともに、鉄筋コンクリートスラブ桁の試設計を行い、本研究で提案した耐久性照査を導入した場合の影響についても検討した。

第6章は結論であり各章のとりまとめを行った。

学位論文審査の要旨

主査	教授	上田多門
副査	教授	千歩修
副査	助教授	佐藤靖彦
副査	教授	名和豊春
副査	助教授	堀口敬

学位論文題名

実構造物の調査に基づいた鉄道コンクリート橋りょうの 耐久性照査法に関する研究

社会基盤施設の耐久性は、持続可能な発展を目指す今日、社会的な大きな関心事となっている。本論文は、コンクリート構造物の耐久性を合理的に確保するために、劣化要因である中性化と塩化物イオン浸透、および、劣化に影響を与えるかぶり厚さを、実際の構造物において多数測定し、従来の鉄道構造物の耐久性設計法を改善する有用かつ具体的な方法を提案している。本論文の2章から5章の成果は、最新の鉄道構造物等設計標準(2004年発刊)に採用されている。以下に章ごとに審査の要旨を述べる。

1章では、本研究の必要性を述べるとともに、何を目標したのかを取り扱う範囲を明らかにしながら示している。

2章では、建造後27年が経過した鉄筋コンクリート鉄道ラーメン高架橋の柱96本、梁6本、スラブ7体における中性化深さの実測値より、柱においては、打継位置の上下でのコンクリートの材料性状の差異から、打継位置の直ぐ下においては直ぐ上より中性化深さが深くなることを明らかにしている。柱の多くの部分が柱の上部に位置するスラブの陰になることから日照条件の差が小さくなり乾燥状況の差異が小さく、柱の側面での中性化深さの方位ごとの差異が見られないとしている。この点は、通常の建物における方位による差異とは異なる。ただし、柱の外面と内面の比較においては、外面が雨にぬれることから湿潤状況になりやすく、内面より中性化深さが小さくなることを明示している。梁とスラブ下面においては、場所ごとの材料性状や乾燥状況の差異が小さく、柱のように場所による際は明白ではなく、柱内面と同様に比較的乾燥状態が保たれ、中性化深さが大きいとしている。これらの知見から、土木学会コンクリート標準示方書の中性化深さ推定式に、部位ごとの材料性状の差と乾燥状態の差を考慮した係数を考慮することにより、妥当に中性化深さを推定できると結論している。

3章では、海岸線付近に位置する全国142箇所の鉄道構造物における塩化物イオン浸透状況を調査して得られた知見を示している。主要な知見として、まず、調査した地域を、塩化物イオン浸透状況の厳しさの順に、SS地域(北海道のオホーツク海側と北海道から新潟県までの日本海側)、S1地域(北

海道の太平洋側と富山県から山口県までの日本海側),S2 地域(東海から九州までの太平洋側の多くと瀬戸内海沿岸の一部)に分類できるとしている。SS 地域では,構造物の地点ごとに塩化物イオン浸透状況を実測して表面塩化物イオン濃度係数を与える必要があるが,S1 地域と S2 地域では,それぞれ一律に表面塩化物イオン濃度係数を与えることが可能で,前者では海岸線からの距離が 1000m を超えると,後者では 250m を超えるとそれぞれ 0 としてよいとしている。このような地域区分により,土木学会コンクリート標準示方書における塩化物イオン浸透に対する耐久性設計をより合理的に行えることを示している。

4 章では,中性化や塩化物イオン浸透による鋼材の腐食に大きな影響を与えるかぶりの大きさを実際の鉄筋コンクリート鉄道ラーメン高架橋において測定することにより,施工誤差が存在することを明らかにしている。まず,かぶりを測定する手法として適用した電磁誘導法による測定誤差補正法を示した上で,中間スラブ下面では,柱側面,上層梁下面・側面,張出スラブ下面より施工誤差が小さいこと,柱では,鉄筋全体の型枠内でのずれが存在することなどを示している。鉄筋のスペーサは多いほど施工誤差が小さくなるが,3 個/m²以上に増やしても誤差は小さくならず,5~10mm 程度残ることから,中間スラブ下面に対しては 5mm,それ以外の部位に対しては 10mm の施工誤差を考慮すべきであると提案している。

5 章では,2 章から 4 章で得られた知見に基づき,具体的な鉄道構造物の耐久性設計法を示している。さらに実務の設計を簡便にするため,中性化深さと塩化物イオン浸透に関する照査を満足する水セメント比とかぶりの大きさの組合せを提示している。試設計を示すことによって,旧来の鉄道構造物等設計標準(1992 年発刊)によるものより,かぶりを大きくするか水セメント比を小さくする必要がある場合を示し,提案する耐久性設計法の必要性を明らかにしている。

6 章は,本論文の成果のまとめである。

以上を要するに,著者は,現実の多くの鉄道構造物の実態調査を通して,中性化および塩化物イオン浸透というコンクリート構造物の典型的な劣化現象,および,この劣化現象に影響を与えるかぶりの施工誤差を明らかにし,より合理的な耐久性設計を提案している。この成果は,最新の鉄道構造物の設計法に採用されており,コンクリート工学および構造設計工学に貢献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。