

学位論文の要旨

氏名 中野 智章

学位論文題目 塩害環境下における橋梁群の実効的維持管理計画に関する研究

現在、わが国で橋長 2m以上の橋梁は、72.5万橋を超えている。

戦後の1954年（昭和29年）にスタートした第一次道路整備五箇年計画等に基づく計画的な道路整備の進捗に合わせて拡充が進み、その多くの橋梁は1960年代から1980年代にかけて建設されている。

一方、昭和初期の一ケタや大正年間に架設され、現役で社会に貢献している文化的な遺産となるすばらしい橋梁も少なくない。これらの橋梁を含めてしだいに環境条件や交通量増大に伴う劣化による損傷や高齢化が進んでいる。

これらの高度経済成長期につくられた多くの構造物が老朽化のため更新時期を迎えようとしている。そのため、鉄筋コンクリート構造物の耐久性の把握および向上は今後のインフラ整備、環境負荷低減の観点からも重要な課題となっている。

また、この建設資材となるコンクリートはセメント、細骨材、粗骨材と水等の材料から構成される極めて非均質な複合材料である。そのため、その劣化および破壊形態は構成材料の力学特性の違いなどに起因する局所的なひび割れに大きく影響される複雑な現象である。更にその破壊特性は荷重条件や日射、温度、湿度等の環境条件の経時変化によっても大きく影響する。

コンクリート構造物は、遠望から見ると健全でも橋梁定期点検をしていると部分劣化している構造物も多くある。

実構造物でコンクリート構造物の劣化現象を診ると特に張り出し床版のひび割れうき・剥離や橋台の桁受け部などの水掛り部では激しい劣化がおきている。また、コンクリート構造物の主な損傷としては、塩害・中性化・アルカリ骨材反応が挙げられ、これらの劣化現象や劣化機構には、劣化要因を運ぶ雨水など水の影響が考えられる。

さらにこの水が移動することで劣化因子が蓄積し、劣化箇所を拡大させる影響もある。鉄筋コンクリート構造物における維持管理において、水分移動特性を把握することは、コンクリート構造物の経年劣化の進行予測を行う上で非常に重要であると考えている。近年、コンクリート内部の水分移動に関する研究は行われ始めているが、乾燥過程におけるものが多く浸透過程におけるものは少ない。また、橋梁のように局所的に水分が供給されるような水掛り部におけるコンクリート内部の水分移動特性は不明瞭な点が多い。

そこで本研究では、飛来塩分評価手法の検討や数値解析、コンクリートの水掛り部を模擬した供試体を作製し、コンクリート内部の水分移動を把握するために実験的な検討を行った。その結果を基に実効的維持管理計画を提案することを目的とした。

本論文は、以下に示す7章で構成される。

第1章では、本文の背景および目的を明確にし、論文の構成を示した。（図1.1）

第2章では、インフラ構造物の維持管理における現状を整理し、現在の維持管理における課題を提示した。現在、管理されている橋梁数は、73万橋と膨大なストックがありそのうちの大半を管理する地方公共団体は、66万橋の90%以上を維持管理していく必要がある。

また、その中でも建設後50年を経過した橋梁の割合は、現在は約25%であるのに対して高度経済成長期に大量の橋梁を架設しているため、今後10年後には50%に急増する。地方自治体では、点検していく上での課題や地方自治体独自の課題等が考えられる。そこで、塩害環境下における橋梁群の実効的な維持管理計画について検討する。

第3章では、環沿岸環境下における、飛来塩分の影響について実構造物での検証を行った。また、橋梁の部位別の表面塩分量を調査し、併せて数値解析を行い、実際の橋梁におけるマイクロ環境の予測を行った。

第4章では、コンクリート中の水分移動に関する研究は数多く行われているが、乾燥過程における浸透過程における研究結果は少ない。そこで、本研究では水掛り部を模擬した供試体を作製し、コンクリートの水分移動を把握すること目的に浸透試験および乾湿繰り返し試験を行った。

- ・浸透3日、乾燥4日の乾湿繰り返しを行った供試体では、浸透を行った状態で初期相対湿度が90%以上と高湿度状態から開始したが、6週後の49日後（乾燥後）には水槽直下では湿潤状態を保っているのに対し、その側面では乾燥した状態となっていることが確認でき、構造物においては、劣化を促進させる可能性があると考えられる。

- ・浸透のみを行った供試体では、供試体上面からの水槽直下で相対湿度の上昇が確認でき、49日後の分布をみると水槽直下は、相対湿度が90%以上と非常に高い値を示しているのに対して、水槽のすぐ横では相対湿度が60%程度と非常に乾燥した状態となっていた。このような局所的な場所に湿度差が30%程度ある場合の環境差によってマクロセル腐食を引き起こす可能性も推察される。

また、水掛り部を模擬した供試体において、乾湿繰り返しおよび浸透のみの実験結果より、橋梁において水の供給の高い部位は実橋と同様に劣化進行が促進されることを確認できた。

第5章では、これまでの劣化予測式は、環境別の点検結果を基に、それぞれの損傷等級が発生する平均供用年数を算出し、これを近似する直線で示すような劣化進行予測法である。本検討では、効率的な維持管理を行うための手法として、マルコフ連鎖モデルを用いた統計的解析手法により損傷種類ごとの劣化の推移を時系列的に整理するとともに、一般環境や塩害環境において劣化進行過程に基づいた新たな劣化予測手法を提案した。

第6章では、前章までの第3章、第4章および第5章において検討を行った結果を維持管理計画に導入するための手法に加え、対策として環境外力評価を踏まえた工法選定を行う手法、さらに、ICTやGISなどの新技術を活用したスパイラルアップ可能な記録等を含む、維持管理の技術向上と効率化の具体的な方策を検討するとともに、実効的な維持管理手法の提案した。

第7章では、各章で得られた結果を取りまとめて結論とした。

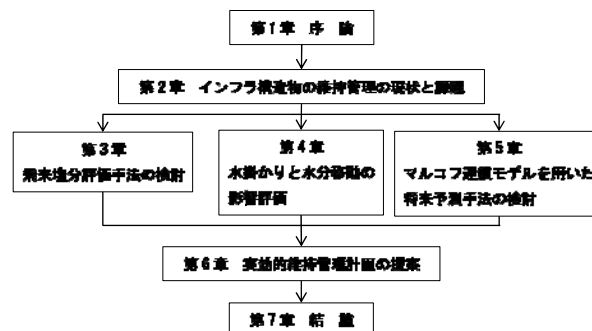


図1.1 論文の構成

Summary of Doctoral Dissertation

Title of Doctoral Dissertation:

Study on effective maintenance management strategy for bridges in salt damage environment

Name: Nakano Tomoaki

Currently, the number of bridges with a length of 2 m or longer in our country exceeds 725,000. Most of them were built from the 1960's to the 1980's under the First Road Maintenance 5-Year Plan which started in 1954. Meanwhile, there are many excellent bridges that were built before the plan, in early 20 century, and serve as a cultural heritage that is active and contributing to society. Including these bridges, damage and deterioration due to environmental conditions and traffic volume are gradually advancing.

Many structures constructed during the period of high economic growth are about to renew due to aging. Therefore, grasping and improving the durability of reinforced concrete structures is an important issue from the viewpoint of future infrastructure improvement and environmental load reduction.

Also, the concrete which is the construction material is a very heterogeneous composite material composed of materials such as cement, fine aggregate, coarse aggregate and water. Therefore, its deterioration and fracture mechanisms are complicated phenomenon greatly influenced by local cracks caused by differences in the mechanical properties of constituent materials.

As for the concrete structure, even if it looks healthy from distance, many structures are found partially degraded in periodic inspections. Examining the deterioration phenomenon of the concrete structure with the actual structure causes severe deterioration especially at cracked part of the overhanging floor slab, floating or peeled part and the water hanging part such as receiving part of the abutment base.

The major damage to concrete structures is salt damage, neutralization, alkali aggregate reaction, and these deterioration phenomena and deterioration mechanisms may be influenced by water such as rainwater carrying degradation factors. Furthermore, degradation factors are accumulated by migration of this water, and there is also an effect that it expands the deteriorated area. In maintaining and managing reinforced concrete structures, we believe that grasping the moisture transfer characteristics is very important in predicting the progress of aged deterioration of concrete structures. In recent years, research on moisture transport inside concrete has been started, but many of them are in the drying process and few are in the penetration process. Moisture transfer characteristics and its mechanism inside the concrete are still unclear. Therefore, in this study, inspection of actual bridges, simulated experiment and numerical analysis were conducted to evaluate the effect of flying salinity evaluation and grasp the moisture transfer mechanism inside concrete. Based on the results, we aimed to propose effective maintenance plan.

This paper consists of the following seven chapters.

Chapter 1 clarified the background and purpose of the text and showed the composition of the paper. (Figure 1.1)

Chapter 2 discusses the current status of maintenance and management of infrastructure structures and presents challenges in the current maintenance and management.

Currently, the number of managed bridges is over 700,000, and 90% of them are managed by local governments. Percentage of bridges that are over 50 years old is now 25% and will reach 50% in 10 years. There are issues unique to local governments in conducting inspections. Therefore, we consider the effective maintenance strategy for bridges in salt damage environment.

Chapter 3 examines the influence of flying salt content in the coastal environment with real structures. In addition, we investigated the surface salt content of each part of the bridge, numerically analyzed it, and predicted the micro environment on the actual bridge.

Chapter 4 explains experiments which we conducted. Although many studies on moisture transport in concrete have been conducted, research results on the penetration mechanism in the drying process are few. Therefore, using specimen partially exposed to water, we conducted a penetration test and wet-and-dry repetition test to grasp water transfer of concrete.

· In the specimens after 3 days of permeation and 4 days of drying repeatedly, the initial relative humidity started from the high humidity (90% or more), but after 6 weeks, it was confirmed that it is in a dry state on the side whereas it is kept in a wet state immediately under a water container, and in the structure it is considered that there is a possibility of promoting deterioration.

· For specimens that were only infiltrated, a relative humidity increase was observed directly under the water container from the top of the specimen. Looking at the distribution after 49 days, the relative humidity shows a very high value of 90% or more immediately under the container on the other hand, the relative humidity was very dry around 60% at just beside the aquarium. It is inferred that macro-cell corrosion may be caused by environmental difference when the humidity difference is around 30% in such a local place.

In addition, in the specimen simulated by the pouring part, it was confirmed that the deterioration progression of the part with high water supply in the bridge is deterioration progression like the actual bridge, from the experiment result of only dry and wet repetition and penetration.

Chapter 5 discusses the efficient maintenance management method. Instead of using the conventional deterioration prediction method, we use the statistical analysis method using the Markov chain model to organize the transition of deterioration for each type of damage in time series, and new degradation based on degradation progress process in general environment and salt damage environment. We consider a prediction method and propose more efficient maintenance management.

Chapter 6 examines new inspection methods using latest Information and Communication Technology such as drone, and proposes advanced maintenance management strategy with Graphic Information System to visualize progress of the management.

Chapter 7 presents a conclusion based on the results gathered in each chapter.

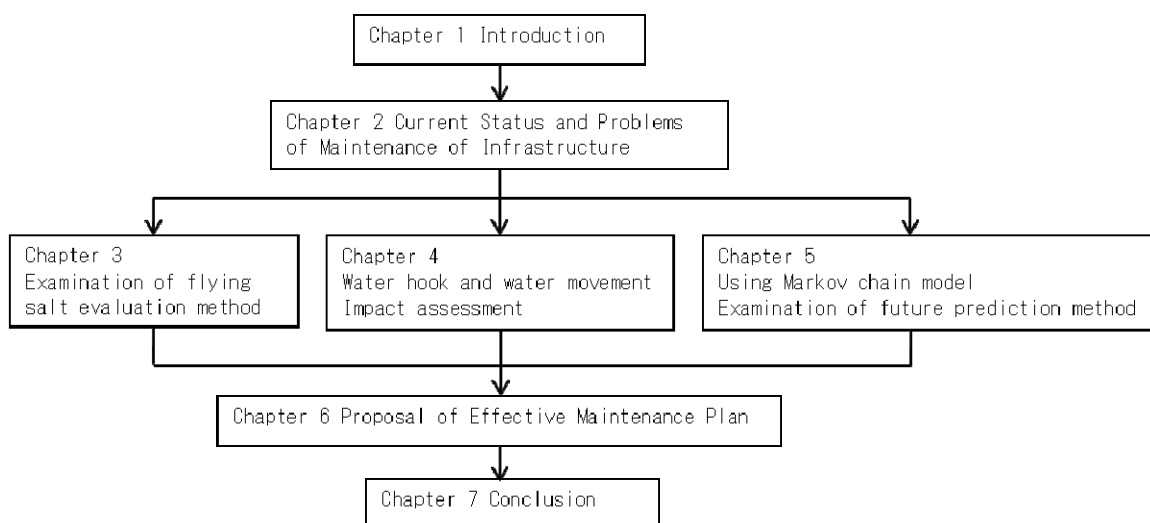


Figure 1.1