

学 位 論 文 の 要 旨

学位論文題目	Development of a method of remaining life prediction for an aged bridge based on concrete cores and cross-section cutting-off girders 「コンクリートコア試験および切り出し主桁断面試験による老朽橋梁の余寿命推定手法の開発」
氏 名	RATNA WIDYAWATI

The remaining life prediction is a crucial part of the systematization of maintenance planning whereby it can be used to estimate the life span of the bridge. A large number of reinforced concrete (RC) bridges in Japan have aged, requiring increased maintenance, decision making concerning whether to maintain or to demolish the aged bridges. The results of the remaining life prediction can be used to assist in the decision making of whether to carry out maintenance works such as repairs/strengthening or demolish works of the aged bridges.

The reinforced concrete (RC) structures, such as bridges which are exposed to the environment become highly influenced by environmental conditions, causing reduction in their remaining life. High level of carbon dioxide in the environment resulting from high traffic volume leads to carbonation of concrete, which causes deterioration of concrete. Chloride attack should be considered as another factor of deterioration if the location of the bridge is near the sea. Either carbonation or chloride attack or both can lead to corrosion of the reinforcing bars.

This thesis introduces the details of how to predict the remaining life of an aged RC-T girder bridge based on carbonation test. Carbonation test is one of the field tests required to determine the performance of concrete from material point of view which is affected by an environmental condition. Moreover, to establish a method to predict the remaining life based on the chloride ion and carbonation tests results of the concrete cores and the cross-section cutting-off girders. A flowchart is presented for the proposed method to predict the remaining life of an RC bridge based on the extent of deterioration due to carbonation and chloride attack. The demolition of the SK bridge provided a good opportunity to obtain many types of useful information from an existing bridge.

The concrete cores were tested for carbonation and chloride ions whereas the cross-section cutting-off girders were tested for carbonation only. The results of the concrete cores investigation show that the main factor in the deterioration of the bridge is carbonation and that chloride ion attack has also contributed to the deterioration of the bridge. The end of the service life was defined as the point at which the cumulative amount of steel corrosion reached a critical value of $Q = 75 \text{ mg/cm}^2$ which is obtained by BREX system. Hence, the remaining life of the bridge was predicted as approximately seven years, based on the critical value of cumulative amount of steel corrosion.

【論文審査結果の要旨】

本論文は、架替えのため撤去が決まった老朽橋(RC 橋)の余寿命を耐久性の観点から推定するため、対象橋梁各部位から採取したコンクリートコアの強度試験および各種分析試験を実施し、劣化要因の特定などを行った。その際、劣化要因として中性化および塩害を対象として、劣化進行予測を経て余寿命の推定をするという一連の流れに従って検討し、一連の検討結果からコンクリートコア試験と別途構築している橋梁維持管理支援システム(J-BMS)による診断結果の対応関係を示すことで余寿命推定結果の検証を行った。また、老朽橋の解体撤去に伴う主桁切出し時に切断断面の中性化試験を実施し、まず、主要劣化要因の特定を行い、中性化が主要因となっていることを明らかにするとともに、これに塩害の影響も考慮した余寿命推定の流れを提案した。この流れに従って、膨大なデータを整理した結果、主桁断面内の中性化深さやコンクリートかぶり厚さのばらつきはかなり大きくなる傾向がみられるものの、コンクリートコア試験に基づく余寿命推定結果と比較的良好な相関が見られることを明らかにした。以上を総合化した対象老朽橋(72 年間供用)の各主桁両サイド(海側と山側)の平均余寿命は約 9 年と推定できた。

このように、本論文で提案した老朽橋梁の余寿命推定手法は、世界中で社会問題化している既存橋梁の合理的な維持管理業務に貢献できると期待される。

本論文の構成と内容は以下の通りである。

第 1 章では、本研究の背景と意義を整理し、本研究の対象範囲および研究の目的などを明らかにしている。

第 2 章では、これまで公表されている多数の関連論文を整理し、既存コンクリート橋の老朽化の現状、劣化要因、余寿命推定手法などを明らかにした。特に、老朽コンクリート橋の余寿命推定手法に関する種々の課題に注目し、既往の研究として現在実用化されている余寿命推定手法の特徴比較や、余寿命推定に必要となる各種限界値設定に関する最新研究を紹介し、本研究との違いを明確にした。

第 3 章では、既存橋梁の維持管理業務には、対象橋の健全度評価と余寿命推定手法の検討が重要となる。そのため、主として目視点検結果を利用した「橋梁維持管理支援システム (J-BMS)」が開発、実用化されてきているが、余寿命推定結果を耐久性などの観点から検証する必要がある。このような背景で、劣化要因が中性化あるいは塩害とした場合を対象として、老朽化橋梁(実橋)から採取したコンクリートコアの劣化評価を行い、余寿命推定手法について検討したものである。コンクリートコアの採取、コアの分析調査、劣化要因の特定、劣化進行推定を経て、余寿命の推定をするという一連の流れに従って検討し、一連の検討結果からコンクリートコア試験と J-BMS による診断結果の対応関係を示すことで余寿命予測結果の検証を行った。その結果、①対象橋梁から採取したコンクリートコ

アの塩化物イオン濃度分布と中性化深さを測定した結果、対象橋梁の主たる劣化要因が中性化である、②コンクリートコア試験により、中性化速度係数や塩化物イオンの拡散にかかわる係数を求め、中性化を主要因とした劣化の場合の余寿命推定手法を提案し、これに基づく余寿命推定結果は約7年となることが明らかとなった、などを明らかにしている。

第4章では、架け替えのため撤去が決まった老朽橋の余寿命(予定供用期間-経過供用期間)を推定するため、主桁切り出し時に切断断面の中性化試験を実施し、膨大なデータを採取した。その際、老朽橋が海岸線近くに存在したため、余寿命推定には塩分の影響も考えられた。そこで、本研究では、まず主要劣化要因を推定し、中性化が主要因となっていることを明らかにするとともに、これら両者の影響を考慮した余寿命推定の流れを提案した。この流れに従って、膨大なデータを整理し、橋梁建設時から鉄筋位置での累積腐食量 $Q = 75 \text{ mg/cm}^2$ に達する時点までの予定供用期間を算出した。その結果、各主桁両サイド(海側と山側)の平均予定供用期間は、約81年(余寿命は $81 - 72$ (橋齢) = 約9年)および桁下面(補修済み)では約142年(余寿命は $142 - 72$ (橋齢) = 約70年)と推定できた。

第5章では、第3章および第4章で、それぞれ独自に実施した各主桁から採取した少数のコンクリートコア試験結果による余寿命推定結果と切り出し主桁断面試験による膨大なデータからの余寿命推定結果の良好な関連を明らかにし、既存橋梁寿命推定の合理化、信頼性にも言及している。

最後に、第6章の結言では本論文を総括し、その成果と今後の研究課題について述べている。

公聴会には、学内外より43名の参加があり、英語による発表に対して英語での非常に活発な質疑応答がなされた。公聴会での主な質問内容は、①本提案手法のインドネシアでの適用の可能性とその場合に考慮すべき課題はどのように考えられるか、②対象橋梁の劣化要因にアルカリシリカ反応の兆候は見られたか、それはどのような症状として顕在化していたか、③余寿命推定のデータはかなりばらついているが、最終的な余寿命推定は全ての面での推定結果を平均したものか、それは、コンクリートコア試験および主桁切断面試験の関しても同様か、④結論(4)の導出根拠を本文中の図表と対応させて説明してほしい、など多数であった。

以上のいずれの質問に対しても発表者からの的確で具体的な回答がなされた。

以上より、本研究は独創性、信頼性、有効性、実用性および完成度ともに非常に優れており、博士(工学)の学位論文に十分値するものと判断した。