

## 11. 土木施設の寒地耐久性に関する研究

研究機関：平成18年度～22年度

プロジェクトリーダー：寒地基礎技術研究グループ長 高橋守人

研究担当グループ：寒地基礎技術研究グループ（寒地構造、耐寒材料、寒地地盤）、  
寒地道路研究グループ（寒地道路保全）

### 1. 研究の必要性

積雪寒冷地の北海道においては、泥炭性軟弱地盤の比較的広範な分布、冬期の多量な積雪と低温などが土木施設の構築、維持管理に著しい影響を与える。このため、積雪寒冷地の特性に適合した土木施設の構築、保守に関する技術を開発する必要がある。

### 2. 研究の範囲と達成目標

本重点プロジェクト研究では、泥炭性軟弱地盤対策工の合理的・経済的設計法を策定するとともに、耐凍害性に優れたコンクリート、積雪寒冷地における性能低下を考慮した構造物の耐荷力向上及び舗装の耐久性向上、土木施設のマネジメント手法など、積雪寒冷地における土木施設の耐久性を向上させる技術開発を研究の範囲とし、以下の達成目標を設定した。

- (1) 寒冷条件が土木施設に及ぼす影響の判定手法および泥炭性軟弱地盤の長期沈下予測手法の開発
- (2) 土木施設の凍害等による劣化を防ぐ工法の開発
- (3) 土木施設の寒地耐久性を向上させる手法および泥炭性軟弱地盤の合理的対策手法の策定

### 3. 個別課題の構成

本重点プロジェクト研究では、上記の目標を達成するため、以下に示す研究課題を設定した。

- (1) 泥炭性軟弱地盤対策工の最適化に関する研究（平成18～22年度）
- (2) コンクリートの凍害・塩害による複合劣化挙動および評価に関する研究（平成18～22年度）
- (3) 積雪寒冷地におけるコンクリートの耐久性向上に関する研究（平成18～22年度）
- (4) 積雪寒冷地における性能低下を考慮した構造物の耐荷力向上に関する研究（平成18～22年度）
- (5) 寒冷地舗装の劣化対策に関する研究（平成18～22年度）
- (6) 積雪寒冷地における土木施設のマネジメント手法に関する研究（平成18～22年度）

### 4. 研究の成果

本重点研究プロジェクトの個別課題の研究成果は、以下に示すとおりである。なお、「2. 研究の範囲と達成目標」に示した達成目標に関して、平成19年度までに実施してきた研究と今後の課題について要約すると以下のとおりである。

#### (1) 寒冷条件が土木施設に及ぼす影響の判定手法および泥炭性軟弱地盤の長期沈下予測手法の開発

個別課題として、「コンクリートの凍害・塩害による複合劣化挙動および評価に関する研究」、「積雪寒冷地における土木施設のマネジメント手法に関する研究」および「泥炭性軟弱地盤対策工の最適化に関する研究」を実施した。

コンクリートの凍害・塩害による複合劣化挙動および評価に関する研究では、重要な外部環境因子を抽出し、その因子と実構造物の劣化との関連性、実構造物の超音波測定値と室内促進試験の相関について評価を行った。その結果、水や凍結防止材の流路部に相当する部位、供用年数が長い部位では、複合劣化が大きい傾向にあった。また、超音波伝播速度とひび割れ密度の相関性は、凍結融解回数および供用年数が長い場合、ばらつきが大きく、ひび割れの発生形態や材齢の進行が超音波伝播速度に影響を及ぼしたと考えられる。

積雪寒冷地における土木施設のマネジメント手法に関する研究では、舗装と橋梁の健全度評価、劣化予測手法の開

発を行っている。

舗装に関しては、劣化予測手法の検討においてはネットワークレベルにおける劣化予測手法としてマルコフ遷移確率モデルを作成、予防的修繕に対応する修繕工法の劣化予測曲線を作成、最新の路面性状データを用いて重回帰分析により予測精度を向上させた。維持修繕シナリオの検討として、わだち掘れが車両挙動に与える影響検証およびマルコフ遷移確率モデルを用いて、長期的な修繕方針を検討した。さらに、現場利用を想定したサブシステムに予防修繕を適用した場合の将来予測、補修計画立案機能を追加し、現場担当者にヒアリングを実施してシステムの改善要望点を抽出した。

橋梁については、プロトタイプシステムの構築がほぼ終了し、維持管理計画を策定するための必要な機能の充実を図るための研究開発を実施した。その結果、橋梁点検結果を基とした確率論的劣化予測手法の妥当性が確認された。また、床版を対象とした力学的観点からの劣化予測について検討を実施し、システム化への課題を明確化することにより、システムへの導入に対しての初期検討を実施した。

泥炭性軟弱地盤対策工の最適化に関する研究では、泥炭性軟弱地盤の長期沈下予測手法を開発することとした。その結果、供用後の残留沈下がライフサイクルコストに大きな影響を与えることがわかった。また、泥炭性軟弱地盤の長期沈下予測法として粘弾塑性モデル（関口・太田モデル）を用いた有限要素解析が有効なことが明らかになるとともに、泥炭の特殊な工学的性質に対応した土質パラメータ決定法の一部が提案できた。

## （2）土木施設の凍害等による劣化を防ぐ工法の開発

個別課題として、「積雪寒冷地におけるコンクリートの耐久性向上に関する研究」、「積雪寒冷地における性能低下を考慮した構造物の耐荷力向上に関する研究」、および「寒冷地舗装の劣化対策に関する研究」を実施した。

積雪寒冷地におけるコンクリートの耐久性向上に関する研究においては、改質セメントコンクリートの各種試験の実施および表面含浸工法の試験施工による検証を行った。その結果、凍害・塩害複合劣化に強いコンクリートをつくるために、結合材の種類や水結合材比の設定により種々の性能を有する改質セメントコンクリートの開発、コンクリート構造物の耐久性を向上するための表面含浸材工法の新設・打換え部材に対する劣化抑制効果を検証した。

積雪寒冷地における性能低下を考慮した構造物の耐荷力向上に関する研究では、橋梁部位の中で最も損傷を受けやすいといわれている床版に着目し、積雪寒冷地特有の劣化作用がもたらす疲労耐久性の影響を評価した。この検討では、道内の既設橋梁から積雪寒冷地特有の劣化作用を受けている床版を切り出し、輪荷重走行試験等を行い、RC床版の損傷度に応じた余寿命予測式を提案した。そこで積雪寒冷地特有の劣化損傷を受けている床版は余寿命が短く他地域と比べ劣悪な環境下に置かれていることが確認された。たわみ劣化度とひび割れ密度の関係は基準式の勾配より大きくなったが凍害による劣化損傷が影響しているものと考えられる。

また、積雪寒冷地域において大きな性能変化が予想されるゴム支承の温度依存性を定量的に評価し、北海道内での使用区分を示した。

寒冷地舗装の劣化対策に関する研究は、長期的に高い耐久性が期待できる新たな舗装材料と工法について、積雪寒冷地で適切に運用するための技術を確立し、積雪寒冷地の温度条件と地盤条件に適したアスファルト舗装設計法の確立に取り組むものである。これまでに、大粒径混合物（最大骨材粒径 30mm）が積雪寒冷地で適用可能であることを室内試験において確認した。また、コンクリート版の上にアスファルト層を舗装するコンポジット舗装構造について、追跡調査や現地調査結果を基に、現在提案しているコンポジット舗装構造の適用性の評価を実施した。寒冷地舗装の設計法に関しては、一般国道に整備した試験施工区間において、ダンプトラックとFWD試験機の載荷によるアスファルト混合物層下面のひずみを測定し、理論的設計法による解析値と近似する結果を得た。また、FWD試験の載荷時に測定される表面たわみ値を逆解析し、舗装各層の弾性係数を算出した。得られた弾性係数の結果から、積雪寒冷地における理論的設計法に適用可能なアスファルト混合物の弾性係数と舗装体温度の関係の近似式が得られた。舗装の長期供用性の調査から、混合物層最下層の混合物種類を工夫することで、舗装構造の耐久性向上が図られることが示された。疲労破壊特性に関しては、温度が疲労破壊回数に影響を与え、特性の評価に散逸エネルギー概念が有益であり、混合物の配合によって疲労破壊回数は統計的に優位な差を生じ、安定処理<粗粒度<蜜粒度の順に破壊回数が大きい傾向にあること、混合物の飽和度が大きくなると破壊回数が大きくなる関係にあることを確認した。

### (3) 土木施設の寒地耐久性を向上させる手法および泥炭性軟弱地盤の合理的対策手法の策定

個別課題として、「積雪寒冷地におけるコンクリートの耐久性向上に関する研究」および「泥炭性軟弱地盤対策工の最適化に関する研究」を実施した。

積雪寒冷地におけるコンクリート構造物の合理的な補修補強工法の開発のため、短繊維混入吹付けコンクリートと連続繊維メッシュを併用した工法に関して、種々の短繊維および連続繊維を用いる場合の性能確認試験を行った。その結果、吹付けコンクリートの収縮量の低減には収縮低減剤が有効であることや、吹き付けコンクリートの凍・塩害の複合劣化に対する抵抗性はきわめて高いことが明らかになった。さらに試験施工追跡調査の結果、本工法の補修補強効果が十分に保持されていることが確認された。

泥炭性軟弱地盤の合理的対策手法の策定に向けて、中層混合処理工法および敷き金網併用プラスチックドレーン工法など新技術・新工法による泥炭性軟弱地盤に対する改良効果の評価を行った。

## RESEARCH ON DURABILITY OF CIVIL ENGINEERING STRUCTURES AGAINST COLD WEATHER

**Abstract** : In cold, snowy Hokkaido, the distinctive weakness of peaty soft ground, heavy snowfall in winter and cold temperatures greatly affect the construction and maintenance of civil engineering structures. It is aimed to develop technologies for the construction and maintenance of civil engineering structures which are tailored to cold region conditions.

The first aim of this research is to establish effective and economical design methods for stabilization of peaty soft ground, and have these incorporated into the manual for measures against peaty soft ground. Site settlement observation, finite element analysis (FE analysis) and examination on soil parameters for FE analysis were conducted on this matter and it revealed that residual settlement of road bank on peaty soft ground significantly affects life cycle costs. As results, a practical determination procedure of soil parameters for elasto-plastic FE analysis of peat is proposed.

The second is to examine and evaluate deterioration of concrete from combined frost and salt damage. Study was performed on the relationship between deterioration in actual structures and external environmental factors. It was found that the frost deterioration tended to be higher in section of structures, which were exposed to water and anti-freeze agents.

The third is to improve the durability of concrete in cold, snowy regions. For this aim modified cement concrete was developed and tests for applicability of surface penetrant materials were conducted.

The fourth is to improve load capacity of structures by considering their reduced performance under cold, snowy conditions. In order to confirm effects of cold weather deterioration on the fatigue durability of bridge deck slabs, wheel-running tests were performed on used slabs in Hokkaido. As the result, a formula for estimating the remaining lifespan according to the level of damage to the slab was explained and it is clarified that remaining lifespan of frost-damaged slabs in cold region is smaller compared with other regions. And since the performance of rubber bearings for improving seismic isolation is expected to vary considerably especially in cold regions such as Hokkaido, a temperature-dependence experiment on performance characteristics of various rubber bearings was conducted and temperatures under existing bridges were measured. As the result, the temperature dependence of rubber bearings was evaluated quantitatively and regional temperature distribution in Hokkaido was quantified.

The fifth is to study on measures against pavement deterioration in cold, snowy region. This study addresses the development of asphalt pavement designs that are adopted to the thermal and soil conditions of cold, snowy regions, and the use of new pavement materials and pavement methods that afford improved pavement performance. In the first and second fiscal year, the applicability of the large-grain asphalt mixture for snowy and cold condition has been evaluated by laboratory tests. The performance of composite pavements has been evaluated by data from test sections in service. The energy dissipation theory is expected to be useful for evaluating characteristic of fatigue breaking. According to laboratory tests, fatigue breaking times of three mixtures were obtained. And it is showed that a saturation ratios of asphalt pavement correlate with fatigue breaking times.

The last is to establish management system of civil engineering facilities in cold, snowy regions. Management systems for bridges and road pavement are treated in this study. The aim of management system for pavement is to develop a method for prediction of pavements deterioration, and to develop an evaluation approach of pavements healthiness. The other objective is to establish a pavement management system suitable for cold and snowy regions which could provide most relevant maintenance and rehabilitation scenario based on the life-cycle cost analysis. In the first and second fiscal year, the accuracy of the Markov decision process model for pavements deterioration prediction and a long-term maintenance strategy was analyzed using the model. The current performance curves were updated using the latest pavement surface data records and the performance curves

based on rehabilitation methods have been investigated. Furthermore, the prototype pavement management sub-system has been improved to meet the concept of preventive maintenance and a hearing investigation to road administrative offices was held to find out their needs.

In the study for bridge management system, to assist the planning for efficient bridge repair, prototype system was developed. And since deterioration prediction is important for this system, deterioration prediction method, which was obtained as a result of fatigue tests for RC slabs, was thus considered for application to this system.

**Keywords** : durability, cold weather, civil engineering structures