

## 11. 土木施設の寒地耐久性に関する研究

研究期間：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）、技術開発調整監付（寒地機械技術）

### 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、以下の個別論文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21年度までに実施し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・塩害との複合劣化挙動および評価に関する研究では、超音波の伝搬速度（表面走査法）やトモグラフィ等の非破壊試験により凍害深さを把握する手法や劣化度を3Dスキャナー等によるスケーリング深さで定量的に把握する手法を構築した。なお、超音波伝播速度に対する水分の影響についても明らかにした。また、スケーリングの進行性を水セメント比と凍結融解履歴年数から評価する手法も構築した。さらに、凍結融解作用によるコンクリート強度低下や鉄筋との付着力低下などにより、曲げ破壊型のRC梁がせん断破壊型へと移行し、劣化程度が大きい

供試体は最大荷重も大きく低下することが判明した。

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、電磁波レーダによる橋面舗装の損傷や水分検知技術に関して調査を行い、その性能を確認した。また、舗装の予防的修繕工法の効果に関して追跡調査を行った。

橋梁マネジメントに関しては、現在提案している統計的劣化予測手法について、新点検要領での点検結果を加味して再評価した。その結果、劣化遷移確率の精度向上が図られたものと考えられるが、新点検要領のみで劣化過程を確認すると急激な健全度低下傾向が示され、新旧要領における損傷評価の連続性に課題がある可能性が確認された。さらに、実行予算を考慮した維持修繕・補強実施計画を出力するために、補修優先順位の設定手法について検討した。その結果、道路管理者と一般利用者を考慮した重みを設定することができた。

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定量的に示された。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、二次圧密を支配するパラメータを含めて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を提案できた。さらに、本解析手法を用いたライフサイクルコストシミュレーションのケーススタディーを行い、ライフサイクルコストの解析ツールとしての可能性を明らかにした。

## (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」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では、新設コンクリート構造物の耐久性向上のため、改質セメントの実用化に関する各種試験および試験施工による検証を行った。その結果、改質セメントの工場製品への適用が可能であり、収縮対策として膨張材および収縮低減剤が有効であることを確認した。表面含浸工法については、新設および既設構造物の劣化抑制のため、既設構造物への効果と適用可能な範囲の検討および新設構造物の複合劣化対策としての効果分析を行った。その結果、表面含浸工法による凍塩害複合劣化時の鉄筋の腐食速度低減効果とその適用可能な範囲について明らかにした。短繊維補強コンクリートについては、短繊維の架橋効果による押し抜き剪断耐力の増分を計算式に組み入れることによりRC版の静的押し抜き耐力の推定が可能であることを確認した。また、短繊維の混入による耐衝撃性の向上効果に関しては、普通コンクリートよりも軽量コンクリートの方が大きく、動的耐力は動的応答倍率を用いることで静的耐力から概ね推定可能であることが判明した。

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をについて、積雪寒冷地で適切に運用するための技術を確認し、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。トンネル内の舗装に関して、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の追跡調査を行うとともに、骨材露出工法の適用に関して試験施工と現地調査を実施した。寒冷地舗装の設計法に関しては、一般国道 238 号稚内市および苫小牧寒地試験道路に整備した試験施工区間において、FWD 試験機や総重量 20t ダンプトラックの動的荷重によるアスファルト混合物層下面のひずみや路床上面の圧縮ひずみを測定し、舗装体の挙動を検証した。舗装の疲労寿命予測に関しては、疲労寿命予測の計算を効率的に実施できるよう、疲労寿命計算システムを作成した。これまでに、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関して、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、FWD 試験機の動的荷重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、ダンプトラックを利用し、厳冬期および融解期における舗装体の挙動について調査を行い、舗装体および路床の挙動を検証した。舗装の疲労寿命予測に関しては、4 点曲げ疲労試験から得られる破壊規準式と層構造解析と各種の現地データを適切に組み合わせることで、舗装の寿命解析はある程度理論的に推定が可能であることを実証した。

## (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」、「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「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。

PAV 短繊維を混入させた普通および軽量コンクリートについて、積雪寒冷地への適用および剥離・剥落防止や補修補強等の実用化に向けて、耐久性、力学特性、部材耐力に対する検討を行った。結果、曲げ耐力、剪断耐力および耐衝撃性向上が確認され、また現地でのポンプ圧送による施工性、耐凍害性、圧縮強度を有する短繊維混入軽量コンクリートの配合条件も確立された。

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、橋梁床版上面の凍害による剪断耐力の減少に伴う補修および床版下面の疲労ひび割れによる引張剛性の低下にともなう補強に対して、通年施工の可能な補修・補強工法を提案し、実験検証により耐久性と施工性について評価した。この結果に基づき、床版の劣化程度に応じた補修・補強設計方法を提案し、行政からの早急な対策検討の要望に対応した。

また、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、その成果に基づきマニュアル（案）を提案し、実橋モデルの試設計を行った。さらに、鋼橋に用いる厚板鋼材（40mm以上を対象）の低温下での靱性に係る要求性能を整理するとともに、靱性判定指標を策定することを目的にJIS制定当時の鋼材による評価を実施した。

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、敷き金網併用プラスチックドレーン工法およびキャップ付き真空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い、設計・施工管理上の留意事項を明らかにした。また、冬期において中層混合処理工法を施工する場合の対応策について検討し、覆土などの効果を明らかにした。さらに、河川堤防を横断する樋門・樋管部の点検技術の簡素化・効率化のため、空洞探査技術、変位計測技術の検討を行った。

## RESEARCH ON THE 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 visco-plastic FE analysis of peat is proposed. An effect of new ground improvement technology such as the trencher mixing method, the plastic drain with reinforced fill using iron wire netting and the vacuum cap drain method was evaluated. A cavity exploration technique and a displacement measurement technique were examined for the development of simplified and efficient inspection technique for sluiceways.

The second aim is to examine and evaluate concrete deterioration caused by combined frost and salt damage. Methods of measuring frost depth and quantitatively ascertaining the degree of deterioration through non-destructive testing were established, and techniques for evaluating the influence of moisture on ultrasonic propagation velocity and the progress of scaling were also clarified. It was also revealed that the maximum load decreased more significantly in RC members with high levels of deterioration caused by freeze-thaw action.

The third is to improve the durability of concrete in cold, snowy regions. Tests on the practical use of modified cement concrete confirmed that it was applicable to factory products, and that the adoption of expansive admixture and shrinkage reducing agent is effective as shrinkage reduction measures. Furthermore, the effect of the surface penetration method in reducing the speed of reinforcement corrosion caused by combined frost and salt damage and its range of application were also clarified. For short-fiber-reinforced concrete, it was found possible to estimate the static punching shear strength using proposed equations and dynamic loading capacity of RC slabs using dynamic response ratio. It was also confirmed that the impact resistance improvement effect of mixing with short fiber was greater for lightweight concrete than for the ordinary concrete.

The fourth is to improve fatigue durability of bridge deck slabs under cold, snowy conditions. In order to confirm effects of repair methods, wheel-running tests were performed. And strengthening method depending on levels of deck slab deterioration was proposed. The temperature dependence of rubber bearings was evaluated quantitatively, and trial design was performed on an actual bridge model based on the results of this evaluation. Also, the ductility of steel plate (40 mm or thicker) used for steel bridges was evaluated in order to clarify the required ductility in low temperature.

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.

The follow-up survey for performance of composite pavements in tunnels has been done. The aggregate exposed method was tested in the field, and the performance was evaluated. For the pavement design, the strain of asphalt pavement layer was examined with FWD and a truck-loading test in the test sections in service. Furthermore, the fatigue-life analysis system, which estimates pavement life effectively, has been established.

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.

GPR (Ground Penetrating Radar) was used for detecting deteriorations and/or moisture in pavement structures on bridge floor slabs. Also, the follow-up survey for performance of the preventive maintenance methods has been done.

As for bridges; bridge management System, the accuracy of the deterioration prediction method based on the Markov transition probability was revalued by using newly inspection results. And, in order to output the execution plan of bridge repair which considers workable budget, the weights for the priority of the repair project was set.

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