

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20年度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、外部環境因子と実構造物の劣化との関連性、および実構造物と室内促進試験における超音波測定値と材料物性（力学特性、拡散係数等）の相関について評価を行った。その結果、実構造物では、流路部に相当する部位や供用年数が長い部位の複合劣化が大きい傾向にあった。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、ばらつきが大きくなることと解った。材料物性に及ぼす凍害の影響については、圧縮強度の低下に伴い超音波速度は低下し、ひび割れ密度が

増加することが解った。なお、拡散係数は超音波速度と相関があるものの、ひび割れ密度とは相関が低く、ひび割れの幅や長さが影響する可能性が推察された。また静的載荷試験では、凍害劣化範囲の違いにより破壊形態が異なる傾向を示すことが解った。

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、劣化予測手法に関して最新の路面性状データを用いて重回帰分析により路面性状値の予測精度を向上させた。また、積雪寒冷地における排水性舗装に対して、路面損傷程度を評価する手法を提案した。さらに、舗装の予防的修繕工法の効果に関する調査を行うとともに、予防的修繕工法を適用した場合の将来予測機能と補修年度計画立案機能を有するシステムを現場担当者向けに改良した。

橋梁については、床版を対象とした力学的観点からの劣化予測手法をシステムに導入し、劣化予測と補修シミュレーションにより本手法の妥当性について評価する準備を整えた。また、システム運用マニュアル(案)を策定した。加えて、床版補修工法の一つである下面補修(繊維シート)の耐荷性・耐久性について実験的検討を行った結果、耐久性は大幅な延命化がなされ、これまで適用していた劣化推移とは大きく異なり、劣化推移が緩やかであることが明確となった。

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。

(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では、改質セメントコンクリートの実用化に関する各種試験の実施および工場製品の試験施工と適用性を検討した。その結果、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、および工場製品への適用性を確認した。

表面含浸材については、新設・打換え部材に対する劣化抑制効果および、スケーリングの進行が現場追跡調査から抑制されることを確認した。また、沿岸部における暴露試験結果からは塩化物イオンの浸透抑制効果が確認された。防錆材およびシラン系表面含浸材については、鉄筋の腐食速度を低減させる効果があることが確認された。

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。この成果に基づき、床版の劣化程度に応じた補修・補強方法を提案し、実験および解析検証結果を基に損傷現場に試験施工を実施し、行政からの早急な補修対策検討の要望に対応した。

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、その成果に基づき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ことを目的に、母材および溶接部を対象としたシャルピー衝撃試験を実施した。

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。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、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」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。

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、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、空洞探査技術の検討を行った。

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 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 was examined for the development of simplified and efficient inspection technique for sluiceways.

The second aim is to examine and evaluate concrete deterioration resulting from combined frost and salt damage. A study was performed to investigate the relationship between deterioration in actual structures and external environmental factors, as well as to elucidate the correlation between ultrasonic measurement values and material properties (e.g., mechanical characteristics, diffusion coefficients) in actual structures and laboratory acceleration tests. It was found that the degree of combined deterioration tended to be higher in sections of actual structures that were located in the path of flow and were in service for many years. The correlation between ultrasonic propagation velocity and crack density varied greatly when the freeze-thaw frequency was higher and the in-service period was longer. The influences of frost damage on material properties included reduced ultrasonic velocity and an increase in crack density with lower compressive strength. While diffusion showed a correlation with ultrasonic velocity, its correspondence to crack density was insignificant, indicating a possible influence from the width and length of cracks. A static loading test revealed a tendency for fracture modes to vary with differences in the range of frost damage.

The third aim is to improve the durability of concrete in cold, snowy regions. To this end, tests were conducted on the practical application of modified cement concrete, and test construction with factory products was carried out to examine its applicability. As a result, modified cement concrete with performance characteristics that can be varied by changing binder types and water-binder ratios was developed, and its applicability to factory products was verified. Follow-up field surveys confirmed that surface penetrate materials were effective in controlling deterioration and inhibiting the progress of scaling in new and reconstructed members. Exposure testing in coastal areas also indicated their effectiveness in inhibiting the penetration of chloride ions. Rust-preventive and silane surface penetrate materials were similarly confirmed effective in reducing the corrosion rate of reinforcing bars. The durability, mechanical characteristics and member capacity of short-fiber-mixed concrete were examined to enable its application in cold, snowy areas and its practical use in the prevention of peeling and flaking, repair and reinforcement and other purposes. The results indicated that improvements in flexural capacity, shear capacity and impact resistance could be achieved. Mixing conditions for short-fiber-mixed lightweight concrete with on-site workability (i.e., pumpability), frost resistance and compressive strength were also established.

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. A government request to promptly study repair

methods was met; based on the results of evaluation, repairing and strengthening method depending on levels of bridge deck slab deterioration was proposed. Trial construction was also conducted for damaged bridge deck slabs based on the results of experiment, analysis and verification.

The temperature dependence of rubber bearings was evaluated quantitatively, as their levels of performance are considered to change significantly in cold conditions. Based on the results of this evaluation, trial design was performed on an actual bridge model. Charpy impact tests were also conducted on the base material and on welded parts in order to clarify the required ductility of steel plate (40 mm or thicker) used for steel bridges 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. In the first, second and third fiscal year, the performance of proposed composite pavement structure has been evaluated by data from test sections in service. In order to establish a multilayer elastic theory for cold and snowy regions, the strain of asphalt pavement layer was examined. This is based on FWD measurement results obtained from pavement testing on the major national roads in Hokkaido. It is shown that calculated strain is good approximation of the measured strain. Also, dump-truck loading test was conducted in winter to evaluate the behavior of pavement structures during midwinter and thawing period. Characteristic of fatigue breaking of pavements is key issue to improve the durability of pavements. It is verified that the life of pavement structure can be estimated by the fatigue standard equation which is obtained from the four-point bending fatigue breaking test, the multilayer structural analysis and data from field tests.

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, second and third fiscal year, the accuracy of the current performance curves were updated using the latest pavement surface data. And, the evaluation method for porous pavements in cold, snowy regions has been developed. Furthermore, the prototype pavement management sub-system has been improved to meet the concept of preventive maintenance. The new system, which is designed for field administrative engineers, can plan the pavement rehabilitation and maintenance schedule based on the estimation of future pavement performance.

As for bridges, the deterioration prediction method for deck slabs from mechanical point of view was introduced into a system, and the evaluation on the validity of this method for a deterioration prediction and repair simulation was ready. The plan of the system use manual was devised. In addition, the experimental study on the durability of the lower surface reinforcement for deck slab was performed. As the result, the lifespan was largely prolonged, and it was clarified that the lifespan was different from previous deterioration prediction and progress of deterioration was more moderate.

Keywords : durability, cold weather, civil engineering structures