

樋門コンクリートの凍害劣化に対する耐久性および維持管理に関する研究

研究予算：運営費交付金（基盤）

研究期間：平 24～平 28

担当チーム：耐寒材料チーム

研究担当者：田口史雄、島多昭典、三原慎弘、菊田悦二、
林田宏、内藤 勲、野々村佳哲、水田真紀、
数馬田貢、安田裕一、宮本修司、渡邊尚宏、
樫木俊一、中村直久、佐藤嘉昭、田中忠彦、
太田日出春、渡辺淳、佐藤好茂、鳥谷部寿人

【要旨】

本研究は、凍害劣化が生じやすい積雪寒冷地の樋門コンクリートの維持管理を予防保全の視点で戦略的に行うことができるよう、樋門コンクリートの凍害劣化に関する点検手法等の提案、および樋門の操作性等に影響を及ぼす凍害劣化に対する耐久性評価等の診断技術の開発を目的とした。

本研究の成果として、過去の凍害劣化調査から 8 年後の樋門調査により凍害劣化の進行程度を確認し、点検時の目標となる凍害劣化しやすい部位等を掲載した「樋門の凍害劣化事例集」を作成、凍害劣化しやすい樋門コンクリートの打込みアンカー部において、アンカーナットの締付けトルク値から凍害劣化程度を診断・点検する手法の提案、さらに地震時の門柱倒壊に影響する凍害劣化の程度を動的解析によってシミュレーションした結果、凍害劣化によって鉄筋の付着が低下すると、地震時に門柱の傾斜の残留変位が大きくなり樋門の操作性に影響することを明らかにした。

キーワード：凍害劣化、樋門コンクリート、点検手法、診断技術、締付けトルク、動的解析

1. はじめに

積雪寒冷地の樋門コンクリートは、厳しい環境条件下にあり凍害劣化等による損傷を受け易い。樋門は洪水対策として非常に重要な施設であり、劣化・損傷によってゲート開閉等の操作性や安全性が低下する可能性があることから、開閉操作の遅延や故障等の防止に着目したコンクリートの劣化診断技術を確立する必要がある。

本研究では、既往の研究成果である樋門の凍害劣化調査結果¹⁾²⁾³⁾、超音波法によるコンクリートの凍害劣化診断技術⁴⁾⁵⁾⁶⁾を活用し、凍害劣化によって樋門のゲート開閉に影響を及ぼす樋門コンクリートの部位の整理、および樋門コンクリートの凍害劣化に対する新たな点検項目と点検・診断手法の提案を行った。さらに、樋門の操作性等に及ぼす凍害劣化に対する耐久性評価等の診断技術の開発に関する検討を行った。

点検・診断手法では、樋門付属物固定用の打込みアンカーの引抜き強さから凍害劣化の程度を把握するナット締付けトルク測定による方法を考案した。ゲート操作に直接影響する門柱のゲートストッパーと間接的に影響する操作台の防護柵において現地調査を行い、

室内実験も含めてナット締付けトルク測定による樋門コンクリートの凍害劣化点検手法の検証を行った。

耐久性評価等の診断技術の検討では、コンクリートの凍害劣化の程度がゲートの開閉に及ぼす影響について、動的解析による地震時の門柱の倒壊シミュレーションによる検討を試みた。

2. 樋門の凍害劣化調査および凍害劣化事例集

既往の研究結果²⁾から、積雪寒冷地の樋門コンクリートにおいて凍害劣化が生じ易い部位は、操作台部等の滞雪から融雪水がコンクリートに多く浸透し、凍結融解の温度変化が多い部位である。その中で、凍害劣化によって樋門ゲートの開閉に影響する可能性がある部位は、ゲート動作に直接影響する門柱とゲートポスト（ガイドレール）、作業の安全性に影響する操作台の管理橋台と防護柵等があげられる。図-1 に、樋門ゲートの開閉に影響する可能性がある樋門コンクリートの凍害劣化事例を示す。門柱はその縦長な形状で施工時のコンクリートが打設し難く、締固め不足や打継ぎ処理不足で豆板が生じ易い。竣工時に豆板はモルタル等により補修されることが多いが、写真のように補修



図-1 樋門ゲートの開閉に影響する可能性がある
樋門コンクリートの凍害劣化事例

したモルタルが凍害劣化して欠損する事例も多い。ゲートを支えている門柱は、このような凍害劣化等による損傷があると内部の鉄筋が腐食して傾倒や倒壊の可能性が生じる。門柱に固定されたゲートストッパーやゲートポストは、コンクリートが劣化・損傷すると、ゲートストッパーやガイドレールが撓んでスムーズなゲート開閉が出来なくなる可能性もある。現在のところ上記のように門柱等の劣化が進行してゲートが開閉不能になった事例等は報告されていないが、今後老朽化した樋門が増加し、さらに地震等の災害が加わった場合は起こり得る障害であると考えられる。また、操作台の防護柵部および拡幅鋼板部では、操作台上部の融雪水の影響で操作台端部が凍害劣化しやすく、特に防護柵や拡幅鋼板の固定部付近の劣化・損傷が顕著なケースが多い。これら操作台部の劣化・損傷が大きくなると、ゲート操作人の立ち入りが困難になるなど、安全なゲート操作に影響が出る。さらに、操作台上部や管理橋上部においては滞雪から融雪水が流れ込み溜まりやすい形状であることから、凍害劣化による損傷が比較的多く見られる部位である。橋長が長い管理橋

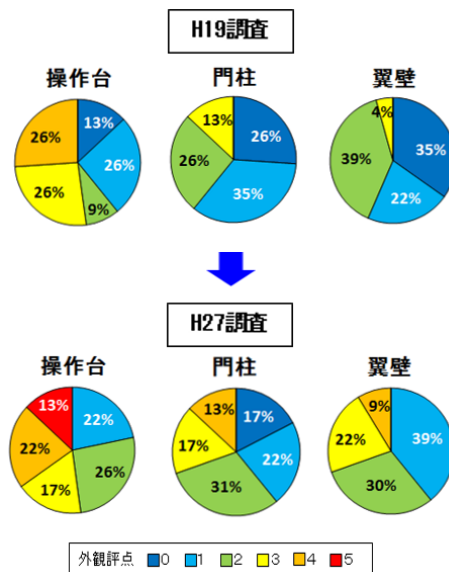


図-2 樋門調査における凍害劣化進行程度の把握

は管理橋台のコンクリートの劣化が大きくなると積雪等により落橋に至る危険性もある。

図-2は、平成19年度に凍害劣化調査を実施した樋門において、8年後の平成27年度に再度凍害劣化調査を実施した結果である。操作台、門柱、翼壁共に8年後には劣化度が大きいとする外観評点の割合が増加している。すなわち、樋門コンクリートの凍害劣化は年々進行しており、損傷が徐々に大きくなっていることがわかる。

現在、樋門の改築・更新は、フラップゲートを基本とした門柱レスタイプへの移行が進んできているが、一方でまだ更新時期に達しない相当数の既存門柱を長期的に有効活用しなければならない。そのためには効率的な樋門の点検・評価を行う必要がある。本研究では樋門コンクリートの凍害劣化調査結果等を取りまとめて⁷⁾、樋門の点検・調査時の着眼点等を整理した「樋門の凍害劣化事例集」を作成した。この事例集は耐寒材料チームのホームページ上に掲載している「凍害が疑われる構造物の調査・対策手引書(案)」⁹⁾に反映させ、国土交通省北海道開発局の道路設計要領からの引用を通じて実務への普及を図っている。

3. 樋門付属物の固定部における凍害劣化点検

上述したゲート開閉の際に操作者が作業を行う操作台周りの防護柵や拡幅鋼板、ゲートストッパー等は、拡張型の打込みアンカーによって後付けで固定されている(図-3)。拡張型の打込みアンカーは、コンクリートに削孔してアンカーを差し込み、ハンマー等で打

込むとアンカー埋込部が拡張してコンクリートに定着する。このアンカー打込み時にコンクリート内部に微細なひび割れが生じることから、操作台のように融雪水が多く浸透する箇所ではアンカー埋設部から凍害劣化が生じているケースが多い。打込みアンカーはコンクリートに定着しているため、**図-3**に示すように定着部のコンクリートが劣化するとアンカーの定着強度は低下すると考えられる。

このことから、防護柵等の打込みアンカーの定着力、すなわち引抜き強さとコンクリートの凍害劣化の程度には関連性があると想定し、室内実験と現地調査を行

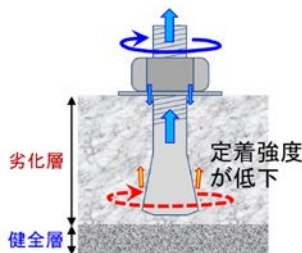


図-3 凍害劣化によるアンカー定着強度が低下するイメージ

った。実験では打込みアンカーの引抜き強さを非破壊式のアンカー引抜き試験器とトルクレンチで測定した。またコンクリートの劣化程度を超音波法で測定して、引抜き強さとの関連性を求めた¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。

図-4に、供試体による室内実験と現地樋門調査の測定状況および測定結果例を示す。室内実験、現地調査共に、コンクリートの凍害劣化の程度の違いにより、打込みアンカーの引抜荷重およびナット締付けトルク値の上昇傾向や最大値が異なる結果となった。コンクリートが健全な場合、ナットの締付け回転角度は小さく、引抜荷重とナット締付けトルク値は大きくなる傾

表-1 締付けトルクと回転角度の関係におけるアンカーの定着状態のパターン

パターン	締付けトルク	回転角度	ナットの締まりとアンカーの定着状態
A	大	小	強固に締結
B	中	中or大	ナットは締まるが、途中でアンカーごと回転
C	小	大	ナットはほぼ締まらず、アンカーごと回転

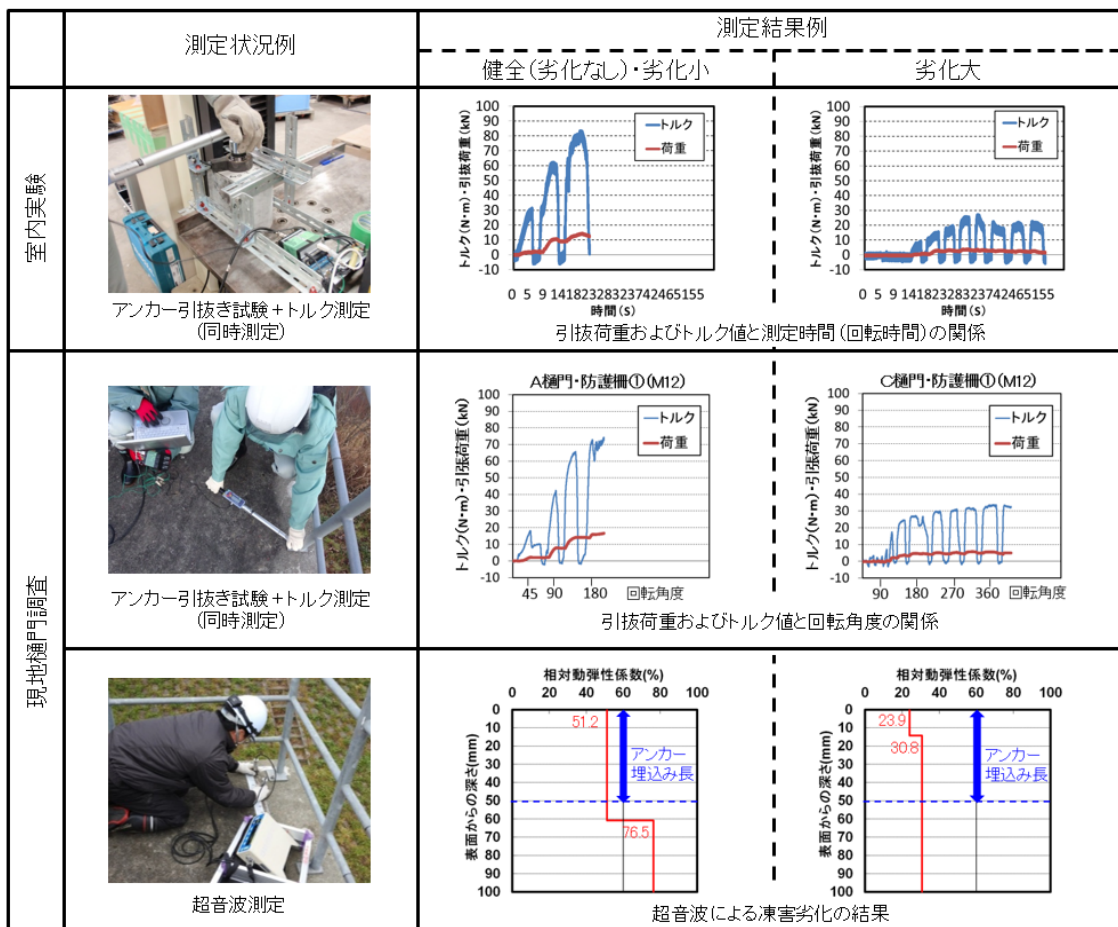


図-4 室内実験および現地樋門調査の測定状況と測定結果の例

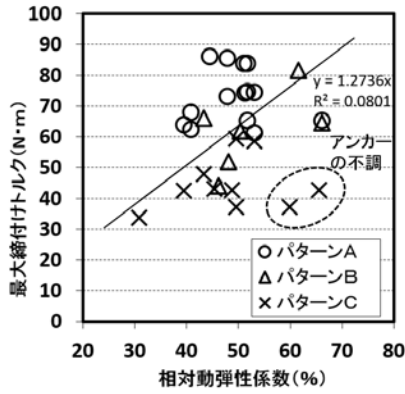


図-5 最大締付けトルクと相対動弾性係数の関係

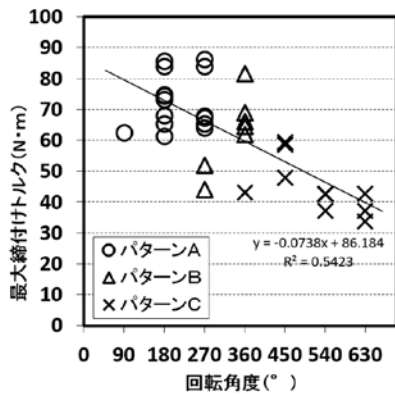


図-6 最大締付けトルクと回転角度の関係

向となった。一方、コンクリートが劣化した場合はナットの締付け回転角度は大きく、引抜荷重とナット締付けトルク値は小さくなる傾向が見られた（表-1）。このことから、打込みアンカー埋設部付近のコンクリート劣化の進行により、打込みアンカーの定着強度が低下することが確認できた。また、定着強度とナット締付けトルク値には相関関係があり、コンクリートの凍害劣化程度の指標である相対動弾性係数との相関も見られた（図-5）。またナット締付けトルク値の上昇傾向と回転角度にも相関関係があり（図-6）、これらからコンクリートの凍害劣化の程度をある程度把握することが可能であり、打込みアンカーの埋設深さ程度（今回は深さ5～6cm）までのコンクリートの健全度を点検する手法として有効であると考えられる。

図-5、6のパターンA～Cは、表-1に示すナット締付けトルクのパターンを点検手法に用いた樋門コンクリートの評価分類（下記）である。

- ・パターンA：コンクリート健全・対策なし
- ・パターンB：凍害劣化小・経過観察
- ・パターンC：凍害劣化大・対策検討

表-2 門柱倒壊シミュレーションの検討ケース

ケース番号	ケース名	入力波形	コンクリート	鉄筋	主鉄筋付着
1	健全 レベル 2-1	レベル 2-1	健全時	健全時	完全付着
2	健全 レベル 2-2	レベル 2-2	健全時	健全時	完全付着
3	劣化1 レベル 2-1	レベル 2-1	相対動弾性係数 20%	ワンランクダウン	付着なし
4	劣化1 レベル 2-2	レベル 2-2	相対動弾性係数 20%	ワンランクダウン	付着なし
5	劣化2 レベル 2-2	レベル 2-2	相対動弾性係数 20%	ワンランクダウン	完全付着
6	劣化3 レベル 2-2	レベル 2-2	相対動弾性係数 60%	ワンランクダウン	付着なし

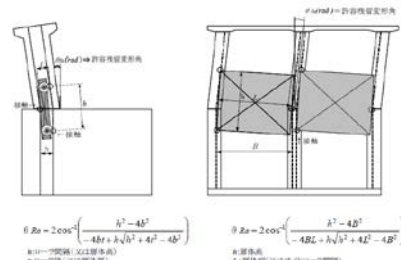


図-7 ゲートの開閉を妨げない変形角（許容残留変形角）の計算方法の例¹⁴⁾

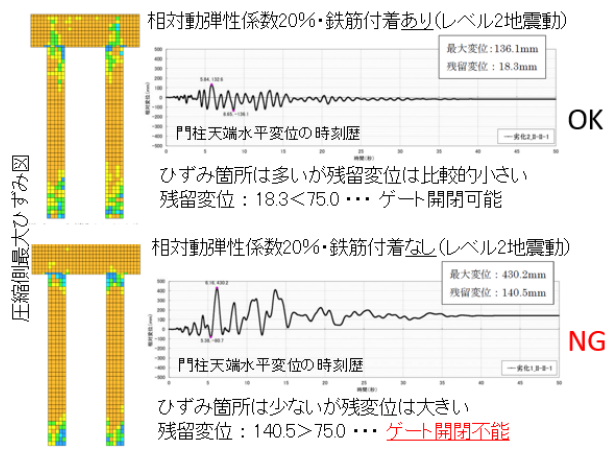


図-8 レベル2地震動における解析結果例

4. 門柱部の動的解析による倒壊シミュレーション

樋門の操作性等に影響を及ぼす樋門コンクリートの凍害劣化に対する耐久性評価等を検討するため、門柱部の動的解析による倒壊シミュレーションを行った。倒壊シミュレーションは、門柱の機能不全（ゲート開閉不能、図-7）に達する凍害劣化の程度と地震動（震度）の程度を把握することを目的とした。具体的には表-2に示す検討ケースをモデル化した樋門（標準設計、TYPE-B）の門柱部に対して、レベル1（震度5強）

およびレベル2地震動（震度7）を与え非線形動的解析を行い、各検討ケースの鉄筋の引張破断ひずみ、圧縮破壊およびせん断破壊、残留変位（図-7¹⁴）を照査し、耐震性能を評価した。

図-8にレベル2地震動における解析結果例を示す。門柱のコンクリートが凍害劣化を主要因として相対動弾性係数が20%まで低下した場合においては、主鉄筋の付着の有無により残留変位が大きく異なり、主鉄筋の付着がなくなるとゲートの開閉が不能になることを確認した。なお、レベル1地震動ではゲートの開閉に影響を及ぼすケースはなかった。今後、模型実験等による検証から凍害劣化に対する耐震補強設計の検討が必要である。

5. まとめ

樋門コンクリート構造物の実構造物調査、室内実験、等を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) コンクリートの凍害劣化によって、樋門のゲート開閉作業に影響する部位は、ゲート動作に直接影響する門柱やゲートポストと、ゲート操作時の安全性など間接的に影響を与える操作台の管理橋台や防護柵等の二つに分類出来る。
- (2) 実構造物のアンカー引抜き強さ確認調査において、引抜き強さに異常はなかったが、アンカー定着深のコンクリートが劣化している箇所は、ナット締付け回転の累計角度と荷重の増加が緩やかな傾向が見られた。
- (3) 最大締付けトルク時のナットの回転量を測定することによりコンクリートの凍害劣化の程度を把握する新たな診断手法の可能性を確認できた。
- (4) コンクリートの凍害劣化が進行し、主鉄筋の付着がなくなった場合、地震時に門柱の傾倒によるゲート開閉不全が発生する可能性が示唆された。

参考文献

- 1) 内藤勲, 田口史雄, 石谷隆始, 畠秀樹, 出合寿勇: 河川樋門コンクリート構造物の凍害劣化と再劣化に関する調査, 寒地土木研究所月報 No678, pp.17-26, 2009.11
- 2) 内藤勲, 田口史雄, 畠秀樹: 北海道における樋門コンクリート構造物の外観目視調査による凍害劣化評価, 第53回北海道開発技術研究発表会, 安全 AA-8 (治), 2010.2

- 3) NAITOH Isao, TAGUCHI Fumio: A study on Re-deterioration of Surface-coated Sluice Structures due to Frost Damage, 7th International Conference on Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures & Post-Conference Workshops, 2010.5
- 4) 遠藤裕丈, 田口史雄, 林田宏, 草間祥吾: 非破壊による凍害深さの評価, 「コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法」委員会報告会・シンポジウム, 社団法人日本コンクリート工学協会, pp.293-298, 2008.
- 5) 内藤勲, 田口史雄: 表面被覆補修コンクリート構造物の超音波伝播速度測定による凍害再劣化調査, 土木学会第64回年次学術講演会, V-212, pp.421-422, 2009.9
- 6) 畠秀樹, 内藤勲, 田口史雄: 北海道における樋門コンクリート構造物の超音波調査による再劣化診断, 第54回北海道開発技術研究発表会, 積雪寒冷地維持管理技術 YI-15 (治), 2011.2
- 7) 内藤勲, 島多昭典, 渡邊尚宏: 積雪寒冷地の樋門コンクリートの凍害劣化補修に関する研究, 第57回北海道開発技術研究発表会, 維持 IK-8 (治), 2014.2
- 8) 古賀裕久, 渡辺博志, 内藤勲, 片平博: 河川コンクリート構造物の変状に関する調査, 土木学会第69回年次学術講演会, V-153, pp.305-306, 2014.9
- 9) 寒地土木研究所: 凍害疑われる構造物の調査・対策手引書 (案), 平成29年5月改訂, 2017.5,
http://zairyo.ceri.go.jp/ceri_zairyo/topics5/togaimanualdr.html
- 10) 内藤勲, 島多昭典, 渡邊尚宏: 樋門のゲート操作台・門柱部のコンクリートの凍害劣化診断に関する研究, 寒地土木研究所月報, 報文, pp.2-12, 2014.6
- 11) 渡邊尚宏, 内藤勲: 樋門付属物周辺のコンクリートの凍害劣化調査手法に関する検討, 第58回北海道開発技術研究発表会, 安心・安全 AA-10 (治), 2015.2
- 12) 島多昭典, 内藤勲: 樋門コンクリートの凍害劣化点検手法に関する研究, 土木学会第70回年次学術講演会, V-410, pp.819-820, 2015.9
- 13) 田中忠彦, 内藤勲: 名寄地区の樋門コンクリート構造物の凍害劣化進行調査, 第59回北海道開発技術研究発表会, 維持 IK-16 (治), 2016.2
- 14) 国土交通省水管理・国土保全局治水課: 河川構造物の耐震性能照査指針・解説, IV. 水門・樋門及び堰編, pp.11-13, 2012.2

A STUDY ON DURABILITY AGAINST FROST DAMAGE AND ON MAINTENANCE METHODS FOR THE CONCRETE OF SLUICES

Research Period : FY2012-2016

Research Team : Material Research Team

Author : TAGUCHI Fumio, SHIMATA Akinori,
MIHARA Norihiro, KIKUTA Etsuji,
HAYASHIDA Hiroshi, NAITOH Isao,
NONOMURA Yoshiteru, MIZUTA Maki,
KAZUMATA Mitsugu, YASUDA Yuichi,
MIYAMOTO Syuji, WATANABE Masahiro,
KASHIKI Syunichi, NAKAMURA Naohisa,
SATO Yoshiaki, TANAKA Tadahiko,
OTA Hideharu, WATANABE Jun,
SATO Yoshishige, TOYABE Toshihito

Abstract : To facilitate preventive strategic maintenance for concrete in sluices which, in snowy cold regions, tends to be prone to frost damage, in this study aimed at proposing a method for inspecting the frost damage that occurs in sluice concrete and inspection-related items, and developing diagnostic techniques for sluice concrete, including the evaluation of durability against frost damage that will affect the operability of sluices.

Towards proposing an inspection method for frost damage to sluice concrete and inspection-related items, a case book of frost damage to sluices was compiled. The book covers the parts of sluice concrete that are prone to frost damage and that will be targeted for inspection. Also proposed is an inspection method for frost damage severity in which inspection is done on the torque values for tightening the anchor nuts used at the anchoring parts of sluice concrete, which are prone to frost damage. In the development of diagnostic techniques, the progress of frost damage was determined by examining sluices for frost damage eight years after a previous examination. Furthermore, the degree of frost damage that would result in gatepost collapse during an earthquake was simulated using dynamic analysis. It was found that frost-damaged-related decreases in the adherence of reinforcing bars would increase the residual displacement of gatepost inclination in an earthquake and thereby affect the operability of sluices. In cold and snowy parts of Japan most snow is removed from roads by mechanical snow removers and to deal with

Key words : frost damage, sluice concrete, inspection method, diagnostic technique, torque for tighten, dynamic analysis