

5.1 寒冷地臨海施設の利用環境改善に関する研究

研究予算：運営費交付金（一般勘定）

研究期間：平 18～平 20

担当チーム：寒冷沿岸域チーム

研究担当者：渥美洋一、木岡信治

【要旨】

積雪寒冷地の冬期における漁港は、漁業従事者にとって風雪等の厳しい作業環境であり、さらに高齢化等の要素も加わり過酷な状況にあり、こうした冬期就労環境を改善するため、北海道の漁港・港湾においては防風雪施設の整備が行われている（写真-1）。防風雪施設設置の判断基準や施設整備による改善効果を定量的に評価するには、与えられた温熱環境における人体の温冷感覚や温熱的快適感（苦痛の程度など）などの主観的温熱感覚量を表す実体感指標に基づく定量的評価手法、さらには、防風雪施設の作業環境改善効果が作業効率（生産性）に及ぼす影響の定量的評価手法の確立が必要と考えられる。

本研究では、昨年度に引き続き、低温室において被験者実験を行い、冬期作業環境改善効果をよりの確に評価できる温熱指標の検討と、温熱環境が作業能力へ及ぼす影響（寒さによる作業能力低下）に関する基礎的な実験を行った。とくに、本年度では、網外し作業など実際の作業形態により近い被験者実験を試み、その温熱環境と作業能力に関するデータを蓄積すると共に、これらの解析により作業能力と温熱環境に関する定式化に向けての検討を行った。さらに、これまでの技術的知見や設計ツールを「港内防風雪施設設計の手引き（仮称）」として取りまとめるため、データ収集とその分析整理を行った。これらの概要についても報告する。

1. はじめに

積雪寒冷地の冬期における漁港や港湾では、漁業等の作業従事者にとって、風雪等の厳しい作業環境、さらに高齢化等の要素も加わり過酷な状況にある。こうした厳しい作業環境下で、作業効率の低下や健康障害、作業の安全性が懸念されている。一方、こうした積雪寒冷地の作業環境の改善に加えて、水産物の衛生管理などの多面的な機能に着目して、現在、防風雪施設の整備が行われている（写真-1 参照）。



写真-1 大津漁港防風雪施設

しかし、防風雪施設の有する作業環境改善機能をとってみても、施設整備による作業環境改善効果の定量的な評価手法、費用 対効果につながる便益の定量的な評価方法は確立されていなく、これらを踏まえた防風雪施設の計画・設計ツールもまだまだ未整備な段階である。こうした防風雪施設の有する作業環境改善機能の定量的な評価手法を確立するため

には、与えられた作業環境において人体の温冷感覚や温熱的快適感（苦痛の程度など）などを的確に数値化できる実体感指標を開発し、それを用いた定量的評価手法と、それに加えて、作業環境改善が作業効率（生産性）に及ぼす影響を定量的に評価する手法の確立が必要と考えられる。また、今後の防風雪施設の地域の実情に的確に対応し効果的・効率的な整備を推進するためには、防風雪施設の有する機能と、それに対応した評価手法、現状での評価ツールや既往整備施設の構造や設計に関わる技術的知見、利用の現状と課題等を体系的に整理しておく必要がある。

本研究は、防風雪施設の作業環境改善効果の定量的な評価手法の確立を目的とした研究を行うものであり、本年度は、低温室において被験者実験を行い、作業環境に対応した人体の温冷感覚や温熱的快適感（苦痛の程度など）などの主観的温熱感覚量に関するデータ取得を行った。そして、現在、オフィス等の室内作業環境の評価に用いられる温熱指標の低温環境下における適用性を検討し、冬期の作業環境改善効果をよりの確に評価できる温熱指標の選定と、現在、防風雪施設整備による作業環境改善効果を評価するのに暫定的に用いられているWC I（風冷指数）の被験者実験により得られた温熱心理反応に関

するデータの分析に基づくレビューも行った。さらに、温熱心理などの主観的感覚量のみならず、温熱環境が作業能力へ及ぼす影響（寒さによる作業能力低下）に関する実験と検討を行った。検討では、具体的な作業低下率・効率を推算できるような方法論を構築し、現在得られている実験データの範囲内で、様々な作業状態に応じた作業低下率の実用図表を試験的に作成した。さらに、これまでの技術的知見や設計ツールを「港内防風雪施設設計の手引き（仮称）」として取りまとめるため、データ収集とその分析整理を行った。データ収集とその分析整理については、既往施設の構造や利便性に関する項目の分析、及び設計事例の作成を中心に行った。

2. 適用性を検討した温熱指標

冬季作業環境が作業者の作業環境に与える影響を定量的に評価するためには、人体の温冷感覚や温熱的快適感（苦痛の程度など）などの主観的温熱感覚量を考慮した冬期作業環境の評価を適切に行う必要がある。そのため、主としてオフィスなど室内の作業環境評価に標準的に用いられている温熱環境指標、及び暫定的に防風雪施設整備の作業環境改善効果の評価に適用が試みられているWCIの有効性を検討することとした。検討対象とした温熱指標は、昨年度と同様に、①作用温度（operative temperature）（ t_o ）、②SET*（Standard Effective Temperature）、③風冷指数WCI（Wind Chill Index）、④TL（温度負荷量）、⑤TSI（温冷感指数）、さらに、人体の熱収支に影響を及ぼすと考えられる着衣量や日射、それに間接的に局所冷却感を考慮できるよう留意した⑥WCI改良型、の6つである。

3. 被験者実験

実験方法は過去に実施したものと同様であるが、その要点を述べる。実験は、主に低温観測室で実施し、札幌市在住の20代～50代の各年代、男女各4名の合計8名を被験者とした。着衣量は過去と同様に、「light」と「heavy」の2ケースであり、「light」は、下着、セーター、ももひき、および上下作業着を着用したもの、「heavy」は、さらに上下防寒服を着用したものである。主な実験条件を表-1に示す。温熱環境条件は、気温-10℃～+10℃の範囲で行い（1ケースのみ、無風・室温27℃、着衣[light]の温暖状態で実施）、風速は、大型扇風機を用い、3ケースの風速を発生させた（0.66～2.31m/s）。被験

者は実験毎に45分間暴露され、図-1に示すような、温冷感や熱的快適感などの温熱心理反応を15分間隔で自己申告した。被験者は温室内で60分間程度の休息をとり次の実験に備えた。

表-1 主な実験条件

気温（℃）	-10.1 ～ +10.4（1ケースのみ27℃）
グローブ温度（℃）	-9.96 ～ +10.5
平均風速（m/s）	0.66 ～ 2.31m/s
相対湿度（%）	52.2 ～ 60.5%
着衣量（clo）	1.9（light）、2.9（heavy） [手には軍手とゴム手袋着用]
作業量（met）	1.0（椅子座）、1.6（軽作業）

注）表中の数値は、各実験ケースの暴露時間内での平均値
指標計算に必要な平均放射温度はグローブ温度、風速より推

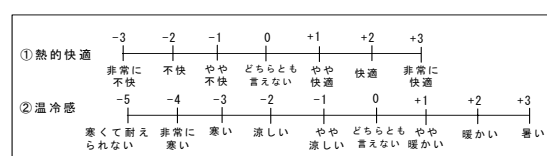


図-1 主な温熱心理反応の主観申告項目

次に、温熱環境が作業能力へ及ぼす影響（寒さによる作業能力低下）に関する被験者実験について、昨年度では、モデル作業としてペグボード試験等を実施したが、これは、数十秒といったごく短い時間における作業能力、瞬発性の検査に近いものであった。しかし、実際の現場では、魚の箱詰めや網外しなどといった持続性を有する作業もあることから、その試験法が適しているかどうか疑問があった。そこで、本年度では、ペグボード試験、タッピング試験の他、持続性を有する簡易的なモデル作業を導入し、ペグボード等の試験法による作業低下に関する分析結果との比較も行った。ここに、過年度も含めた作業効率に関する対象作業を表-2に、本年度実施した作業を写真-2(a)～(c)に示す。

表-2 今までに実施したモデル作業

名 称	内 容	実施年度
Task A	ペグボード試験	平成 18, 19 年度
Task B	細棒に輪を順次入れていく作業	平成 18 年度
Task C	タッピング試験	平成(17), 19 年度
Task D	継続性を有する作業（紐結び）	平成 19 年度



写真-2(a) Task A



写真-2(b) Task C

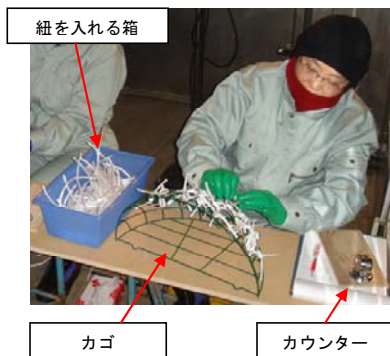


写真-2(c) Task D

4. 実験結果

- 本研究で検討した各温熱指標値と温熱心理反応の一つである温冷感との関係（回帰曲線）の男女間の差が認められず、昨年度までの結論と同様であった。過年度の結果も含め、本研究で検討した温熱指標はすべて、有意水準 1%で有効であった。このうち、総合的に判断して、比較的相関係数が高いものを3つ抽出すれば、WCI, 新指標 (WCI 改良型)、TSI となった(図-2 参照)。実用性も加味すれば、総合的には入力値が風速と気温のみで計算方法も簡便な WCI が有望であると考えられ、現在、北海道開発局で暫定的に適用を試みている WCI の有効性を支持する結果となった。WCI は、もとは凍傷予防のために提案されが、幅広い範囲でその適用性が伺えた。しかし、温暖領域のみを見ると、

あまり相関性が見られず、およそ WCI が 300 以下では、その信頼性は急激に落ちるものと推察された。さらに、温熱指標値と温冷感との関係に過年度に実施した結果との差はなく、データの信頼性が増した(被験者はすべて年度毎に異なっている)。また、過年度データも含め、各温熱環境要因、4つの温熱要素(気温、平均放射温度、相対湿度、風速)と2つの人間側の要素である代謝量、着衣量が、自己申告に与えるそれぞれの影響の度合いを調べた結果[重回帰分析、温熱環境要素の標準回帰係数で比較→重相関係数 0.883, 1%有意]、風速と気温の寄与が同程度に最も大きく、この結果からも WCI が温冷感などの温熱心理反応を表す指標として十分有用性のあるものと推察された。

- WCI と今回検討した WCI 改良型との比較では、WCI 改良型の標本相関係数が WCI に比べてやや大きくなったくらいで、大きな改善がみられなかった。理由は WCI それ自身がすでに十分な有効性を有していることもあるが、被験者の健康上の理由から着衣量を極端かつ段階的に変化させなかった等、本実験が新指標の有用性を十分引き出すものではなかったこと、さらにデータのバラつき(考慮するのが不可能なその時の体調や心理状態)による限界、などが考えられる。
- 温熱心理反応の一つでもある熱的快適性と温冷感覚との関係について検討した結果、両者には非常により相関(ほぼ 1:1 の関係)があり、昨年度までの結果ともほぼ一致した。
- 作業能力 W (本実験では作業度数) は暴露時間とともに低下傾向を示し、温熱環境のみならず、暴露時間 t の長さにも大きく影響するものと考えた。そこで、作業能力を $W=a \exp(-bt)$ [a : 初期値、 b : 時間当たりの作業低減率に関するパラメータ] で表されると仮定し、温熱環境毎の a, b を推定した。持続性を有する作業[Task D]を含め、 b は温冷感、各温熱指標ともよい相関性(1%有意)が見られ、寒くなれば、 b が増大傾向(作業能力は低下)であった一方、 a とは無相関であった(図-3)。この場合、寒い環境であっても暴露直後であれば、 a はその環境にあまり依存せず、それらに対する依存性はないと見なす事ができた。さらに、温熱指標のうち、実用上有力である WCI が b との相関性が最も高いことも都合のよい結果となり、 b は、WCI より推定可能であることが分かった。さらに a と b に男女差はみられなかった。

■ 過年度の結果も含め、作業形態の違いが及ぼす影響を調べた。作業形態の違いにより b に有意な差が確認されたが、初期値の度数 (単位時間当たり) とは無関係であった。これらのモデル作業のうち、Task D である継続性を有する作業がもっとも作業効率の低下が大きい (図-4)。Task A~C は、数十秒といったごく短い時間における作業能力、瞬発性の検査に近いものであるため、現実には間欠的に作業を行う場合と考えるべきである (休止を頻繁に挟む場合)。実際に問題となると考えられる

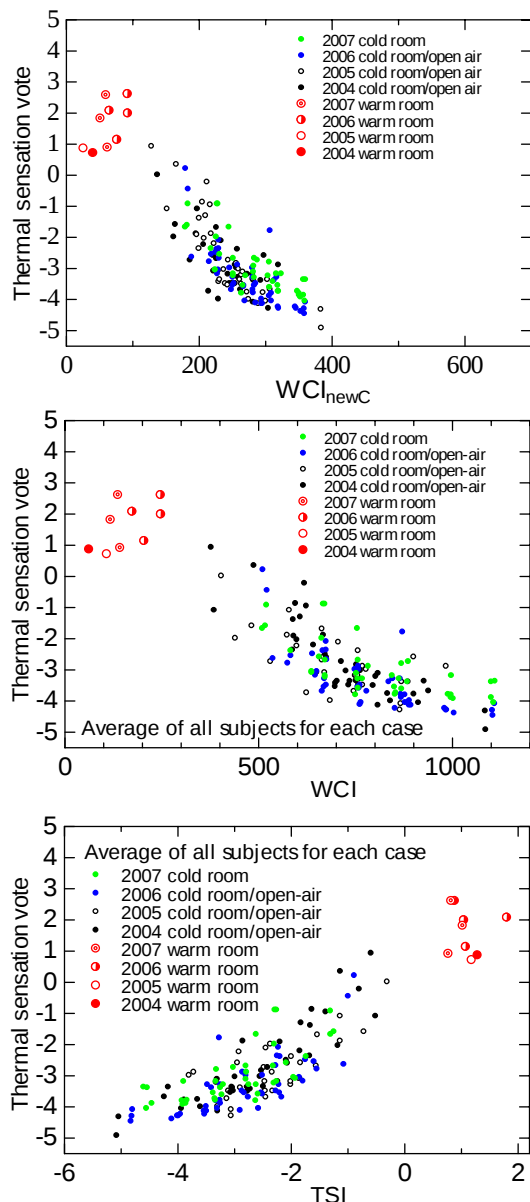


図-2 過年度 (H16~18 年度) のデータも加味した場合において比較的相関性が高かった3つの温熱指標を例とした、温熱指標値と温冷感との関係

WCI がおよそ 900 程度までであれば、A~C に大きな違いはないと考えられた。実際の漁港では、魚の箱詰めや網外しなどといった持続性を有する作業が多くを占めると考えられるので、現段階では Task D を参照しておくのが最も適切であると考えられる。最後にいくつかの作業形態 (Task A~D) における WCI による暴露時間をパラメータとした作業性低下の試算例を示した (図-5)。

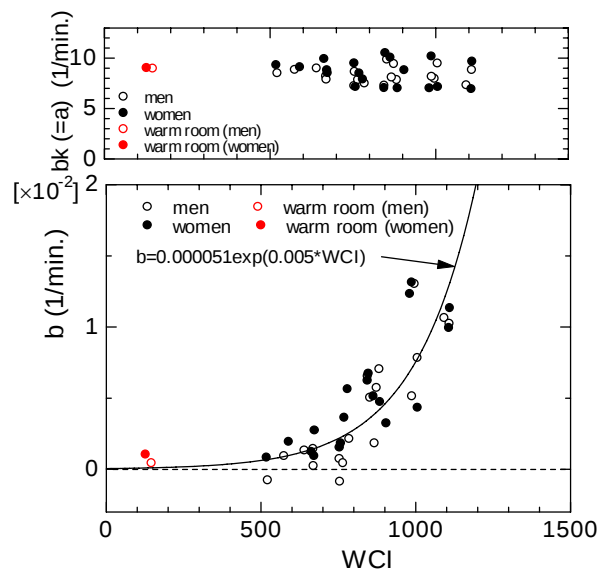


図-3 継続作業 (TaskD) における作業能力 W のパラメータ $[bk(=a), b]$ と温熱指標、温熱心理との関係例
[上図が $bk(=a)$, 下図が b]

$$\frac{dW_c}{dt} = W = bk \exp(-bt) \quad (8)$$

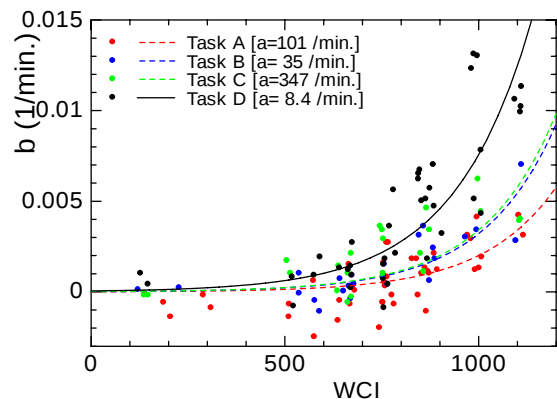


図-4 作業の違いによる作業性能の比較タッピング試験 (H17 年度実施)、Task A, B)

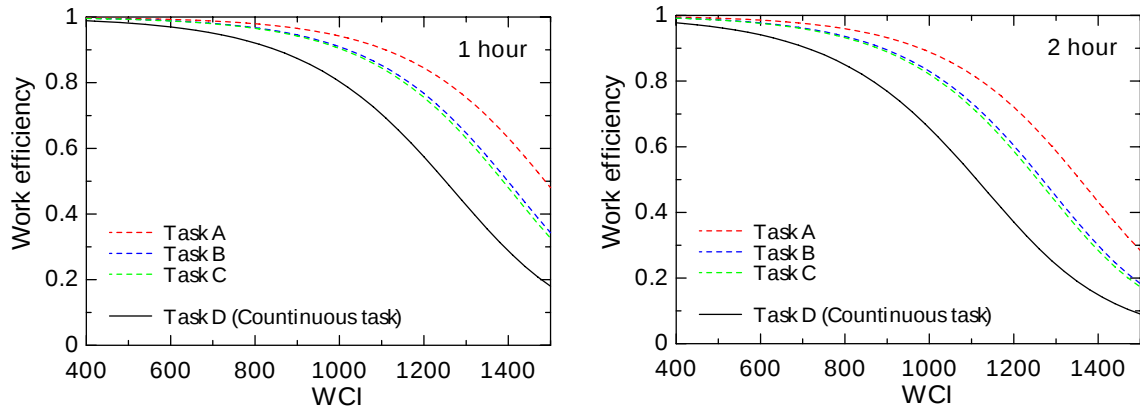


図-5 いくつかの作業形態における WCI による暴露時間をパラメータとした作業性低下の試算例

5. 「港内防風雪施設設計の手引き（仮称）」作成 に関わるデータの収集と整理

データの収集と整理を行うにあたり、対象とした既往防風雪施設の一覧を、図-6 に示す。データの収集と整理分析については、防風雪施設の計画から設計に至る一連の作業を図-7 のように考えて、各項目毎に整理を行った。その概要を、表-3 に示した。この内、設計事例については、設計条件等に関わるデータが整備されている、最近の防風雪施設の整備事例 5 ケースについて作成した。実際に、現場技術者が防風雪施設の計画・設計を行う際に、どのような観点に留意して作業を進めればよいか把握しやすいように、設計事例を作成した。

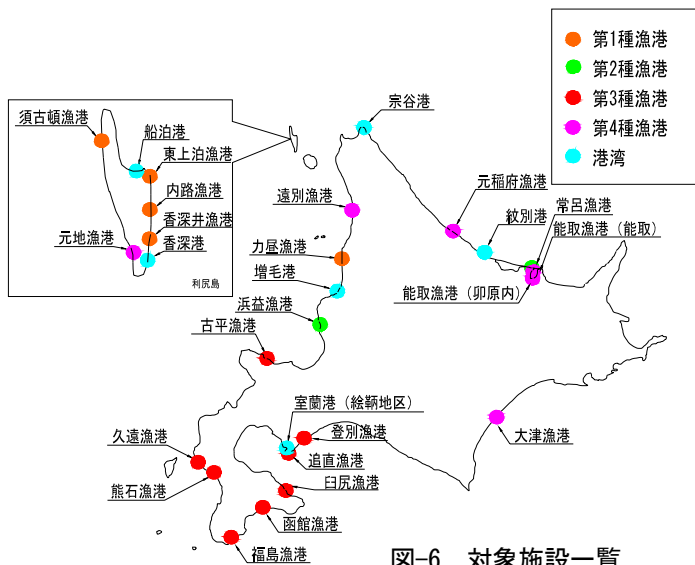


図-6 対象施設一覧

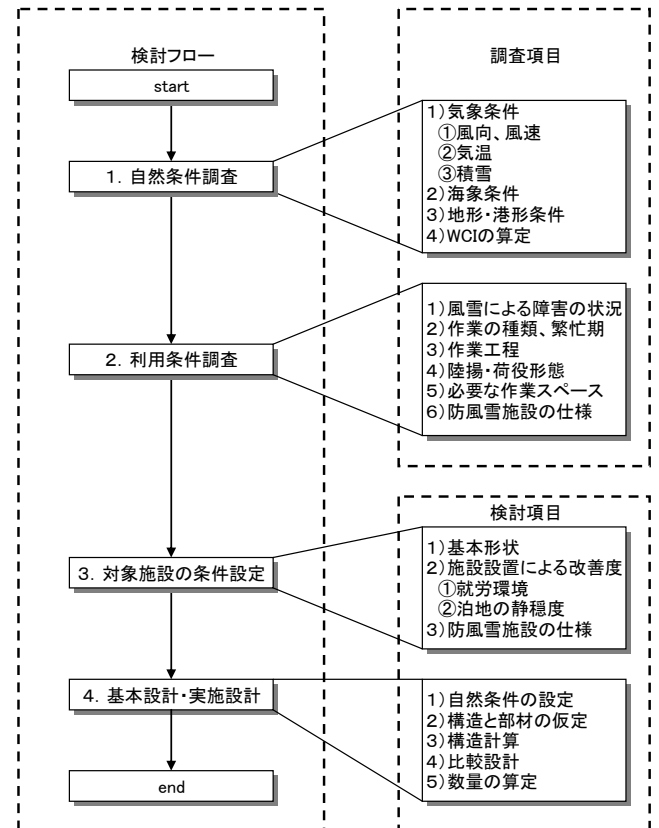


図-7 施設の計画・設計に関わる全体フロー

表-3 既往防風雪施設を対象とした構造や利便性に関するデータ整理結果の概要

条件	項目	漁港名
2-1 設計条件	1)積雪荷重、2)風圧力、3)地震力、4)材料、5)潮位	大津漁港、福島漁港、遠別漁港、増毛港、紋別港(5港)
2-2 利用条件	施設間隔、施設の奥行き、施設高さ、エプロンの必要幅、必要延長、柱の配置など	1)古平漁港、2)元稲府漁港、3)能取漁港(能取地区)、4)力屋漁港、5)増毛港(5港)
2-3 構造条件	1)既設岸壁の改良～既設構造に影響を与えない独立方式(鋼管杭方式)を採用	古平漁港、元地漁港
	2)支柱は鉄筋構造となっており、作業スペース及び作業車の幅を考慮して張出し屋根構造としている	追直漁港
	3)基礎地盤(岩盤)は凝灰角礫岩のため、杭を岩盤に貫入させ地中梁で連結する設計とした(既設岸壁への荷重影響を軽減するため、杭式以外は困難)。	元地漁港
	4)全体重量が軽く基礎への影響が小さい鉄骨造(ラーメン構造)とし、基礎は摩擦杭による形式とした。	能取漁港(能取地区、卯原内地区)
	5)吸い出し防止対策が必要であったことから、深層混合処置+直接基礎方式を採用した(CDM工法+フーチング基礎)	船泊港
	6)柱の本数は利用形態及び建設コストに配慮し、法線直角方向に対して1本とする。	函館漁港
2-4 利便性	1)雪の吹き込み防止～後壁開口部にシャッターを設置	元稲府漁港、古平漁港、大津漁港他
	2)冬期間の風の吹き込みを考慮して開口部にはシート取り付け用フックを設置	須古頓漁港、東上泊漁港、内路漁港他
	3)後壁における視界の確保～窓の設置	古平漁港、大津漁港、追直漁港他
	4)夜中・早朝の作業～照明の設置	追直漁港、能取漁港、大津漁港他
	5)ホタテ稚貝作業の際に地元漁業者が設置する散水用シャワー、遮光カーテン等を固定しやすいように、梁や底部分に金具、フック等の細工を行った。	能取漁港(能取地区、卯原内地区)
	6)直轄及び漁組で屋根をかける際に、漁組のほうで屋根をラップする工夫をして、雨が当たらないようにした。	熊石漁港
	7)走行帯の上屋の高さは、一般道路の建築限界である4.5mとした。	常呂漁港
	8)屋根の上で海を眺めたり、釣りをすることが可能な「親水」機能をもたせた。	臼尻漁港、宗谷港
2-5 維持管理	1)無落雪構造の採用	古平漁港、香深井漁港他
	2)鳥害対策のためのピアノ線設置	追直漁港、古平漁港他
	3)照明の点滅区分を設け、節電を行えるようにした。	熊石漁港
	4)耐候性、風圧、波圧の考慮、視界確保のための半透明な素材の採用	追直漁港、増毛港他
	5)管理費軽減のため電気代の安い、高圧ナトリウム灯を選定し、防虫型とした	熊石漁港
	6)水中ポンプや自動選別機が稼働できるようユニット毎にコンセントを配置した。	東上泊漁港、香深井漁港他

6. まとめ

- 本研究で検討した各温熱指標値と温熱心理反応の一つである温冷感との関係（回帰曲線）の男女間の差が認められず、昨年度までの結論と同様であった。過年度の結果も含め、本研究で検討した温熱指標はすべて、有意水準 1% で有効であった。このうち、総合的に判断して、比較的相関係数が高いものを 3 つ抽出すれば、WCI、新指標（WCI 改良型）、TSI となった（図-2 参照）。実用性も加味すれば、総合的には入力値が風速と気温のみで計算方法も簡便な WCI が有望であると考えられ、現在、北海道開発局で暫定的に適用を試みている WCI の有効性を支持する結果となった。
- 昨年度に引き続き、将来的に防風施設の整備効果を貨幣価値として評価できるように、人体の主観的温熱感覚のみならず、温熱環境が作業能力へ及ぼす影響（寒さによる作業能力低下）に関する基礎的な実験を試みた。本年度では、ペグボード試験、タッピング試験などの瞬発性を有する（Task A～C）の他、持続性を有する簡易的なモデル作業（ヒモ結び、Task D）を導入した。過年度の結果も含

め、作業形態の違いが作業効率へ及ぼす影響を調べた結果、これらのモデル作業のうち、Task D である継続性を有する作業がもっとも作業効率の低下が大きいことが分かった。Task A～C は、数十秒といったごく短い時間における作業能力、瞬発性の検査に近いものであるため、現実には間欠的に作業を行う場合と考えるべきである（休止を頻繁に挟む場合）。実際に問題となると考えられる WCI がおよそ 900 程度までであれば、A～C に大きな違いはないと考えられた。実際の漁港では、魚の箱詰めや網外しなどといった持続性を有する作業が多くを占めると考えられるので、現段階では Task D を参照しておくのが最も適切であると考えられる。最後にいくつかの作業形態（Task A～D）における WCI による暴露時間をパラメータとした作業性低下の試算例を示した。

- 港内防風雪施設設計の手引き（仮称）」の制作に向けて、既存の防風雪施設に関するデータの収集と整理を行った。また、実際に、現場技術者が防風雪施設の計画・設計を行う際に、どのような観点に留意して作業を進めればよいか把握しやすいように、設計事例を作成した。

Study on improvement of utilization of coastal facilities in the cold region

Abstract : We conducted sensory experiments on subjects to examine the practical application of some thermal indices for evaluation of the working environments at fishery ports and harbors during the winter in cold, windy regions. The WCI seems to be the most useful index from a practical point of view. We also clarified influences of thermal environments and time (exposure period) on “work efficiency” by simulating some model works. By using the experimental results, we estimated some work efficiencies as parameters of thermal environments and time (exposure period) under various model works.

Key word : working environments, the wind and snow shelters, WCI, work efficiency