

寒中コンクリートの問題点

林 正 道*

まえがき

寒中コンクリートはとかく敬遠されがちである。理由はいろいろあるが、凍害を受けて品質が不十分になるおそれがあること、工費がかさむこと、などがあげられる。したがって、寒中コンクリートの問題点となればこの2つを取上げなければならないのは当然である。それにしても、土木構造物は種類がきわめて多く、また受ける気象作用その他の外力も複雑であるからすべてを網羅することは到底できないのでここではその一部についてのみ述べてみたい。各位の忌憚のないご批判を仰ぐ次第である。

昔から寒中コンクリートは数多く施工されてきているが、それらの経験によって、設計施工が適切であれば凍害を受けないが適切でない場合には凍害を受けるということがよくわかっている。ここでいう凍害には、初期に十分に固まっていなかったコンクリートが凍結によって害を受けるものと、十分に固まったコンクリートが長年月の間に凍結融解の反覆作用によってこわれるものとの2種類が考えられる。前者はいわゆる初期凍害であり、後者は硬化コンクリートの凍結融解の反覆作用に対する耐久性の問題である。⁽¹⁾⁽²⁾ひと口に設計施工の良否といっても、構造、排水施設などの設計、材料の管理、コンクリートの配合、練混ぜ、運搬、打込み、締固め、養生などが関係して簡単ではないが、養生の不十分による強度の不足、凍結融解に対する抵抗性の不足、すきま風による隅角部などの凍害、打込み方法の不適當、締固め不十分などによる豆板巣の発生、などは施工不良による欠陥としてあげられる。さらに、凍害を受けやすい箇所の構造上のひびわれ発生、排水不完全などがこれらに拍車をかけることになる。

では、寒中コンクリートではどのような品質のコンクリートがえられれば満足であろうか。

(イ) 養生期間中に凍害を受けないこと。

(ロ) 養生終了後春までにかんりの回数の凍結融解作用を受けることになる構造物（とくに雪が積もったり融けたりあるいは水と接触する構造物）では、これに対し十分な抵抗性を有すること。

(ハ) 工事中の各段階で予想される荷重に対し十分な強

度を有すること。

(ニ) でき上がった構造物の使用時に、所要の強度、耐久性、水密性を有すること。

などが必要であろう。このうち、(イ)は一時的に必要なものであり、(ニ)は最終目的である。

1. コンクリートの強度、耐久性と湿潤養生

夏期に施工したコンクリートでも土木学会標準示方書に定められている最低7日間の湿潤養生の後には、表面から徐々に乾燥が始まりセメントの水和に必要な水分が失われていくから標準養生のものよりも強度が低くなる。この傾向は表面に近いほど、断面が薄いほど顕著である。冬期に施工するコンクリートにも同様のことがいえるが、低温度が加わってその影響は一層大きくなる。これを避けて夏期施工のコンクリートと同等の品質のものを冬期の同一配合のコンクリートで得ようとすれば、温度・水分の条件を夏期と同等にしなければならないのである。コンクリートは適切な初期養生を行なった場合には、養生終了後凍結しても春を迎えて温度条件が好転し、水分さえ補給されれば再び強度・耐久性・水密性が増進するものである。したがって、冬期に長期間にわたって少なからざる費用をかけて給熱保温を行なうことは、後述の水分の補給のない構造物の場合以外は必要のないことである。養生終了時に凍結しても、春になって水和が進み所定の強度・耐久性が確保できるような素地がえられるまで冬期保温養生すればよいのである。しかし、構造物ができ上がった後将来にわたり水分の補給を受けないような構造物、たとえば上屋内の空気中構造物、橋ゲタ・スラブ、橋台・橋脚の空気中部分などでは、春になって温度条件が好転しても強度増進が期待できないので（期待できるとしてもその時点でコンクリート中に残っている水分によるだけである）、所要の強度が得られるまで初期のうちに水分と温度とを十分に与えることが必要である。同様に早期に設計荷重がフルにかかるような場合には、春になって温度条件が好転し、強度が増進するなどという気長なことは考えていられないので、初期に十分な水分と温度とを与えなければならない。たとえば、材令28日の強度を基準として設計された構造物が材令28日で全設計荷重が載荷され、かつ、所定の安全度をもた

* コンクリート研究室長

なければならぬ場合には28日間養生を続けなければならない。構造物の供用開始後全設計荷重のかかることがまれな場合（多積雪地帯の道路橋などで除雪をしても巾員が夏期よりも不十分で全設計荷重の載荷されることがほとんどない場合など）にはその荷重を一時的な荷重と考へて許容応力を割増できれば28日間の養生の必要性は生じない。このように載荷の見とおしによって、長期間の給熱養生の必要性がある場合には、早強セメントの使用あるいは単位セメント量の増加をはかったほうが経済的であろう。

上述のように水分はきわめて重要なものであるが、寒中における水分の供給には問題がある。すなわち、コンクリートの凍害はコンクリート中に含まれる水分によって生じるものであるから保温終了後凍結する時点ではなるべく乾燥していたほうがよいのである。T.C.Powersによれば飽和度がその限界値以下であれば凍害は生じないとしている⁽³⁾。ACI基準では水養生を行なった場合には保温養生終了前12時間でやめて乾燥させるのがよいとしている⁽⁴⁾。また、作業上困難な場合もある。大きな上屋内の0℃以上での作業であればよいが、普通の工事では構造物近辺が凍結して作業上の危険が生じたり、送水設備の凍結とかの障害の生じることもある。夏期施工であれば型わく取りはずし前でも水分を十分に与えることができるし、型わく取りはずし後の湿潤養生も比較的簡単であるというように冬期とはかなりの相違がある。このような理由から、冬期施工の場合には部材内部はともかくとしてコンクリート表面は乾燥気味である。したがって表面は強度・耐久性とも不十分になりやすいのである。この場合、供用開始後水分の補給される構造物であっても初期の養生が不十分であれば強度・耐久性の増進が期待できず、長年月の間に凍結融解のくり返し作用によって表面から剝離し次第に内部へと進行する結果となるので湿潤養生については慎重な配慮が必要である。

2. 養生終了時に必要な強度

初期養生をどの程度に行なったならば、凍害を受けずに将来夏期施工のコンクリートと同等のものが得られるか。これは(1)でも述べたとおり構造物の曝露条件および気象条件によって異なるものである。たとえば、春までに数回の凍結しか受けたくないような構造物でしかも外部から水の供給のないような場合には大きな強度は必要ではないし、水で飽和されていて、かつ凍結の回数が多い場合には大きな強度が必要である。ACI基準では、外部から水の供給がなければセメントの水和によって飽和度が低下し同時に強度が上昇するので飽和度が下がって凍害を受けなくなる時点では圧縮強度は約36kg/cm²になると

している⁽⁴⁾。RILEMの寒中コンクリート指針では初期の凍結1回～数回に対する抵抗性は、 w/c によって違ふがある水和程度に達したときに得られるとして各種セメントについて w/c ・温度と所要の養生期間との関係(外から水の供給のない場合)を示しているが、養生終了時の圧縮強度は50kg/cm²でとっている⁽⁵⁾⁽⁶⁾。理論と計算はE. Rastrupが示している⁽⁷⁾。筆者らのφ15×30cm供試体による研究によれば、単位セメント量320kg、スランプ10cm $w/c=52.4\%$ のNonAEコンクリートが地上におかれて風雨雪寒暑の影響を受ける状態の場合1年強度が夏期製造コンクリート(7日間むしろ被覆撒水)の1年強度とほぼ同じになるための初期養生終了時の強度は、初期養生終了後外気に曝されてから材令28日までの外気温の平均が-3℃では60kg/cm²、-4℃では90kg/cm²必要である⁽⁸⁾。これは地上におかれた場合であるから水と接する構造物ではさらに大きな強度を必要とするが150kg/cm²の強度が必要であるとしている報告もある⁽⁹⁾。このように、外部からの水の補給のない場合の1回～数回の凍結に耐えるため、地上におかれたコンクリートの1年強度が夏期施工のものより不利にならないため、など目的と条件によって所要初期強度がかなり異なるものである。既述のコンクリート表面の耐久性などを考えるとまだまだ問題は多いように思われる。

3. 型わく取りはずし

型わく支保工の取りはずしにあたっては構造物の強度を確認して行なわなければならないが、一般には構造物とできるだけ同じ状態で養生した供試体によって行なっている。この場合、供試体の温度を構造物の温度と同じにすることがなかなか困難であるが、構造物の温度を測定しそれに合致するように供試体の養生温度を調節する必要がある。また、供試体の水分についても温度と同様のことがいえる。一方、構造物の温度を実測することによって時間温度関数を用いて強度をある程度推定することもできる⁽⁹⁾⁽⁶⁾。この場合、コンクリート中の乾湿について慎重な考慮が必要であるが供試体の養生が正しければ、これが優先すべきである。

4. 塩化カルシウムの使用

塩化カルシウムをコンクリートに加えて初期強度を増し、寒中における凍害の防止、養生期間の短縮、型わく取りはずしの促進に役立てようとするのは古い時代から行なわれていた。現行の土木学会標準示方書でも無筋の69条に「寒中コンクリートにはセメント重量の1%程度の塩化カルシウムを加えてつくったAEコンクリートを用いるのがよい。ただし、硫酸塩の作用を受ける場合

には、塩化カルシウムを用いてはならない。」72条には養生期間を規定し、鉄筋コンクリートの場合には塩化カルシウムの使用を推奨はしていないが用いる場合の養生をその78条に規定している。また、ACI基準も1956年の改正で1%程度の塩化カルシウムの使用を推奨していたが種々の欠陥の発生、あまり用いられていない実状、RILEM指針が推奨していないことなどから1966年の改正では用いるかどうかを使用者に委せることに改められている⁽⁴⁾。

塩化カルシウムを用いれば初期の強度が増進することは従来から明らかであったが、長期強度、耐久性のほか鉄筋の腐食などに問題があった。筆者らが寒冷地のコンクリートに用いた場合の強度、凍結融解の反覆作用に対する抵抗性に及ぼす影響を主たる目的として試験を行なった結果⁽¹⁰⁾、NonAEコンクリート ($w/c = 0.5$) では材令1日の圧縮強度は1%の混和により塩化カルシウムを用いないとき $22\text{kg}/\text{cm}^2$ のものが $60\text{kg}/\text{cm}^2$ に、材令3日では $103\text{kg}/\text{cm}^2$ のものが $173\text{kg}/\text{cm}^2$ に増し、AEコンクリート ($w/c = 0.5$) では材令1日の圧縮強度は1%の混和により $12\text{kg}/\text{cm}^2$ が $25\text{kg}/\text{cm}^2$ に、材令3日で $78\text{kg}/\text{cm}^2$ が $148\text{kg}/\text{cm}^2$ に、それぞれ増進した。

しかし、材令の進行とともに効果が低下し長期では逆に混入しないものよりも低くなった。また、凍結融解の反覆作用に対する抵抗性は図-1に示すように、NonAEコンクリートでは塩化カルシウムを加えないとき養生日数の長いほど増大するが、塩化カルシウムを加えると、材令の若いうちは養生日数に比例して増大するが、ある養生日数をこえると逆に低下する。この養生日数の限度は、塩化カルシウムの多いものほど若令であって、1~2%では約28日、3~5%では約7日と思われる。AEコ

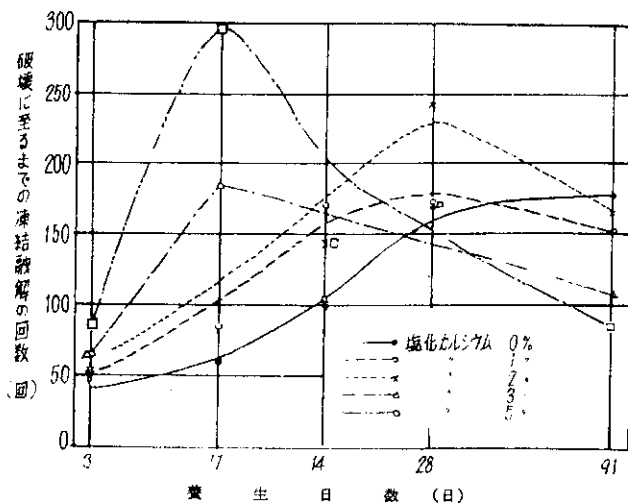


図-1a AE剤を用いないコンクリートの養生日数と破壊に至るまでの凍結融解の回数との関係

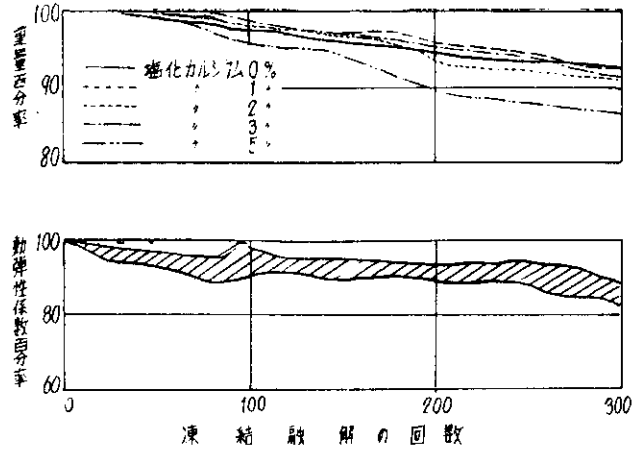


図-1b 材令28日から凍結融解を開始した場合のAEコンクリートの凍結融解の回数と重量百分率、動弾性係数百分率との関係

ンクリートの場合は、NonAEコンクリートの場合ほど塩化カルシウムの影響が明瞭ではないが、塩化カルシウムを混入すればいくぶん悪影響を与える。これらのことから、塩化カルシウムは材令初期の強度増進のためにはきわめて有効であり、また、材令初期にきわめて激しい凍結融解のくり返し作用をうける場合にも有効である。しかし、凍結融解に対する初期の抵抗性を増大させるためにNonAEコンクリートに塩化カルシウムを用いるよりもAEコンクリートを用いるほうがより効果的であり、強度上必要あれば塩化カルシウムを加えるのがよいであろう。塩化カルシウムの混入による最終耐久性の減退、鉄筋腐食の可能性などの不利益と寒中コンクリートの施工におけるそれを用いない場合の型わく存置期間の延長、供用開始時期の遅延など主として強度上の不利益とを比較して塩化カルシウムの使用の適否あるいは使用量を定めるべきであろう。北海道開発局の工事仕様書では「とくに指示された場合のほか、コンクリートの硬化促進あるいは凍結温度を下げる目的で混和材料を使用する場合は監督員の承諾を得なければならない」と定めている⁽¹¹⁾。

5. ひびわれ

寒中コンクリートでは保温終了後上屋その他の被覆物を除去してせき板の取外しを行なうが、この各段階で徐々にコンクリート温度を下げるのが重要で、保温終了後一挙にせき板まで取外すことは厳に慎まなければならない。給熱保温養生中はセメントの水和熱のためとくにマツブな構造物ではかなりの高温になっている。これを急激に寒風寒気にさらすことになれば温度応力によってひびわれを発生する危険が多分にある。図-2.3は壁厚50, 120cmのよう壁の各深さのコンクリート温度の履歴を自記温度計によって記録した例で、断面の大きさ、保

温設備の相違が所要給熱時間、表面と内部の温度分布に及ぼす影響がよくわかり、施工計画のむずかしさがうかがえる。

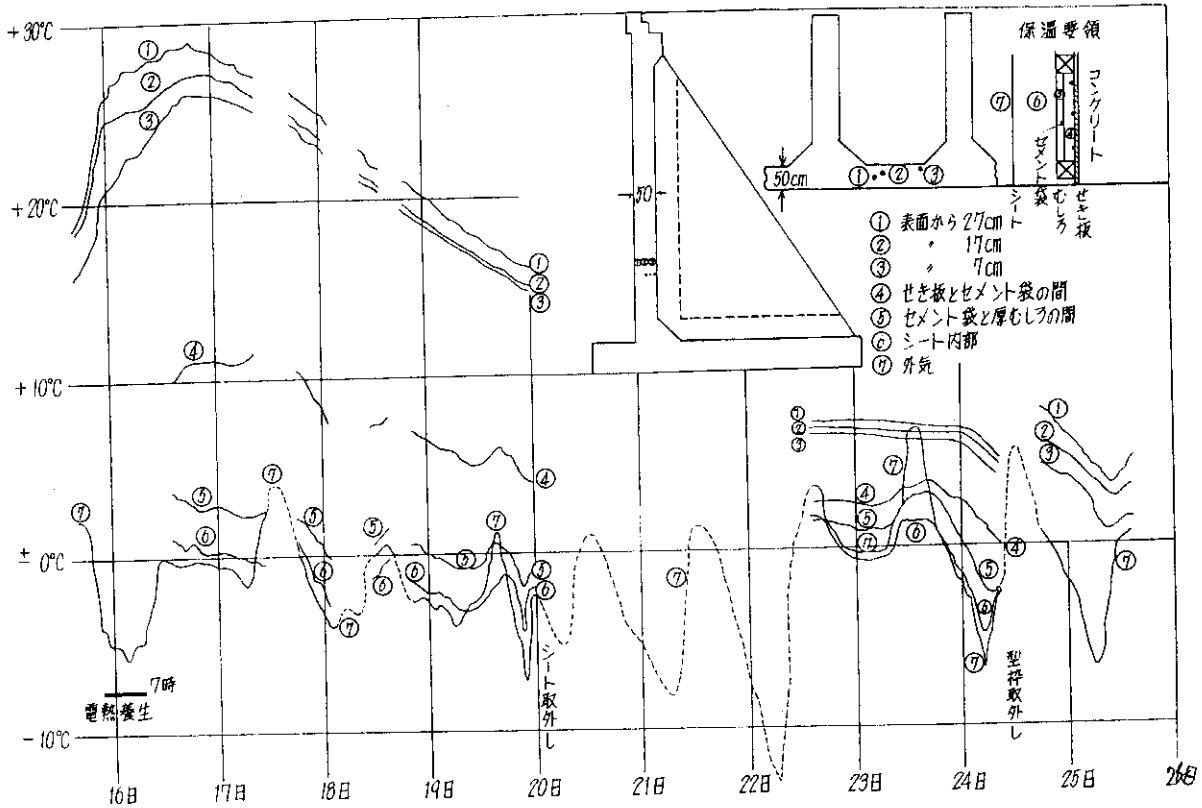


図-2

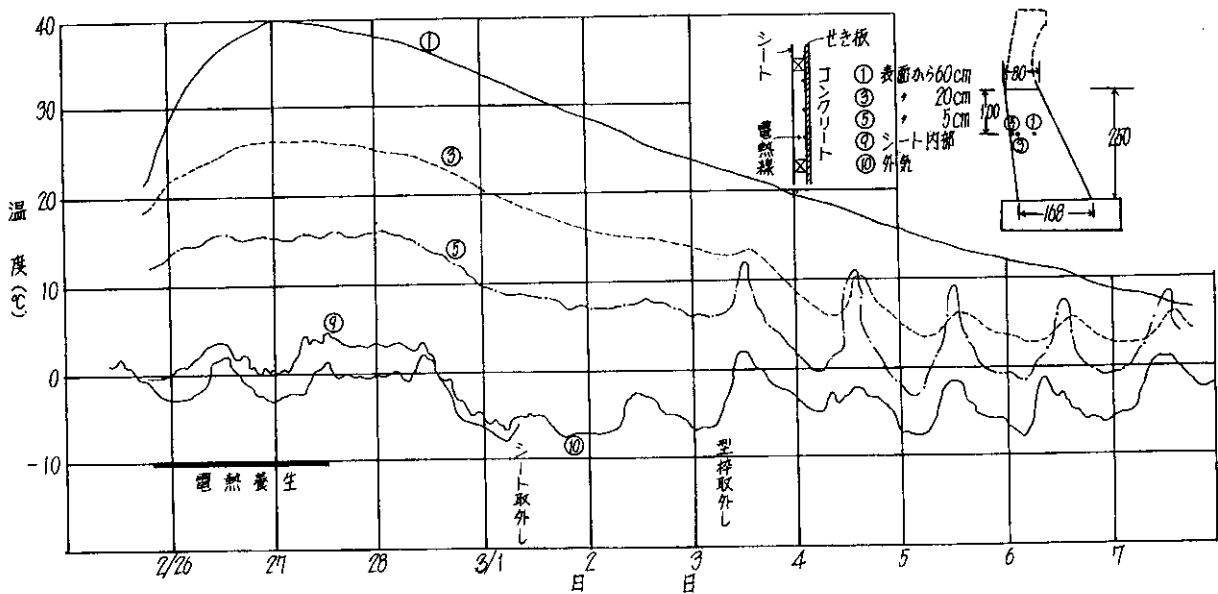


図-3

6. 品質のバラツキ

寒中コンクリートでは夏期施工の場合に比べて品質のバラツキの要素が多くなる。(1)中小工事でコンクリート量のあまり多くない場合には骨材の貯蔵方法が不確実で氷雪の混入する機会が少なくない。また、木炭・薪などによる鉄板上での加熱はもちろんスチーム加熱電氣的加

熱によるにしても夏期よりも表面水を一定に保つことが困難である。したがって、スランプの変動、w/cすなわち強度・耐久性などの変動が犬きくなりやすい。(2)各材料を加熱する場合もそれぞれ一定温度に加熱することが困難であるからコンクリート温度のバラツキも夏期よりは大きくなる。(3)このほか普通の試験結果に表われない

ものとして気温・風雪と労務者の能率との関係などによって打込み締め程度にバラツキが生じる。一例としてコンクリート量約600m³のよう壁工事の各種のバラツキを表に示す。

表-1 材料およびコンクリートの温度、骨材表面水量のバラツキ

（細骨材の温度、表面水量はバッチャーに入る直前のベルトコンベアから1バッチ分ごとに一定間隔で10回、粗骨材は40~50回にわけて試料を採取し、その平均値をバッチ内の骨材試験値とした。強度試験用供試体は各バッチから2個採取し、標準養生を行ないその平均値を試験値とした。

月 日	測定バッチ数	温 度 (°C)															表面水の 変動係数 (%)		τ ₂₈ の変 動係数 (%)				
		セ メ ン ト	細 骨 材			粗 骨 材			水			練上がりコ ンクリート			打込みコ ンクリート			細骨材		粗骨材			
			min	max	平均	min	max	平均	min	max	平均	min	max	平均	min	max	平均						
2月26日	8		0.27	2.61	0.45	3.0	1.0	45.3	-0.9	17.0	6.8	43	55	48.5	18.0	24.0	20.1	—	—	—	18.7	15.5	27.7
2月27日	8		0.26	0.49	0.38	3.3	2.5	5.2	3.9	43	60	54.4	16.5	28.0	22.4	14.0	24.5	18.7	9.8	33.5			
3月1日	3	-3.5	16.0	59.0	40.7	0	8.5	3.2	50	56	53.2	12.0	28.0	20.3	11.0	24.5	18.0	13.2	14.0				

7. 寒中コンクリートの工費

寒中コンクリートは工費がかさむので一般の場合得策でないと考えられている。構造物の早期完成によって大きな経済効果を生むことの明らかな場合、冬期渇水を利用する場合などには施工されているが、経済効果の算定が困難な場合も多いかと思われる。冬期施工の純工事費は割高であることは論をまたないが、初期の低温養生が⁽¹¹⁾⁽¹²⁾将来のコンクリート品質に与える好影響をはじめ構造物の早期完成による経済効果、遊休施設、機械、労働力の活用、冬期工事の実施による社会的経済的利益など大局的に検討する余地があるように思われる。純工事費に影響する問題として骨材問題、コンクリートの施工などを考えてみる。

骨材には河川・海岸の天然骨材のほか砕石などの人工骨材があるが、積雪がほとんどなくかつ結氷しない河川あるいは海岸であれば採取上の問題はなく単に採取した骨材の貯蔵中の凍結を防ぐのみでよい。凍結がストックパイルの内部へ進むようなことがあれば、積込みが困難となるので運搬トラックの到着を待って採取し直接積込む方式をとることも考えられる。ただ、水中掘削にせよ陸上掘削にせよ水を伴うものであるから機械設備の凍結を防止する必要がある。冬期必要量を降雪前に採取し、現場に搬入しておくことができればよいが、この場合、大きな工事ではストックパイルの規模を大きくしなければならないという問題がある。工費に大きな影響を与える他のものとして養生期間と温度がある。これは寒中コンクリートの生命でもあるので慎重でなければならないことは既述のとおりであるが、工費の増加を最小限にする方法を検討する必要がある。その他多雪地帯では骨材採取地をはじめ資材運搬路、工事現場内などの除雪問

題があり、現場の地理的条件、気象条件などをどのように克服していくかは今後の重要な課題であろう。

あ と が き

寒中コンクリート施工上の問題点のうち2、3の私見を述べたが、7.でふれたような初期低温養生の効果を考えるとき、冬期は夏期よりもコンクリートにとって有利であるともいえる。近年労務者不足対策などから冬期工事の促進化が検討されているが、社会的経済的利益をも考慮するとき一日も早く問題点の解決をはかる必要があるものと考えられる。

参 考 文 献

- (1) 横道英雄：寒冷地におけるコンクリート [1.2]，土木学会誌42巻12号，43巻1号，昭32，12，昭33，1
- (2) 林 正道：寒冷地のコンクリートとその施工Ⅰ，Ⅱ，土木技術資料4-11，12，昭37，11，12
- (3) T.C.Powers：Prevention of Frost Damage to Green Concrete，RILEM Bulletin No.14，1962
- (4) Recommended Practice for Cold Weather Concreting [ACI 306-66]，ACI Journal Mar. 1966
- (5) Winter Construction Committee：Rilem Recommendations for Winter Concreting，RILEM Bulletin No.21，1963
- (6) 洪 悦郎：RILEMの寒中コンクリート施工指針，セメントコンクリートNo.214，1964，12月

- (7) Erik Rastrup : Required Prehardening Time by Freezing of Green Concrete in Relation to the Cements Classified in "Rilem Recommendations for Winter Concreting" RILEM Bulletin No.23, 1964
- (8) T. Takahashi, M. Hayashi : Effect of Initial Curing on the Strength of Concrete in Winter, Proceedings, RIREM Symposium on winter Concreting, Feb, 1956
- (9) A. Voellmy : High Concrete Quality in Cold Weather, Proceedings, RILEM Symposium on Winter Concreting, Feb, 1956
- (10) 林正道, 本間清 : 塩化カルシウムを用いてつくったコンクリートの諸性質に関する実験的研究, 土木試験所報告第24号, 昭35
- (11) 北海道開発局土木工事仕様書
- (12) A. E. Mironoff : The Influence of Low Temperature on Hardening of Cement Mortar, Proc. of ASTM, Vol. 36, 1936
- (13) 高野俊介 : 打込み温度がマスコンクリートの強度に及ぼす影響の研究, 土木学会論文集第26号, 昭30.

調査試験計画

石狩湾沿岸漂砂調査について

港湾研究室

昭和40年度より数年間にわたって石狩湾沿岸の漂砂調査を行なうことになり、諸準備を終わって本年度から本格的な現地調査を進めている。同調査は将来の本道開発の一翼をになうため、石狩湾沿岸に新港建設の計画があるので、港湾の位置および性格などを決定するために、自然条件についての基礎資料を得る目的で行なっているものである。

調査は現在沿岸漂砂を定性的、定量的に把握することを主眼にしており、小樽内川地区、鯨塚地区、石狩河口地区の3区間に分けて、波浪観測（これはステップ式波高計による定時観測の実施およびミリ波レーダー装置に

よる波向観測（12月配置）沿岸流調査（漂流棒追跡法ならびに自記流向・流速計による測定）漂砂調査（竹桿トラップ方式による浮遊砂量の測定）汀線測量（汀線の季節的変動量を測定）および深淺測量（季節的海底地形の変動）などを実施している。

また、調査範囲は図に示すように、銭函から知津狩間24kmの広範囲であるため、石狩町に港湾研究定の分室を置くことになり、事務室（33㎡）車庫（66㎡）を建設している。調査スタッフは当所港湾研究室員5名と数名の非常勤者員との構成により調査を実施している。

石狩湾沿岸漂砂調査区域一般平面図

