HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	寒冷極寒期に施工の場合のコンクリートと鉄筋の附着強度（第2報）
Author(s)	洪, 悦郎
Citation	北海道大學工學部研究報告, 16, 197-213
Issue Date	1957-06-05
Doc URL	http://hdl.handle.net/2115/40608
Type	bulletin (article)
File Information	16_197-214.pdf

Instructions for use

Hokkaido University Collection of Scholarly and Academic Papers : HUSCAP

寒冷極寒期に施工の場合のコンクリートと鉄筋の附着強度 (第2報)

洪　悦　郎

(昭和32年2月28日 受理)

Bond Strength between Concrete and Reinforcing Bars in the Case of Cold Weather Concreting

Yoshiro Koh

Abstract

This paper presents the data obtained from the second experiment on the influences of the freezing and thawing action on the bond strength between concrete and reinforcing bars in the case of cold weather concreting.

The test specimens, not removed from the mold, were cured in air at 10°C for 3 days from the time of placing concrete. It is considered that the effect of this curing is similar to that at 5°C for 5 days.

The test specimens were wrapped in polyethylene tubes to avoid the drying of surfaces of them, and they were frozen in air for 20–22 hours. The thawing was carried out in water at 6–9°C for 30–60 minutes according to the frozen state of them. The polyethylene tubes were removed from the specimens during the thawing period.

The bond stress-slip curves and several figures, showed the decrease of the bond and compressive strengths by the action of freezing and thawing, are presented.

From these figures we can suppose that the bond strength was more greatly influenced by the action of freezing and thawing than the compressive strength, and that the curing at 10°C for 3 days or at 5°C for 5 days should be the minimum for cold weather concreting.

目　次

1. 緒　言 …… 2
2. 研究計画の大要 …… 2
3. 第二次実験の計画と実施 …… 2
4. 使用材料及びコンクリートの調合 …… 6
5. 引抜試験装置 …… 7
6. 試験体の作製とその初期養生 …… 7
7. 鉄筋の附着力試験の実施 …… 7
8. 試験の結果及び結果に対する考察 …… 8

1. 緒 言

本研究は前報[1]に引続き“寒冷地に於けるコンクリートの性状に関する研究”[2]の中特に“コンクリートの初期凍害に関する研究”の一項目として進めて来たもので，その目的については既に前報[1]に述べた如くである。今回の報告はその対象として鉄筋コンクリート建築物が寒冷極寒期に施工され，日本建築学会標準仕様書に制定する所定の養生期間に相当する養生は行なわれたが，初期材齢において凍結融解の繰返し作用を受ける場合を考えて行なつたものである。

2. 研究計画の大要

前報[1]の2項に述べた如くにコンクリートの凍害については，その被害を受ける時期により3つに分類して考えるのが問題を簡単化するものであると考えている。即ち

(1) コンクリートが充分に硬化し，長期材齢に於いて始めて凍結融解繰返し作用を受ける場合で，材齢で示すと28日以上1年程度のものを対象とするもの。

(2) 施工時期に引続く若い材齢，即ち所定の養生はされたが，材齢3日乃至14日位の間に凍結作用又は凍結融解の繰返し作用を受ける場合を対象とするもの。

(3) 施工が不備で極めて初期の材齢，即ちコンクリート施工第1日乃至第3日迄の間に凍結作用又は凍結融解の繰返し作用を受ける場合を対象とするもの。

の3項目で，本報告は(2)の項目に関するものの中特に一定の養生が行なわれた場合の調合の差，即ち水/セ比若しくは単位セメント量の差を主対象として，凍結融解の程度を極めて緩やかな場合と比較的軽い場合についてコンクリートと鉄筋の附着強度に及ぼす凍害の影響の程度を比較検討することを目的としたものである。

3. 第二次実験の計画と実施

第一次実験[1]に於いては所定の養生を行なつて極寒期に施工したコンクリートが凍結融解作用を1回受けた場合を調合1種につき種々の条件を考え大別して6系列のものを併行して行なつたものである。

第二次実験は初期材齢に於ける凍結融解の繰返し作用がコンクリートと鉄筋の附着強度に及ぼす影響を見ることに主眼があるので，別に進行している“コンクリートの初期凍害に関する実験”[3]に於いて明らかとなつた初期凍害耐力の限界を参考にして，凍結融解繰返し回数を決定し次の様な計画を樹てた。

(1) 引抜試験のみを行い，梁による試験は将来の問題とする。第一次実験で押抜の場合は比較してあるがコンクリートと鉄筋の附着強度は凍結融解操作の簡便をもねらつて引抜試験によることにしたのである。

(2)　鉄筋は引抜試験の関係もあるが，一部露出したままで冷却される。数次に亘つて増築の行なわれる場合の梁及び柱の露出鉄筋を想定すると，これは建築物に於いて最も近い状況になる。又引抜試験による限り多くの場合はこの冷却条件で満足しなければならない。鉄筋が露出しないで冷却される場合は梁型の試験体ならば実験は可能であるが，傾向を見るためには無駄な労力のみが過大になる。

(3)　鉄筋は実情に近いものとして黒皮のままとし，普通丸鋼に限る。第一次実験では異形鉄筋や削り上げをしたものも使用した。

(4)　鉄筋の径は 19 mmφ のみとする。その強度性状は (3) に述べた如く前報[1] と同一のものである。

(5)　鉄筋の埋込方向は鉛直のみとする。第一次実験に於いては水平鉄筋についても検討してある。

(6)　鉄筋を埋込むコンクリート試験体の大きさは第一次実験と同じく使用試験機（アムスラー型 10 トン）の関係で 15 cm 立方体とする。

(7)　コンクリートの調合は第一次実験に於いては 1 種に限つたが，第二次実験は調合の差を見ることもその主要な目的としたため 4 種を選ぶ。但し建築用を対象としてワーカビリチはスランプで 18～20 cm 程度のみに限定し，前述のコンクリートの初期凍害に関する実験[3] に於いて採用した調合をそのまま採用する。

(8)　極寒期の施工条件として，

(イ)　養生温度及び期間は日本建築学会建築工事標準仕様書 J.A.S.S. (Japanese Architectural Standard Specification) 5 (1956) の 9 節「寒冷期及び極寒期のコンクリート施工」による最低要求の 5°C にて 5 日間を実施すべきであるが，設備と実験期間の都合上これと略等価の養生と考えられているし，又土木学会の標準示方書に於いても最低限界としてとつて来た 10°C にて 3 日間を採用する。

(ロ)　コンクリートの練上り温度はしたがつて 10°C とする。

(ハ)　鉄筋表面の条件は乾いたもののみとする。氷の附着した場合は第一次実験に於いて附着強度を低下することを認めている。

(ニ)　初期養生期間後の低温の程度としては 2 種を選び，−5°C 前後（容積約 0.7 m^3 の低温庫使用）及び −20°C 以下（容積約 25 m^3 の低温室使用）とする。

(9)　凍結融解の方法

(イ)　凍結の温度は (8)(ニ) に述べた 2 種とする。使用した低温庫及び低温室の容量が異なるので，冷却の速度はその容量と温度差によつて決まるから，これをそれぞれ凍結の極めて緩い場合と，軽度の場合とに想定する。

(ロ)　凍結の際には建築物では水利関係構造物と異なり，氷結する際に外部から圧力の加わる場合は余り考えられないので，今回は第一次実験[1] 以後の諸実験に於いて，新らしい

試みとして著者の採用した方法，即ち水分の過剰な蒸発を防いだ状態で凍結する様に，1箇ずつポリエチレンチューブで試験体を包装して凍結する方法を採つた。随つて既往の諸家の空中凍結よりも水分のある状態で凍結が進行する筈である。

(ハ) 凍結時間は凍結融解を試験体総数から考えて1日1回としたために20～22時間とする。但し凍結融解の状況及び凍結融解終了後の養生条件を揃えるために，−20°C以下で凍結させるものは第1回の凍結を長くした。

(ニ) 融解の方法はポリエチレンチューブ包装を解き，試験体を取出し充分な容量のある約6～9°Cの水槽中に間隔をおいて浸漬することとする。

(ホ) 融解の時間は第一次実験及び他の実験により，凍結の程度により異なるが凡そ30分～1時間とすれば充分であることを確認してあるから，凍結温度と水温により上記の時間の範囲で時間の増減を調節する。

(10) 凍結融解の回数

前記の如く，別の実験[3]により回数を決定しTable 1に示す如く計画実施する。

Table 1.

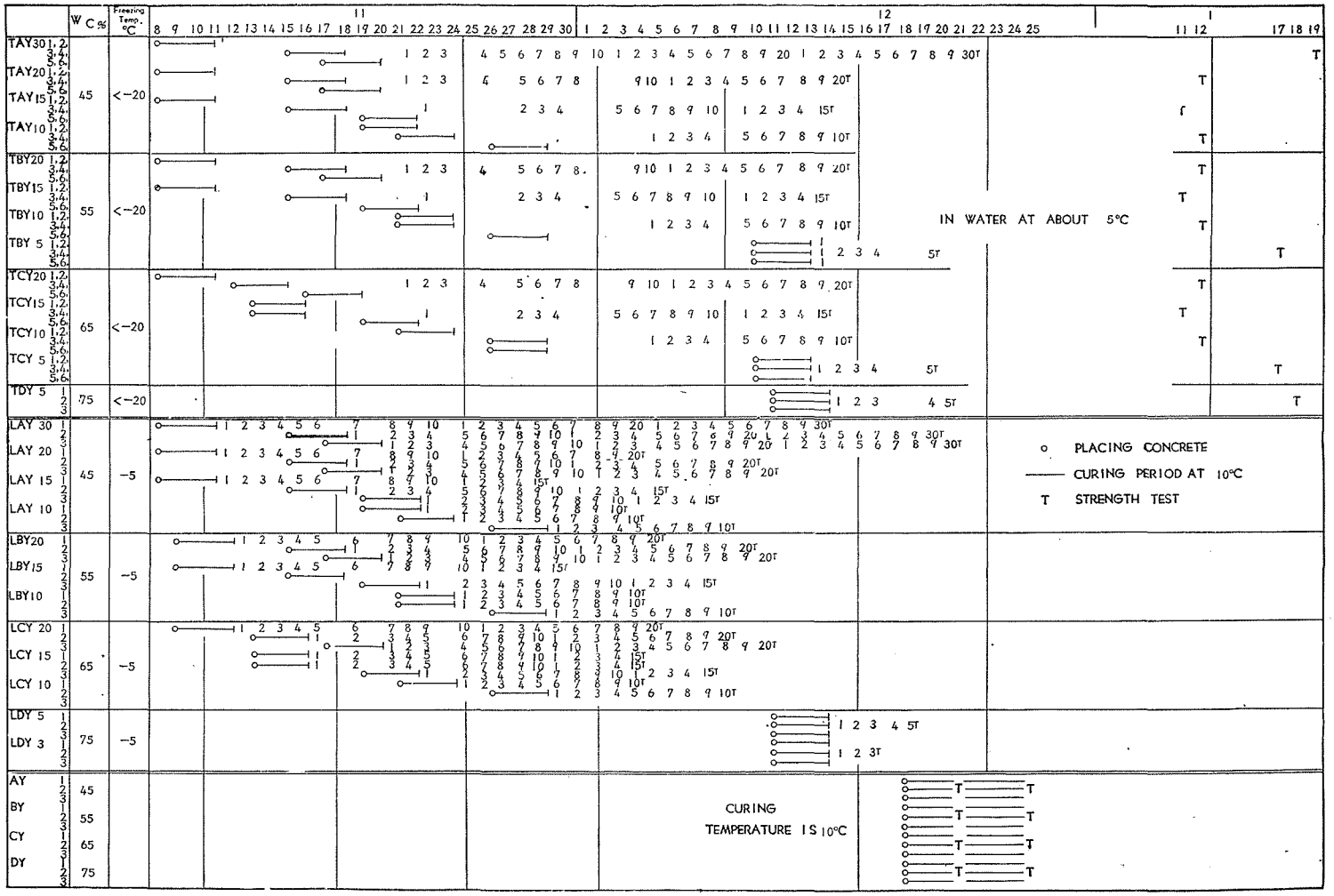
	W/C (%)	Freezing Temperature	Number of Freezing & Thawing Cycles					
			3	5	10	15	20	30
TAY	45	Below −20°C			○	○	○	○
TBY	55			○	○	○	○	
TCY	65			○	○	○	○	
TDY	75			○				
LAY	45	At −5°C			○	○	○	○
LBY	55				○	○	○	
LCY	65				○	○	○	
LDY	75		○	○				

(11) 試験を行なう材齢としては，(イ)凍結融解を所定回数終了後直ちに行なうもの，及び(ロ)−20°C以下で凍結するものでは凍結融解を所定回数終了後約5°Cの水中で28日間養生し，その強度回復状況を調べるものとの2種とした。

(12) 比較用として10°C空中にて型枠のまま3日間，及び脱型してからはポリエチレンチューブに包んで空中に於いて10°Cで材齢7日迄養生するものを作製する。

(13) 試験体数は各材齢毎に3本宛とし，型枠の数の関係から総て3回に分けて作製し，同一バッチのものが凍結回数の違うものに分散し，作製時の条件の差が凍結融解回数の附着強度に及ぼす影響に表われにくい様に計画的に作つた(Table 2)。

Table 2.


W C %
Freezing Temp. °C
11
12
1
TAY30 1.2. 3.4. 5.6.
TAY20 1.2. 3.4. 5.6.
TAY15 1.2. 3.4. 5.6.
TAY10 1.2. 3.4. 5.6.
TBY20 1.2. 3.4. 5.6.
TBY15 1.2. 3.4. 5.6.
TBY10 1.2. 3.4. 5.6.
TBY 5 1.2. 3.4. 5.6.
TCY20 1.2. 3.4. 5.6.
TCY15 1.2. 3.4. 5.6.
TCY10 1.2. 3.4. 5.6.
TCY 5 1.2. 3.4. 5.6.
TDY 5 1 2 3
LAY 30 1 2 3
LAY 20 1 2 3
LAY 15 1 2 3
LAY 10 1 2 3
LBY20 1 2 3
LBY15 1 2 3
LBY10 1 2 3
LCY 20 1 2 3
LCY 15 1 2 3
LCY 10 1 2 3
LDY 5 1 2 3
LDY 3 1 2 3
AY 1 2 3
BY 1 2 3
CY 1 2 3
DY 1 2 3
45
55
65
75
<−20
−5
IN WATER AT ABOUT 5°C
CURING TEMPERATURE IS 10°C
o PLACING CONCRETE
CURING PERIOD AT 10°C
T STRENGTH TEST

試験体総数は105本である。

(14) 前記の"コンクリートの初期凍害に関する実験"は初期養生が5°Cで5日間のもので，4種の調合につき実験を進めているが，主として動弾性係数を梁の撓み振動法により測定してその低下状況を調べている実験である。今回は初期養生は略等価と考えられるので，附着強度試験体以外に7.5×7.5×40 cmの梁型供試体を同数作り，動弾性係数の低下を測定すると共に所定回数の凍結融解繰返し後の曲げ及び部分圧縮強度とその後の養生によるこれ等の強度の回復状況も併行して調べた。この結果については別に報告する。

4. 使用材料及びコンクリートの調合

(1) セメント

某社製普通ポルトランドセメント1種（同社の寄贈品，記号 N_6，昭和31年9月末日入荷品）で，このセメントの強度試験結果は Table 3 の如くである。

Table 3. Strength of Cement
[Tested by JIS R 5201]

	Cement	Flow	Flexural Strength σ_b kg/cm²			Compressive Strength σ_c kg/cm		
			3 d.	7 d.	28 d.	3 d.	7 d.	28 d.
N_6	Normal Portland Cement	209	24.9	44.4	60.4	103	222	389

(2) 骨　　材

細骨材は札幌郡広島村産，山砂水洗品で5 mm篩を全部通過したもの。第一次実験と同一品を使用している。F.M. は2.99。

粗骨材は鵡川産，川砂利を水洗しながら篩い分けたものを重量で5～10 mmを30%，10～25 mmを70%宛再び混合して使用した。随つて粒度構成は大略第一次実験と同じである。

(3) 鉄　　筋

普通丸鋼の19 mmφ，札幌市内市場品。

(引張強度試験結果は第一次実験参照)

鉄筋は第一次実験に使用したものを良く清掃し，薄く油を塗布して保存してあつたが，それを先ず油分除去のためセメント液にて充分洗い，更に水にて洗滌してから使用した。

(4) コンクリートの調合

コンクリートの調合は"コンクリートの初期凍害に関する実験"[3] とセメントは異なるが骨材はすべて同じであるところから，それとの比較も考えて同じ調合にする様にした。この調合を決定した際は試し練りによつて決めたものなので，スランプについては再確認をしてから同一調合にすることを決定した。

水/セ比は第一次実験もそうであるが，表乾骨材をもとにして算定している。

ただ第一次実験では粗細骨材比 G/S を 1.51 としたのに対し，今回は多少砂の多い 1.40 とした。

又スランプを略一定にしているから，コンクリート 1 m^3 当りの水量は略一定で，単位セメント量が水セ比と共に変化している [Table 4]。

Table 4.

Proportion of Concrete (by weight)	Water Cement Ratio % (by weight)	Slump cm	G/S	kg/m^3	
				Cement	Water
1 : 1.74 : 2.44	45	18	1.40	420	189
1 : 2.14 : 3.00	55	20	1.40	350	193
1 : 2.68 : 3.75	65	20	1.40	291	189
1 : 3.04 : 4.29	75	20	1.41	267	193

5. 引抜試験装置

第一次実験[1] と全く同じものを使用している。

6. 試験体の作製とその初期養生

試験体の作製の方法は第一次実験と全く同じであり，その形は 15 cm 立方体で 3 箇 1 組の木製型枠 (第一次実験 Fig. 3) に鉄筋を鉛直に立て，コンクリートの填充は 2 層とし，各層を型枠の隅迄行き亘らせるために鉄筋の近傍は避けて周辺を約 10 回宛突く様にした。

試験体打込時のコンクリート温度は出来るだけ初期養生温度の 10°C になる様に水温で調節して混練を行なつた。練上り温度の詳細については 3 (14) に記した実験の報告に載せる。

試験体の養生の方法はすべて 10°C で 3 日の養生期間は型枠中におき，蒸発防止のために塩化ビニールシートにて被いをなし，脱型後はポリエチレンチューブにて包装した上で凍結を開始する様にした。

試験体の作製及び養生期間は Table 2 に示した。初期養生は 3 (8) (イ) に記した様にスパイラルレギュレーターを備えた槽内で 10±1°C にて 3 日間型枠に入れたまま養生を行い，養生期間終了の日に脱型してポリエチレンチューブに包装し，凍結開始時迄槽内に置いた。

7. 鉄筋の附着力試験の実施

3 (11) に述べた様に凍結融解終了時とその後の 28 日の回復養生期間後に引抜により鉄筋の附着力試験を行なつた。その時期は Table 2 に示す如くである。

鉄筋の滑り量は自由端と荷重側に於いて，荷重 0.05 トン毎に測定し，滑り量約 1.5 mm 以上迄の読みをとつた。コンクリートと鉄筋の温度を略一定に保つておくためにも必要なので，試験は湿つたままの状態で試験をすることにしたのは第一次実験と同様である。そうしないで

やると熱伝導の差による膨脹又は収縮の時間的遅れのために過大又は過小の値の出ることが他の附着強度に関する実験で認められたからである。

引抜試験実施後鉄筋の存在する儘で打込方向に直角に加圧板を当ててコンクリートの圧縮強度試験を行なつた。

8. 試験の結果及び結果に対する考察

(1) 引抜試験による鉄筋とコンクリートの附着応力度と自由端及び荷重端に於ける鉄筋の滑り量（鉄筋が太いから鉄筋の伸びによる測定値と滑り量との差は今回の実験の範囲では無視出来る）との関係は Figs. 1～10 に示した。この中 Figs. 1～4 は凍結融解終了後直ちに試験し

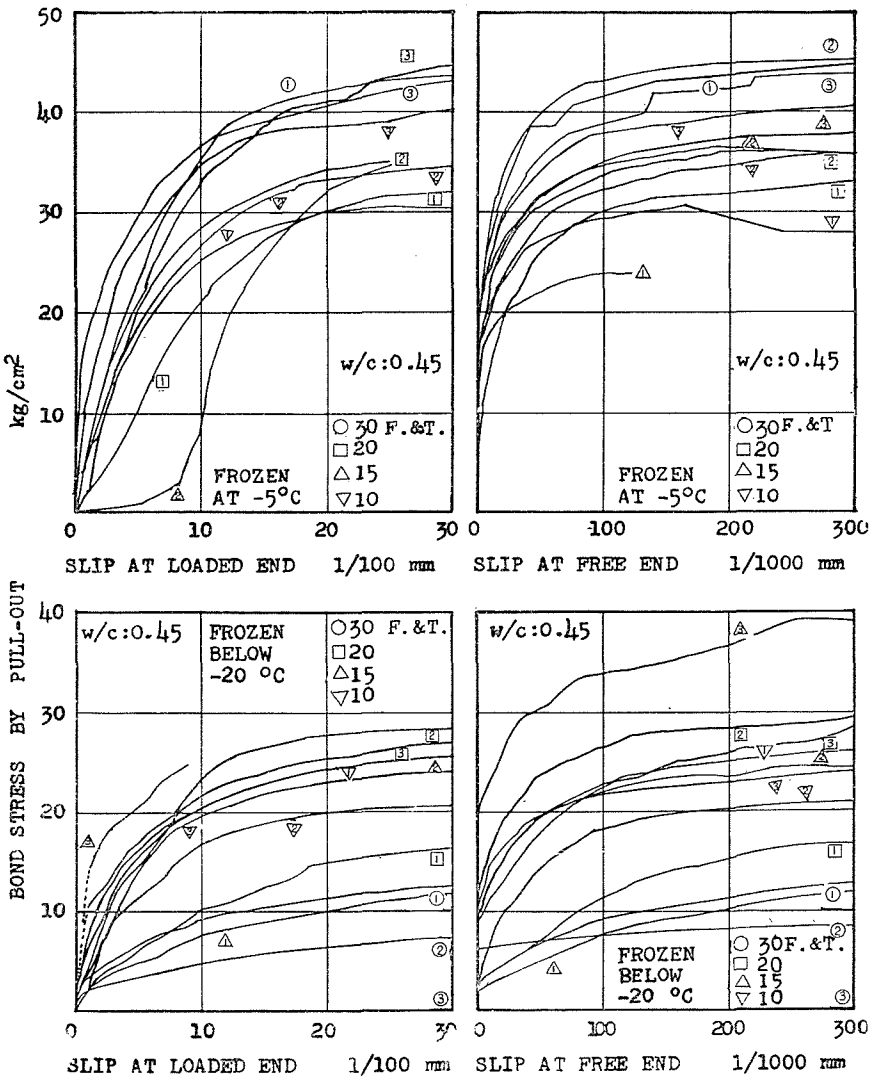


Fig. 1. Tested Immediately after the Final Cycle of Freezing and Thawing.

た結果であり，Figs. 5～8 は凍結融解終了後約 5°C の水中で 28 日間回復養生した後の結果である。Figs. 9～10 は比較用に 10°C で 3 日及び 7 日養生したものの結果である。

これらの図には滑り量は 0.30 mm 迄を示してある。

(2)　引抜試験による鉄筋とコンクリートの附着強度と凍結融解繰返回数との関係を示すと Figs. 11～13 の如くである。附着強度は或る滑り量，例えば米国では 25/100 mm 以下の適当な滑り量に達した時の応力度で比較するのも一方法であるが，比較のために適当な滑り量については種々の問題があるので，今回は一応附着耐力の最高値をもつて示すこととした。

Figs. 14～16 は引抜試験後鉄筋を入れたままで圧縮強度試験を行なつた結果と凍融回数との関係を示している。

Fig. 11 と Fig. 14 は比較用の 10°C で養生した場合と，−5°C の低温庫で凍結を行なつた極めて緩やかな凍結融解繰返し作用によるものとを併せ示している。これで見ると今回の試験の範囲では何等強度の低下を示さないばかりか，水/セ比の小さいもの程大いに上昇を示してさえいる。これは融解時間と凍結時にもゆつくりと冷却されるために氷点以上の低い温度で養

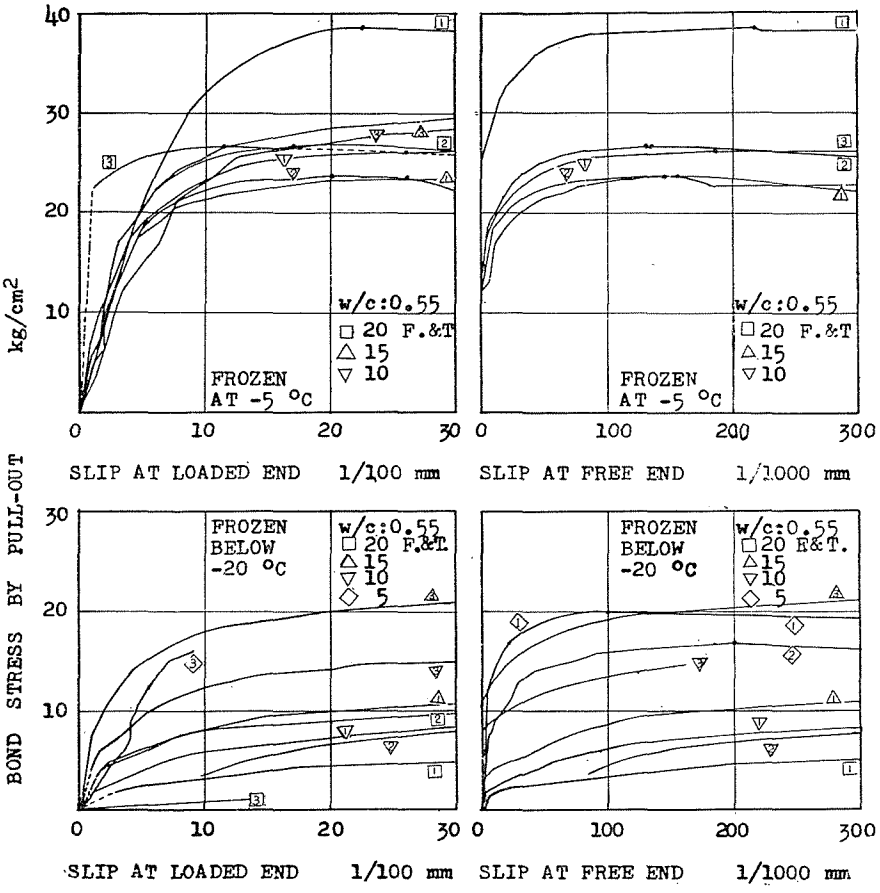


Fig. 2.　Tested Immediately after the Final Cycle of Freezing and Thawing.

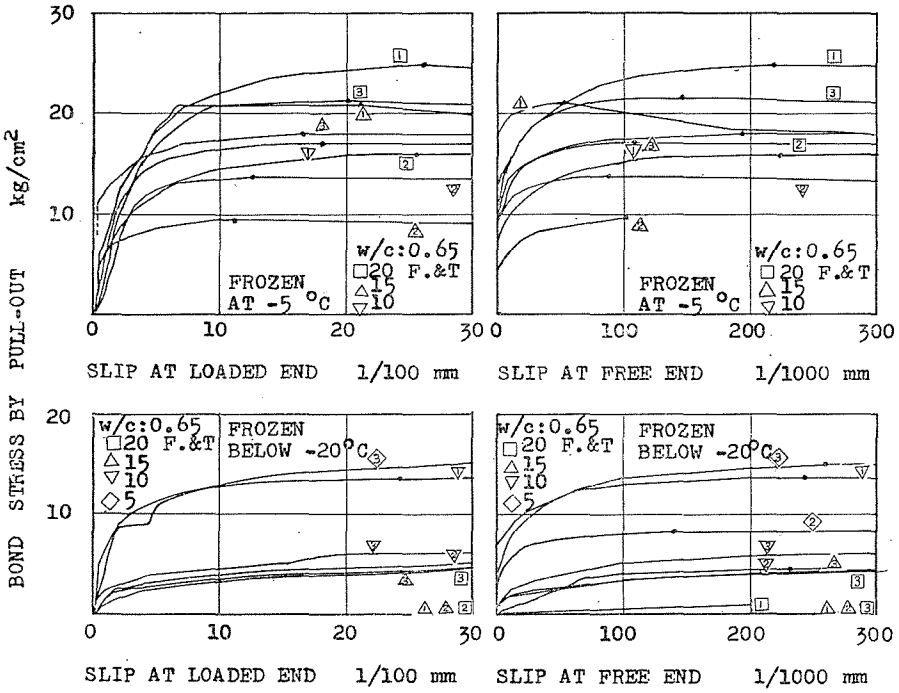


Fig. 3. Tested Immediately after the Final Cycle of Freezing and Thawing.

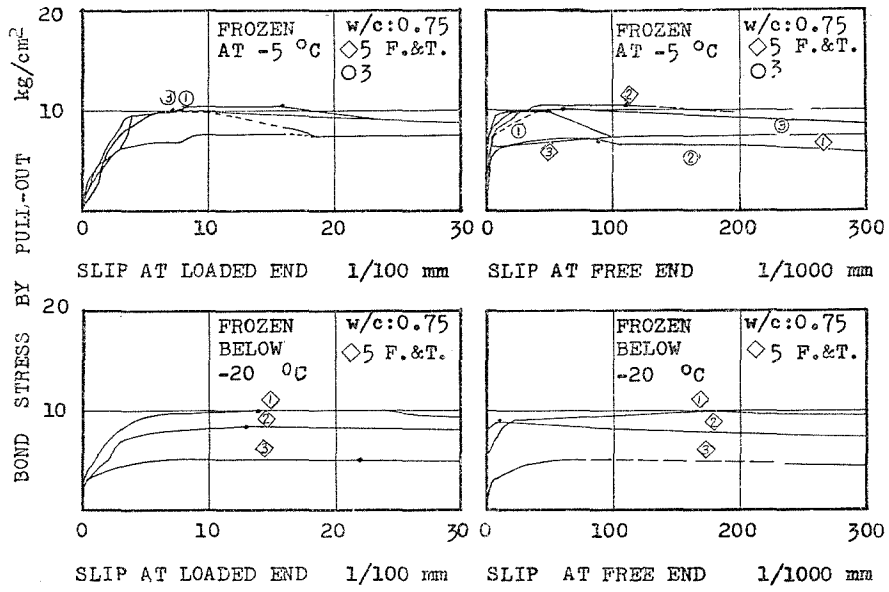


Fig. 4. Tested Immediately after the Final Cycle of Freezing and Thawing.

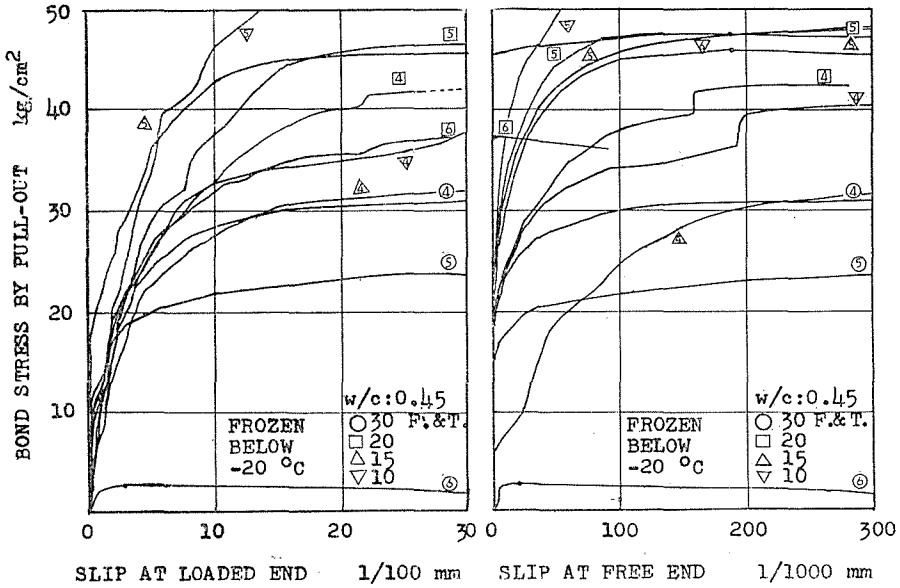


Fig. 5. Tested at the End of 28 Days Curing in water at 5°C after the Final Cycle of Freezing and Thawing.

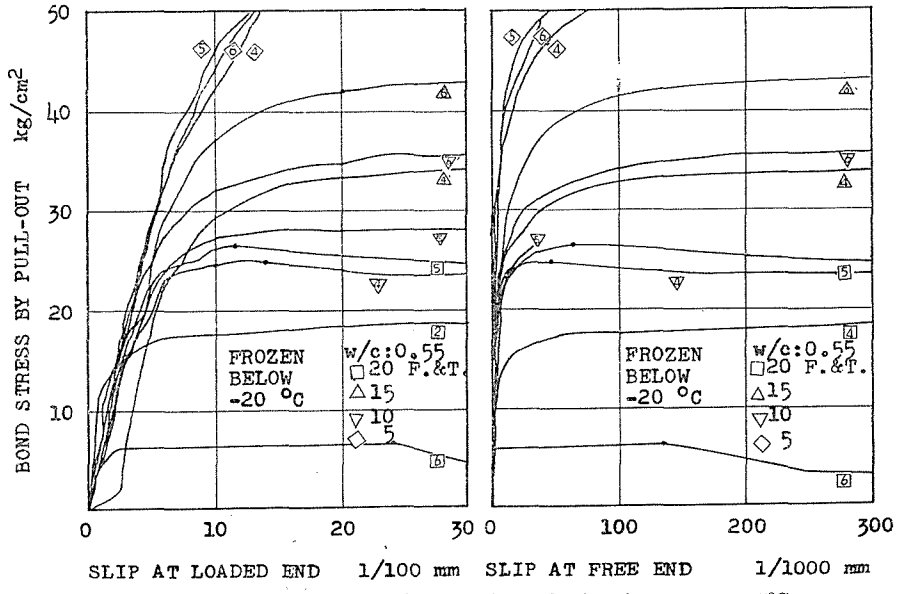


Fig. 6. Tested at the End of 28 Days Curing in water at 5°C after the Final Cycle of Freezing and Thawing.

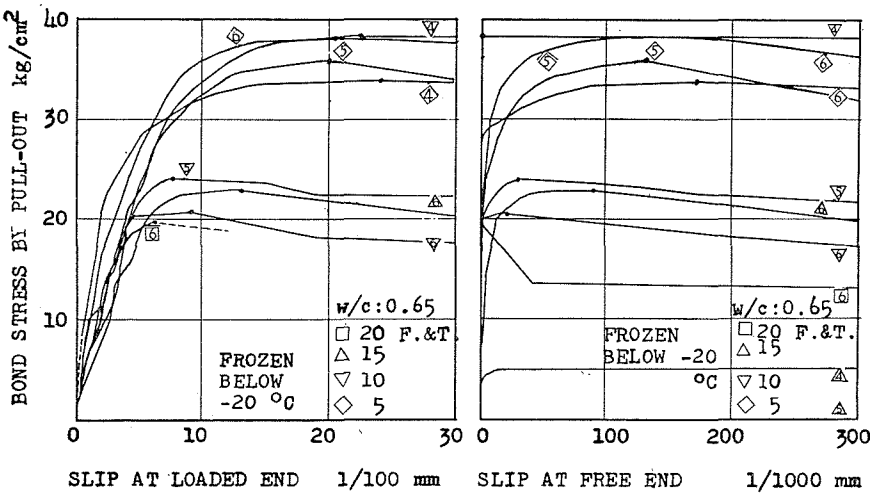


Fig. 7. Tested at the End of 28 Days Curing in water at 5°C after the Final Cycle of Freezing and Thawing.

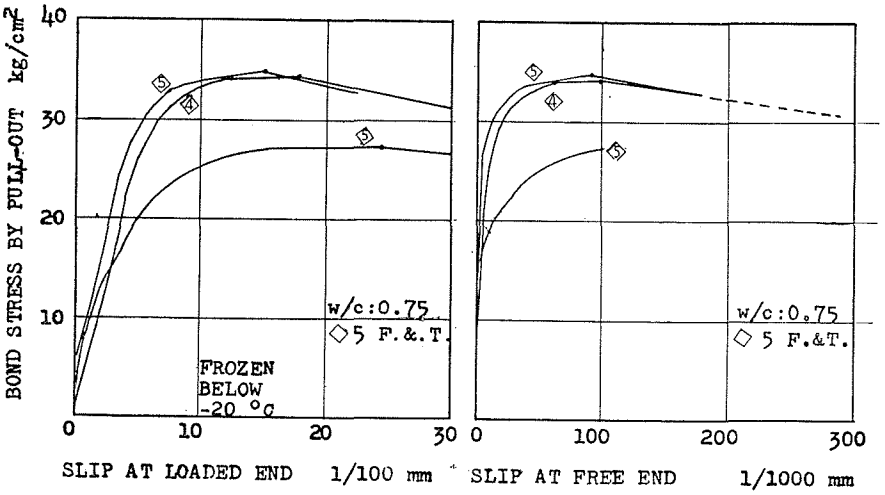


Fig. 8. Tested at the End of 28 Days Curing in water at 5°C after and Final cycle of Freezing and Thawing.

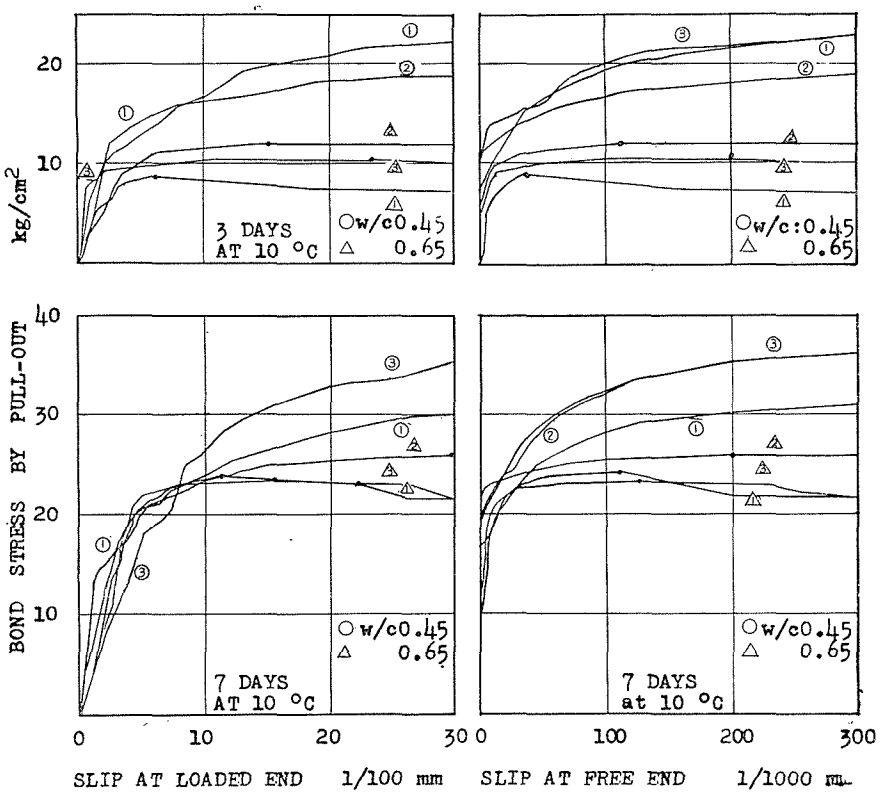


Fig. 9. Tested at 3 and 7 Days. Curing Air Temperature was Maintained at 10°C

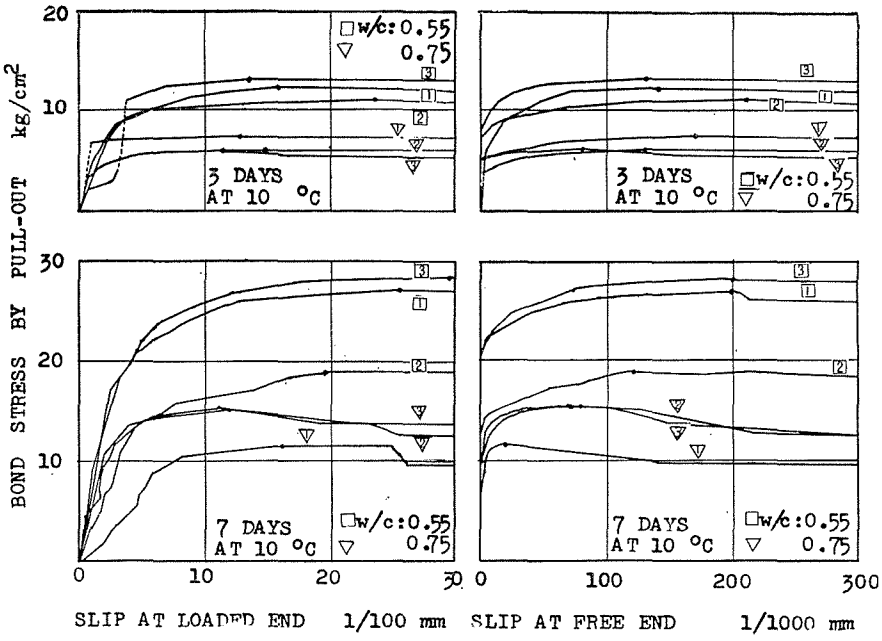


Fig. 10. Tested at 3 and 7 Days. Curing Air Temperature was Maintained at 10°C.

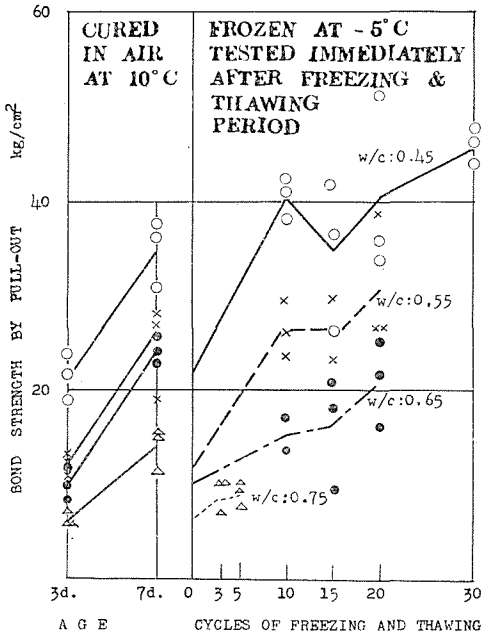


Fig. 11.

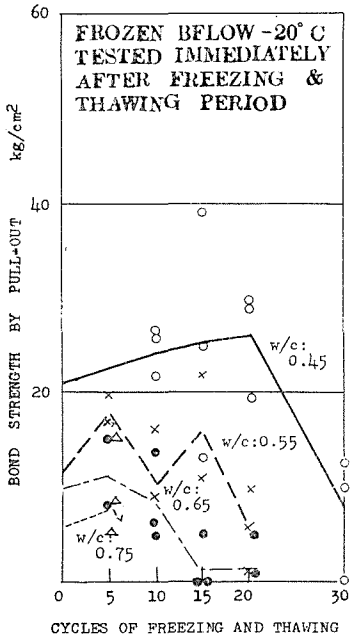


Fig. 12.

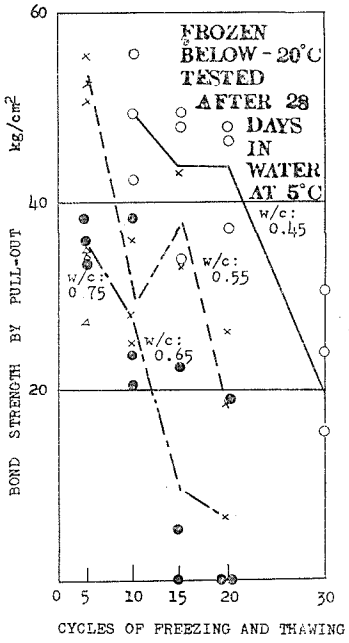


Fig. 13.

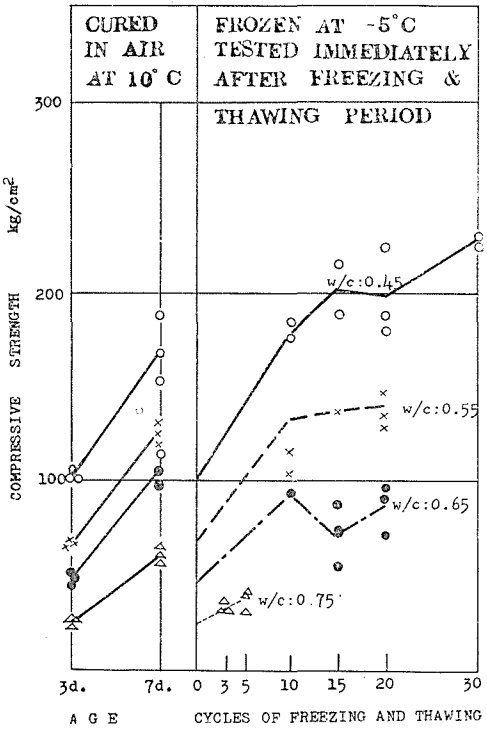


Fig. 14.

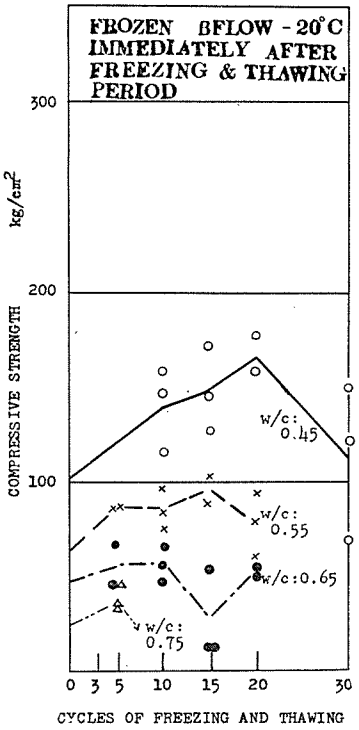


Fig. 15.

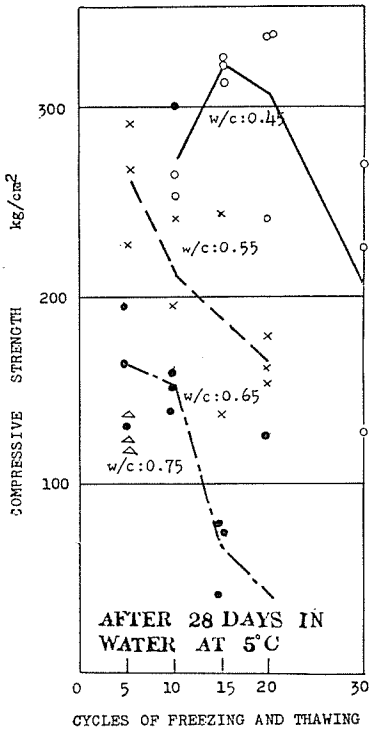


Fig. 16.

生される期間のあることとが大いに影響していると考えられる。凍結融解回数については —20℃で凍結する場合と同じ回数のものしか行なつていないから，この様な緩やかな凍害を受ける限界は不明である。しかしこの様な初期凍害では仕様書規定の養生がある限り一応問題にならないものと考えられよう。

Fig. 12 と Fig. 15 は凍結温度を —20°C 以下とした場合の附着強度及び圧縮強度の凍結融解繰返しによる低下状況を示すもので，凡その限界を考えることが出来る。これらの図について云えることは，附着強度の方が圧縮強度よりはるかに影響を受け易く，5回以上少ない凍融回数で被害が目立つ様に見受けられる。

Fig. 13 と Fig. 16 は凍結を —20°C 以下として所定回数凍結融解を行なつた後，5°C の水中で28日間養生した後の強度と凍結融解回数との関係であり，その回復状況は著しい差を見せ，その許容限界値も凡そ考えることが出来る様である。本実験によると 水/セ比 が 45% の場合で約20回，水/セ比 65% の場合で5～10回の間と考えても良いであろう。

即ち軽度の凍結融解作用と考えられる緩速で (1日1回) 気中凍結水中融解の場合でも，圧縮強度より附着強度は露出鉄筋の場合被害を受け易い。

(3) 今回の実験は単位水量を一定にしているから，水/セ比 の小さいもの程，或いはセメント使用量の大なもの程初期凍害に対して有利になることが云える。又スランプを略一定にし

且つ18～20 cmとしているから，これより硬練りのものは当然これよりも有利である。しかしセメント量の増加とスランプの低減との何れが有利となるかは未だ不明である。

(4) ACIの鉄筋コンクリート建築物の算定に使用する許容附着応力度[4]はコンクリートの強度に応じて変えていて合理的であるが，前報にも述べた様に仕様書規定の初期養生で達し得る附着強度の値は極めて小さいことは，型枠除去の際のことを考えた場合再考を要する点ではなかろうか。建築基準法に関して出された建設省告示1467号[5]では，異形鉄筋には圧縮強度に応じて許容附着応力度を変化させているが，日本建築学会の鉄筋コンクリート計算規準では丸鋼に対しては一律に許容附着応力度を7 kg/cm^{2}としているのは，寒い時期に施工の場合は危険側となる場合もある様で不合理な点がある様に思われる。或る一定の方法（鉄筋の径，鉄筋の位置，供試体の大きさ等を一定にする）で使用するコンクリートに就いて附着強度に関する性状を把握して許容応力度を決めることが望まれる。

(5) 初期養生期間については今回の10℃で3日，又はこれに相当する建築学会の規定している5℃で5日というのは，附着強度は圧縮強度よりも種々の因子による影響が大きいので，極寒期に要求される最近の養生限界である。出来れば初期養生期間後も3日間位は凍結させないことが望ましいことである。

アメリカの規定ではAE剤と1%の$CaCl_2$の併用された施工では，構造物の種類と外気温に応じた所定温度（5～10℃）で3日間とされ，その後3日間は凍結させないこととしている。$CaCl_2$を併用しない場合，又は普通コンクリートの場合は初期養生期間は2倍とするのは，国富と気象条件の差もあることながら慎重である。

これを要するに，現在の日本建築学会の規定に相当する初期養生後凍結融解繰返しを受けると，その作用の程度が極めて緩い場合は本実験の範囲では余り害が現われないが，軽度の凍結融解作用の場合は附着強度は圧縮強度よりも影響を受け易く，特に露出した鉄筋の場合の附着力の低減は充分考慮して養生しなければならない。即ち仕様書に規定された最低限界と考えられる初期養生以後も氷点以上の温度に出来るだけ長く保つ様にするのが望ましいことである。

附記： 本研究は昭和31年度文部省科学試験研究費による研究の一部として実施したものである。本研究に使用した設備は建築工学科実験室及び低温研究所低温室であり，実験については北大大野和男教授の御助言を得，当研究室の川上隆司君，芳武哲督君，中西佳代子君，学生池沢康夫君，丹保睦敬君の御支援によるものである。ここに記して厚く感謝致します。

引用文献及び参考文献

（第1報に記載のものは省略）

1) 洪 悦郎： 寒冷極寒期に施工の場合のコンクリートと鉄筋の附着強度（第1報）. 北大工学部研究報告，第11号，昭29. 12.

2) 第1報[1] 中 * 印に掲げた文献.

3) 洪 悦郎: コンクリートの初期凍害. 昭32. 8. 頃発表予定.

4) ACI Standard: Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-56), Proc. ACI, V. 52, May. 1956, pp. 913-986.

5) 小倉弘一郎: 附着力と異形鉄筋, 日本建築学会発行「鉄筋コンクリート構造の諸問題」6編, 昭和30年版.

建設省告示1467号, 昭28. 12. 5.「異形鉄筋を使用した鉄筋コンクリート造について」.