



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1報）
Author(s)	洪, 悦郎; Koh, Yoshiro
Citation	北海道大學工學部研究報告, 11, 1-31
Issue Date	1954-12-10
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/40553
Type	departmental bulletin paper
File Information	11_1-32.pdf



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)

洪 悦 郎

(September 30. 1954)

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

Yoshiro KOH

Synopsis

This paper presents data from studies designed to show the effect of early age curing in case of cold weather concreting by pull-out and push-out bond tests.

Data presented cover the influence of the following factors; type of bar, surface condition of bars, position of the bar with respect to the placing of the concrete, curing method, age of concrete, period of storage in cold room.

Effect of early age curing, five (5) days at 5°C, according to Part 8 ("Cold Weather Concreting") of the Japanese Architectural Standard Specification No. 5, succeeded by four (4) weeks storage in cold room at -5°C or -30°C, thereafter ascended slowly the temperature of curing room from 5°C up to 20°C, on the bond strength and compressive strength was compared with those of the standard curing condition at 20 ± 3°C.

Temperature records and the relation of strengths and degree-day (°C·day) values at ages of test are presented.

To avoid drying after removal from mold, specimens were packed with Vinylchloride sheet and stored in air at given temperature. This method of curing shows good results compared with the specimens stored in water.

Load slip curves are presented based on measurements at both the loaded and the free end of the bar.

目 次

1. 緒言	2
2. 研究計画の概要	2
3. 第一次実験の計画	3
4. 使用材料及びコンクリートの調合	4
5. 引抜試験装置	5
6. 試験体の作製とその養生	8
7. 鉄筋の附着力試験の実施	16
8. 試験の結果及び結果に対する考察	23
9. 引用文献及び参考文献	30

1 緒 言

本研究は“寒冷地に於けるコンクリートの性状に関する研究”^{*)}の一環として行っているもので、その目的は第一に日本建築学会標準仕様書の規定によつて寒冷極寒期に施工した鉄筋コンクリート建築物並びに施工後若い材令で寒気に曝されたコンクリート構造物に於ける鉄筋の附着強度の程度を確かめることである。第二にどの程度の施工時の注意が必要であるかを明らかにし、第三に凍害に起因するものと考えられる鉄筋コンクリート建築物の大きな、き裂被害にこの鉄筋の附着強度が関与するか否かを知らうとするものである。

2 研究計画の大要

コンクリートの凍害については

- (1) 長期材令に於て始めて凍結融解の繰返しとゆう気象作用を受けるものと
- (2) 施工時期に引続く若い材令で凍結作用を受けるものと
- (3) 施工の不備のために初期材令で凍結作用のみ、又は凍結融解作用を受けるものの3つに分けて考えるのが妥当である。

この中(3)は寒冷極寒期の施工に対する準備の不足や、施工時の注意不足によるものである。(1)は施工の良否も関係が大であるが、コンクリートの品質が主として関係してくるものである。(2)は施工に際してコンクリートの品質の面では一応考慮されて施工するものであるから、施工時の養生等の条件が主な因子と考えて凍害問題を考えるべきである。

本研究に於ては(2)を主対象としているが、別に行つている“コンクリートの打継部の凍害に関する実験研究”と関連させ乍ら(1)の問題も取扱い、(3)は補足的に条件の悪い場合として採り上げることとした。即ち、研究テーマを次の諸項目によつて計画立案した。

A) 鉄筋とコンクリートの附着強度を引抜試験によつて検する。

- (1) 凍結融解作用が徐々に、且つ一回だけ行われるもの。之は最も影響の少ない場合として考える。
- (2) 凍結融解作用が数回又は数十回行われるもの。之については Davis 他²⁾の実験に報告がある¹⁾。
- (3) 凍結融解の速度及び強さ。之は凍結と融解の温度差、随つて冷却速度、及び単位時間当りの凍結融解回数等を考える。
- (4) 安全な調合比及び施工時の養生限界。
- (5) 被り厚或いは打込深さの差。之については Menzel 氏の広範な実験²⁾、或いは加藤六美氏の実験³⁾等がある。
- (6) 寒冷極寒期以外の各時期に施工したものについての(1)~(4)項。

B) 梁形試験体による前記の“コンクリートの打継部の凍害に関する研究”の進捗によつて、それと関連させ乍ら附着強度の問題を扱い、剪断補強筋の問題にも触れる予定とする。

3 第一次実験の計画

第一次実験としては、極寒期に所定養生をして施工したコンクリートが養生期間後直ちに低温にさらされ、凍結融解を1回受けた場合の鉄筋との附着強度が低温期間後の温度上昇によつて回復する状況を主眼点として、次の様に計画を立てた。

(1) 引抜試験を主とする。今後の実験のために簡易な押抜試験も比較しておく。(Davis 他2氏の試験¹⁾に常温の場合の結果がある。)

(2) 鉄筋は一部露出したままで冷却される。(吉田徳次郎氏の試験⁴⁾も同様の条件である。)

(3) 鉄筋は黒皮のままを主とし、普通丸鋼及び JIS G 3110 (1953) による異形鉄筋を用いる。押抜の場合は鉄筋を削り仕上げしたものを使用し、引抜との比較のために削り仕上げをした引抜用棒鋼も用意する。(Menzel 氏²⁾は磨き仕上げしたものを用いた引抜試験も行っている。)

(4) コンクリート試験体の大きさは使用試験機(アムスラー型最大容量 10 トン)の関係で 15 cm 立方体とする。(A. S. T. M. C-234-49T に於ては 9 in. 立方体を使用している。)

(5) 鉄筋の径は普通丸鋼は 19 mm ϕ とする。之は主筋として常用されるし、製品の円形度も径の小さいものに比して良好である。一方之よりも大きい径のものは試験機の方で無理となる。

(6) 異形鉄筋の径は試験体の大きさから A. S. T. M. C-234-49T に準じて、東京大学武藤研究室並びに小倉氏の御意見に従つて JIS G 3110 に規定する D 13 を使用することに決定する。

(7) 鉄筋の配置は鉛直及び水平の2種とする。随つてコンクリートの打込方向は鉄筋に平行及び鉛直の2方向となる。(常温養生のものについては Menzel 氏²⁾はこの点についても詳細に報告し、異形鉄筋については数種の報告に見られる。)

(8) 極寒期の施工関係の条件として、

(i) 養生温度及び期間は日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS (Japanese Architectural Standard Specification) 5の8節「寒冷期及び極寒期のコンクリート施工」により、最低要求の 5°C にて5日間とする。

(ii) コンクリートの練上り温度は 5°C とする。

(iii) 前記の如く施工不備の最悪条件として無養生のものを比較する。

(iv) 鉄筋表面の条件として、乾いたものと表面に薄水の附着した場合との2種とする。この水の附着した場合とゆうのは、スチームを使用して型枠内部の氷雪を融解させても、打込迄に時間が過ぎると鉄筋の冷却によつてその表面に氷結するとゆう現場に於ける手順の悪さによる最悪の条件を想定したものである。

(v) 初期養生期間後(無養生のものは最初から)の低温の程度としては、厳冬期の札幌市戸

外、 -5°C の低温庫、 -30°C の低温室の 3 種を選び、低温の期間は戸外を除き 4 週間を主とする。低温期間の差も出来る範囲のみ実施する。

(8) 戸外に保存のものは移動しないが、他のものは低温期間後には気温日変化の少ない半地下室に移す。之は従来のこの種の初期養生の問題を扱った実験は低温から急に 20°C 前後の気温の場所に移して養生しているが、これは実状に遠くなるので、著者の実験に於ては氷結することなく徐々に温度が上昇することを主としている。

(9) 試験を行う材令は養生期間終了時、低温期間経過後半地下室等に於て温度上昇を開始してから 4 週及び 13 週の計 3 材令を主にする。

(10) 試験体数は各材令 3 本宛とし、3 個 1 組の試験体を 1 バッチにて作り、3 つのバッチから各 1 本宛取出して試験することとする。

(11) 比較用として標準温度 ($20 \pm 3^{\circ}\text{C}$) の水中及び空中養生のものを作る。

(12) 戸外放置のものを除き、新しい試みとして空中養生は水分の蒸発による乾燥を防ぐために、すべて塩化ビニール・シートにて包装し、つぎ目はセロテープにて帖る。之は水中養生の場合のコンクリートからのアルカリ溶出による差などもなくなり、多数の試験体を入れ得る恒温設備を有する各種温度に調節した水槽を準備せずに実験を進め得る点に特長がある。特に冷蔵庫等を使用する場合に、従来は試験体を乾かし易かつたのを防ぎ得ると考えられる。

4 使用材料及びコンクリートの調査

(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_{4B}, 昭和 29 年 1 月 26 日入荷品)

このセメントの比重及び強度試験結果は Table 1 の如くである。

Table 1. Cement

No.	Cement	Sp. Gravity ρ	Flow mm	Flexural Strength σ_b kg/cm ²				Compressive Strength σ_c kg/cm ²			
				3d.	7d.	28d.	91d.	3d.	7d.	28d.	91d.
N _{4B}	Portland Cement	3.155	189	24.3	39.0	58.1	71.3	116	186	318	335

Tested by JIS R 5201 ("Standard Method for Testing of Physical Properties of Cement")

Proportion of mortar mix: 1: 2 by weight. Water-cement ratio 65% by weight.

Standard fine aggregate: Toyoura, Yamaguchi-Pref., Japan. (< 0.3 mm)

Shape of specimens for strength test: 4 × 4 × 16 cm prism.

Method of strength test:

Flexural Strength: loaded at the center point of 10 cm span, calculated by $\sigma_b = 0.234 P$ (kg/cm²), data are mean of 3 specimens.

Compressive strength: tested by 4 × 4 cm metal bearing plates using broken portions of prisms.

Calculated by $\sigma_c = P/16$ (kg/cm²), mean value of 6 specimens are given at each age on the table.

Where P = maximum load.

(2) 骨材

細粗共に札幌郡広島村産の山砂利で水洗出荷品を、細骨材は 5 mm 以下、粗骨材は 25 mm ~ 5 mm に篩分けて使用した。粒度分布は Table 2 に示す。

Table 2. Aggregates (Tested by JIS A 1102 and JIS A 1104)

		Percentage Passing Sieves (mm)										Unit vol. Weight kg/m ³
		0.15	0.3	0.6	1.2	2.5	5	10	15	20	25	
Hiroshima-mura, Sapporo-gun, Hokkaido.	Fine	0.9	5.1	33.5	69.3	92.0	100.0	—	—	—	—	1670
	Coarse	—	—	—	—	—	0	31.6	66.9	88.0	100.0	1575

(3) 鉄筋

普通丸鋼 19 mm ϕ . 札幌市内市場品。

異形鉄筋 JIS G 3110 による D-13 (寄贈品, 某社製)

引張強度試験のみを行つたが, 結果を Table 3 に示す。

Table 3. Reinforcing bars

Type of Steel bars	Average Spacing of Deformation mm	Unit Weight kg/m	Diameter		Stress at Yield Point kg/mm ²	Tensile Strength kg/mm ²	Elongation %
			Nominal mm	Measured mm			
Round plain rolled bar, mild steel.	—	—	19	18.8	31.8	43.8	32.1
				18.7	31.6	43.2	30.2
				18.7	31.7	43.2	32.1
				18.7	31.3	43.7	30.2
JIS G 3101, SS 39	—	—	± 0.5	O. K.	>24*	39~53	>20
Round deformed bar, intermediate grade steel, SSD 39, D-13	7.19	0.928	12.7	—	32.9	47.0	26.9
	7.19	0.940		—	34.2	47.3	28.4
	7.23	0.956		—	33.3	53.5	22.1
	7.20	0.956		—	34.1	47.9	27.4
JIS G 3110, SSD 39, D-13	max. 8.8	0.994 ± 0.0795	12.7	—	>24	39~53	>18

* Stress at Yield Point should be greater than 24 kg/mm² according to the Japanese Architectural Standard Specification 5 and the Standard Calculating Method for Reinforced Concrete Building (The Architectural Institute of Japan).

(4) コンクリートの調合

1 : 2.33 : 3.53 (重量比). 水セメント比 65%. スランプ 20 cm.

5 引抜試験装置

A. S. T. M. 規格 (C-234-49T) に準じて, アムスラー型 10 トン万能試験機に使用し得る 15

cm 立方体用のものを作製した. (Fig. 1 及び 2) 鉄筋の滑り量の測定は自由端及び荷重側で行った. 自由端に用いたダイヤルゲージは $1/1000$ mm で測定範囲 2 mm のもの, 荷重側は $1/100$ mm ダイヤルゲージ 2 枚を使用した.

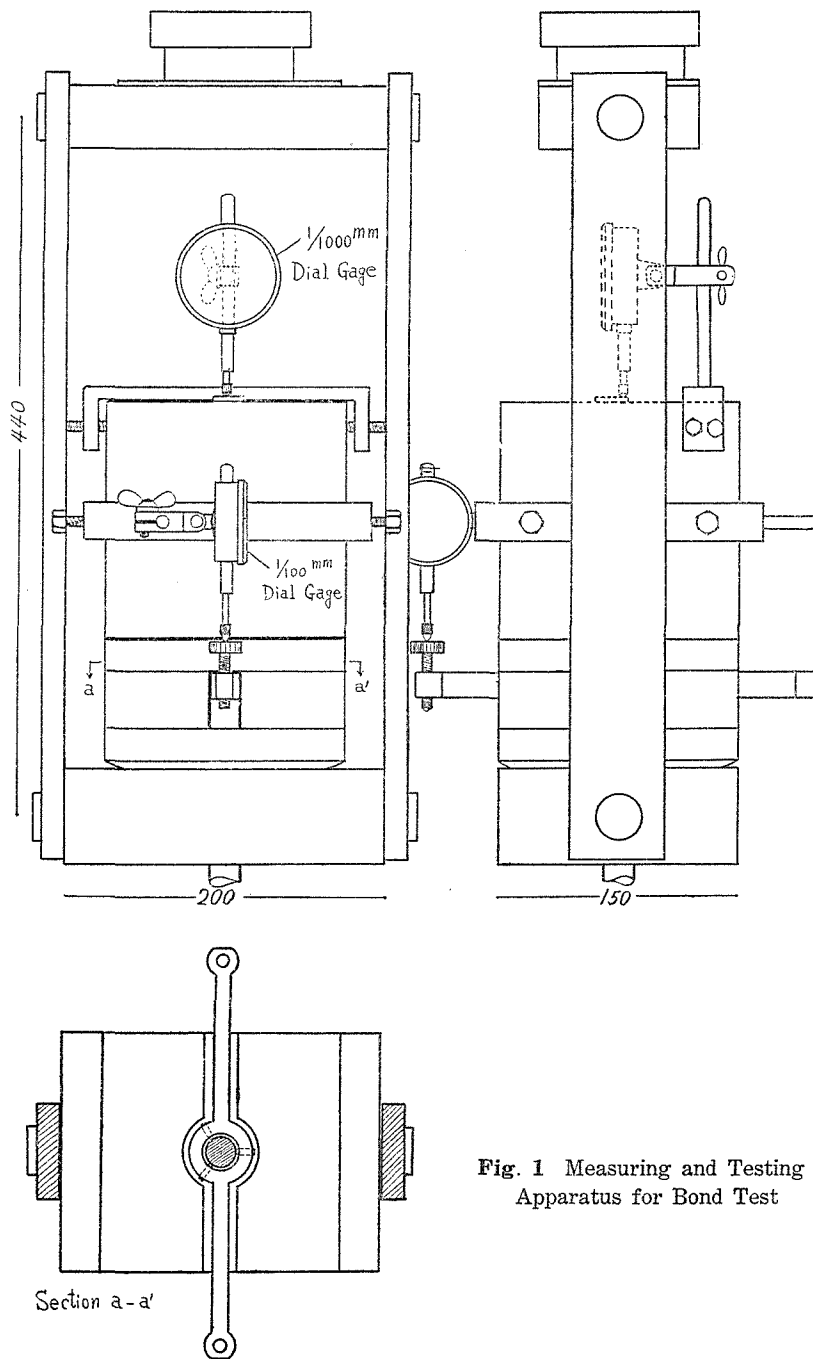


Fig. 1 Measuring and Testing Apparatus for Bond Test

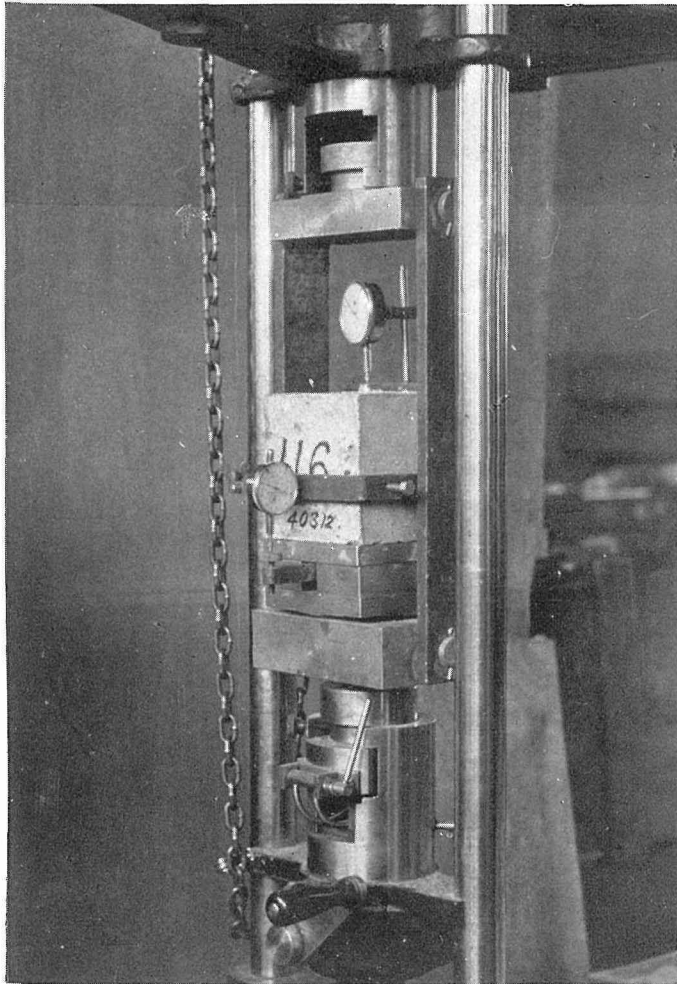
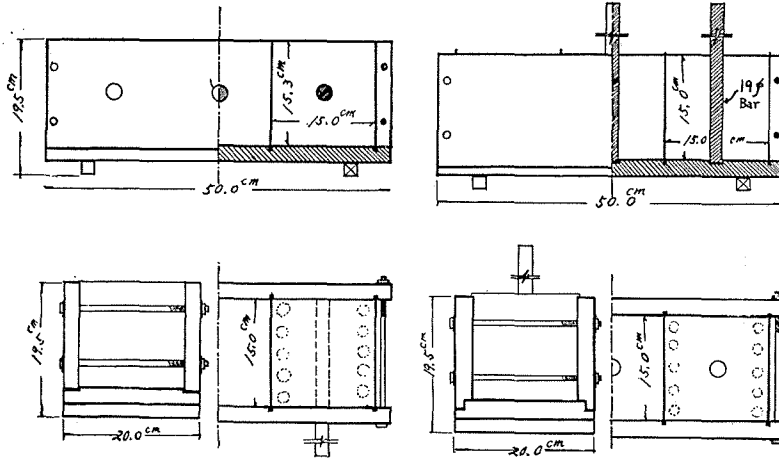


Fig. 2 Method of Testing Bond of Bar and concrete

6 試験体の作製とその養生

試験体は鉄筋を中心部に埋め込む 15 cm 立方体で、3 個ずつ 1 組とした木製型枠を Fig. 3 の



○ indicates point of rodding (to give no effect on bond)

Fig. 3 Molds for Bond Test. Concrete shall be placed in two layers of equal thickness and each layer rodded 10 times with a 16 mm round rod.

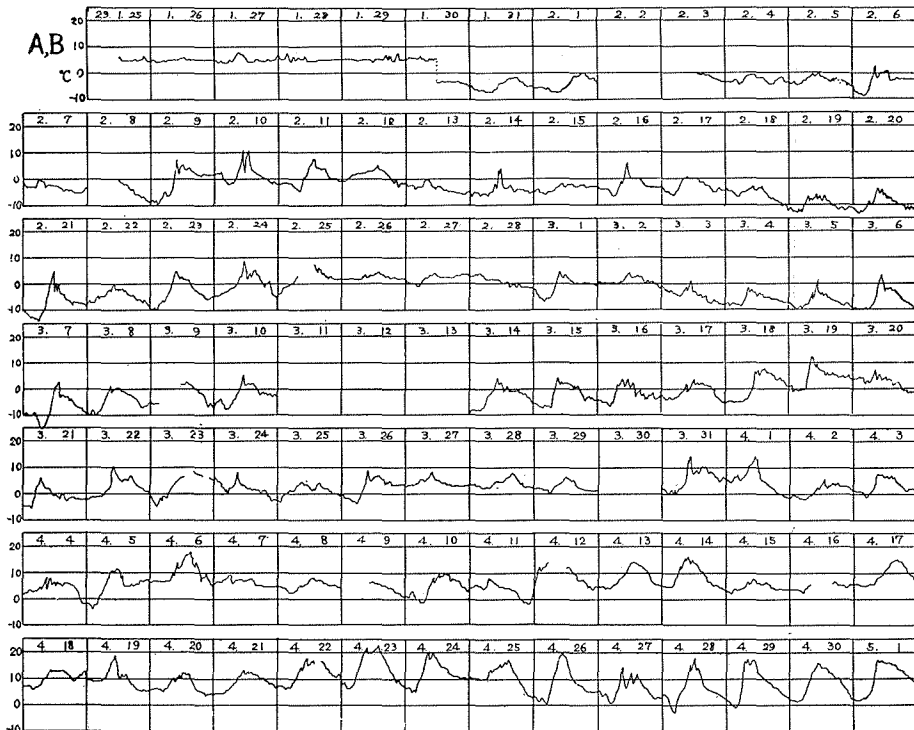


Fig. 4 Curing Temperature record of B and A
(Outdoor after early-age-curing period, not packed by vinylchloride sheet.)

如く鉄筋の配置 (鉛直及び水平) に応じて作り, コンクリートの填充は2層に分け, 各層を型枠の隅に行き互らせるために約 10 回宛突いた。この際鉄筋の近くはなるべく突かない様に注意した。

試験体作製時のコンクリート温度は養生温度に合わせ, 5°C 又は 20°C とした。但し鉄筋の表面に氷結させたものについては, コンクリートの練上り温度はすべて 5°C とし, 養生をしないものは 2°C に作った。

鉄筋表面に氷結させるために予め鉄筋を低温庫で -5°C 程度に冷却しておき, 試験体作製時に水に浸して氷膜を形成させた。

試験体は実験計画に基き, 第一次として Table 4 の 29 種中 24 種を作製した。試験体の総数は 216 本である。養生もこの表に示してあるが, 保温の実際の記録を各種別に Fig. 4 ~ 16 に示した。引抜試験等を行つた各材令迄の保温状況を比較するために Table 5 に保温の程度を °C・

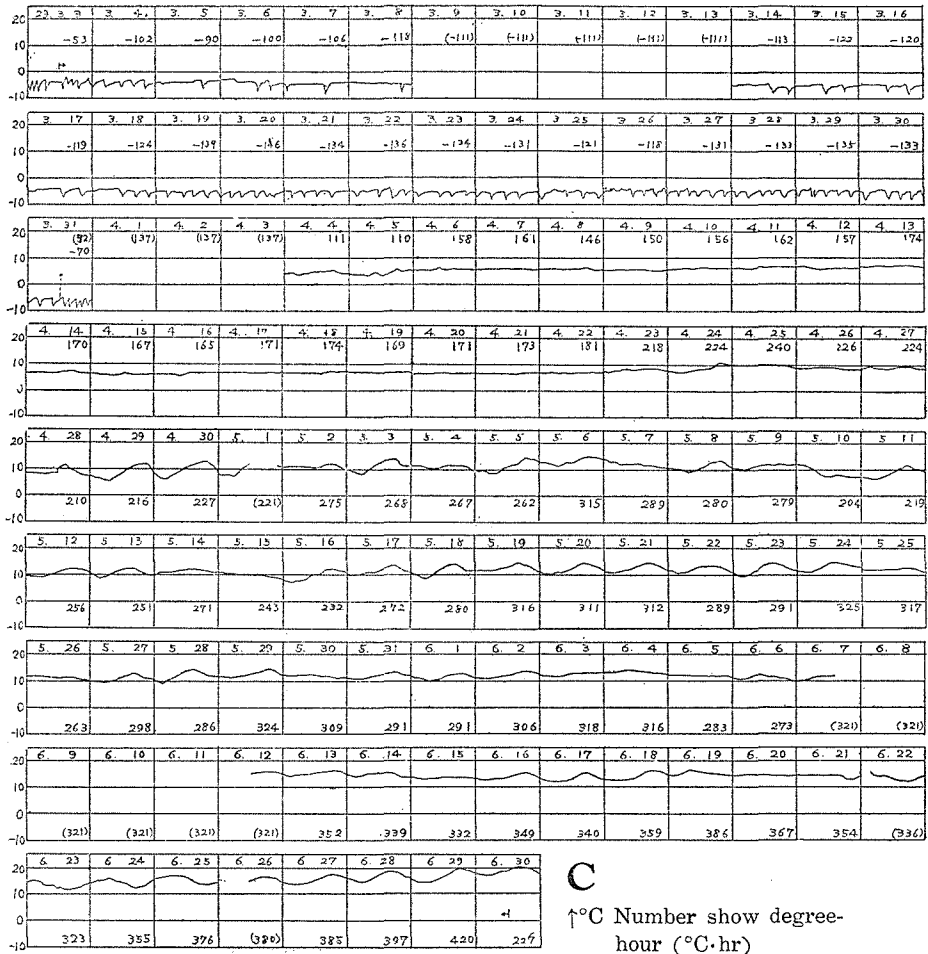


Fig. 5 Curing Temperature record of C

Table 4. Curing and Test of Specimens

Method of Testing	No.	Bar			Early Age Curing °C × day	Grade of Freezing		Curing after Freezing Period	Age at Bond Test (not included Early Age Curing Period) day or week				
		Type	Re-inforcement	Surface Condition		Temp. °C	Period week		1	2	3		
Pull-Out	B	Rounded Plain Rolled	Vertical	Dry	5 × 5	Outdoor (not avoid to dry)			10 d	4 w	13 w		
	C				None	4	4 ~ 8 °C	Room Temp. > 10°C	4 w		21 w		
	F						8 & 13	—		8 w	13 w		
	G					4	4 ~ 8 °C	Room Temp. > 10°C	0		17 w		
	Za	Rounded Deformed			Frozen	5 × 5	8 & 13	—					13 w
	H	Rounded Plain Rolled						—					17 w
	Y	Rounded Plain Rolled					-30	8 & 13	Air Temp. 20°C	8 w	13 w	21 w	
	O	Rounded Plain Ground					-5	4	4 ~ 8 °C	Room Temp. > 10°C	0	8 w	17 w
Push-out	M												
Pull-Out	A	Rounded Plain Rolled	Horizontal	Dry	Outdoor (not avoid to dry)			10 d	4 w	13 w			
	L												
	Zb	Rounded Deformed			-5	4	4 ~ 8 °C	Room Temp. > 10°C	0	8 w	17 w		
	Push-out	P			Rounded Plain Ground								
Push-out	N												
Pull-Out	X	Rounded Plain Rolled	Vertical	Dry	In Water, 20 ± 3°C								
	Q			Frozen									
	R												
	Zc	Rounded Deformed											
	Push-out	T		Rounded Plain Ground			Air, 20 ± 3°C			3 d	1 w	4 w	
Pull-Out	S	Rounded Plain Rolled	Horizontal	Dry									
	Zd	Rounded Deformed											
	U	Rounded Plain Ground											
	Push-out	W											
Pull-Out	I	Rounded Plain Rolled	Vertical	Dry	20 × 3	-5	4	Air 20°C	0	4 w	8 w		
	K			Frozen									
	J			Wet			Omitted*						
	D												
	E			Frozen			None			Ceased by the Results of No. C			

All Specimens except A, B, and X, were packed with Vinylchloride Sheet to avoid drying and were stored in air. * Considering that the difference of bond between dry and wet surface conditions of bar with concrete made by wet consistency mix is small.



Numbers show degree-hour (°C·hr)

Fig. 6 Curing Temperature record of F and L.

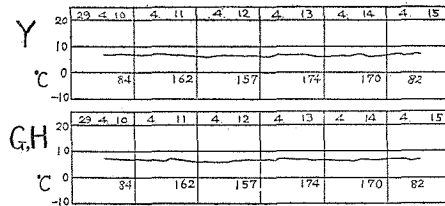


Fig. 7 Early-age Curing Temperature record of G, H, and Y.

day で示した。

養生の方法は水中及び戸外放置のものを除き、前記の如くすべて塩化ビニールシートで包装した上で空中養生とした。



Numbers show degree-hour (°C·hr)

Fig. 8 Curing Temperature record of Za and Zb.



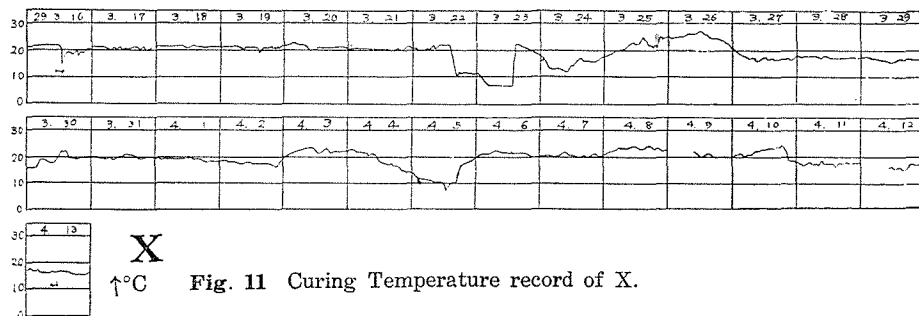
Numbers show degree-hour ($^{\circ}\text{C}\cdot\text{hr}$)

Fig. 9. Curing Temperature record of O and P.



Numbers show degree-hour (°C·hr)

Fig. 10 Curing Temperature record of M and N.



X

↑°C

Fig. 11 Curing Temperature record of X.

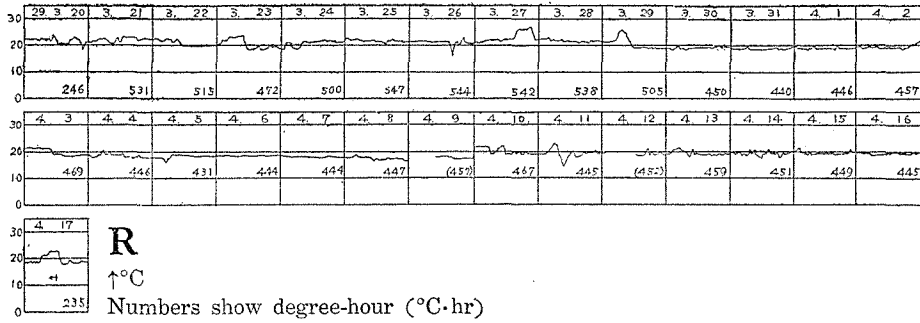


Fig. 12 Curing Temperature record of R.

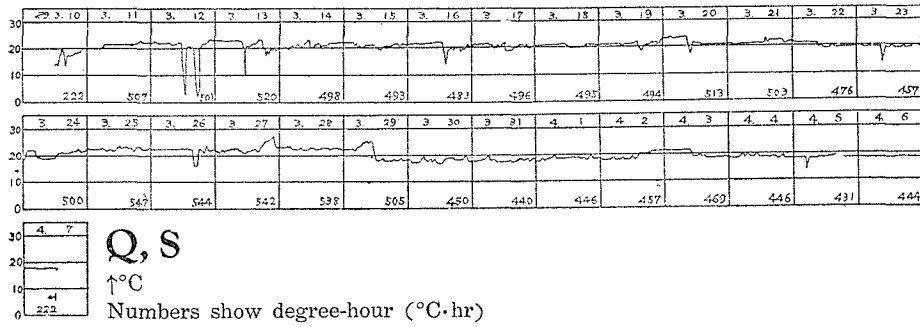


Fig. 13 Curing Temperature record of Q and S.

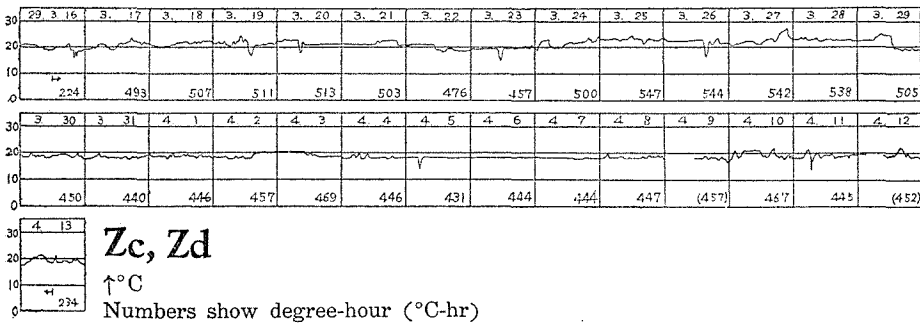


Fig. 14 Curing Temperature record of Zc and Zd.

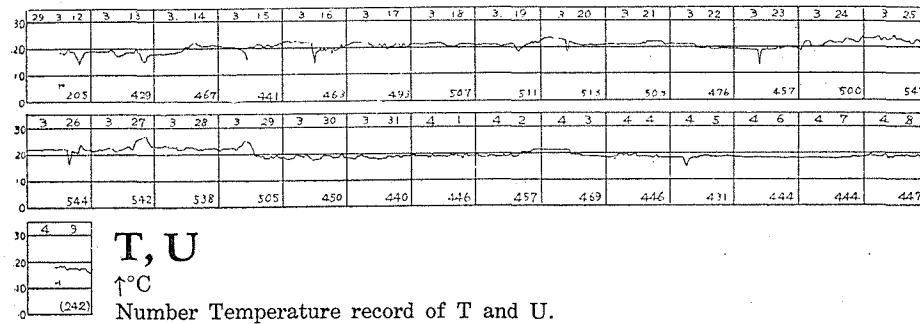


Fig. 15 Curing Temperature record of T and U.

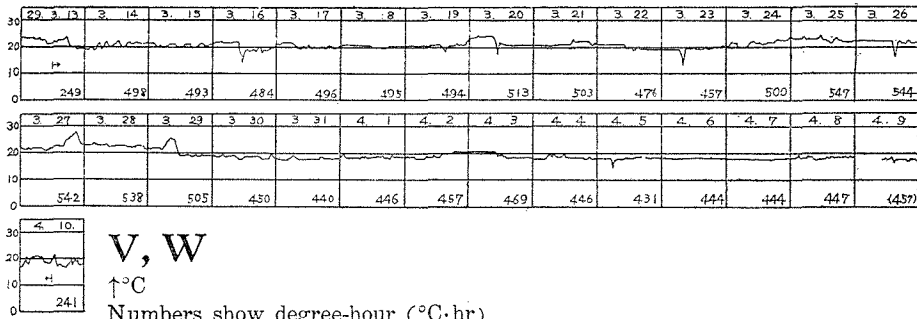


Fig. 16 Curing Temperature record of V and W.

Table 5. Grade of Curing

No.	Early Age Curing			Grade of Freezing			Curing after Freezing Period	Grade of Curing at Age of Test** °C·day		
	Temp. °C	Period day	°C·day	Temp. °C	Period day	°C·day	°C × week	1	2	3
								10 d	4 w	13 w
A, B	Out-door*									
								4 w	8 w	
C	0	0	0	-5	28	-141	4 ~ 8 Room Air × 4 w >10°C	—	178	
								0	8 w	17 w
F, L			19.4			-146.5		19.4	227.5	1057
Za, Zb			22.5			-158.5	4 ~ 8 Room Air	22.5	200.5	994
O, P	5	5	18.9	-5	28	-152	× 4 w >10°C	18.9	244	1104
M, N			20.7			-149.5		20.7	241	1090
No.	Curing							3 d	7 d	28 d
X	In Water, 20 ± 3°C*									
Q, S								62.5	144.9	568.3
R								63.8	150.5	553.1
Zc, Zd	Air, 20 ± 3°C							62.0	143.8	557.9
T, U								55.3	136.2	556.5
V, W								62.1	144.8	562.8

* Not packed with Vinylchloride sheet.

** Grade of curing as indicated by °C·day is not included Freezing period but Early age curing period. Age is not included Early age curing period.

7 鉄筋の附着力試験の実施

Table 4 に示す各材令に於て3本宛附着力試験を行つた。鉄筋の滑り量は自由端と荷重側に於て荷重 0.05 トン間隔に測定し、滑り量約 1 mm 迄の読みをとつた。湿つた状態での試験を主眼として約 30 分間浸水して重量を測定したが、塩化ビニールシートにて包装のものは養生期間

Table 6. Bond Strength. Five (5) days early age curing at 5°C, succeeded by four (4) weeks storage in cold room at -5°C, thereafter the temperature of curing room ascended slowly.

Method of Testing	No.	Bar			Compressive* Strength kg/cm ²	Bond Strength kg/cm ²			Bond Stress at 3/1000mm Slip (Free end) kg/cm ²			Bond/Comp. %					
		Type	Reinforce- ment Surface Condition	Batch No.		0	8 w	17w	0	8 w	17w	0	8 w	17w	0	8 w	17w
Pull-out	F	Rounded	Vertical	1	29	109	174	7.7	28.2	36.0	6.4	17.9	16.8	27	26	21	
		Plain		2	27	113	187	8.8	28.4	46.1	6.6	22.0	25.4	33	25	25	
		Rolled		3	32	113	176	7.8	35.0	51.8	4.6	24.6	21.9	24	31	29	
		m		29	112	179	8.1	30.5	44.6	5.9	21.5	21.4	28	27	25		
	O	Rounded		1	28	111	205	7.6	20.6	24.8	5.3	18.4	20.9	23	19	12	
		Plain		2	28	109	176	7.4	19.5	33.3	7.3	—	24.1	26	18	19	
		Rolled		3	28	106	194	6.9	21.0	37.1	3.2	19.7	32.2	24	20	19	
		m		28	109	192	7.3	20.4	31.7	5.3	19.0	25.7	24	19	17		
	M	Ground		1	32	117	202	5.4	25.6	46.2				17	23	23	
		Plain		2	29	124	211	5.6	22.4	42.4				19	18	20	
		Rolled		3	28	120	176	5.8	18.7	36.3				21	16	21	
		m		30	120	196	5.6	22.1	41.6					19	19	21	
Push-out	L	Rounded	Horizontal	1	24	110	202	4.1	17.1	31.2	—	16.3	25.2	17	16	15	
		Plain		2	29	112	196	7.3	15.6	25.3	—	14.3	23.6	25	14	13	
		Rolled		3	28	108	176	6.0	15.4	16.4	3.7	14.9	—	22	14	9	
		m		27	110	191	5.8	16.0	24.3		15.2		21	15	12		
	P	Rounded		1	26	107	191	4.1	15.5	16.8	—	14.2	16.1	16	15	9	
		Plain		2	26	121	203	4.2	13.0	15.7	3.8	9.2	14.3	16	11	8	
		Rolled		3	27	116	188	2.0	11.6	16.8	—	10.5	—	7	10	9	
		m		26	115	194	3.6	13.4	16.4		11.3		12	12	9		
	N	Ground		1	29	122	206	5.2	17.5	28.8				18	14	14	
		Plain		2	27	104	204	4.4	18.8	38.2				16	18	18	
		Rolled		3	30	115	227	4.8	13.0	23.0				16	11	10	
		m		29	114	212	4.8	16.4	30.0					17	14	14	
Pull-out	Za	Rounded	Vertical	1				19.3	70.9	64.7		62.3	61.7				
		De-		2				19.5	65.9	83.6		62.1	28.3				
		formed		3				15.0	51.5	86.6		48.6	45.8				
		m						17.8	62.8	78.3							
	Zb	Horizontal		1				15.1	52.0	92.0		30.5	62				
		1						16.5	59.2	42.3		32.9	42.3				
		3						10.4	60.9	91.0		21.9	55.1				
		m						14.0	57.4								

* Tested by 15 cm cube after pull-out or push-out test. Application of load is longitudinal to the direction of molding. ** Not included early age curing period.

中の水分減少は僅少に保ち得ていた。

引抜又は押抜試験終了後鉄筋の存在する儘で、打込方向に直角に加圧板を当て圧縮強度試験を行つた。Table 6～10 の圧縮強度はすべて此の方法による結果である。之は JIS A 1108 によ

Table 7. Bond Strength. No early age curing, four (4) weeks storage in -5°C cold box, thereafter the temperature of curing room ascended slowly.

Method of Testing	Bar				Compressive Strength kg/cm ²	Bond Strength		Bond Stress at 3/1000 mm Slip (Free end)		Bond/comp. %			
	No.	Type	Reinforcement	Surface Condition		Batch No.	kg/cm ²		kg/cm ²				
	Age***					4w*	13w	4w*	13w	4w*	13w	4w*	13w
Pull-out	C	Rounded	Vertical	Dry	1	50	82	12.4	5.3	9.9	—	25	7
		2			38	127	9.0	10.9	—	10.6	24	9	
		3			39	108	7.5	10.9	—	8.9	19	10	
		m			43	106	9.6	9.0			23	9	

* Tested specimens were frozen state.

** Tested by 15 cm cube after pull-out or push-out test.

Application of load is longitudinal to the direction of molding.

*** Not included early age curing period.

Table 8. Bond Strength. Five (5) days early age curing at 5°C , succeeded by eight (8) or thirteen (13) weeks storage in -5°C or -30°C cold room. Specimens stored in cold room were tested after thawing.

Freezing Temp.	Method of Testing	No.	Bar				Compressive Strength kg/cm ²	Bond Strength			Bond Stress at 3/1000 mm Slip (Free end)			Bond/Comp. %						
			Type	Reinforcement	Surface Condition	Batch No.		kg/cm ²			kg/cm ²									
			Age**					0	8 w	13w	0	8 w	13w	0	8 w	13w	0	8 w	13w	
-5°C	Pull-out	G	Rounded	Plain	Rolled	Vertical	Dry	1	28	50	57	7.1	12.4	16.9	5.1	9.9	12.8	25	25	30
								2	36	58	71	9.8	13.8	14.7	4.0	11.9	8.1	27	24	21
								3	34	53	55	8.9	14.9	13.6	8	14.0	10.8	26	28	25
							m	33	54	61	8.6	13.7	15.1	5.7	12.0	10.6	26	26	25	
							Frozen	1	34	53	57	6.9	10.5	12.5	4.6	9.0	10.1	20	20	22
								2	31	52	53	5.7	10.3	11.8	4.9	9.7	10.5	18	20	22
3	32	46	59	6.1	12.3	14.0		3	9.5	11.9	19	20	24							
m	32	50	56	6.2	11.0	12.8	4.2	9.4	10.8	19	20	23								
-30°C	Y	Y	Rounded	Plain	Rolled	Vertical	Dry	1		39	38		11.9	11.0		10.2	5.7		26	29
								2		38	39		8.4	9.8		6.5	7.5		22	25
								3		38	37		8.6	9.9		8.2	6.5		23	27
								m		38	38		9.6	10.2		8.3	6.6		24	27

* Tested by 15 cm cube after pull-out test. Application of load is longitudinal to the direction of molding.

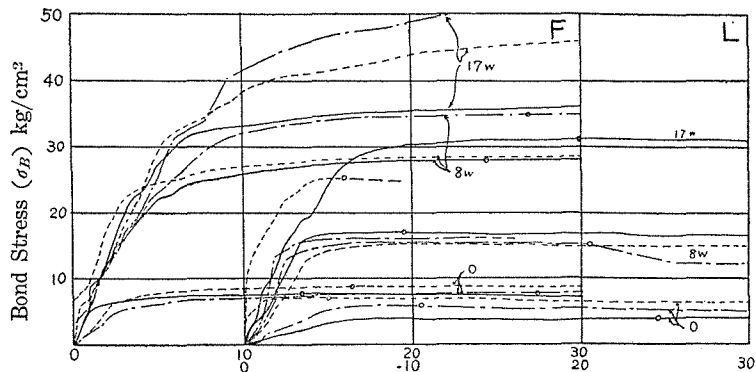
** Not included early age curing period.

Table 9. Bond Strength. Outdoor (Sapporo) from January 30, 1954, after five (5) days early age curing. Unsunned.

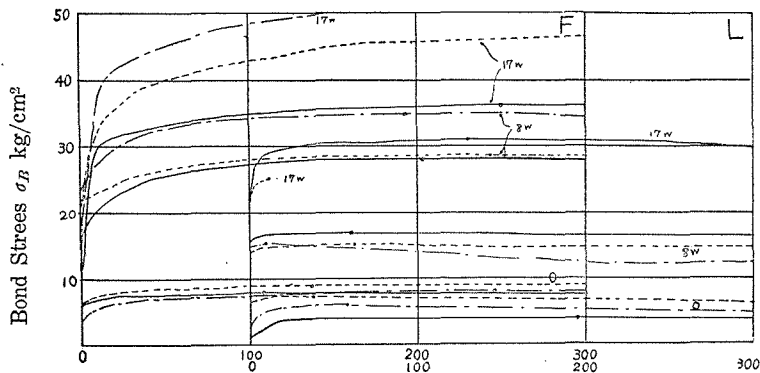
Method of Testing	No.	Bar			Batch No.	Compressive* Strength kg/cm ²			Bond Strength kg/cm ²			Bond Stress at 3/1000mm Slip (Free end) kg/cm ²			Bond/Comp. %		
		Type	Re-inforcement	Surface Condition		10 d	4 w	13w	10 d	4 w	13w	10 d	4 w	13w	10 d	4 w	13w
		Age**				10 d	4 w	13w	10 d	4 w	13w	10 d	4 w	13w	10 d	4 w	13w
Pull-out	B	Rounded Plain Rolled	Vertical	Dry	1	77	81	89	16.8	20.2	28.8	11.2	6.8	10.8	22	25	32
					2	51	57	72	9.8	18.5	23.9	2.7	10.8	17.8	19	32	33
					3	46	56	67	9.5	14.3	18.7	5.0	10.7	12.5	21	26	28
					m	58	65	83	12.0	17.7	23.5		9.5	13.7	21	28	31
					1	79	82	98	10.0	16.3	13.8	—	10.2	6.4	13	20	14
					2	47	71	87	9.4	14.5	15.0	7.8	11.2	12.0	20	20	17
	A	Rounded Plain Rolled	Horizontal	Dry	3	48	59	67	7.2	12.0	9.6	5.4	7.4	6.9	15	20	14
					m	58	71	86	8.9	14.3	12.8		9.6	8.4	16	20	15

* Tested by 15 cm cube after pull-out or push-out test. Application of load is longitudinal to the direction of casting of concrete.

** Not included early age curing period.



Slip at loaded end 1/100 mm



Slip at free end 1/1000 mm

Fig. 17

Table 10. Bond Strength. Cured in air at $20 \pm 3^\circ\text{C}$. No. X is cured in water at $20 \pm 3^\circ\text{C}$.

Method of Testing	No.	Bar		Batch No.	Compressive* Strength kg/cm ²			Bond Strength kg/cm ²			Bond Stress at 3/1000 mm Slip (Free end) kg/cm ²			Bond/Comp. %					
		Type	Reinforcement Surface Condition		3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d			
Age					3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d	3 d	7 d	28 d			
Pull-out	X	Rounded Plain Rolled	Vertical	Dry	1	39	98	170	11.5	19.3	30.0	9.0	13.6	21.4	30	20	18		
					2	50	96	172	12.0	21.3	39.0	—	17.1	29.2	24	22	23		
					3	42	97	156	15.3	26.0	32.6	8.3	—	22.8	36	27	21		
	m			44	97	166	12.9	22.2	33.9			24.5	30	23	21				
	Q			Rounded Plain Rolled	Vertical	Dry	1	41	88	158	9.7	17.1	30.1	—	11.1	10.1	24	19	19
							2	52	111	179	12.8	26.4	29.3	8.7	14.7	14.7	25	24	17
		3	42				98	156	10.3	20.8	32.7	—	6.3	18.4	25	21	21		
	m	45	99	164	10.9	21.4	30.7		10.7	14.4	25	21	19						
	R	Rounded Plain Rolled	Vertical	Frozen	1	36	75	121	9.1	16.4	23.1	7.9	11.3	20.4	25	22	19		
					2	51	85	160	7.3	12.5	25.6	—	9.6	25.1	14	15	16		
					3	45	71	123	8.1	13.0	30.9	7.2	10.6	27.1	18	18	25		
	m	44	77	135	8.2	13.9	26.5		10.5	24.2	19	18	20						
T	Rounded Plain Ground	Vertical	Dry	1	43	98	163	15.1	20.8	31.8	11.2	15.0	23.2	35	21	20			
				2	40	82	163	10.0	18.9	32.0	—	13.0	31.0	25	23	20			
				3	45	89	106	11.4	18.3	27.7	—	16.2	26	25	21	26			
m	43	90	144	12.2	19.6	30.5		14.7	26.7	28	22	22							
Push-out	V	Rounded Plain Ground	Vertical	Dry	1	44	91	155	8.3	14.9	32.7				19	16	21		
					2	44	97	166	7.6	19.5	39.9				17	20	24		
					3	45	109	140	9.1	22.1	34.8				20	20	25		
					m	44	99	154	8.3	18.8	35.8				19	19	23		
Pull-out	S	Rounded Plain Rolled	Horizontal	Dry	1	40	80	195	4.6	9.6	23.7				12	12	12		
					2	45	93	172	6.0	8.8	14.0				13	9	8		
					3	48	97	183	4.6	9.5	21.2				10	10	12		
	m	44	90	183	5.1	9.3	19.6				12	10	11						
	U	Rounded Plain Ground	Horizontal	Dry	1	56	99	160	6.3	6.9	15.2			14	11	7	10		
					2	57	117	191	8.4	10.4	21.3			16.8	15	9	11		
					3	56	119	154	4.1	7.5	14.8	3.1		14.5	7	6	10		
m	56	112	168	6.3	8.3	17.1				11	7	10							
W	Rounded Plain Ground	Horizontal	Dry	1	53	102	177	5.4	10.4	22.2				10	10	13			
				2	54	87	167	1.6	10.0	24.5				3	12	15			
				3	51	90	148	2.4	13.6	24.4				15	15	17			
m	53	93	164	4.8	11.3	23.7				9	12	15							
Pull-out	Zc	Rounded Deformed	Vertical	Dry	1				25.6	41.7	49.8	22.0	20.6	43.4					
					2				26.0	39.6	60.7	—	28.3	29.3					
					3				33.9	48.0	71.4	21.2	—	44.9					
	m				28.5	43.1	61.6												
	Zd	Rounded Deformed	Horizontal	Dry	1				38.0	34.6	59.7	—	18.6	35.6					
					2				22.9	46.7	84.0	11.1	19.4	49.7					
3								29.3	39.0	68.5	11.7	26.1	53.5						
m				30.1	40.1	70.8				21.4	46.3								

* Tested by 15 cm cube after pull-out or push-out test. Application of load is longitudinal to the direction of molding.

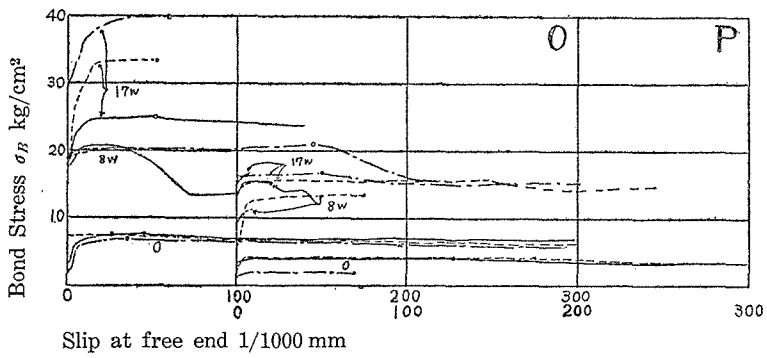
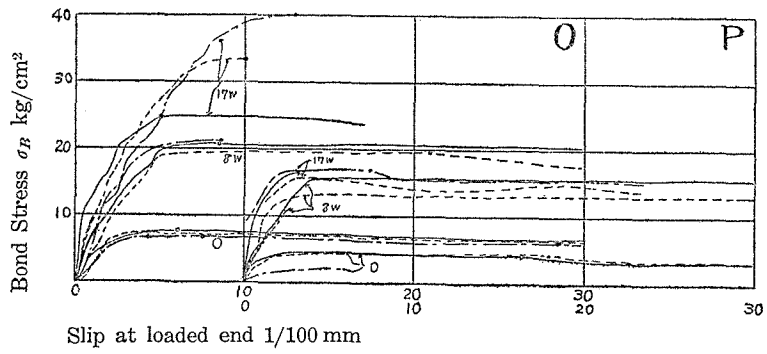


Fig. 18

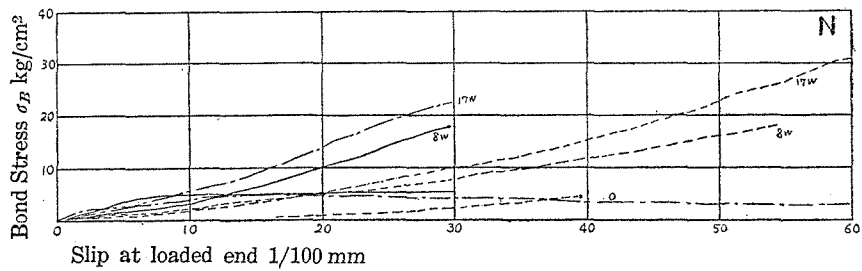
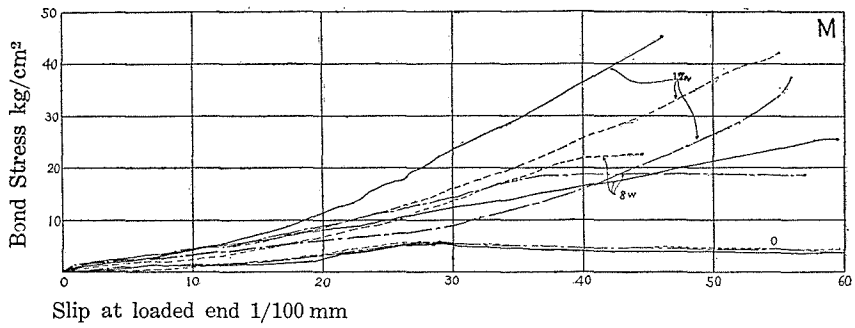


Fig. 19

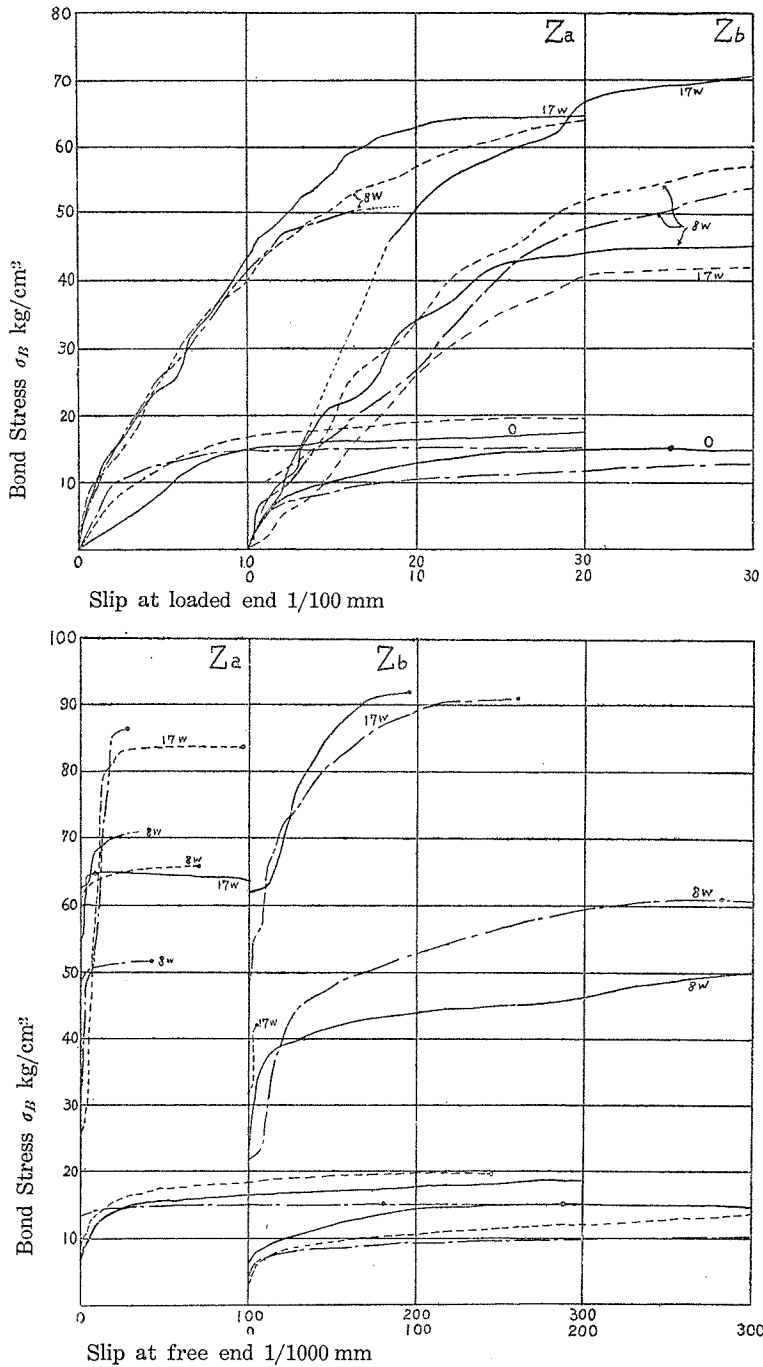


Fig. 20

る圧縮強度より多少大きく出るものである。鉄筋はすべて回収し、清掃して第2次実験に使用する予定である。異形鉄筋は降伏点以上の応力に耐えたものは勿論再使用不能である。附着応力度—滑り曲線を Fig. 17~28 に示した。

8 試験の結果及び結果に 対する考察

前節の試験結果を Table 6~10 に示す。滑り始めの応力度は米国の結果と対照のために便なる様に 1/10,000 in. の近似値として 3/1,000 mm の自由端に於ける滑り量を示した時を採用した。之は凡そ荷重側の滑り一応力度曲線の勾配が急変する位置に当る。

この結果から次のことが云える。

(1) 異形鉄筋の附着強度については、国内に於ては小倉⁵⁾、加藤⁶⁾、甲野⁷⁾ 氏の報告、米国に於ては多くの報告⁹⁾ があるが、若材令とか凍結の影響に関するものは少ない様である。今回の実験の結果では異形鉄筋の附着強度の鉄筋配置による差が不明瞭であるが、之は楔作用によつて試験体が破壊されるためで、充分特徴を發揮し切れていない。この点については小倉氏も既に指摘されているところで、本実験では D-13 に対し 15 cm 立方体を使用しているので、鉄筋径と試験体の寸法比は A.S.T.M. C 234-49T と略同じであるから、米国規格通りに行つてもその差は明瞭に出なかつたかも知れない。しかし標準養生で材令 4 週以上、或いは低温後の温度上昇期間 4 週以上では、鉄筋の降伏点以上の応力度を伝達し得る附着強度があり、引抜試験による場合普通棒鋼の約 2 倍を示した。寒冷極寒期施工の場合も初期の規定養

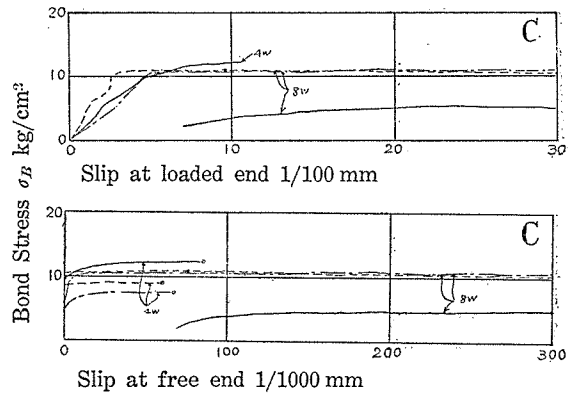


Fig. 21

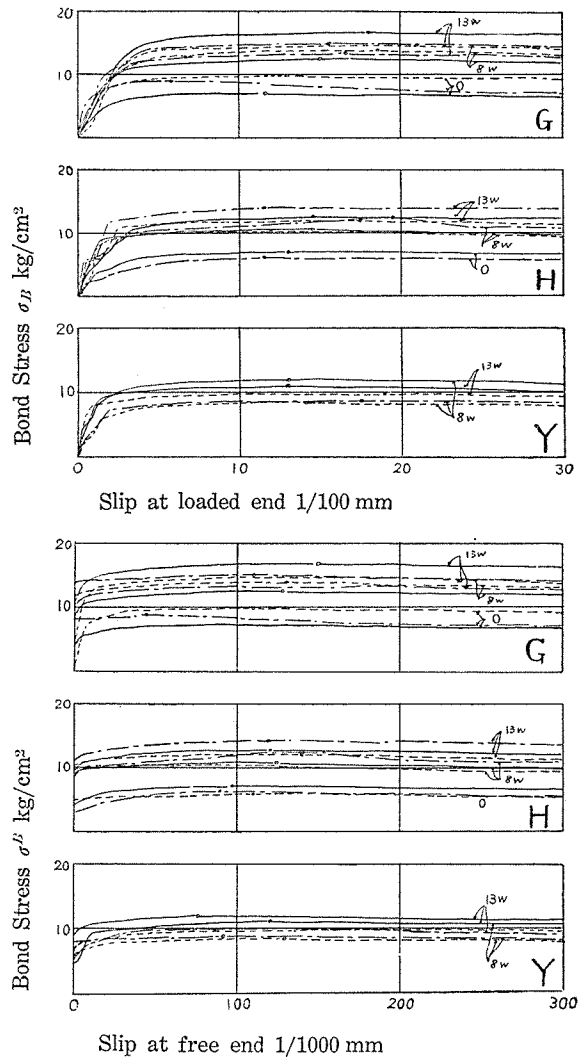


Fig. 22

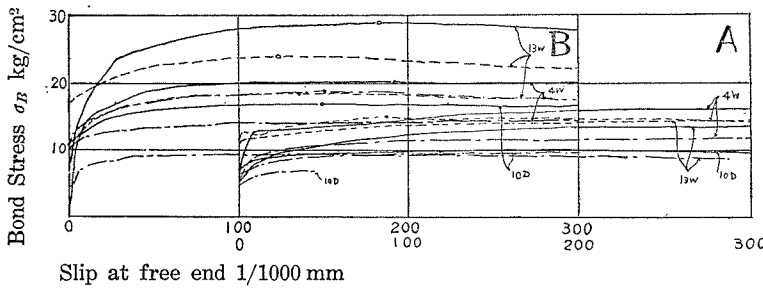
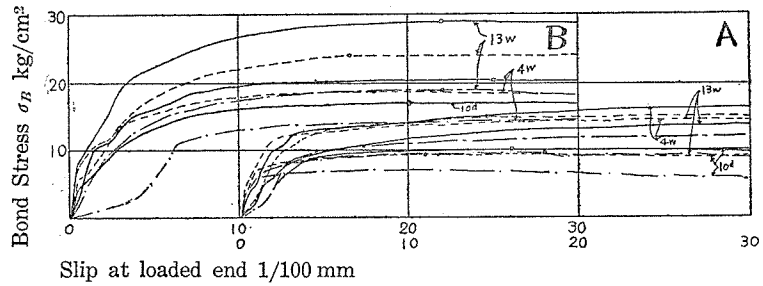


Fig. 23

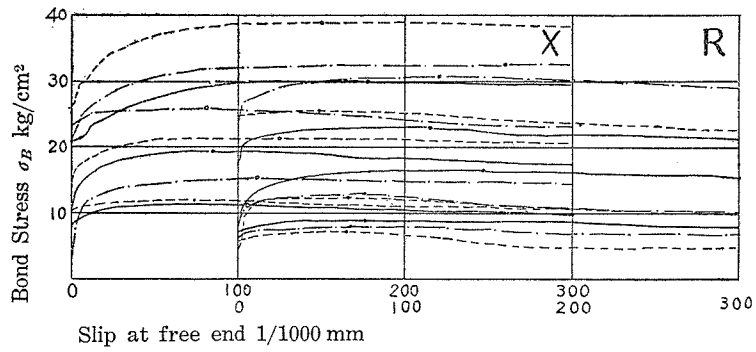
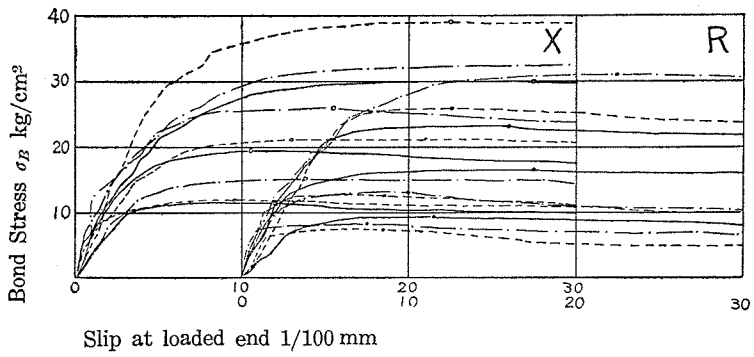


Fig. 24

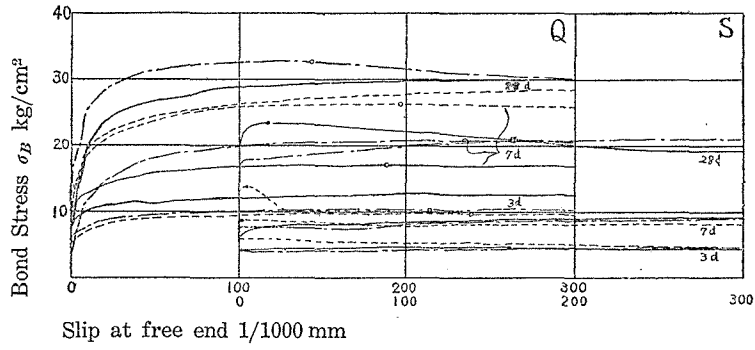
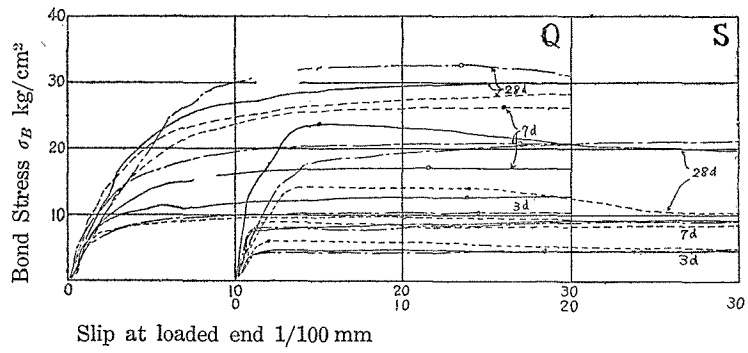


Fig. 25

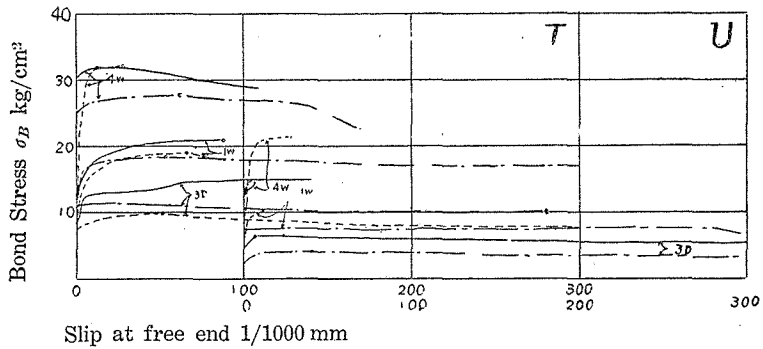
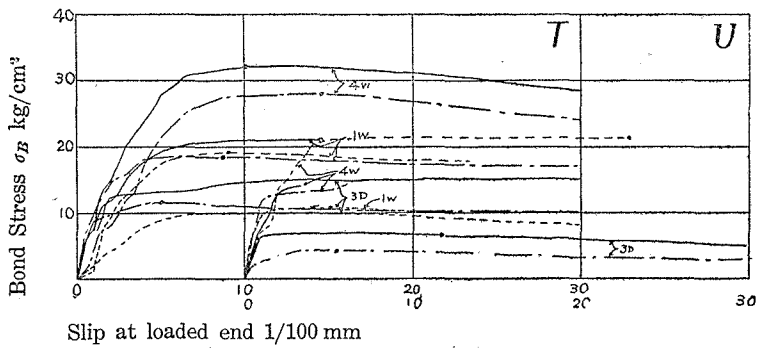


Fig. 26

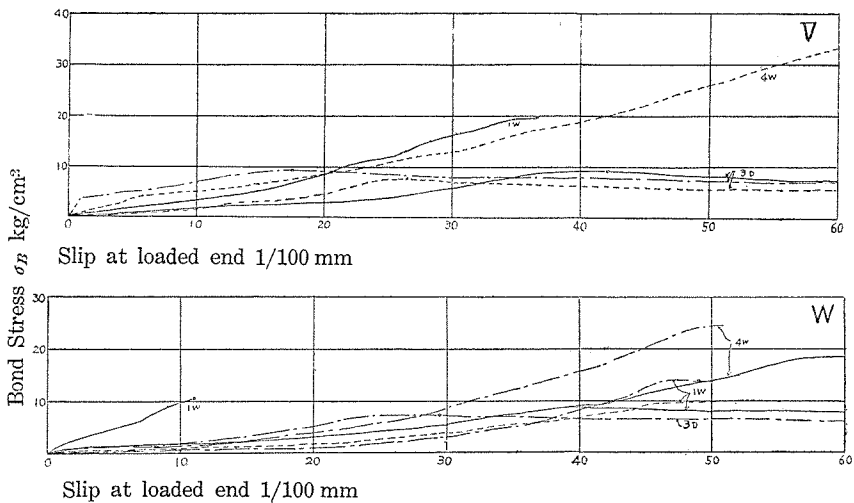


Fig. 27

生によって普通棒鋼で標準養生の同材令の附着強度に相当する附着強度を示した。

(2) 普通棒鋼の結果によると、鉛直筋に対し水平筋の附着強度は同一の被り厚で凡そ 2/3 以下であり、米国の 1938 年の実験¹⁾ 結果より特に若材令は多い目である。しかし水平筋の附着強度は構造物に於ては更に少ないものとなり得ることを加藤氏³⁾ も指摘されているし、又別の実験を進めつつある。

(3) 現在のところ圧縮強度試験を構造物と略同一の養生を行うにはどんな方法が最良か検討をしているので、一応標準養生の強度について考察する。使用したコンクリートの標準養生による立方体圧縮強度は 166 kg/cm^2 であり、之から円壘強度に換算すると凡そ 20% 減じて 138 kg/cm^2 となる。許容附着応力度は随つて 4.5 kg/cm^2 と採ることになる。

之に対し極寒期施工の養生規定の $5^\circ\text{C} \times 5$ 日間とゆう最低線の養生では水/セ比 65% のコンクリートの場合の附着強度は被り厚 6.5 cm の鉛直筋で養生期間終了時に於て $6 \sim 9 \text{ kg/cm}^2$ 、水平筋は $2 \sim 7 \text{ kg/cm}^2$ を示し、滑り開始時は鉛直筋で $3 \sim 6 \text{ kg/cm}^2$ であつた。施工中には構造計算に用いる荷重すべてが掛ることはないから、許容応力度に不足を生じることはないだろうが、この際施工中の構造物の応力についても考慮すべきではなからうか。

水/セ比の低下により当然附着強度も増すだろうから、極寒期施工の場合の水/セ比 60% 以下の指定を守るならば、この結果より大きく出ると考えられるが、一方被り厚が少いし、その他に実際施工では水/セ比 60% と指定しても計量方法や砂の含水量の見積方法の不良等で水量が増大することが考えられる等の現場施工の因子が加わるので、実際には本実験の程度か又はそれを下廻るとも考えられ、今少し検討の要があろう。

(4) 施工時に鉄筋に氷結すると附着強度は約 2 割低下を見ることがある。この点施工時に型枠内の融雪は時期が大切で、出来れば始めから融雪の必要のない様に準備すべきである。

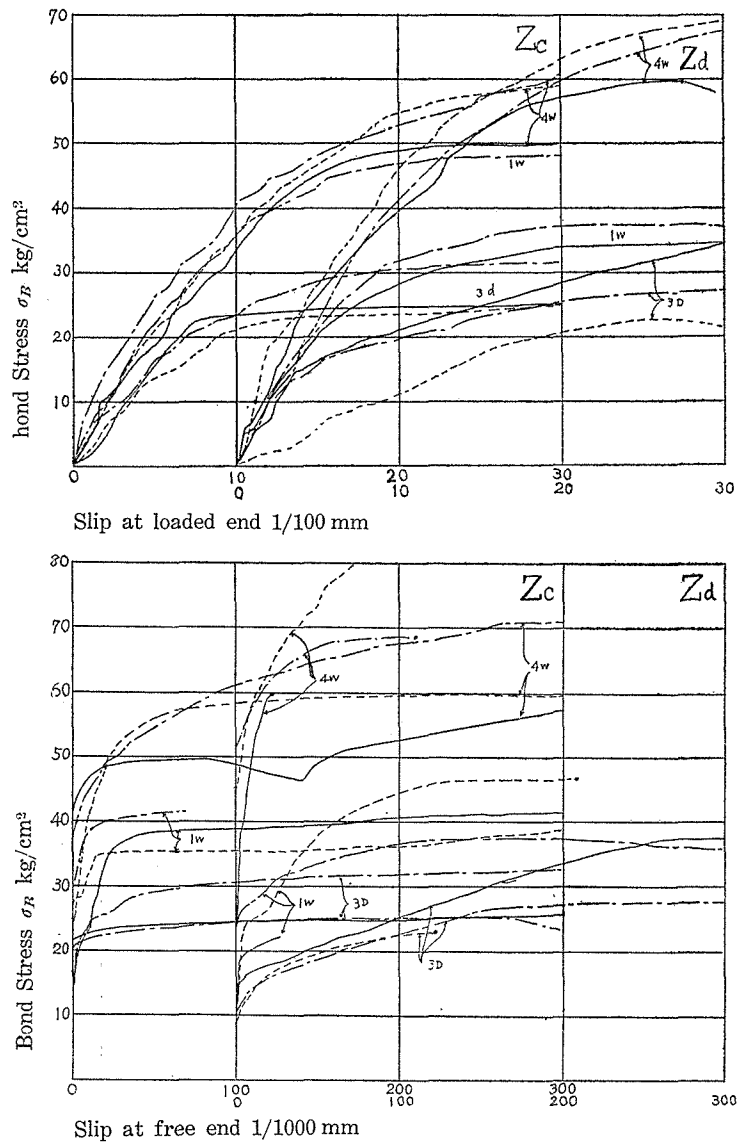


Fig. 28

(5) 無養生で -5°C にて凍結させたままの附着強度は $7\sim 12 \text{ kg/cm}^2$ を示したが、温度上昇後 13 週を経ても圧縮強さの $6\sim 10\%$ の $5\sim 10 \text{ kg/cm}^2$ を鉛直筋の場合で示すにすぎないから、初期養生を行わない場合の附着強度は回復が期待出来ない。第 1 日～第 2 日の養生の中絶や無養生を厳にいましめなければならない。

(6) モルタルによる強度回復に関する実験で認められたので、附着強度についても、低温庫期間の直後に融かした上で強度を調べたところ、 -5°C ($-3\sim -8^\circ\text{C}$) 程度の低温では $5^\circ\text{C}\times 5$ 日程度の初期養生があれば圧縮強度だけでなく附着強度も僅か乍ら上昇し、 -30°C で凍らすと

殆ど上昇が認められないことを知った。但し之は凍結融解1回のものに限られる。

(7) 札幌の1月下旬程度の冬期では、 $5^{\circ}\text{C} \times 5$ 日の初期養生でしかも乾く場合には3ヶ月を経ても強度回復は充分と云えない。之は凍結融解作用のあるためで、(1)~(6)の実験結果を現実に当てはめる場合に考慮を要するところで、研究計画中の凍結融解作用を数回又は数十回受ける場合を対象とする実験の必要を感じる。

(8) 削り仕上げをした棒鋼を使用すると、黒皮のままのものに比して押抜の場合は初期材令では稍小さめに、長期材令では殆ど等しいが、引抜試験では Menzel 氏²⁾の報告と同様に長期材令では小さい目になる様である。

(9) 一般に附着強度と圧縮強度の比は短期材令では大きく、長期材令では小さくなる。常温に於ける比率よりも寒冷極寒期施工の場合は附着強度の比は大きい様だが、之は圧縮強度より推定するときには安全側になるから無視する方が良い。本実験の結果では立方体強度に対する比を Table 6~10 には示したが、鉛直筋で 20~25%、水平筋で 7~20%の間にある。文献によれば立方体強度は円筒強度の 16% 増しになっているが、著者の実験では 30% 増しに及ぶものもあるので、換算を 20% 増しとして計算し、Fig. 29 に加藤氏の結果と比較して示した。

水平筋は偏異が大きい様で、現場施工を考えると被り厚の少ないものや梁の上端筋等は許容応力度を圧縮

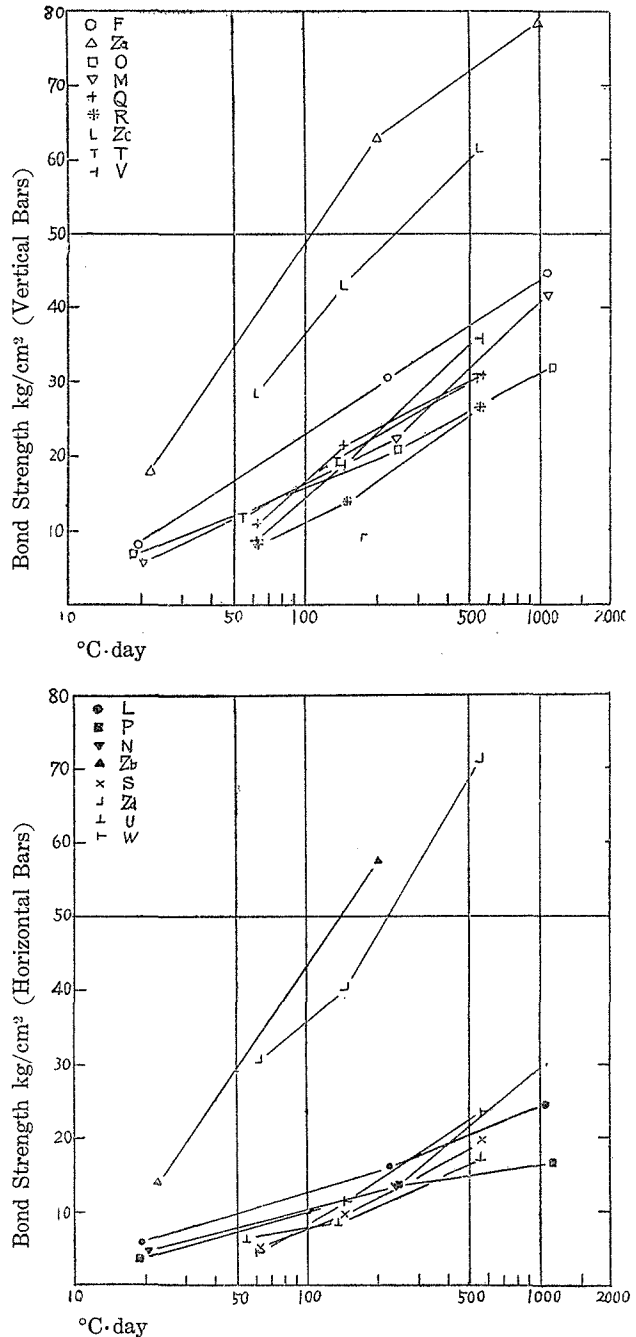


Fig. 31

強度の 1/30 とすると不足の場合も起るかも知れない。

(10) 凍害によるき裂との関係は打継部の凍害に関する研究の進捗後に検討する。

(11) 圧縮強度並びに附着強度の試験時迄の養生について気温の記録から $^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ との関係を示すと Fig. 30~31 である。強度と $^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ は略直線的に〔但し $^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ を log. scale とする〕上昇を見せるが、単に $^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ だけで整理すると圧縮強度の場合が良いが、附着強度の場合は材令が影響し、同じ $^{\circ}\text{C}\cdot\text{day}$ でも材令の大きいものの方が大となる。この点は他の強度性状を確かめた上で結論を導きたい。本報では結果を示すのみとする。

附 記 本研究は昭和 28 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、研究に使用した設備の一部並びに材料については北海道土建協会、日本セメント上磯工場、東大武藤研究室、竹中工務店の御援助を得、実験計画立案に際しては明大小倉弘一郎氏の御助言を得た。実験は当研究室の服部隆君、川上隆司君、石川厚子君の御支援によるものである。ここに記して厚く御礼申し上げます。

引照及び参考文献

- * 洪悦郎：寒冷時施工コンクリートの初期養生に関する研究（モルタル）。日本建築学会研究報告第 7 号〔昭和 25 年 8 月〕；寒冷時コンクリートの初期養生の効果に関する実験（コンクリート）第 2 報。日本建築学会研究報告第 12 号〔昭和 26 年 6 月〕；寒冷時のコンクリート施工に関する研究（コンクリートの冷却）。日本建築学会研究報告第 18 号〔昭和 27 年 5 月〕；寒冷時施工コンクリートの初期養生の効果と強度回復。日本建築学会研究報告第 22 号〔昭和 28 年 5 月〕；未だ固まらないコンクリートの温度伝導率測定。日本建築学会研究報告第 27 号〔昭和 29 年 5 月〕；寒冷時のコンクリート施工に関する研究（コンクリートの冷却）セメント技術年報 7 号〔昭和 27 年〕；寒冷時コンクリート施工の初期養生と強度回復についての実験（第 1 報モルタルによる実験）セメント技術年報 8 号〔昭和 28 年〕；同上（第 2 報モルタルによる実験 2，コンクリートによる実験）セメント技術年報 9 号〔昭和 29 年〕。
- (1) Raymond E. Davis, Elwood H. Brown, and K. J. W. Kelly: "Some Factors Influencing the Bond Between Concrete and Reinforcing Steel" Proc. A. S. T. M. Vol. 38 (1938) pt. II.
- (2) Carl A. Menzel: "Some Factors influencing Results of Pull-Out Bond Tests" Proc. A. C. I. Vol. 35 (June 1939) p. 517~544.
- (3) 加藤六美：鉄筋の付着並びに定着に対する二、三の注意。日本建築学会研究報告第 22 号〔昭和 28 年 5 月〕 p. 111~112.
- (4) 吉田徳次郎：建設材料の研究第 3 集 寒中コンクリート “寒中コンクリートの研究” p. 93〔昭和 23 年〕
- (5) 武藤清，小倉弘一郎：異形鋼筋について。日本建築学会研究報告第 9 号〔昭和 25 年 11 月〕
小倉弘一郎：異形鉄筋コンクリートの文献的考察。日本建築学会研究報告第 19 号〔昭和 27 年 9 月〕

- 小倉弘一郎: 異形丸鋼規格による鉄筋の検査法. 日本建築学会研究報告第 27 号 [昭和 29 年 5 月] p. 159.
- 武藤清, 小倉弘一郎: 新型異形鋼筋のあり方. 日本建築学会研究報告第 14 号 [昭和 26 年 11 月].
- 武藤清, 小倉弘一郎: 新型異形鉄筋の附着力試験. 日本建築学会研究報告第 17 号 [昭和 27 年 3 月]
- 武藤清, 小倉弘一郎: 梁, 柱接合部に於ける異形鉄筋の定着耐力 (その 1); 異形鉄筋重ね継手の耐力 (その 3). 日本建築学会研究報告第 23 号 [昭和 28 年 8 月].
- (6) 加藤六美: 異型鉄筋とコンクリートの附着. 日本建築学会研究報告第 12 号 [昭和 26 年 6 月].
- (7) 甲野繁夫: AE コンクリートと鉄筋との附着強度について. セメント, コンクリート No. 61 [昭和 27 年 3 月] p. 19~22.
- (8) 平賀謙一他 2: AE コンクリートと鉄筋の附着強度について第 1 報. 日本建築学会研究報告第 17 号 [昭和 27 年 3 月].
- (9) A. P. Clark: Comparative bond efficiency of deformed concrete reinforcing bars. Proc. A. C. I. Dec. 1946, p. 381~400.
- A. P. Clark: Highlights of the development of Reinforced concrete and the study of bond. Proc. A. C. I., Feb., 1948, p. 437~440.
- Gilkey, H. J.; Chamberlin, S. J., and Beal, R. W.: The bond between concrete and steel. Proc. A. C. I. Vol. 35, Sept., 1938, p. 1~20.
- T. D. Mylrea: Bond and anchorage. Proc. A. C. I., Vol. 44, Mar., 1948, p. 521~552.
- J. R. Shank: Bond creep and shrinkage effects in reinforced concrete. Proc. A. C. I., Vol. 35, Nov., 1938, p. 81~92.
- S. T. Collier: Bond characteristics of commercial and prepared reinforcing bars. Proc. A. C. I., Vol. 43, June, 1947, p. 1125~1136.
- Bruce Johnson and Kenneth C. Cox: The bond strength of rusted deformed bars. Proc. A. C. I., Vol. 37, Sept., 1940, 57~72.
- David Watstein: Bond stress in concrete pull-out specimens. Proc. A. C. I., Vol. 38, Sept., 1941, p. 37~52.
- George Robert Wernish: Bond studies of different types of reinforcing bars. Proc. A. C. I., Vol. 34, Nov.-Dec., 1937, p. 145~164.
- Report of A. C. I. Committe 208: Proposed test procedure to determine relative bond value of reinforcing bars. Proc. A. C. I., Vol. 41, Feb., 1945, p. 273~292.