

PC グラウトの品質に及ぼす各種セメントの影響について

正員 北海道開発局土木試験所 林 正 道
正員 北海道大学工学部 藤 田 嘉 夫
学生員 同 上 阿 部 勝 久
学生員 同 上 佐 野 暁

1. 要 旨

昭和34年2月、北海道土木技術会プレストレスト・コンクリート研究委員会は、「PC グラウト注入施工指針」を改正した¹⁾。以来、本指針は、北海道内の大部分の工事に採用され、指針の各条項に従って、PC グラウト注入施工を行なっている現状である。そこで、道内で主に使用されているセメントが、グラウトの品質に及ぼす影響をおよぼすかを知ることは、大いに意義のあることと思われる。本文は、昭和35年8月以来、指針の規定に従って行なつて来た実験の結果を述べ、若干の考察を加えたものである。

2. 実験材料

使用したセメントは、A、B、Cの3社の製品で、表-1のとおりである。DN₅、DN₉の各セメントは、特に試験用として製造した粗めのセメントである。以上、セメントは10

表-1 セメントの種類

会社名	普通	早強	その他
A 社	A _N		A _a , A _b
B 社	B _N	B _E	B _a
C 社	C _N	C _E	
A 社	DN ₅		
A 社	DN ₉		

種類であつて、混和剤はポゾリス No.8 および膨脹剤としてアルミニウム粉末を使用した。なお、使用水は工学部飲料用井戸水である。

3. 実験装置ならびに実験方法

グラウトの適性試験として特に重要な装置は、沈入試験装置(図-1)と収縮試験装置(図-2)である。沈入試験の結果は、試験器本体内のグラウト中を沈入錘が所定の高さ

(50 cm) だけ沈降するに要する時間(秒)を表わしており、これは、グラウトの流動性を示すものであつて、30~40 秒が標準とされている。一般に、沈入の大きい方が、収縮や強度などに対して有利であるが、グラウト注入路が比較的長い、または、断面が小さい場合には、沈入時間を小にしなければ、施工が困難になる。次に、収縮試験には、ポイントゲージと測定用蓋を用いて、かん詰用2号押蓋かん(φ99×120 mm)に詰めたグラウトの混合後24時間の収縮量を測定し、収縮率とするのである。収縮率の小さいグラウト程、注入路の填充が良好にでき、指針では、2%を越えてはならないとしている。

かん詰用2号押蓋かんは、これに馬鹿棒使用により約100 mmの高さにグラウトを詰め、収縮試験の目的他に、強度試験の供試体の型枠としてもこれを使用する。単位重量は、混合直後と強度試験時に測定する。圧縮強度試験による強度は、林令7日で250 kg/cm²以上、材令28日で300 kg/cm²以上と指針では規定している。

今回の実験において、採用したグラウトの配合は、混合温度を10°Cおよび20°Cに限定し、各温度において、混和剤(ポゾリス)を含む場合と含まない場合とに分け、それぞれの場合に対して、沈入時間が30~40秒になるw/cのものと、これと±2.5%の差を持つw/cのものとの計3種の水・セメント比を採用した。すなわち、1種類のセメント

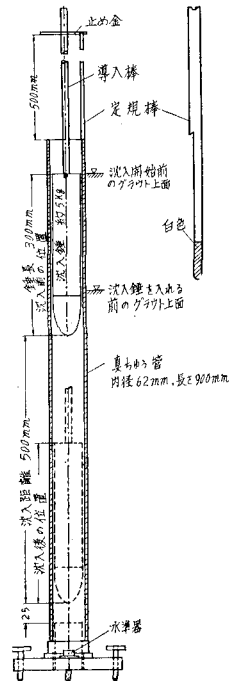


図-1

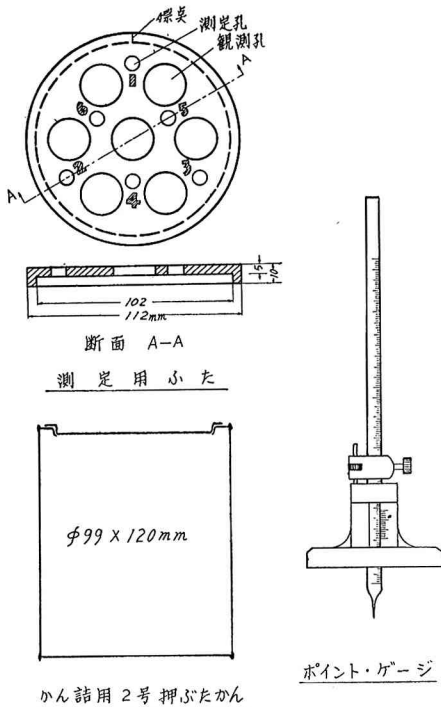


図-2 収縮試験装置

について、混合温度、混和剤混入の有無、水・セメント比などを考え合わせれば、12種（合計120種）を採用したことになる。

グラウトミキサは、試作の容量20ℓのH・L-1型（写真-1, 2）を使用した。混合の際、ミキサの回転数は、180r.p.m.とし、また投入順序は、水および混和剤溶液（ポゾリス10%液）、セメントであつて、混合時間は、セメント投入後5分とした。膨脹剤として、アルミニウムを混和する場合は、セメント投入後2分とした。

室温、投入直前のセメントおよび水の温度、投入直後お

よび練り上つた時のグラウトの温度などのほか、グラウトの練り上り直後行なつた沈入試験の試験器内のグラウト温度をも同時に測定した。練り上つたグラウトは、収縮試験、単位重量測定、圧縮強度試験の各目的のため、6個のかん詰用2号押蓋かんに詰めた。かんに詰めたグラウトの養生方法は、20°Cにおいては、押蓋によりかんに密閉した後恒温温室で、10°Cにおいては、密閉した後、更に、パラフィンで完全に封じし水槽内で、それぞれ養生した。

強度試験を行なう際は、まず、かんに切開き、硬化したグラウトを取出し、供試体上面の凹凸をやすりで取除いた。この上面の平らになつた供試体の高さおよび重量を測定すれば、この時の単位重量が求まる。最後に供試体両面を硫黄でキャッピングして強度試験を行なつた。圧縮強度試験機は、容量50tonのアムスラー型万能試験機を、また、50ton以上の強度を持つ供試体に対しては、容量200tonのアムスラー型耐圧試験機を使用した。（50tonの圧縮に耐える供試体は、圧縮強度が650kg/cm²以上出ていることになる。）

4. 実験結果とその考察

実験の結果（11月30日現在までに終了）を沈入、収縮率、単位重量、材令7日、28日強度別に表-2に示した。ただし、この表に示したものは、実験結果の一部で、沈入時間が35秒になる値をグラフより選んで示した。凍結安定性試験は、まだ、終了していないが、終了した部分を後に述べることにする。

4-1 沈入試験

水・セメント比によつて、沈入は左右される。沈入は30～40秒が標準であることは前記したが、水・セメント比が小であれば、すなわち、沈入が大であれば、同種のセメントでは、強度、収縮率、共に好結果を得ることは当然である。またニートセメントによるグラウトと、混和剤混入によるグラウトとを比較した場合、セメントの種類によつて非常に異なることがわかつた。一般的にいつて、混和剤を混入したグラウトは、ニートセメントによるグラウトより良い結果を得ることができた。すなわち、混和剤混入の効果がないかあるいはかえつて悪影響を及ぼすセメントは、20°CではB_N、10°CではB_aのみである。一方、混和剤の効果が著しいセメントは、20°C、10°CともにA_N、A_bなどであつて、図-3に示すように、混和剤を混入することにより、所定の沈入を得るための水・セメント比を約10%も減ずることができた。このように、セメントの種類によつて、流動性が非常に異なつたり、混和剤混入による効果の認められないものからw/cを10%近くも低下させることができるものまであることなどは、すでに筆者などの指摘したところの⁶⁾であつて、セメントの撰定には十分注意する必要があることを示している。

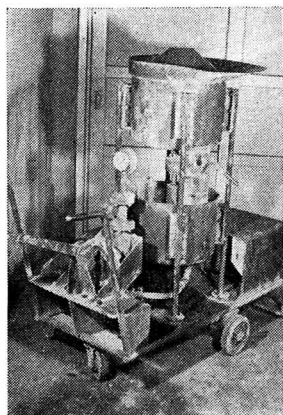


写真-1 グラウトミキサ

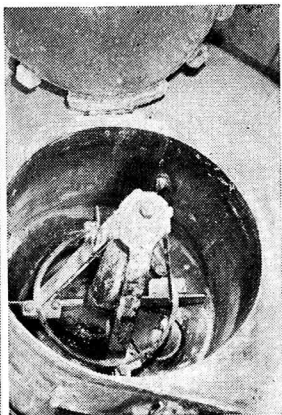
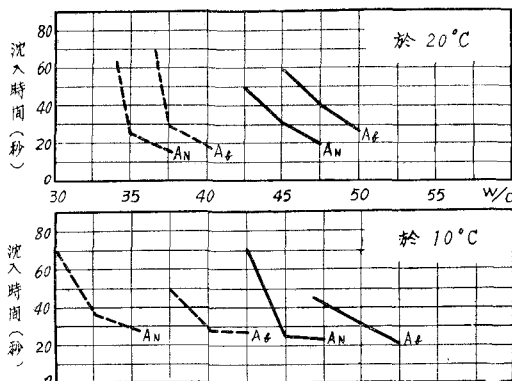


写真-2 練り混ぜタンク

表—2 沈入時間が約 35 秒となる w/c とその配合によるグラウトの
収縮率, 単位重量ならびに圧縮強度

セメント の種類	混 合 温 度 °C	ポゾリス %	水・セメン ト 比 %	収縮率 %	単位重量 (比重)			圧縮強度 kg/cm^2		備 考
					生	7 日	28 日	7 日	28 日	
A _N	20	0	44.0	38	1.91	1.98	1.98	410	500	
A _a	20	0	46.5	2.5	1.86	1.91	1.93	350	440	
A _b	20	0	48.5	2.8	1.86	1.90	1.92	380	430	
B _N	20	0	40.0	2.6	1.95	2.02	2.04	430	450	
B _E	20	0	54.0	2.3	1.81	1.84	1.88	340	380	
B _a	20	0	51.0	3.3	1.78	1.84	1.87	240	380	
C _N	20	0	42.5	3.7	1.93	2.01	2.05	460	590	
C _E	20	0	47.5	2.0	1.86	1.90	1.93	370	480	
D _{N9}	20	0	42.5	7.4	1.92	2.08	2.06	410	360	
D _{N5}	20	0	41.5	5.3	1.95	2.04	2.04	390	550	
A _N	20	0.25	34.5	0.4	2.03	2.04	2.05	530	560	
A _a	20	0.25	39.5	0.7	1.94	1.96	1.97	430	450	
A _b	20	0.25	37.0	0.2	1.97	1.98	2.00	580	540	
B _N	20	0.25	42.5	3.3	1.93	1.98	2.01	430	440	
B _E	20	0.25	46.5	2.2	1.86	1.89	1.94	440	460	
B _a	20	0.25	43.0	2.3	1.85	1.87	1.89	350	450	
C _N	20	0.25	39.5	2.1	1.96	1.99	2.02	500	570	
C _E	20	0.25	39.0	0.4	1.95	1.96	1.97	460	460	
D _{N9}	20	0.25	41.5	0.0	1.91	1.95	1.95	360	580	
D _{N5}	20	0.25	39.5	1.5	1.94	1.99	1.99	370	560	
A _N	10	0	44.0	3.2	1.92	1.96	1.95	170	420	
A _a	10	0	43.5	3.2	1.88	1.96	1.97	170	370	
A _b	10	0	49.0	3.8	1.85	1.93	1.94	160	350	
B _N	10	0	44.5	4.2	1.92	2.01	2.02	220	450	
B _E	10	0	47.0	0.7	1.89	1.91	1.91	360	480	
B _a	10	0	47.5	0.4	1.81	1.83	1.83	130	280	
C _N	10	0	40.5	5.4	1.98	2.03	2.02	240	510	
C _E	10	0	47.5	3.3	1.86	1.93	1.92	250	340	
D _{N9}	10	0	40.0	7.8	1.96	2.07	2.07	220	490	
D _{N5}	10	0	39.5	7.0	1.97	2.09	2.10	260	500	
A _N	10	0.25	33.0	0.4	2.06	2.10	2.08	300	530	
A _a	10	0.25	39.0	1.0	1.93	1.94	1.96	230	430	
A _b	10	0.25	39.0	0.7	1.95	1.96	1.97	240	460	
B _N	10	0.25	36.5	0.6	1.98	2.01	2.01	250	530	
B _E	10	0.25	40.0	0.2	1.93	1.97	1.98	410	540	
B _a	10	0.25	49.5	0.8	1.86	1.92	1.92	170	370	
C _N	10	0.25	34.5	0.4	2.03	2.05	2.06	330	560	
C _E	10	0.25	40.0	0.5	1.93	1.95	1.95	370	520	
D _{N9}	10	0.25	39.5	1.3	1.92	1.95	1.97	160	450	
D _{N5}	10	0.25	37.5	0.6	1.95	1.97	1.96	290	450	

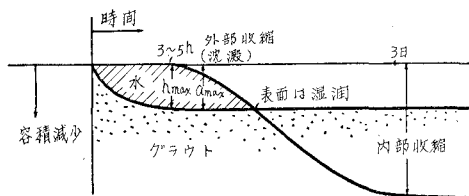


実線はニートセメントの場合
点線はポゾリスを混合した場合

図-3 沈入時間から見たポゾリスの
効果大のセメント

4.2 収縮率

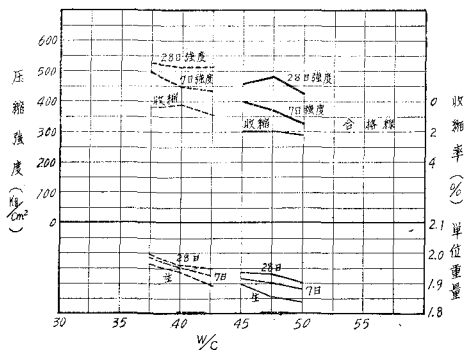
収縮は、外部収縮と内部収縮に分けられる。外部収縮と内部収縮が起り得る時間的關係を 図-4 に示した。外部収縮は、水の分離、ブリージングなどによって生ずる収縮で



a_{max} : 外部収縮最大値
 h_{max} : 分離水の深さの最大

図-4

あつて、練り上り填充後、直ちに生じ始め、その大きさは、水・セメント比によって影響を受ける。外部収縮と内部収縮におよぼす水・セメント比の影響は反対であつて、水量が増せば増す程、外部収縮は増加し、内部収縮は減少する。内部収縮は、填充後3~5時間後に起り始め、特に、凍結安定性に影響を与えるものである。しかし、内部収縮は、非常に測定困難であるため、凍結安定性の判定のために、これを用いることはできない。一方、外部収縮は、グラウトの填充の程度を判定するために、また、凍結安定性判定の資料とするために測定の必要がある。指針では、収縮率2%をもつて可否の判断を行なう基準としている。この収縮率2%以内のグラウトは、20°Cにおけるニートセメントを使用したグラウトでは、CEを除いてなかつた。ただし、CEにおいても、 $w/c=45\%$ で、沈入=55.1秒、収縮率=2.0%、また $w/c=47.5\%$ で、沈入=34.9秒、収縮率=2.0%、また $w/c=50\%$ で、沈入=22.6秒、収縮率=2.3%で、3種類の水・セメント比のうちで、収縮率が2.0%を越えるのが一つあるが、 $w/c=47.5\%$ 、すなわち、沈入時間が



基線上の太線は沈入30~40秒の範囲を示す。
実線はニートセメントによるグラウト
点線はポゾリスを混合したグラウト

図-5 C.E.セメント (於20°C)

30~40秒になる範囲において、収縮率が2.0%以下を示したので可とした。これについては 図-5 に示してある。また、20°Cの混和剤混入グラウトでは、BN、BE、Ba、CNを除く他の全ては、収縮率が2.0%以内であつた。これらのグラウトのうちで、DN₉のようにほとんど容積変化を起さないセメントもあつた。一方、10°Cのニートセメントでは、BE、Ba、10°Cの混和剤混入グラウトでは、すべてのセメントが、収縮率2.0%以内であつた。以上のことより一般的にいつて、混和剤(ポゾリス)を混入することは、収縮にとって非常に有効であるが、セメントによつては有効に仿かないものもあるといふことができる。

4.3 単位重量

単位重量の測定は、この試験に直接の関係はなかつたが、試験時に起る種々の誤り、また、誤差の判定の基準とするために、生グラウト、材令7日グラウト、材令28日グラウトについて測定した。一般に生グラウトよりも材令7日、28日グラウトの方が単位重量が大となつた。

4.4 圧縮強度

沈入を基準とした諸試験においては、7日強度、28日強度、また後に記す凍結安定性試験においては、5日強度、28日強度を試験した。指針では、7日強度が250 kg/cm²以上、28日強度が300 kg/cm²以上と規定していることは前述した。一般的に、7日強度では、硬化速度が養生温度に關係あるので、20°Cでは、Ba(ニートセメントの場合)を除く他のすべては、基準以上の強度を得たが、10°Cにおいては、AN、BE、CN、CE(以上混和剤を混入)、BE(ニートセメントの場合)だけが基準以上の強度を得たに過ぎなかつた。強度に関しても、ニートセメントの場合よりも、混和剤を混入した場合の方がはるかに有利である。このことは、混和剤を混入することにより、水・セメント比を減ずることができたためと思われる。

7日強度の点から考えると、少なくとも10°C以上で施

工する必要があるが、指針では、 $10^{\circ}\sim 25^{\circ}\text{C}$ で施工することを標準としている。

5. 凍結安定性試験

PC グラウトの凍結安定性は、特に、北海道のように、冬期に凍結気温になる地方では、重要なことである。今回の実験の段階では、まだ、これについて終了していないが、実験装置ならびに実験方法と、今までの試験結果をあげてみた。

指針の規定では、凍結に安定であるためには、供試体3個に対し、5日間 $10\pm 2^{\circ}\text{C}$ で養生した後、少なくとも -20°C まで1回低下させたとき、グラウトの容積膨脹があつてはならないとされている。凍結安定性試験に用いた装置は、供試体作成のための型枠、膨脹計、冷蔵庫などである。供試体作成の型枠としては、 $\phi 53\times 80\text{ mm}$ のかん詰用押蓋かんを用いたが、これによつて、高さ $70\sim 73\text{ mm}$ の供試体を造つた。また養生は、完全密封を必要とするので、かんをパラフィンで封印した上、ポリエチレンの袋に詰めたものを恒温水槽内につけた。凍結安定性試験用膨脹計は図-6に示すもので、供試体の容積変化は、 $1/50\text{ cc}$ の目盛のついたガラス管内を水銀面が上下することによつて知ることができるのである。冷蔵庫は、 -20°C 以下に冷却可能なことは当然であるが、冷蔵庫外部からガラス管の目盛が読めるように二重窓を設備してある。写真-3は、凍結安定性試験開始直前の状態である。試験開始後は、水銀面の変化量と膨脹計内部水銀温度を測定するが、これは、10分間隔に測定した。水銀温度は、常温から -20°C まで、約3時間で降下した。 -20°C に達してからは、指針では、2時間

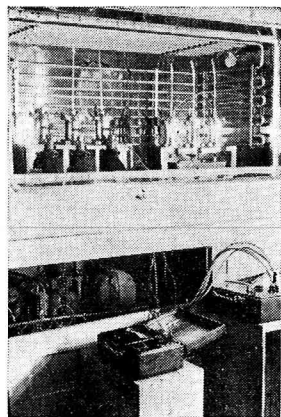


写真-3

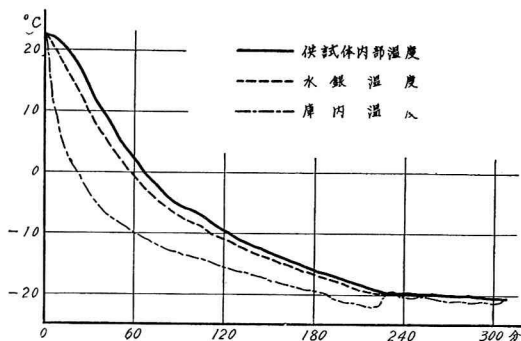


図-7 凍結安定性試験における諸温度の関係

の測定を行なうことになっているが、予備実験の結果(図-7)から水銀温度が -20°C に達した後、約20分間で供試体内部温度は、 -20°C に達することが分つたので、今回の実験では、1時間の測定を行なうことに定めた。

供試体は、各種セメントについて、すべて、45%の水・セメント比として、ニートセメントの場合、混和剤(ボゾリス)を混入した場合、混和剤と膨脹剤(アルミニウム)

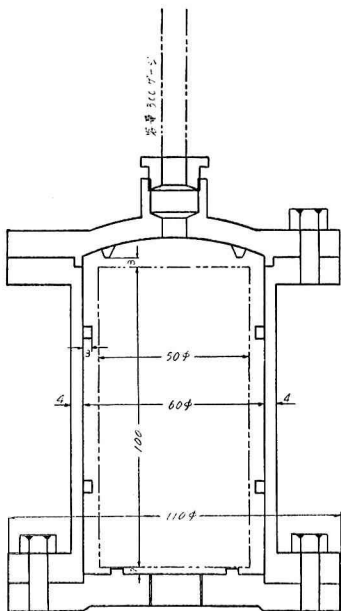


図-6 凍結安定性試験膨脹計

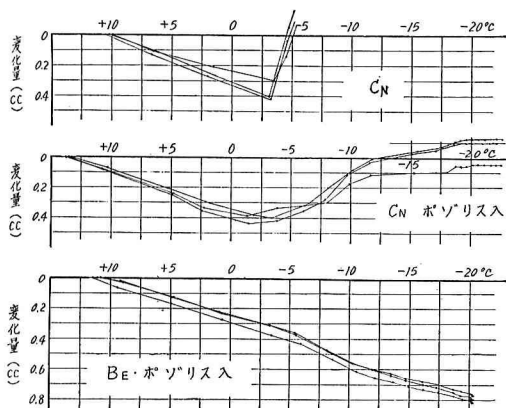


図-8 凍結安定性試験
($W/c=45\%$ の場合)

を混入した場合の3種の配合について作つた。

試験の結果は、ニートセメントの場合は、10種類のセメント全部が不合格となり、混和剤を混入した場合は、A_N、B_A、C_Nを除く7種類のセメントが合格した。混和剤と膨脹剤を加えた場合のグラウトについては、現在、実験中である。本試験においても、混和剤(ポゾリス)が有効に働いたことが分つた。ニートセメントの場合で、不合格、ポゾリスを混入した場合で不合格、ポゾリスを混入した場合で合格したグラウトの温度-容積変化の関係のグラフの一例を図-8にあげる。

6. 結 論

現在までの実験結果を総括すると

A) 流動性

1) 流動性に与える混合温度(10°C, 20°C)の効果は、セメントの種類、また混和剤混入の有無により、種々異なり、一概にいうことはできない。試験セメント中約2/3は、混合温度20°Cで行なうよりも、10°Cの方が有効であつた。

2) 混和剤を混入することは、2, 3の例外を除いて、混合温度10°C, 20°Cとも、有効である。特に、A社系のセメントには、非常に有効である。

3) 早強セメントは、一般に流動性が悪い。

4) 粒子の粗いセメントには、混和剤が有効に働かない。

B) 収 縮

5) 混合温度10°Cでは、混合温度20°Cに比べて収縮率は、小である。

6) 混和剤を混入することは、混合温度10°C, 20°Cとも、B社系(混合温度10°CのB_Nを除く)を除く他社のセメントに有効である。

7) 粒子の粗いセメントは、同じ水・セメント比で、混和剤を混入することにより収縮率を非常に減少する。

C) 強 度

8) 混合温度20°Cでは、硬化が早いので、すべてのセメントが所定の強度に達する。

9) 混合温度10°Cでは、7日強度が250 kg/cm²に達しないものが約半数ある。

D) 凍結安定性

10) 混和剤の混入は凍結安定性に対して、非常に有効である。

以上のことより、同一社のセメントでも、製造工場の相違により、また実際同工場製造セメントであつても製造時期の差によつて、グラウト品質に与える影響の異なることもあるので、使用にあつては、あらかじめ試験を行なう必要がある。

参 考 文 献

- 1) 北海道土木技術会プレストレストコンクリート研究委員会：PCグラウト注入施工指針(北海道土木技術会研究資料第17号，昭和34年2月)。
- 2) 横道英雄：ドイツにおけるPCグラウト注入施工に関する最近の研究について(同上別刷，昭和34年2月)。
- 3) 横道英雄・林正道・尾崎昶：PCグラウトの品質試験方法について(土木学会第14回年次学術講演会講演概要集，昭和34年6月)。
- 4) 横道英雄・藤田嘉夫・尾崎昶：材料および混合条件のPCグラウト品質に及ぼす影響について()
- 5) 横道英雄・林正道：PCグラウトの凍結安定性について()
- 6) 藤田嘉夫・尾崎昶：PC用グラウトの品質試験について(土木学会北海道支部技術資料第15号，昭和34年2月)。
- 7) 林正道・佐藤安晴：PCグラウトの流動性および凍結安定性に及ぼすセメント，混和材料，配合の影響について(土木試験所月報第81号，昭和35年4月)。