

港湾技術資料

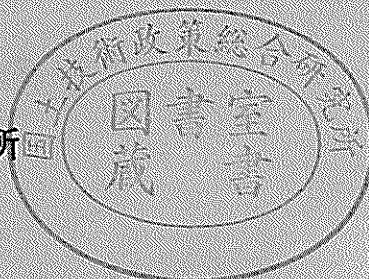
TECHNICAL NOTE OF
PORT AND HARBOUR TECHNICAL RESEARCH INSTITUTE
MINISTRY OF TRANSPORTATION, JAPAN

No. 3 June, 1963

- 被膜養生剤がコンクリートの強度
におよぼす影響に関する研究.....小 宮 山 正 文
- 防水混和剤がモルタルおよび
コンクリートの諸性質におよぼす影響.....森 口 拓
木 村 茂 雄
- プレバックド・コンクリート工法に関する
資料調査報告(第一報).....赤 塚 雄 三

昭和 38 年 6 月

運輸省港湾技術研究所



目 次

被膜養生剤がコンクリートの強度におよぼす影響に関する研究	1
§ 1 概 要	1
§ 2 実 験 方 法	2
2.1 養 生 条 件	2
2.2 コンクリート使用材料と被膜養生剤	2
2.3 コンクリートの配合	4
2.4 コンクリートの練り混ぜ方法と供試体の製作	4
2.5 試験方法（強度および重量変化試験）	5
§ 3 実験結果とその検討（実験—I）	5
3.1 実験結果	5
3.2 実験結果の検討	8
§ 4 実験結果とその検討（実験—II）	12
4.1 実験結果	12
4.2 実験結果の検討	16
§ 5 結 論	18
防水混和剤がモルタルおよびコンクリートの諸性質におよぼす影響	20
§ 1 結 言	20
§ 2 使 用 材 料	21
§ 3 モルタルおよびコンクリートの配合	21
§ 4 試 験 方 法	22
4.1 モルタルおよびコンクリートの練り混ぜ	22
4.2 空 気 量 試 験	22
4.3 強 度 試 験	22
4.4 吸 水 試 験	23
4.5 乾燥収縮試験	24
4.6 硫酸塩溶液による浸漬試験	24
4.7 ブリージング試験	24
§ 5 試験結果およびその考察	24
5.1 ハイドロペルがセメントの凝結時間、フローおよび安定性におよぼす影響	24
5.2 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの強度におよぼす影響	25
5.3 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの吸水性におよぼす影響	26
5.4 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの乾燥収縮におよぼす影響	28
5.5 ハイドロペルがモルタルおよびコンクリートの耐硫酸塩性におよぼす影響	29
5.6 ハイドロペルがコンクリートのブリージングにおよぼす影響	30
§ 6 結 論	31

プレパックド・コンクリート工法に関する資料調査報告（第1報）	33
§ 1 資料調査について	33
§ 2 調査した刊行物	34
§ 3 内容の分類と採録の形式	36
資料篇	37
§ 1 工法紹介，解説	37
§ 2 工事報告	40
§ 3 実験研究	45
§ 4 試験方法	51
§ 5 品質管理	52
§ 6 施工基準，施工機械，その他	52

被膜養生剤がコンクリート強度におよぼす 影響に関する研究

小宮山 正文*

1. 概 要

コンクリートは時間の経過とともにセメントの水和作用により硬化するもので、硬化後の強度その他の諸性質は温度や湿度などの養生条件によって著しく影響される。従って所定の品質のコンクリートを得るためには打込み以前におけるコンクリートの品質管理と共に打込み後における養生方法も極めて大切である。しかしながら実際の施工条件の下では、打込み後のコンクリートの養生を完全に管理する事は容易でなく、ともすると軽視されがちで、最も大切な初期養生期間に放置されている例が多いようである。特に港湾コンクリート工事においてはテトラポッドや三角ブロックなどのような異形コンクリート構造物をブロックヤードで大量に製作する機会が多くなっているが、このような場合に上述のような例が多い。これには、① 限られた数量の型枠の使用効果を上げるため型枠取外しの時期が一般に早い事（通常材令4～7日程度）、② 構造物が異形であるため濡れ藁やキャンパスなどの被覆材料による完全な被覆が困難である事、③ 一般にブロックヤードが海岸に近く、風に対する遮蔽物が少ないため被覆材料の保持が困難である事などの理由が挙げられている。養生条件の中で最も大切な要素は温度と湿度であるが、一般の工事においてコンクリートの養生に適当な温度を保つ事は不可能ではないにしても困難でかつ高価であり、経済的でない場合が多い。これに対して湿度の管理は既にコンクリート中にある水分の蒸発を防止するのみで十分な効果を挙げ得るもので、適当な被覆材料あるいは被膜養生剤を用いる場合には経済的に行ない得ると云われている。既に指摘したように異形コンクリート構造物の養生に濡れ藁やキャンパスなどの被覆材料を用いる事は不適當であるとされている。そこで著者は道路舗装コンクリートなどの養生に効果を挙げたと云われている被覆養生剤を取り上げ種々の条件下でこれを試験して、① 特別には養生しないコンクリートの強度が標準養生したものと較べてどの程度に低下するものか、② 被膜養生剤を用いればどの程度これを改善する事ができるか、の二点について調査した。用いた被膜養生剤は市販されている塩化ビニール系2種とアスファルト乳剤1種である。実験はコンクリートの配合と養生条件の管理の仕方によって2部に分けて行なった。実験Ⅰは高炉セメントを使用したコンクリートについて養生温度および湿度を特別には管理しない条件下での被膜養生の効果を検討したもので、温度および湿度調節の設備を欠く条件下のコンクリートの強度がどのように変化するかを調べる事を副次的目的として行なわれた。特に高炉セメントを用いたのは、高炉セメントを使用したコンクリートについては初期養生を注意深く行なう事が大切である¹⁾と指摘されているにも拘わらず、近年海水に対する耐久性などの点からテトラポッドや三角ブロックなどにこれを用いる傾向がありその養生条件が問題となるからである。実験Ⅱは養生温度を21°Cの一定温度とし、湿度を45%、85%および100%（噴霧養生）と管理した条件下において高炉セメントおよび普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートについての被膜養生の養生の効果を比較検討したものである。

* 元構造部 材料施工研究室、現第一港湾建設局 新潟調査設計事務所

2. 実験方法

2.1 養生条件

(i) 実験-I (養生条件を管理しない場合)

同一配合のコンクリートを4つのグループに分け表-2.1のような条件の下で養生した。標準養生のグループを除いてはいずれのグループも、更に被膜養生剤を塗布しないものと塗布したもの(2~3種)に分けられる。

表-2.1 実験-Iにおけるコンクリートの養生条件

条件番号	養生状態	気温または水温 °C			相対湿度 %		
		最高	最低	平均	最高	最低	平均
A	室内に放置	33	13	23	95	37	78
B	室内に置き濡れ藎で被覆	33	13	23	—	—	—
C	屋外の水槽に浸漬	31	7	22	100	100	100
D	標準養生(恒温水槽)	22	20	21	100	100	100

気温および相対湿度の測定は自記温度計および自記湿度計を用いて行ない、平均気温および湿度は9時, 11時, 13時30分および15時30分の4測定時における気温および湿度の平均をとって各日の平均とし、これの実験の行なわれた期間(1962年8月~12月)についての総平均をとったものである。1週および4週強度試験は比較的高温の季節(8月~9月)に行ない、13週強度試験は低温の季節(11月~12月)に行なっているので平均気温は各材料に共通のものではなく単なる目安に過ぎない。屋外の水槽の水温は9時, 11時, 13時30分および15時30分(土曜日は9時および11時, 日曜, 休日は測定なし)の各時刻における測定結果を上記と同様にして取纏めたものである。また濡れ藎による被覆は必ずしも完全なものでない。1日1~2回程度散水を行ない休日には散水せず、従つて休日明けには時折藎が乾いている場合もあつたが実際の施工条件下における養生方法の模倣の意味で行なつたもので特別な対策は施していない。

(ii) 実験-II (養生条件を管理した場合)

養生条件を管理しない場合の高炉セメントを用いたコンクリートについての実験結果から大体の傾向が把握されたので、これを確認すると共にセメントの種類による被膜養生剤の効果の程度を調べるために行なつたもので、コンクリートの養生は一切恒温恒温室において行つた。実験-Iの場合と同様に同一配合のコンクリートを4つのグループに分け表-2.2のような条件の下で養生したもので、標準養生のグループを除いてはいずれのグループも更に被膜養生剤を塗布しないものと、塗布したもの(3種)に分けられる。

表-2.2 実験-IIにおけるコンクリートの養生条件

条件番号	養生状態	気温または水温 °C			相対湿度 %		
		最高	最低	平均	最高	最低	平均
E	低温恒温室に放置	22	20	21	53	47	50
F	高温恒温室に放置	22	20	21	90	80	85
G	噴霧恒温室に放置	22	20	21	100	100	100
H	恒温水槽に浸漬	22	20	21	100	100	100

2.2 コンクリート使用材料と被膜養生剤

(i) セメント

セメントは実験-Iにおいては八幡高炉セメントB種(八幡化学工業株式会社製)を用い、実験-IIにおいては八幡高炉セメントB種および小野田普通ポルトランドセメント(小野田セメント株式会社田原工場製)を用いた。その主な性質を表-2.3に示す。

表-2.3 セメントの主な物理的性質

セメントの種類	実験の区分	比重	粉末度ブレン値 (cm ² /g)	圧縮強度 (kg/cm ²)			曲げ強度 (kg/cm ²)		
				3日	7日	28日	3日	7日	91日
八幡高野セメント・B種	I・II	3.04	3,690	27.3	40.7	67.4	94	177	401
小野田普通ポルトランドセメント	II	3.16	3,290	32.9	47.2	69.1	138	227	400

(ii) 細骨材

実験-Iに用いた細骨材は神奈川県鶴沼海岸産のもので、実験-IIには同県馬入川産のものを用い、共に土木学会コンクリート標準示方書に示された細骨材の粒度の標準と比較するとやや細目の砂である。その主な物理的性質を表-2.4に示す。

表-2.4 細骨材の物理的性質

細骨材の種類	実験の区分	比重	吸水量 (%)	ふるいを通るものの重量百分率						粗粒率
				ふるいの呼び寸法 (mm)						
				5	2.5	1.2	0.6	0.3	0.15	
鶴沼海岸砂	I	2.54	2.5	100	93	83	67	34	4	2.19
馬入川砂	II	2.67	2.3	100	97	90	52	7	3	2.51

(iii) 粗骨材

実験-I, II共に神奈川県酒匂川産砂利を用いた。使用に先立つて5~10, 10~15, 15~20および20~25mmの4種にふるい分け各寸法ごとに計量して使用した。実験-IとIIで粒度が多少相違するのは再結合のための比率を多少変更したために生じたもので、共に土木学会コンクリート標準示方書に示された粗骨材の粒度の標準に合致する。その主な物理的性質を表-2.5に示す。

表-2.5 粗骨材の物理的性質

粗骨材の種類	実験の区分	比重	吸水量 (%)	ふるいを通るものの重量百分率					粗粒率
				ふるいの呼び寸法 (mm)					
				25	20	15	10	5	
酒匂川砂利	I	2.74	2.24	100	84	54	41	0	6.79
	II	2.74	2.24	99	77	50	25	3	6.95

(iv) 混和剤

実験-Iでは混和剤を用いず、実験-IIではセメント分散剤としてポゾリスNo.5を用いた。

(v) 被膜養生剤

塩化ビニール系被膜養生剤として、サランラテックスCタイプ(旭化成工業株式会社)、およびクレハロンラテックス(呉羽化学工業株式会社)の2種、およびアスファルト乳剤(東亜道路工業株式会社)1種計3種を試用した。サランラテックスCタイプとクレハロンラテックスは共に塩化ビニリデンと塩化ビニールとの共重合体で塩化ビニリデン樹脂と呼ばれるものに適量の可塑剤を加えて可塑化したものでその物理的および化学的性状は表-2.6に示す通りである。使用したアスファルト乳剤は道路舗装コンクリートの被膜養生剤として市販されているものの一種で懸濁瀝青粒子の大きさが制限され、散布に適した粘性を持つといわれて居るものであるが、その物理的、化学的性状を表-2.7に示す。

表-2.6 塩化ビニール系被膜養生剤の性状

養生剤の種類	比重	P. H.	表面張力 (dyne/cm)	樹脂分 (%)	粘度 (C. P. S)	粒度 (micron)	色調
サランラテックス C-Type	1.180~1.225	4~7	35~38	≒50	5.0~15.0	0.07~0.15	乳白色
クレハロンラテックス	1.17	4~7	—	≒50	5.0~12.0	0.2	乳白色

表-2.7 アスファルト乳剤の性状

乳 剤 の 性 状					瀝青残留物の性質		
セイボルトフローール 粘度 (CEC)	瀝青含有 量 (%)	篩試験 (%)	破壊試験 1/50N(%)	貯蔵安定 度5日(%)	針入度	伸度(cm)	四塩化炭素可 溶成分(%)
15~150	57~65	0.5以下	50以上	10以上	150~300	100以上	97以上

2.3 コンクリートの配合

実験-Iにおいては高炉セメントを用い、コンクリートの品質管理の状態が良好でない場合の一例として単位セメント量 256kg, スランブ15cmとなるように配合を定めた。実験-IIにおいては高炉セメントおよび普通ポルトランドセメントを用い、単位セメント量256kg, スランブ 8 ± 1 cm, 空気量 5 ± 1 %, となるように試験を行なって配合を定めた。用いたコンクリートの配合を表-2.8 に示す。

表-2.8 コンクリートの配合と性質

配合番号	実験の 区 分	単位セ メント 量(kg)	単位 水量 (kg)	単位細 骨材量 (kg)	単位粗 骨材量 (kg)	単位ポ リス量 No.5(kg)	粗骨材 最大寸 法(mm)	水セメ ント比 (%)	絶対細 骨材率 (%)	スラン ブ(cm)	空気量 (%)
1*	I	250	175	695	1,330	—	25	70	35	15.1	—
2**	II	250	130	858	1,138	1.25	25	52	43	8.3	4.9
3***	III	250	135	849	1,126	1.25	25	54	43	7.6	4.3

注) * 八幡高炉セメント (B種) ** 小野田普通ポルトランドセメント *** 八幡高炉セメント (B種)

2.4 コンクリートの練り混ぜ方法と供試体製作

実験-I, IIの区分により異った練り混ぜおよび製作方法を試みた。

(i) 実験-I

(A) 練り混ぜ方法

粗骨材は予め表面乾燥飽和状態とし、細骨材は若干の表面水がある程度の湿潤状態として表面水を測定してこれを用いた。練り混ぜには容量110ℓ (4切) の可傾型ミキサを用い、最初に細骨材とセメントを投入して2分間攪拌し、これに水を加えて3分間練り混ぜ、最後に粗骨材を投入して5分間練り混ぜ、合計10分間の練り混ぜ時間とした。

(B) 供試体の製作および被膜養生剤の塗布

圧縮強度試験にはφ15×30cm 円柱供試体を用い曲げ強度試験には10×10×40cm角柱供試体を用い、コンクリートの打込み方法は夫々 JISA 1108—1950 (コンクリートの圧縮強度試験方法) および JISA 1106—1950 (コンクリートの曲げ強度試験方法) の規定に準じて行なった。成形後直ちに高温恒温室(21°C, 85% R. H.)に搬入し、圧縮強度試験供試体については24時間後にセメント・ペーストを用いてキャッピングを施し、48時間後に型枠を取外した。曲げ強度試験供試体については成形後時間経て型枠を取外した。両供試体共型枠取外し後直ちに夫々の被膜養生剤を塗布した。サランラテックスCタイプおよびクレハロンラテックスの場合には原液を水で5倍(原液:水=1:4)に希釈し、アスファルト乳剤の場合は原液のまま、いずれも吹付器を用いて1回吹付けて塗布し更に約1時間後に刷毛を用いて上塗りを施した。塗布終了後所定の養生場所に搬出し強度試験の材令(1, 4 および13週)の日まで養生した。

(ii) 実験-II

(A) 練り混ぜ方法

細骨材および粗骨材共に空気中乾燥状態で用いた。実験-Iと同じミキサを使用し、最初に細骨材と粗骨材を投入しこれに水の一部を加えて攪拌した後3分間ミキサを停止して吸水させる。次いでミキサを始動すると同時にセメントを投入し1分間攪拌した後残りの水を全部投入し2分間練り混ぜる。次いでミキサを停止し3分間放置

した後再び始動して1分間継続して練り混ぜを終了する。練り混ぜ時間の合計は5分間、所要時間は11分間である。以上の練り混ぜ方法で、練り混ぜ中途に3分間停止した後に1分間継続したのはセメントの低濃度で類似したコンクリートの過早凝結 (Premature Setting) による異常硬化を防止するための処置である。また計量した水には予め骨材の吸水量 (空气中乾燥状態から表面乾燥飽和状態を得るに必要な水量) が加えられて居り、練り混ぜ当初に吸水のために加えた水はほぼこの吸水量に相当する量である。

(b) 供試体の製作および被膜養生剤の塗布

強度試験は圧縮強度試験のみとし $\phi 15 \times 30$ cm 円柱供試体について行なった。コンクリート打ちは JISA 1108 の補足規定 (振動機を用いる締固め方法) に準じた方法で行なった。材料は $20 \pm 2^\circ\text{C}$ (100% R. H.) に投入し、24時間後これを高温恒温室 (21°C , 85% R. H.) に移動して同室で型枠取外しおよび被膜養生剤の塗布を行った。被膜養生剤塗布の方法は実験-I に用いた方法と同様である。供試体の表面仕上げは強度試験の1~2時間前に石膏によるキャッピングによった。用いた石膏は歯科治療用石膏 (Yoshin 石膏株式会社, 東京) で、気温附近では注水後20~30分で完全に硬化し、試用結果は良好であった。

2.5 試験方法 (強度および重量変化試験)

コンクリートの圧縮強度試験は $\phi 15 \times 30$ cm 円柱供試体についてアムスラー型万能試験機 (容量100トン東京衛機株式会社) を用いて JISA 1108—1950 に準じて行ない、曲げ強度試験は $10 \times 10 \times 40$ cm 角柱供試体についてアムスラー型耐圧試験機 (容量20トン前川試験機株式会社) を用いて JISA 1106—1950 に準じて行ない、供試体3個の試験値の平均値を以て強度とした。曲げ強度試験において荷重は3等分点荷重とし支間距離は $3 \times 10 = 30$ cm である。強度試験は実験-I の場合は1, 4および13週の3材令について、実験-II の場合は3, 7, 14および28日の4材令について行なった。また実験-I の場合には曲げ強度試験折片を用いて圧縮強度試験を JISA—1114—1951 に準じて行なった。ただしこの場合の支圧面積は 10×15 cm, 高さは10cm である。以上の強度試験は被膜養生剤の効果を強度の面から考察するために行なったものであるが、この他に型枠取外し後から強度試験直前までの供試体の重量変化を測定し、これによって被膜養生剤の水分保持の効果を観察する事も試みた。重量測定は秤量50kg, 感量50gの秤を用いて型枠取外し時、被膜養生剤塗布直後、養生期間中および強度試験直前に適時行なった。

3. 実験結果とその検討 (実験-I)

3.1 実験結果

養生条件を管理しない場合における強度試験結果を表-3.1 に示す。表-3.2 は供試体の重量変化の測定

表-3.1 実験-Iにおけるコンクリートの圧縮および曲げ強度

材令 (日)	標準 (21°C) (100%)	室内放置 ($33 \sim 13^\circ\text{C}$) ($95 \sim 37\%$)				濡れ布で被覆 ($33 \sim 13^\circ\text{C}$)				屋外 水槽 ($31 \sim 7^\circ\text{C}$) (100%)		
		無 b	サラン c	クレハロ ン d	アスファ ルト e	無	サラン	クレハ ロン	アスフ ァルト	無	サラン	クレハ ロン
圧縮強度 (kg/cm^2) a												
7	82	106	110	109	110	114	111	109	110	122	104	107
28	193	140	147	144	150	156	154	152	151	203	180	179
91	295	169	179	176	193	202	197	198	199	260	231	230
曲げ強度 (kg/cm^2) f												
28	38.2	18.5	21.3	24.3	24.6	20.2	21.3	23.1	22.8	45.0	—	—
91	43.6	24.9	25.3	27.3	30.1	26.7	31.5	28.2	29.5	48.8	—	—
圧縮強度 (kg/cm^2) (曲げ試験折片を用いた試験) g												
28	373	254	262	262	263	260	269	262	269	397	—	—
91	513	308	313	312	329	339	342	340	350	485	—	—

注) a 3個の試験値の平均値
 b 被膜養生剤を塗布せぬ場合
 c サランラテックス C Tyce
 d クレハロンラテックス
 e アスファルト乳剤
 f $10 \times 10 \times 40$ cm 角柱供試体
 g 6個の試験値の平均値, 支圧面積 10×15 cm, 高さ10cm

表-3・2 実験-Iにおけるコンクリート供試体の重量変化, 単位: kg

材令 (日)	重 測 定 時	標準養生 (21°C) (100%)	室内放置 (33~13°C) (95~37%)				濡れ延で被覆(33~13°C)				屋外 水槽 (31~7°C) (100%)		
			無	サラ ン	クレ ハ ロン	ア ス フ ア ルト	無	サラ ン	クレ ハ ロン	ア ス フ ア ルト	無	サラ ン	クレ ハ ロン
圧縮強度供試体 (φ15×30cm)													
7	α	12.69	12.73	12.81	12.77	12.75	12.68	12.78	12.74	12.71	12.80	12.70	12.78
	γ	+0.04	-0.34	-0.26	-0.20	-0.27	-0.16	-0.24	-0.21	-0.15	+0.03	-0.19	-0.23
28	α	12.67	12.73	12.66	12.62	12.70	12.63	12.64	12.69	12.68	12.64	12.72	12.72
	γ	+0.19	-0.34	-0.35	-0.34	-0.33	-0.23	-0.24	-0.28	-0.30	+0.20	+0.14	+0.11
91	α	12.78	12.68	12.73	12.76	12.76	12.73	12.75	12.73	12.73	12.73	12.79	12.72
	γ	+0.05	-0.37	-0.38	-0.42	-0.25	-0.23	-0.23	-0.27	-0.21	+0.05	+0.02	+0.01
曲げ強度試験供試体 (10×10×40cm)													
28	α	9.69	9.84	9.51	9.57	9.59	9.39	9.46	9.55	9.71	9.67	—	—
	γ	+0.23	-0.31	-0.24	-0.22	-0.05	—	-0.16	-0.16	-0.20	+0.23	—	—
91	α	9.52	9.64	9.56	9.62	9.63	9.51	9.60	9.60	9.44	9.48	—	—
	γ	+0.05	-0.24	-0.22	-0.25	-0.16	-0.08	-0.17	-0.14	—	+0.07	—	—

注) +記号は重量増加, -記号は重量減少を表す。
α: 型枠取外し直後, γ: 強度試験直前

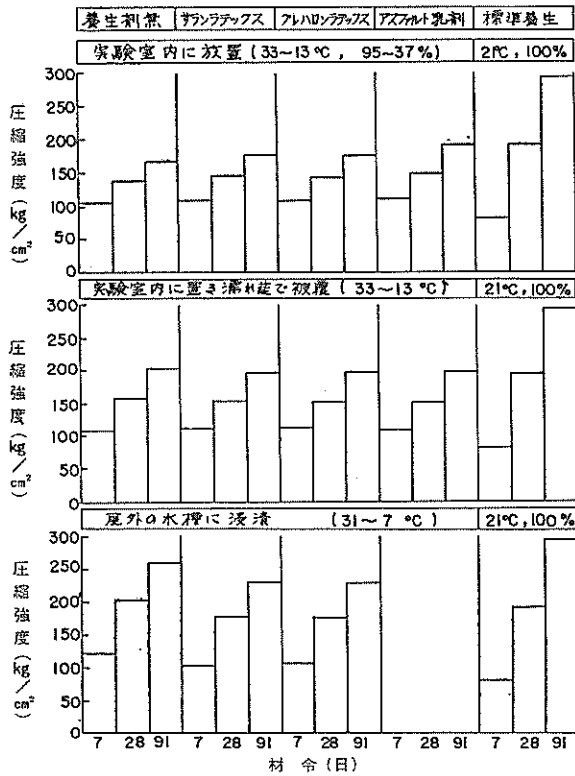


図-3・1 養生条件が, コンクリートの圧縮強度におよぼす効果

高炉セメント・単位セメント量 250 kg, スラスパ15cm, φ15×30cm 3個の平均値, 試験期間 8~12月

結果を取纏めたものである。表-3・2 に示した正, 負の記号は夫々重量増加および減少を示す。図-3・1 は表-3・1 に示された φ15×30cm 円柱供試体についての圧縮強度試験結果を養生条件ごとにとり纏め, 図示したものである。また 図-3・2~3・4 は圧縮強度と材令との関係を養生状態別, すなわち室内放置の場合, 室内に置き濡れ延で被覆した場合および屋外の水槽に浸漬した場合の夫々について図示したものである。

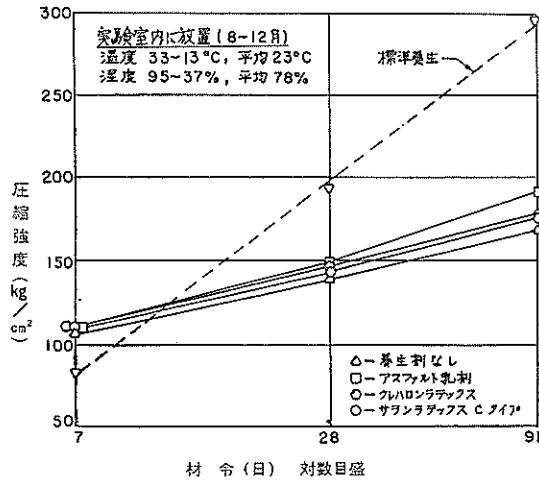


図-3-2 材令と圧縮強度との関係
高炉セメント・単位セメント量250kg
粗骨材最大寸法25mm, スランプ15cm
φ15×30cm 3個の平均値

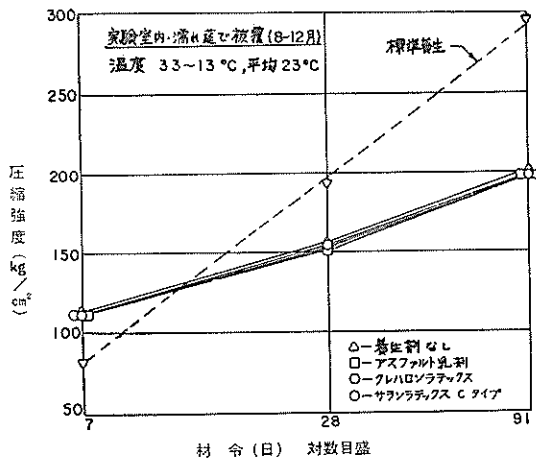


図-3-3 材令と圧縮強度との関係
高炉セメント・単位セメント量250kg
粗骨材最大寸法25mm, スランプ15cm
φ15×30cm 3個の平均値

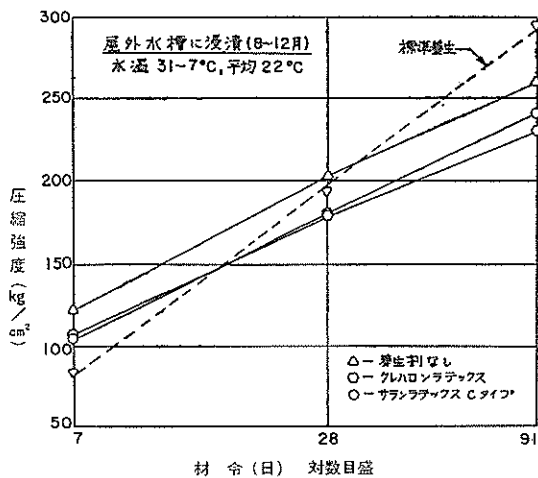


図-3-4 材令と圧縮強度との関係
高炉セメント・単位セメント量250kg
粗骨材最大寸法25mm, スランプ15cm
φ15×30cm 3個の平均値

3・2 実験結果の検討

(i) 養生状態が強度におよぼす影響

図-3・1 は養生条件がコンクリートの圧縮強度におよぼす効果について図示したもので同図の“標準養生は” $21\pm 1^{\circ}\text{C}$ の恒温水槽に浸漬養生した供試体についての結果である。この標準養生による圧縮強度を他の養生状態、すなわち実験室内に放置した場合、実験室内に置き濡れ藎で被覆した場合、あるいは屋外的水槽に浸漬した場合における圧縮強度と比較するとかなりの相違が見られる。実験室内に放置した供試体の圧縮強度は、1週強度を除いては4週および13週強度のいずれも標準養生による強度より著しく低い。これは、1週強度に関しては標準養生以外のコンクリートは夏季の高い気温の影響を受けた結果と見られる。実験室内に置き濡れ藎で被覆して養生した供試体についても実験室内に放置した供試体についても同じような事が云える。濡れ藎で被覆した場合にはある程度の水分蒸発の防止が行なわれた結果として4週あるいは13週強度が放置した場合よりも稍大きくなっている。屋外的水槽に浸漬した場合には湿度に関しては標準養生の場合と変わらない。従つて養生温度のみの影響が圧縮強度に表われていると云つてよい。すなわち材令4週頃までは高い気温(夏季)の影響を受けて水槽の温度も高くなった結果として屋外水槽に浸漬した供試体強度は標準養生した供試体強度よりも大きい。しかし13週強度に関しては気温の低下と共に強度の増進も少なくなり逆に標準養生した供試体強度の方が大きい結果となっている。以上は圧縮強度に関してであるが曲げ強度および曲げ強度試験折片を用いた圧縮強度についても1週強度試験を行っていないがほぼ同様な傾向であることは表-3・3に示した標準養生した場合に対する夫々の養生状

表-3・3 実験-Iにおける養生状態別コンクリートの強度比(被膜養生剤を塗布せぬ場合)

材令 (日)	標準養生 (21°C , 100%)	室内放置 ($33\sim 13^{\circ}\text{C}$ 37~95%)	室内濡れ藎で 被覆 ($33\sim 13^{\circ}\text{C}$)	屋外水槽 ($31\sim 7^{\circ}\text{C}$, 100%)
圧縮強度比 ($\phi 15 \times 30\text{cm}$)				
7	100	129	139	149
28	100	73	81	105
91	100	57	69	88
曲げ強度比 ($10 \times 10 \times 40\text{cm}$)				
28	100	48	52	117
91	100	57	61	112
圧縮強度比(曲げ試験折片)				
28	100	68	70	106
91	100	60	66	95

態の強度比からも明らかである。図表では材令28日曲げ強度比の中で特に室内に放置した場合および屋内に置き濡れ藎で被覆した場合の値が著しく小さい値を示している。一般にコンクリート供試体を乾燥条件下に置く場合には不均等な乾燥収縮歪によって表面に近い部分には引張応力が生じ、内部には圧縮応力が働く。このような供試体を用いて曲げ試験を行なう場合、供試体はそのコンクリートの実際の引張強度より小さい値で破壊するものと考えられる。室内放置および濡れ藎被覆の場合の28日曲げ強度比の異常に小さい事は上述のような一種のプレストレスが働いた結果と考えられる。13週強度のように長期材令における強度試験については、乾燥収縮が更に進行してその分布が均一化すると共にコンクリートにクリープが生じ応力分布状態も均一化してその強度試験におよぼす影響も小さくなるものと考えられる²⁾。図-3・2~3・4は各種の養生状態の下でのコンクリートの圧縮強度と材令との関係を示したものである。これらの図から明らかなようにどの養生状態の場合にも、被膜養生剤の有無に関係なく圧縮強度はほぼ一定の割合で材令と共に増加する。しかし増加の割合は必ずしも同一でなく、供試体コンクリートからの水分蒸発の程度が少ない程大きいようである。すなわち室内放置、濡れ藎被覆、屋外

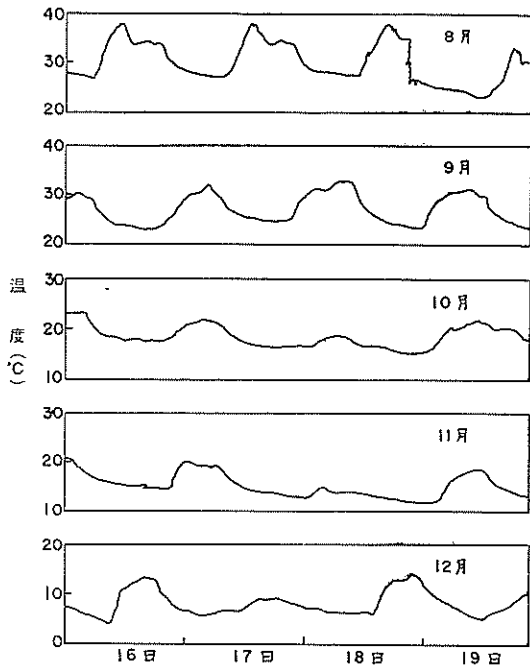


図-3.5 実験室における気温変化の一例 (1962年)

水槽の順序で大きくなり標準養生したコンクリートの圧縮強度増加率に近づいている。もちろんこれには養生温度の影響も加わっているのであるが、標準養生の場合を除いては絶えず変動して居り、これと養生湿度の影響とを分離して検討する事ができない。気温ないし屋外水槽の温度変化は気象の急激な変化が無い限りほぼ一日の週期で上下しながら徐々に大きく変化する。図-3.5 は試験期間中の実験室における気温変化を記録したものの一部であり、図-3.6 は同期間における同じ実験室における湿度変化の記録である。上述の圧縮強度と材令との関係は、養生条件に相違、あるいは変化があっても極端な気温や湿度の変化が無い限りコンクリートの圧縮強度は材令と共に絶えず増加する事を示しているものと考えられる。

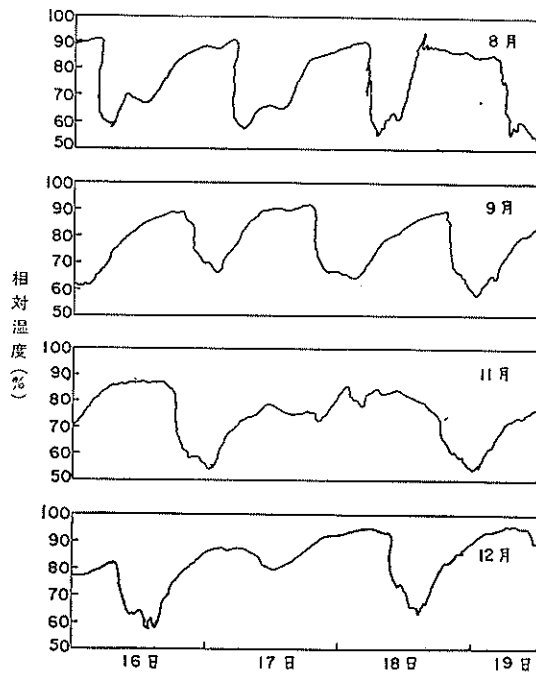


図-3.6 実験室における相対湿度変化の一例 (1962年)

(ii) 被膜養生剤の強度におよぼす効果

表-3・4 は各養生状態におけるコンクリート強度について被膜養生剤を塗布せぬコンクリートの強度を 100 とした場合の強度比を示したものである。被膜養生剤の効果は、被膜養生剤の種類によって多少変化するようであ

表-3・4 実験-Iにおけるコンクリートの強度比（被膜養生剤無しを 100 とした場合）

材令 (日)	室内放置 (33~13°C) (95~37%)				室内・濡れ葦被覆 (33~13°C)				屋外水槽 (31~7°C) (100%)		
	無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラン	クレハ ロン
圧縮強度比 (φ15×30cm)											
7	100	104	103	104	100	98	96	97	100	85	88
28	100	105	103	107	100	99	97	97	100	89	88
91	100	106	104	114	100	98	98	99	100	89	88
平均	100	105	103	108	100	98	97	98	100	88	88
曲げ強度比 (10×10×40cm)											
28	100	115	131	133	100	105	114	113	100	—	—
91	100	102	110	121	100	118	106	111	100	—	—
平均	100	108	120	127	100	112	110	112	100	—	—
圧縮強度比 (曲げ強度試験折片)											
28	100	103	103	104	100	104	101	104	100	—	—
91	100	102	101	107	100	101	100	103	100	—	—
平均	100	102	102	105	100	102	100	103	100	—	—

る。実験室内に放置した場合については塩化ビニール系養生剤を塗布したコンクリートの圧縮強度は塗布しないコンクリートのそれに比較して数パーセント増加しており、アスファルト系養生剤を塗布したコンクリートはそれより多少上回った強度を示している。曲げ強度試験折片を用いた圧縮強度についてもほぼ同様な傾向が認められる。曲げ強度については強度の増加率が一般に大きい。これは前節で指摘したように乾燥収縮歪の不均一分布によって発生した応力によるものと考えられ、傾向としては圧縮強度の場合と同様にアスファルト系養生剤の方が塩化ビニール系養生剤よりも多少良好な結果を示している。これに対して濡れ葦で被覆した場合については、φ15×30cm供試体を用いた圧縮強度試験結果と曲げ強度試験、あるいは曲げ強度試験折片による圧縮強度試験結果とが矛盾している。すなわち曲げ強度および曲げ強度試験折片を用いた圧縮強度試験結果については被膜養生剤を塗布したコンクリートの強度は塗布しないコンクリートよりも大きく、室内に放置した場合とほぼ同様の事が云い得る。これに対しφ15×30cm供試体による圧縮強度については全く逆の結果を示している。濡れ葦で被膜養生したφ15×30cm供試体の圧縮強度と全く同様な結果が、屋外水槽に浸漬したコンクリートの圧縮強度試験についても生じている。上述の多少複雑な現象について、必ずしも完全なものではないが、以下のような説明が考えられる。実験室内に放置したコンクリートについては、コンクリート打込み後水分は失われる一方で被膜養生剤塗布の有無による相違は供試体からの水分の蒸発の程度の多少の相違にしか過ぎない事は図-3・7に示した供試体重量の時間的変化からも極めて明白で、被膜養生剤は必ずしも完全な防水効果を持つものではない。これに対して濡れ葦によって被覆あるいは水槽に浸漬する事は完全、不完全の相違はあっても、外部からの水分の補給を意図する。型枠取外しから被膜養生剤の塗布に至る一連の作業は供試体数の少ない場合(曲げ強度試験供試体の場合)で2時間程度、多い場合には4~5時間程度要して居り、この間には特別の蒸発防止の処置を講じなかったため相当量の蒸発が行われたものと推定される。被膜養生剤を塗布しない供試体についてはその後の散水または水中浸漬によって多少の水分が補給されたものと思われる。他方被膜養生剤を塗布した供試体については塗布された

被膜が水分補給を一時的に遮断したものと考えられる。このようにして生じた初期養生条件の相違が被膜の有無による初期養生条件の相違となり長期材令の圧縮強度にも影響したものと考えられる。曲げ強度試験供試体については、型枠取外しがコンクリートの打込み後24時間経て行い、(圧縮強度試験供試体はキャッピングのため48時間後)、更に型枠取外し後濡れ筵による被覆および散水または水槽への浸漬までに要した時間も短く上述のような初期養生条件の相違が圧縮強度試験供試体の場合ほどには影響しなかったものと推定される。

(iii) 被膜養生剤と供試体重量変化について

図-3.7, 図-3.8 および 図-3.9 は夫々実験室内に放置した場合濡れ筵で被覆した場合および屋外水槽に浸漬した場合の供試体重量の時間的变化を示したものである。図-3.7 は前述のように実験室に放置したコンクリートの重量変化を記録したものである。最初の測定値は型枠取外し直後の重量で、供試体の種類によってある程

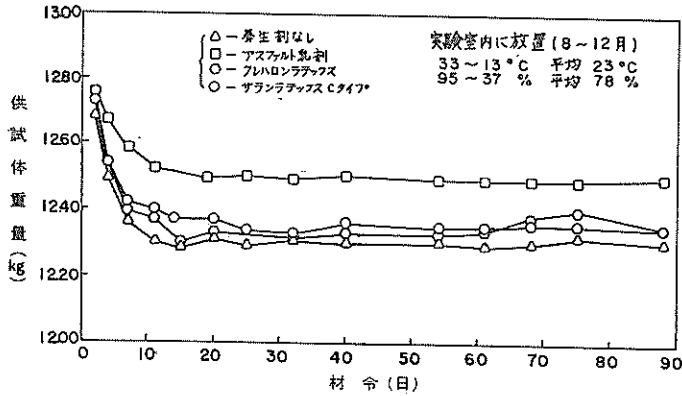


図-3.7 圧縮強度試験供試体重量の時間的变化 (φ15×30cm 3個の平均)

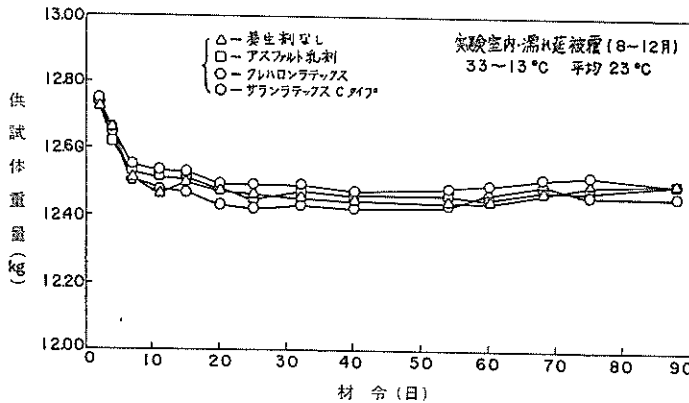


図-3.8 圧縮強度試験供試体重量の時間的变化 (φ15×30cm 3個の平均)

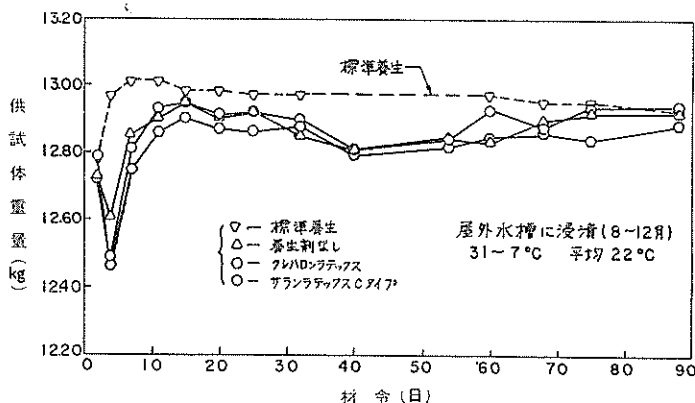


図-3.9 圧縮強度試験供試体重量の時間的变化 (φ15×30cm 3個の平均値)

度の相違はあるが重量が時間の経過と共に単調に減少する状態を極めて明瞭に示して居る。重量の減少は約2週間程度で飽和点に達し、以後図上では多少の変動が認められるが、重量測定誤差もあり得るのでその変動は必ずしも有意義なものではない。4種のコンクリートの間では当然の事ながら、被膜養生剤を塗布しないコンクリートの重量減少が最大で約400grに達し、クレハロンラテックスCタイプおよびサランラテックスの2種の塩化ビニール系養生剤を塗布したコンクリートがこれに次いで重量減少量は塗布しないコンクリートと大差ない。アスファルト乳剤を塗布したコンクリートの重量減少は最も少なく最大で約250grである。以上の重量減少の程度は大体においてコンクリートの強度から判定した被膜養生剤の効果と極めてよく一致している。図-3・8は実験室内に置き濡れ筵で被覆したコンクリートの重量変化を示したもので被膜養生剤の塗布の有無およびその種類にほとんど影響されずどのコンクリートもほぼ同様な重量変化を記録している。この場合の重量減少が飽和点に達するのにほぼ3週間の日数を要した最大減少量も250gr程度である。この値はアスファルト乳剤を塗布して実験室内に放置したコンクリートの重量減少量にほぼ匹敵し、濡れ筵による被覆の効果はアスファルト乳剤の塗布程度のものである事を示しているといえる。また塩化ビニール系養生剤を塗布したコンクリート重量が塗布しないものとほとんど変わらず、しかも実験室内に放置した場合に比較して重量減少量が相当に小さくなっている事を考慮すれば、塩化ビニール系被膜養生剤の防水効果が極めて小さい事を示すものと考えられる。図-3・9は屋外水槽に浸漬したコンクリートおよび標準養生したコンクリートの重量変化を示したものである。両者の間で著しい相違は前者は一旦減少した後に増加するのに対し後者にはこのような一時的減少が認められぬ事であろう。最終的な重量増加は初期重量の差を考慮すればいずれもほぼ等しい事が明らかである。すなわちいずれの場合も重量増加が飽和点に達した時のその値はほぼ150grである。一時的重量減少の有無はコンクリート供試体の処理の仕方から生じたものと考えられる。すなわち標準養生したコンクリートは型枠取外し後直ちに重量を測定して恒温水槽に浸漬し、型枠取外し後空气中に置かれた時間は極めて短かかったのに対して、他のコンクリートは被膜養生剤塗布などの作業が行われたため4~5時間程度高湿恒温室(21°C, 85%)に置いた。被膜養生剤を塗布しないコンクリートも同一条件を得るため同じように取扱った。前述のコンクリートの重量減少は主としてこの間に生じたものと考えられる。被膜養生剤を塗布しないコンクリートの重量減少はサランラテックスCタイプあるいはクレハロンラテックスを塗布したものより見かけ上少いようであるが果して実際にそうであったかは多少疑問である。何故ならば、第2回重量測定は水槽に浸漬後2日(材令4日)に行ったものであり、この2日間に相当量の重量回復が行われたとも考えられるからである。型枠取外し後に失われたと考えられる水分は300gr程度と推定されるが、これだけの水分を再吸収するのに被膜養生剤を塗布しないコンクリートは5日程度要しているのに対し、サランラテックスCタイプあるいはクレハロンラテックスを塗布したコンクリートは6~7日要して居る事は興味深い。この事は前項、(ii)被膜養生剤の強度におよぼす効果、で指摘した現象をある程度説明するものと考えられる。すなわち濡れ筵で被覆した場合、および屋外水槽に浸漬した場合には被膜養生剤を塗布しないコンクリートが塗布したコンクリートよりも大きい圧縮強度を得ているが、この現象は蒸発によって一旦失われた水分の再吸収に要した時間と関連しているものと考えられる。

4. 実験結果とその検討(実験-II)

4・1 実験結果

養生条件を管理した場合のコンクリートの圧縮強度試験結果を表-4・1および表-4・2に示す。前者は普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートについて、後者は高炉セメントを用いたコンクリートについての結果である。

表-4.1 実験-IIにおけるコンクリートの圧縮強度試験結果(普通ポルトランドセメント)

材令 (日)	試験項目	標準養生 (21°C 100%)	低湿恒温室 (21°C 45%)				高湿恒温室 (21°C 85%)				噴霧恒温室 (21°C 100%)			
			無	サラ	クレハ	アスフ	無	サラ	クレハ	アスフ	無	サラ	クレハ	アスフ
			ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト
3	圧縮強度 (kg/cm ²)	81	67	76	71	67	65	71	72	72	80	75	81	75
	標準偏差 (kg/cm ²)	6.95	2.65	2.52	10.00	3.32	2.16	3.00	3.56	4.20	2.52	2.45	1.73	2.55
	変動係数 (%)	8.6	4.0	3.3	14.1	5.0	3.3	4.2	4.9	5.8	3.2	3.3	2.1	3.4
7	圧縮強度 (kg/cm ²)	171	127	146	143	143	120	139	137	148	171	165	176	167
	標準偏差 (kg/cm ²)	5.10	9.90	3.74	5.45	1.73	8.35	7.37	6.35	3.32	3.79	8.27	2.89	5.89
	変動係数 (%)	3.0	5.7	2.6	3.8	1.2	6.9	5.3	3.7	2.2	2.2	5.0	1.7	3.5
14	圧縮強度 (kg/cm ²)	191	143	145	161	170	149	163	166	174	197	201	196	187
	標準偏差 (kg/cm ²)	6.66	4.12	6.48	3.00	10.03	4.55	6.16	7.59	0.58	5.45	4.51	6.38	3.87
	変動係数 (%)	3.5	2.9	4.5	1.9	5.9	3.1	3.8	4.6	0.3	2.8	2.2	3.3	2.1
28	圧縮強度 (kg/cm ²)	235	151	173	170	203	191	189	195	215	243	248	248	230
	標準偏差 (kg/cm ²)	8.52	7.48	11.10	9.47	11.27	9.00	11.15	3.32	9.29	11.03	19.24	25.70	12.40
	変動係数 (%)	7.9	50	6.4	5.6	56	4.7	5.9	1.7	4.3	4.5	7.8	10.4	5.4

表-4.2 実験-IIにおけるコンクリートの圧縮強度試験結果(高炉セメント・B種)

材令 (日)	試験項目	標準養生 (21°C 100%)	低湿恒温室 (21°C 45%)				高湿恒温室 (21°C 85%)				噴霧恒温室 (21°C 100%)			
			無	サラ	クレハ	アスフ	無	サラ	クレハ	アスフ	無	サラ	クレハ	アスフ
			ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト	ロン	アルト
3	圧縮強度 (kg/cm ²)	39	39	36	33	33	32	42	41	32	42	40	40	37
	標準偏差 (kg/cm ²)	1.29	2.08	1.00	2.94	2.00	0	1.58	1.29	1.00	1.58	0.82	3.56	0.58
	変動係数 (%)	3.3	5.3	2.8	8.9	6.1	0	3.8	3.1	3.1	3.8	2.1	8.9	1.6
7	圧縮強度 (kg/cm ²)	69	54	88	82	85	62	81	81	79	70	81	60	76
	標準偏差 (kg/cm ²)	6.68	4.06	1.58	2.00	0.82	3.00	7.26	1.58	3.42	1.73	2.55	0.58	0.71
	変動係数 (%)	9.7	7.4	1.8	2.4	1.0	4.8	9.0	2.0	4.3	2.5	3.2	1.0	0.9
14	圧縮強度 (kg/cm ²)	131	105	122	118	142	120	129	137	142	133	131	134	133
	標準偏差 (kg/cm ²)	1.73	2.83	3.87	4.65	2.16	3.74	2.52	2.08	3.11	6.14	3.87	3.42	3.42
	変動係数 (%)	1.3	2.7	3.2	3.9	1.5	3.1	2.0	1.5	2.2	4.6	3.0	2.6	2.6
28	圧縮強度 (kg/cm ²)	185	121	135	140	183	134	166	152	178	188	212	213	195
	標準偏差 (kg/cm ²)	7.72	2.16	4.65	7.72	7.59	11.52	9.75	8.39	3.56	1.00	8.06	5.80	8.51
	変動係数 (%)	4.2	1.8	3.4	5.5	4.1	8.6	5.9	5.5	2.0	0.5	3.8	2.7	4.4

表-4.3 および表-4.4 は夫々、普通ポルトランドセメント、高炉セメントを用いたコンクリート供試体(φ15×30cm)について型枠取外し直後、被膜養生剤塗布直後、および圧縮強度試験直前における重量測定の結果である。重量測定について特記すべき点は、実験-Iにおける経験に基づいて型枠取外しから被膜養生剤塗布を終了するまでの作業を合理的に行い、この作業の間にコンクリート供試体からの水分蒸発を最大限度に抑えた事である。この結果は被膜養生剤塗布直後における重量測定値に極めて明瞭に表われている。図-4.1 および 図-4.2 は夫々表-4.1および表-4.2に示した圧縮強度試験結果を観察を容易にするために条件別に取纏め、図示したも

表-4.3 実験-IIにおけるコンクリート供試体の重量変化(普通ポルトランドセメント) 単位: kg

材令 (日)	重量 測定時	標準養生 (21°C) (100%)	低湿恒温養生 (21°C) (45%)				高湿恒温養生 (21°C) (85%)				恒温噴霧養生 (21°C) (100%)			
			無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト
3	α	12.15	12.20	12.14	12.18	12.09	12.12	12.42	12.18	12.11	12.14	12.05	12.08	12.10
	β	—	—	+0.01	+0.01	+0.01	—	0	+0.02	+0.03	—	+0.03	+0.03	+0.02
	γ	+0.05	-0.34	-0.13	-0.15	-0.05	-0.27	-0.48	-0.17	-0.03	+0.01	+0.06	+0.04	+0.06
7	α	12.46	12.47	12.45	12.56	12.54	12.54	12.51	12.61	12.49	12.49	12.55	12.52	12.70
	β	—	—	-0.01	-0.05	+0.02	—	0	-0.03	+0.05	—	-0.04	-0.01	+0.03
	γ	+0.05	-0.34	-0.24	-0.30	-0.13	-0.33	-0.27	-0.30	-0.04	+0.04	0	+0.03	+0.06
14	α	12.20	12.23	12.22	12.24	12.22	12.23	12.27	12.23	12.16	12.21	12.31	12.18	12.29
	β	—	—	+0.01	+0.02	+0.02	—	+0.02	+0.02	+0.01	—	+0.01	0	0
	γ	+0.09	-0.36	-0.34	-0.31	-0.21	-0.30	-0.27	-0.28	-0.18	+0.06	+0.06	+0.07	+0.06
28	α	12.21	12.20	12.19	12.26	12.20	12.22	12.15	12.18	12.25	12.29	12.19	12.25	12.16
	β	—	—	+0.02	+0.01	+0.03	—	+0.01	+0.02	+0.04	—	+0.03	+0.04	+0.02
	γ	+0.13	-0.39	-0.35	-0.37	-0.17	-0.29	-0.29	-0.27	-0.11	+0.07	+0.10	+0.10	+0.15

注) φ15×30cm 3個の平均値, +記号は重量増加 -記号は重量減少を表わす。

α: 型枠取外し直後, β: 養生剤塗布直後, γ: 強度試験直前。

表-4.4 実験-IIにおけるコンクリート供試体の重量変化(高炉セメントB種) 単位: kg

材令 (日)	重量 測定時	標準養生 (21°C) (100%)	低湿恒温養生 (21°C) (45%)				高湿恒温養生 (21°C) (85%)				恒温噴霧養生 (21°C) (100%)			
			無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラン	クレハ ロン	アスフ アルト
3	α	12.20	12.32	12.29	12.20	12.28	12.32	12.25	12.22	12.28	12.32	12.21	12.34	12.22
	β	—	—	+0.03	+0.05	+0.05	—	+0.04	+0.03	+0.06	—	+0.04	+0.03	+0.08
	γ	+0.13	-0.19	-0.06	-0.10	+0.04	-0.27	-0.14	-0.17	+0.02	+0.07	+0.08	+0.06	+0.08
7	α	12.14	12.10	12.24	12.24	12.34	12.11	12.29	12.26	12.32	12.06	12.30	12.03	12.32
	β	—	—	+0.05	+0.04	+0.07	—	+0.02	+0.03	+0.08	—	+0.03	+0.02	+0.09
	γ	+0.08	-0.47	-0.28	-0.35	-0.07	-0.40	-0.26	-0.34	-0.02	+0.07	+0.09	+0.07	+0.10
14	α	12.45	12.51	12.47	12.52	12.44	12.53	12.43	12.46	12.46	12.51	12.33	12.50	12.51
	β	—	—	+0.02	+0.02	+0.03	—	+0.01	+0.02	+0.05	—	+0.02	+0.01	+0.05
	γ	+0.08	-0.41	-0.30	-0.29	-0.12	-0.33	-0.25	-0.20	-0.10	+0.66	+0.12	+0.07	+0.11
28	α	12.32	12.43	12.44	12.42	12.39	12.42	12.37	12.50	12.46	12.42	12.43	12.42	12.44
	β	—	—	+0.01	+0.02	+0.03	—	+0.03	+0.01	+0.05	—	+0.03	0	0
	γ	+0.10	-0.45	-0.44	-0.40	-0.20	-0.37	-0.30	-0.32	-0.15	+0.07	+0.08	+0.06	+0.09

注) φ15×30cm 3個の平均値, +記号は重量増加, -記号は重量減少を表わす。

α: 型枠取外し直後, β: 養生剤塗布直後, γ: 強度試験直前。

のである。各図の下辺にある小さな柱状グラフは夫々の試験値の標準偏差を示すものであるが、縮尺は圧縮強度に対する縮尺の2倍であり、この点に読者の注意が喚起される。

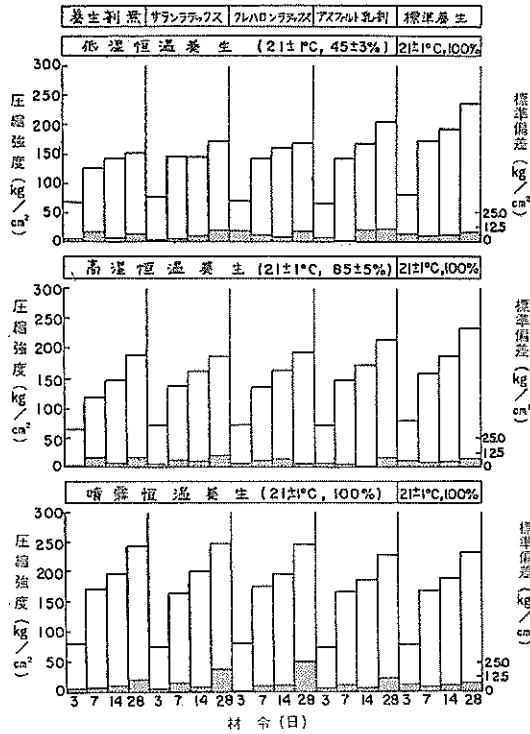


図-4.1 養生条件がコンクリートの圧縮強度におよぼす効果
 普通ポルトランドセメント・単位セメント量250kg、スランブ8cm、 $\phi 15 \times 30$ cm 3個の平均値

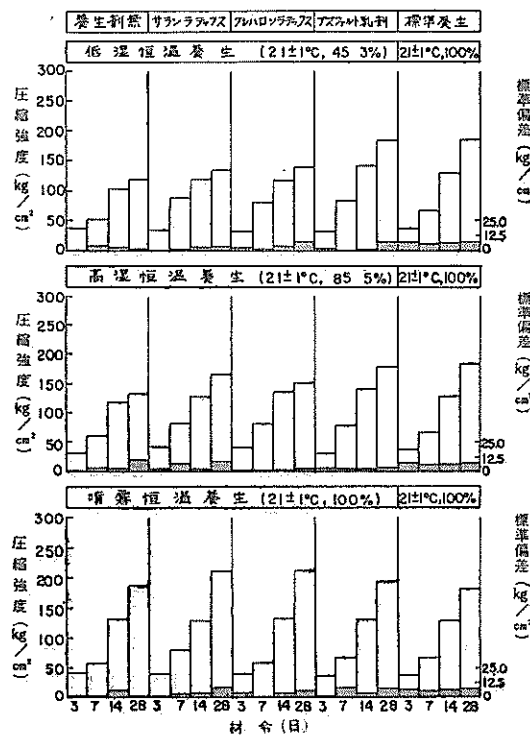


図-4.2 養生条件がコンクリートの圧縮強度におよぼす効果
 高炉セメント・単位セメント量250kg、スランブ8cm、 $\phi 15 \times 30$ cm 3個の平均値

4.2 実験結果の検討

(i) 養生状態が強度におよぼす影響

表—4.5 は標準養生したコンクリートの圧縮強度に対する夫々の養生状態の圧縮強度の比を求めたものである。強度比の算定は被膜養生剤を塗布しないコンクリートについて行なった。

表—4.5 実験—IIにおける養生状態別コンクリートの圧縮強度比

材 令 (日)	標 準 21°C, 100%	低 湿 21°C, 45%	高 湿 21°C, 85%	噴 霧 21°C, 100%
普通ポルトランドセメント				
3	100	83	80	99
7	100	75	70	100
14	100	75	78	103
28	100	67	85	108
高炉セメント・B種				
3	100	100	82	108
7	100	78	90	101
14	100	80	92	102
28	100	65	72	102

表—4.5 から次のような事が観察される。すなわちコンクリート供試体が不完全な養生状態、言い換えればコンクリートより水分の蒸発が可能であるような状態に置かれた場合にはその圧縮強度は著るしく減少し、この状態に置かれる期間が長いほど強度の減少量も大きい。また表—4.5において普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの3日および7日強度比、高炉セメントを用いたコンクリートの3日強度比は低湿養生の場合の方が高湿養生の場合よりも大きな値を示しているが、試験値のバラツキの程度を考慮すると必ずしもそのように断定する事はできない。図—4.1および図—4.2からも明らかなように両者の差は極めて小さく、これに対して夫々の標準偏差がその差と同程度の大きさを有しているからである。2週および4週強度比については明らかに高湿養生の方が大きく、養生湿度の強度におよぼす効果についての一般的な考え方と一致している。以上に述べた事を要約すれば養生期間中におけるコンクリートからの水分蒸発を防止する事がその強度発現に極めて重要である事を示していると云える。噴霧養生の結果については標準養生の場合と余り変らないようである。その強度比は99~108%の範囲にあり平均103%となって見掛け上は噴霧養生は標準養生（水中に浸漬養生）よりも多少大きい圧縮強度を与えるようであるが、両者の相違は試験値のバラツキの範囲内にあり、必ずしもそのように断定できない。

(ii) 被膜養生剤の強度におよぼす効果

表—4.6 は各種の養生状態における被膜養生剤を塗布しないコンクリートの圧縮強度を100とした場合の各種被膜養生剤を塗布したコンクリートの圧縮強度比を示したものである。被膜養生剤の圧縮強度におよぼす効果は被膜養生剤およびセメントの種類によって変化する事が表—4.6より観察される。塩化ビニール系養生剤のサララテックスCタイプとクレハロンラテックスとの間にはほとんど相違が認められず、これを普通ポルトランドセメントコンクリートに塗布し乾燥状態で養生した場合には、被膜養生剤を塗布しないで同じように養生した場合と比較すると、圧縮強度は10%程度改善される。これに対してアスファルト乳剤を用いた場合には更に6~7%程度上廻った圧縮強度が得られる。低湿恒温養生と高湿恒温養生との間には約40%の相対湿度の相違があるが両

表—4・6 実験—IIにおけるコンクリートの圧縮強度比（被膜養生剤無しを100とした場合）

材令 (日)	低湿恒温養生 (21°C 45%)				高湿恒温養生 (21°C 85%)				噴霧恒温養生 (21°C 100%)			
	無	サラシ	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラシ	クレハ ロン	アスフ アルト	無	サラシ	クレハ ロン	アスフ アルト
普通ポルトランドセメント												
3	100	113	106	100	100	109	111	111	100	94	101	94
7	100	115	113	113	100	116	114	123	100	97	103	98
14	100	101	113	119	100	109	111	117	100	102	99	95
28	100	115	113	134	100	99	102	113	100	102	102	95
平均	100	111	111	117	100	108	110	116	100	99	101	96
高炉セメント・B種												
3	100	92	85	85	100	131	128	100	100	95	95	88
7	100	163	152	157	100	131	131	127	100	116	86	109
14	100	116	112	135	100	108	114	118	100	98	101	100
28	100	112	116	151	100	124	113	133	100	113	113	104
平均	100	121	116	132	100	124	122	120	100	106	99	100

養生状態のコンクリートの圧縮強度には実質的な相違が認められない。高炉セメントを用いたコンクリートについては強度比のバラツキが大きく4材令の強度比の平均値から判断する事は危険を伴うが被膜養生剤塗布によって圧縮強度は普通ポルトランドセメントの場合よりも一層改善されるようである。高炉セメントを用いたコンクリートの早期強度は普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの1/2程度であり、このため僅少な試験値の差も強度比の計算上は大きな差異となって表われているが、塩化ビニール系被膜養生剤を用いる事によって低湿恒温養生、高湿恒温養生のいずれの場合にもコンクリートの圧縮強度は被膜養生剤を塗布しないコンクリートよりも平均20%程度の強度増加を得、アスファルト系被膜養生剤を用いる事によって更に10%程度の強度増加を期待する事ができるようである。噴霧恒温養生の養生条件は実質的には標準養生すなわち恒温水槽での浸漬養生の養生条件と変りないものと考えられるが、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントを用いたコンクリートのいずれについても噴霧恒温養生した場合の圧縮強度は標準養生した場合と大差ない結果が得られて居る。強度比は多少のバラツキを示しているが、これは圧縮強度試験の試験値のバラツキを考慮する事によって説明し得るものと考えられる。

(iii) 供試体重量の変化について

表—4・3 および表—4・4 はコンクリート供試体の重量変化の測定結果を示すものである。本実験においては重量測定を行った時期は型枠取外し直後、被膜養生剤塗布直後、および強度試験直前の3回のみである。実験—Iの場合と異って、本実験では型枠取外しから被膜養生剤塗布までの作業時間を相当に短縮して供試体の空气中に露出する時間を最小限にとどめたが、しかも尚この短時間における乾燥による重量減少は避けられないものようである。上述の両表において被膜養生剤塗布直後における供試体重量の値が(－)記号である事はこれを示して居り、(＋)記号は必ずしも重量減少がなかった事を示すものではない。この時の供試体には多量の水分を含む被膜養生剤が塗布されて居るからである。表—4・7 は強度試験直前の供試体重量の型枠取外し時の重量からの増減を取り経めたものである。図表より以下のような事が観察される。すなわち、普通ポルトランドセメントおよび高炉セメントを用いた両種のコンクリートについて、低湿恒温養生、高湿恒温養生のいずれの場合にも被膜養生

表-4.7 強度試験直前におけるコンクリート供試体重量の増減 (単位: g)

材令 (日)	標準 養生	低湿恒温養生				高湿恒温養生				噴霧恒温養生			
		無	サラン	クレハ ロン	アスフ ァルト	無	サラン	クレハ ロン	アスフ ァルト	無	サラン	クレハ ロン	アスフ ァルト
普通ポルトランドセメント													
3	+ 50	-340	-130	-150	- 50	-270	-480	-170	- 30	+ 10	+ 60	+ 40	+ 60
7	+ 50	-340	-240	-300	-130	-330	-270	-300	- 40	+ 40	0	+ 30	+ 60
14	+ 90	-360	-340	-310	-210	-300	-270	-280	-1 80	+ 60	+ 60	+ 70	+150
28	+130	-390	-350	-370	-170	-290	-290	-270	-11 0	+ 70	+100	+100	+150
高炉セメント・B種													
3	+130	-190	- 60	- 60	+ 40	-270	-140	-170	+ 20	+ 70	+ 80	+ 60	+ 80
7	+ 80	-470	-280	-350	- 70	-400	-260	-340	- 20	+ 70	+ 90	+ 70	+ 10
14	+ 80	-410	-300	-290	-120	-330	-250	-200	-100	+ 60	+120	+ 70	+110
28	+100	-450	-440	-400	-200	-370	-300	-320	-150	+ 70	+ 80	+ 60	+ 90

注) (+) 記号は重量増加, (-) 記号は重量減少を示す。

剤を塗布しないコンクリートの重量減少が最も著しく、これに次いで塩化ビニール系被膜養生剤を塗布したものが大きい。サランラテックスCタイプとクレハロンラテックスとの間にはほとんど相違がない。アスファルト乳剤を塗布したコンクリートの重量減少は最も少なく、塩化ビニール系被膜養生剤の場合の1/2程度である。普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートと高炉セメントを用いたコンクリートを比較した場合には一般に後者の方の重量減少が大きい。噴霧恒温養生したコンクリートについては被膜養生剤の種類やその塗布の有無の相違はなく材令28日には約100grの重量増加を認める事ができ、これは標準養生したコンクリートの重量増加とほとんど一致している。以上の供試体重量の増減についての観察結果を要約すると、塩化ビニール系被膜養生剤2種の間にはほとんど優劣の差がなくアスファルト乳剤は塩化ビニール系被膜養生剤よりも幾分優れている事、また高炉セメントを用いたコンクリートは一般に普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートより乾燥し易く、従って被膜養生剤をこれに塗布する場合には普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートの場合よりもその効果が表われ易い事などに帰着される。更に標準養生と噴霧恒温養生のコンクリート供試体の重量変化がほとんど等しい事は両養生方法に実質的な相違のない事を示していると云え、これらの事項は強度試験結果より判断した被膜養生剤の効果と極めてよく一致している。

5. 結 論

一般に市販されているコンクリート被膜養生剤3種(塩化ビニール系被膜養生剤としてサランラテックスCタイプおよびクレハロンラテックス、アスファルト系被膜養生剤としてアスファルト乳剤)について種々の条件の下で比較実験を行い、その結果について以上のような考察を試みた。供試被膜養生剤およびセメントの種類が限定されているのでこれより一般的な結論を導き出す事はできないが、本実験の範囲内では次のような事が云えるものと思われる。

(1) コンクリートを打込んでから24~48時間後に型枠を取外した供試体を乾燥状態で養生した場合にはその圧縮強度は同温度で水中もしくは噴霧養生したコンクリートに比して著しく減少する。強度減少の程度は乾燥の条件、すなわち相対湿度と、養生期間によって異なる。乾燥養生したコンクリートの圧縮強度を水中養生したコンクリートの圧縮強度に対する比率で表示すると、材令3日で80~100%、7日で70~90%、28日で65~85%程度で

ある。

(2) 夏季の高温時に打込んだコンクリートを濡れ藁などの被覆材料で被覆し1日1～2回散水して養生したコンクリートに関しては乾燥状態で養生したコンクリートに比して10%程度の圧縮強度の増加を期待することができる。

(3) 市販されているコンクリートの被膜養生剤の効果はその種類によって異なるがいずれの場合も完全な蒸発防止効果をもつものではない。実験に用いたアスファルト乳剤は塩化ビニール系養生剤よりも多少優れているようである。乾燥条件下での養生については塩化ビニール系養生剤を普通ポルトランドセメントを用いたコンクリートに塗布した場合には塗布しないコンクリートに比して10%程度、アスファルト乳剤を塗布した場合には16%程度の圧縮強度の増加を期待する事ができる。高炉セメントを用いたコンクリートに塗布した場合には、塩化ビニール系養生剤では20%程度、アスファルト乳剤では26%程度の圧縮強度増加を期待することができる。

(4) 被膜養生剤を塗布する場合には型枠を取外した後迅速にこれを行う事が被膜養生剤の効果を上げるために非常に大切である。被膜養生剤は蒸発防止よりもむしろ蒸発遅延効果をもつものようで、その効果は型枠取外し直後急速におこるコンクリート表面からの水分蒸発を遅延させる場合に最も良く発揮され、型枠取外し後4～5時間経過してから塗布する場合には被膜養生剤塗布の効果は極端に減少し、型枠取外し直後に塗布する場合の1/2程度である。

謝 辞

本報告に関する実験は1962年8月より1963年3月に亘って運輸省港湾技術研究所材料施工研究室において行ったもので、実験の遂行に当っては上記研究所技術員阿部正美、津端雅夫両氏の協力を得、実験結果の解析および総合に関しては研究員赤塚雄三氏の指導に負う所が大きい。改めて協力、指導された上記三氏に深謝の意を表する次第である。

引用文献

- 1) 丸安隆和, 水野俊一, 小林一輔, “高炉セメントの使用方法に関する研究”, 土木学会論文集 第65号 別冊 (3-1) 1～29頁
- 2) 赤塚雄三, “継続的に増加する荷重を受けたコンクリートの引張りクリープ試験方法=拘束方法について”, 土木学会誌論文集に発表予定 提出1963年1月
- 3) 高嶋四郎, 松本行雄, “塩化ビニルフィルムによるコンクリート舗装の養生”, セメントコンクリート 1958年10月 12～17頁