

3

セメントモルタルの大気圧下

高温蒸気養生と強度との関係

鳥田 専右・鈴木 忠彦

§1. 実験の目的

コンクリートの組立工法を採用した最近の工事において、その部材を大気圧下で蒸気養生し、早期に強度を発現せしめる方法がとられた。

そこで、材令初期の大気圧下の高温蒸気養生における、蒸気の温度、温度上昇のタイプ、蒸気養生経続時間、およびセメントの種類などと、強度の発現の関係を、モルタルを使用して調べた。

§2. 実験の方法

モルタルの調合は、セメント：豊浦標準砂：水=1：2：0.65の割合とし、これをモルタルミキサーで混練し、4cm×4cm×16cmの三連型枠四組に詰めて、蒸気養生槽の中で加熱養生した。(図-1 参照)

蒸気養生槽は、内法寸法 88cm×55cm×55cm の外側を保温した木製の箱で、底に水を入れて下面からガスバーナーで加熱するように装置したものである。温度の上昇、定常保持については、ガスのコックで調整するが、多少の熟練を要する。しかし内部各部の温度差は、サーモカップルを連結した自記温度計で計ったところ、1°C以下であった。

を保温した木製の箱で、底に水を入れて下面からガスバーナーで加熱するように装置したものである。温度の上昇、定常保持については、ガスのコックで調整するが、多少の熟練を要する。しかし内部各部の温度差は、サーモカップルを連結した自記温度計で計ったところ、1°C以下であった。

a. 槽内の蒸気温度の上昇のタイプは、型枠に詰め終了後1時間30分室内(温度 20°C)に放置し、その後最高温度にした蒸気中に入れるもの(A)、詰め終了後ただちに 20°C の蒸気中に入れて 20°C/hr の割合で蒸気温度を上昇せしめるもの(B)、同じく 40°C/hr の割合で上昇せしめるもの(C)、および、詰め終了後ただちにあらかじめ最高温度にした蒸気中に入れるもの(D)の4種類とする。(図-2 参照)

b. 最高温度は 50°C および 80°C の2種類。

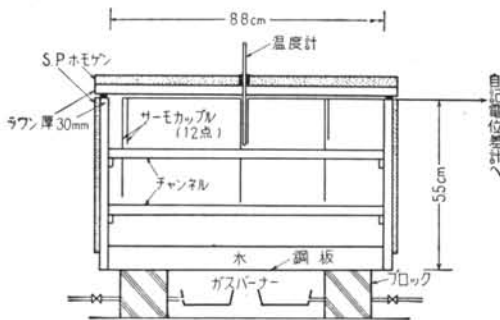


図-1 蒸気養生槽

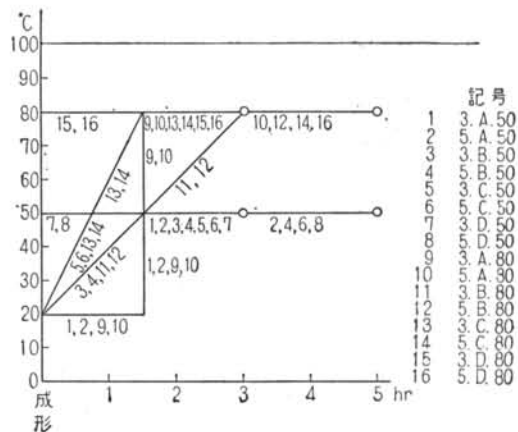


図-2 時間-蒸気温度

c. 蒸気養生の時間は、詰め終り後 3 時間および 5 時間。

d. 強度試験は、3 コを一組として、それぞれ蒸気養生直後、3 日、7 日、および 28 日材令において、曲げおよび圧縮試験（JISR 5201 に準ずる）を行なった。ただし蒸気養生終了後は、20°C の水中養生を行なったものである。また別に標準養生をしたものについて、3 日、7 日、28 日材令の試験を行ない比較をした。

e. 高炉セメントおよび早強セメントについては、上記実験の一部を行なった。

f. コンクリートについて一部同様の実験を行なった。

以後養生方法を記号で示す。たとえば 3・A・80 は温度上昇のタイプが A、最後温度が 80°C、養生時間 3 時間の意味である。

§ 3. 実験に使用したセメント

その主要諸元は表-1 のとおりである。ただし強度については別に示す。

表-1 セメントの品質

| 種 類 セメント | 比重 | 比表面積 cm ² /g | 凝 結 | | 強熱 減量 % | マグネ シヤ % | 無水 硫酸 % | 安定性 |
|-------------------------|------|----------------------------|----------|----------|---------------|----------------|---------------|-----|
| | | | 始発 時間 | 終結 時間 | | | | |
| アサノ普通 ポルトラン ドセメント | 3.16 | 3260 | 2-29 | 3-37 | 0.78 | 1.59 | 1.57 | 良 |
| 八幡高炉 セメント (A種) | 3.03 | 3700 | 3-31 | 4-59 | 0.76 | 3.46 | 1.80 | 良 |
| 秩父早強 セメント | 3.14 | 4400 | 1-40 | 2-49 | 0.81 | 1.58 | 2.25 | 良 |

§ 4. 実験の結果

各養生方法と各材令の強度は表-2（普通セメント）、表-3（高炉セメント）および表-4（早強セメント）に示す。これを図示すると図-3~図-11 のようになる。図-12、図-13は、標準養生の 28 日材令強度に対する圧縮強度の百分率である。

表-2 普通ポルトランドセメント

| 最 高 温 度 (°C) | 温 度 上 昇 の タ イ プ | 蒸 気 養 生 終 了 時 間 (hr) | 強 さ (kg/cm ²) | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------|----------------------------|---------------------------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| | | | 曲 げ | | | | 圧 縮 | | | | |
| | | | 直後 | 3日 | 7日 | 28日 | 直後 | 3日 | 7日 | 28日 | |
| 標 準 養 生 | | | イ | — | 37.2 | 48.8 | 68.3 | — | 141 | 235 | 424 |
| | | | ロ | — | 100 | 100 | 100 | — | 100 | 100 | 100 |
| | | | ハ | — | 53 | 72 | 100 | — | 33 | 55 | 100 |
| 50 | A | 3 | イ | 0.4 | 40.2 | 55.4 | 66.7 | 3 | 132 | 238 | 431 |
| | | | ロ | — | 108 | 114 | 98 | — | 94 | 101 | 102 |
| | | | ハ | 1 | 59 | 81 | 98 | 1 | 31 | 56 | 102 |
| | | 5 | イ | 5.6 | 39.3 | 53.1 | 69.4 | 21 | 148 | 230 | 390 |
| | | | ロ | — | 106 | 109 | 102 | — | 105 | 98 | 92 |
| | | | ハ | 8 | 58 | 78 | 102 | 5 | 35 | 55 | 92 |
| | B | 3 | イ | 3.4 | 30.5 | 41.5 | 61.0 | 9 | 111 | 194 | 366 |
| | | | ロ | — | 82 | 85 | 89 | — | 79 | 83 | 86 |
| | | | ハ | 5 | 45 | 61 | 89 | 2 | 26 | 46 | 86 |
| | | 5 | イ | 7.8 | 35.4 | 48.3 | 64.7 | 24 | 134 | 214 | 398 |
| | | | ロ | — | 95 | 99 | 95 | — | 95 | 91 | 94 |
| | | | ハ | 11 | 52 | 71 | 95 | 6 | 32 | 50 | 94 |
| | C | 3 | イ | 4.0 | 35.9 | 48.3 | 63.0 | 12 | 134 | 193 | 341 |
| | | | ロ | — | 96 | 99 | 92 | — | 96 | 82 | 80 |
| | | | ハ | 6 | 53 | 71 | 92 | 3 | 32 | 46 | 80 |
| | | 5 | イ | 8.8 | 40.9 | 47.4 | 61.6 | 28 | 133 | 198 | 326 |
| | | | ロ | — | 110 | 97 | 90 | — | 94 | 84 | 77 |
| | | | ハ | 13 | 60 | 69 | 90 | 7 | 31 | 47 | 77 |
| | D | 3 | イ | 3.8 | 31.9 | 45.5 | 64.9 | 12 | 138 | 199 | 261 |
| | | | ロ | — | 86 | 93 | 95 | — | 98 | 85 | 85 |
| | | | ハ | 6 | 47 | 67 | 95 | 3 | 33 | 47 | 85 |
| | | 5 | イ | 8.9 | 36.9 | 42.9 | 67.0 | 31 | 139 | 235 | 395 |
| | | | ロ | — | 99 | 88 | 98 | — | 99 | 100 | 93 |
| | | | ハ | 13 | 54 | 63 | 98 | 8 | 33 | 155 | 93 |
| 80 | A | 3 | イ | 8.9 | 38.4 | 45.0 | 63.5 | 32 | 148 | 215 | 356 |
| | | | ロ | — | 103 | 92 | 93 | — | 105 | 91 | 84 |
| | | | ハ | 13 | 56 | 66 | 93 | 8 | 35 | 51 | 84 |
| | | 5 | イ | 22.4 | 43.5 | 47.1 | 63.5 | 85 | 166 | 220 | 351 |
| | | | ロ | — | 117 | 97 | 93 | — | 118 | 94 | 83 |
| | | | ハ | 33 | 64 | 69 | 93 | 20 | 39 | 52 | 83 |
| | B | 3 | イ | 6.3 | 38.2 | 44.5 | 55.6 | 17 | 139 | 198 | 352 |
| | | | ロ | — | 103 | 91 | 81 | — | 99 | 84 | 83 |
| | | | ハ | 9 | 56 | 65 | 81 | 4 | 33 | 47 | 83 |
| | | 5 | イ | 25.7 | 37.8 | 50.6 | 62.8 | 65 | 185 | 233 | 334 |
| | | | ロ | — | 102 | 103 | 92 | — | 131 | 99 | 79 |
| | | | ハ | 38 | 55 | 73 | 92 | 15 | 44 | 55 | 79 |
| | C | 3 | イ | 12.5 | 40.5 | 47.0 | 55.0 | 32 | 154 | 210 | 280 |
| | | | ロ | — | 109 | 96 | 81 | — | 109 | 89 | 66 |
| | | | ハ | 18 | 59 | 69 | 81 | 8 | 26 | 50 | 66 |
| | | 5 | イ | 20.4 | 42.7 | 48.0 | 54.5 | 92 | 182 | 222 | 319 |
| | | | ロ | — | 115 | 98 | 80 | — | 129 | 94 | 75 |
| | | | ハ | 130 | 63 | 70 | 80 | 22 | 43 | 52 | 75 |
| | D | 3 | イ | 18.3 | 40.7 | 43.0 | 51.2 | 58 | 165 | 197 | 299 |
| | | | ロ | — | 110 | 88 | 75 | — | 117 | 84 | 71 |
| | | | ハ | 27 | 60 | 63 | 75 | 14 | 39 | 46 | 71 |
| | | 5 | イ | 22.7 | 41.5 | 45.4 | 55.3 | 103 | 192 | 214 | 281 |
| | | | ロ | — | 112 | 93 | 81 | — | 136 | 91 | 66 |
| | | | ハ | 33 | 61 | 66 | 81 | 24 | 45 | 50 | 66 |

注 各欄の イの数値は強さ kg/cm² の値
 ロの数値は標準養生の各相当材令の値に対するパーセン
 ティジ
 ハの数値は # 28日 # # #

表-3 高炉セメント

| 最 高 度 (°C) | 温 度 上 昇 の タイ プ | 蒸 気 養 生 終 了 まで の 時 間 (hr) | 強 さ (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|-------------------|-----------------|--|--|
| | | | 曲 げ | | | | | | 圧 縮 | | | | | |
| | | | 直 後 | 3 日 | 7 日 | 28 日 | 直 後 | 3 日 | 7 日 | 28 日 | | | | |
| 標 準 養 生 | | | イ ロ ハ | — — — | 30.8 100 41 | 40.5 100 61 | 66.5 100 100 | — — — | 104 100 24 | 164 100 39 | 407 100 100 | | | |
| 50 | B | 3 | イ ロ ハ | 0.3 — 0 | 26.8 87 40 | 38.6 95 58 | 58.6 88 88 | 3 — 1 | 106 102 25 | 161 98 38 | 348 86 86 | | | |
| | | | 5 | イ ロ ハ | 4.3 — 6 | 26.9 87 40 | 37.5 93 56 | 59.7 90 90 | 12 — 3 | 102 98 24 | 166 101 39 | 336 83 83 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 1.1 — 2 | 31.6 103 48 | 43.8 108 66 | 58.2 88 88 | 5 — 1 | 114 110 27 | 178 109 42 | 392 96 96 | | |
| | C | 5 | イ ロ ハ | 3.6 — 5 | 29.8 97 45 | 40.3 100 61 | 60.7 91 91 | 19 — 4 | 111 107 26 | 162 99 38 | 390 96 96 | | | |
| | | | 3 | イ ロ ハ | 1.5 — 2 | 30.6 99 46 | 35.2 87 53 | 59.7 90 90 | 4 — 1 | 100 96 24 | 130 98 38 | 346 85 85 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 10.6 — 16 | 35.4 115 53 | 39.9 99 60 | 61.5 93 93 | 49 — 12 | 139 134 33 | 185 113 43 | 352 86 86 | | |
| 80 | B | 3 | イ ロ ハ | 4.2 — 6 | 25.2 82 38 | 29 72 44 | 51.5 77 77 | 13 — 3 | 86 83 20 | 120 73 28 | 208 51 51 | | | |
| | | | 5 | イ ロ ハ | 16.5 — 25 | 31.9 104 48 | 37.2 92 56 | 52.2 79 79 | 50 — 12 | 115 111 27 | 150 91 55 | 217 53 53 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 16.5 — 25 | 31.9 104 48 | 37.2 92 56 | 52.2 79 79 | 50 — 12 | 115 111 27 | 150 91 55 | 217 53 53 | | |
| | C | 5 | イ ロ ハ | 16.5 — 25 | 31.9 104 48 | 37.2 92 56 | 52.2 79 79 | 50 — 12 | 115 111 27 | 150 91 55 | 217 53 53 | | | |
| | | | 3 | イ ロ ハ | 16.5 — 25 | 31.9 104 48 | 37.2 92 56 | 52.2 79 79 | 50 — 12 | 115 111 27 | 150 91 55 | 217 53 53 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 16.5 — 25 | 31.9 104 48 | 37.2 92 56 | 52.2 79 79 | 50 — 12 | 115 111 27 | 150 91 55 | 217 53 53 | | |

表-4 早強セメント

| 最 高 度 (°C) | 温 度 上 昇 の タイ プ | 蒸 気 養 生 終 了 まで の 時 間 (hr) | 強 さ (kg/cm ²) | | | | | | | | | | | |
|---------------|----------------------|------------------------------------|---------------------------|-----------------|-------------------|-------------------|--------------------|--------------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|--|--|
| | | | 曲 げ | | | | | | 圧 縮 | | | | | |
| | | | 直 後 | 3 日 | 7 日 | 28 日 | 直 後 | 3 日 | 7 日 | 28 日 | | | | |
| 標 準 養 生 | | | イ ロ ハ | — — — | 39.8 100 63 | 56.4 100 89 | 63.6 100 100 | — — — | 158 100 45 | 258 100 74 | 348 100 100 | | | |
| 50 | B | 3 | イ ロ ハ | 6.6 — 10 | 39.2 99 62 | 51.5 91 81 | 68.3 107 107 | 25 — 7 | 159 101 46 | 219 85 63 | 322 93 93 | | | |
| | | | 5 | イ ロ ハ | 12.9 — 20 | 42.3 106 57 | 55.8 99 88 | 62.9 99 99 | 33 — 18 | 197 125 57 | 261 101 75 | 324 93 93 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 8.0 — 13 | 40.4 101 64 | 44.1 78 69 | 64.6 102 102 | 29 — 8 | 148 94 43 | 224 87 64 | 340 98 98 | | |
| | C | 5 | イ ロ ハ | 16.2 — 25 | 45.0 113 71 | 47.8 85 75 | 60.4 95 95 | 60 — 17 | 190 120 55 | 254 99 73 | 349 100 100 | | | |
| | | | 3 | イ ロ ハ | 17.0 — 27 | 52.0 131 82 | 55.4 98 87 | 64.0 101 101 | 67 — 19 | 242 153 70 | 283 110 81 | 370 106 106 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 38.4 — 60 | 51.1 128 80 | 57.5 102 91 | 61.5 97 97 | 175 — 50 | 254 133 73 | 286 111 82 | 369 106 106 | | |
| 80 | B | 3 | イ ロ ハ | 35.4 — 56 | 48.8 123 77 | 53.8 95 85 | 60.4 95 95 | 141 — 41 | 244 154 70 | 265 163 76 | 338 96 96 | | | |
| | | | 5 | イ ロ ハ | 45.4 — 71 | 40.4 102 64 | 32.7 93 83 | 56.5 89 89 | 183 — 53 | 262 166 75 | 290 112 83 | 320 92 92 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 45.4 — 71 | 40.4 102 64 | 32.7 93 83 | 56.5 89 89 | 183 — 53 | 262 166 75 | 290 112 83 | 320 92 92 | | |
| | C | 5 | イ ロ ハ | 45.4 — 71 | 40.4 102 64 | 32.7 93 83 | 56.5 89 89 | 183 — 53 | 262 166 75 | 290 112 83 | 320 92 92 | | | |
| | | | 3 | イ ロ ハ | 45.4 — 71 | 40.4 102 64 | 32.7 93 83 | 56.5 89 89 | 183 — 53 | 262 166 75 | 290 112 83 | 320 92 92 | | |
| | | | | イ ロ ハ | 45.4 — 71 | 40.4 102 64 | 32.7 93 83 | 56.5 89 89 | 183 — 53 | 262 166 75 | 290 112 83 | 320 92 92 | | |

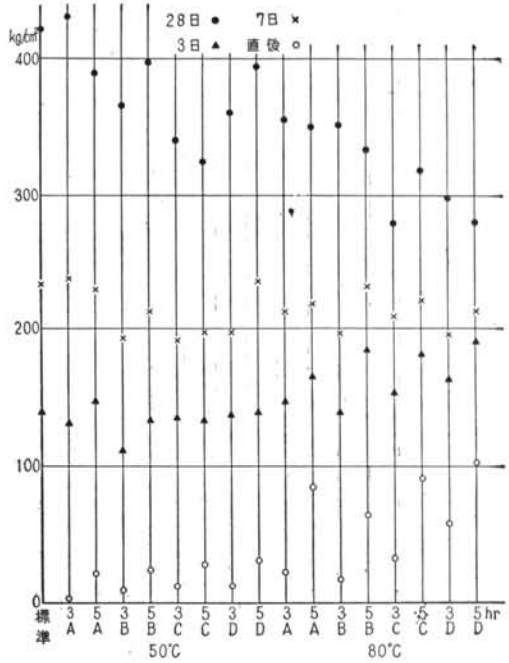


図-3 普通ポルトランドセメント圧縮強度

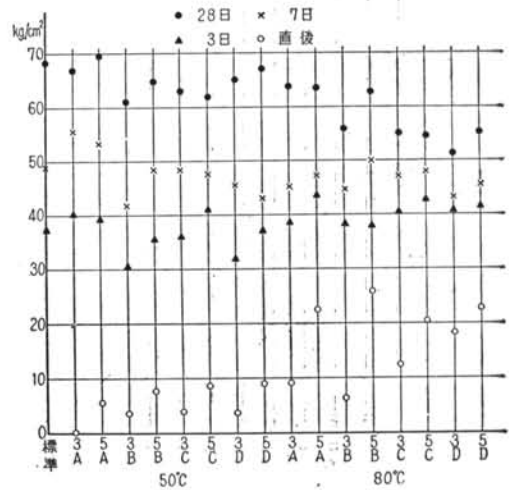


図-4 普通ポルトランドセメント曲げ強度

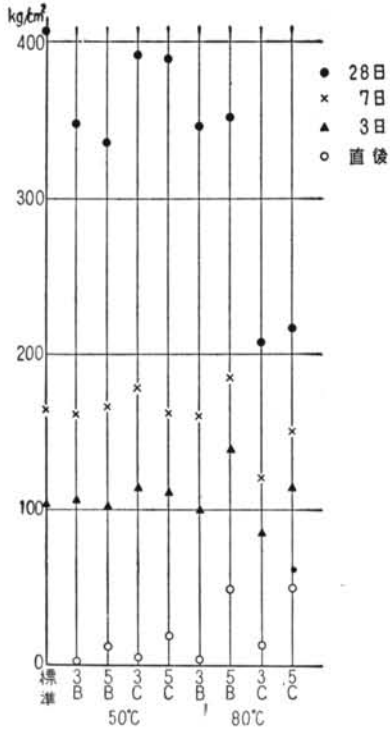


図-5 高炉セメント圧縮強度

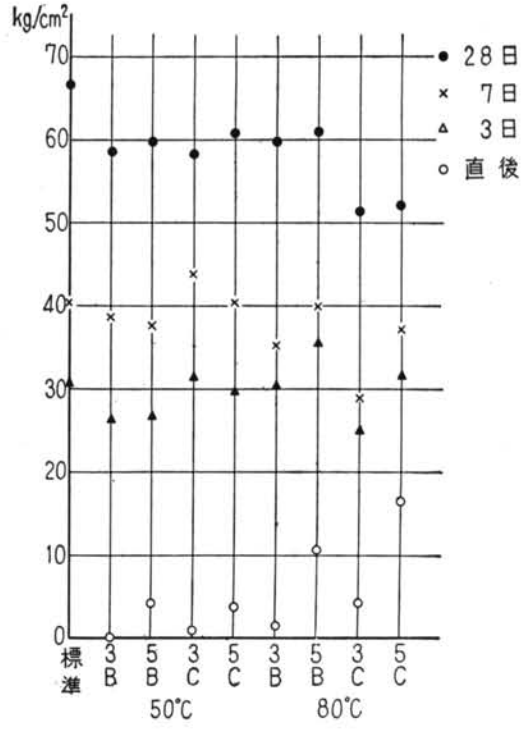


図-6 高炉セメント曲げ強度

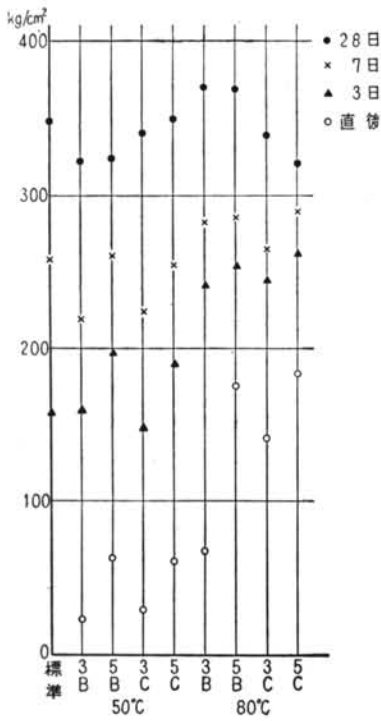


図-7 早強セメント圧縮強度

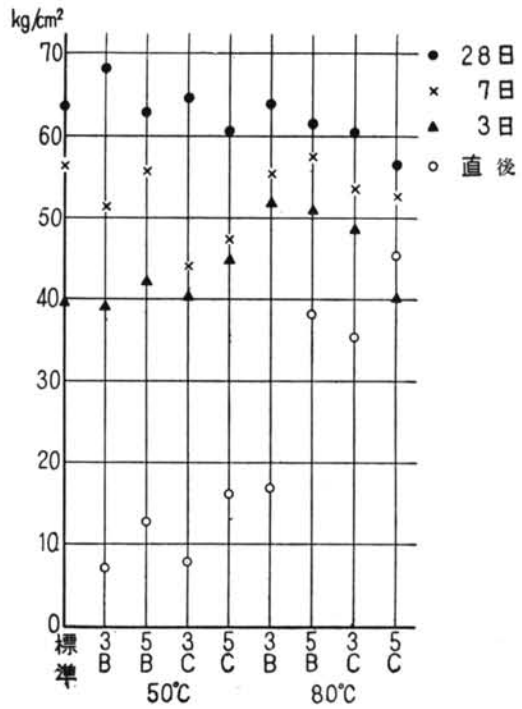


図-8 早強セメント曲げ強度

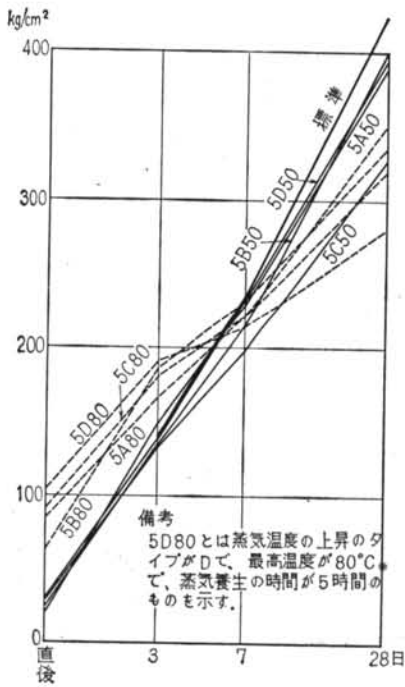


図-9 普通ポルトランドセメント5時間蒸気養生材令一圧縮強度

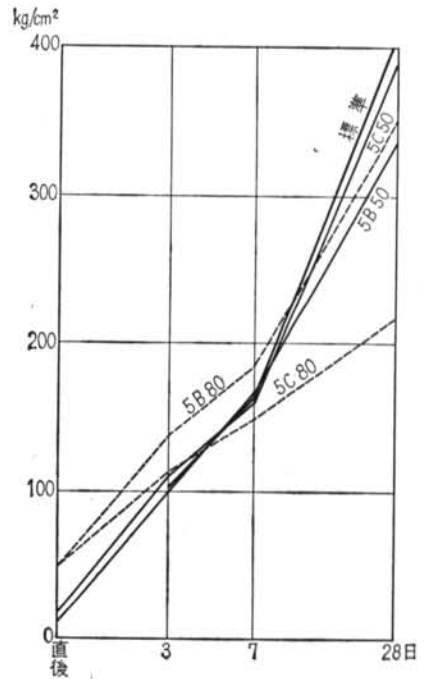


図-10 高炉セメント5時間蒸気養生材令一圧縮強度

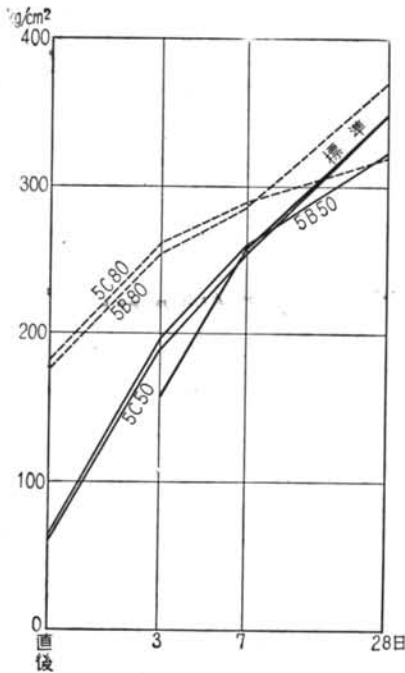


図-11 早強セメント5時間蒸気養生材令一圧縮強度

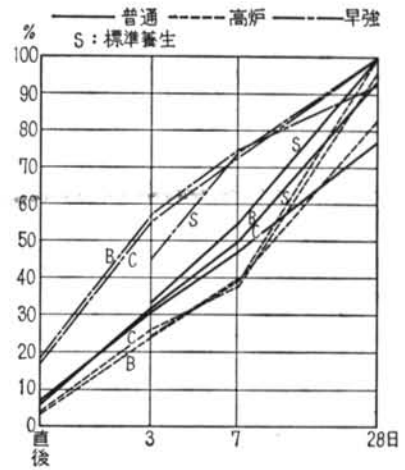


図-12 各種セメント圧縮強度標準養生28日強度に対する百分率(50°C 5時間)
—普通 —高炉 - - -早強
S・標準養生

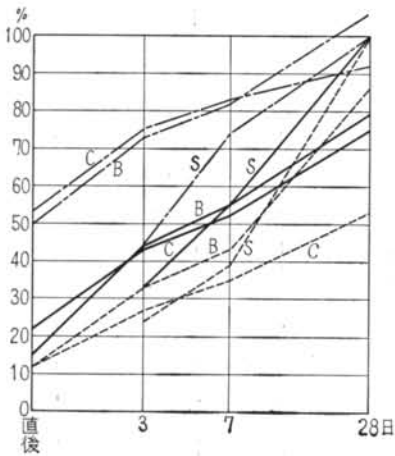


図-13 各種セメント圧縮強度標準養生28日強対に対する百分率(80°C 5時間)

今、蒸気養生中の $f(t, \theta) = \int_0^t (\theta - 20) dt$ (ただし t は時間, θ は°C で表わした蒸気の温度) を計算し、これと蒸気養生直後の圧縮強度との関係を図示すると、図-14のようになる。

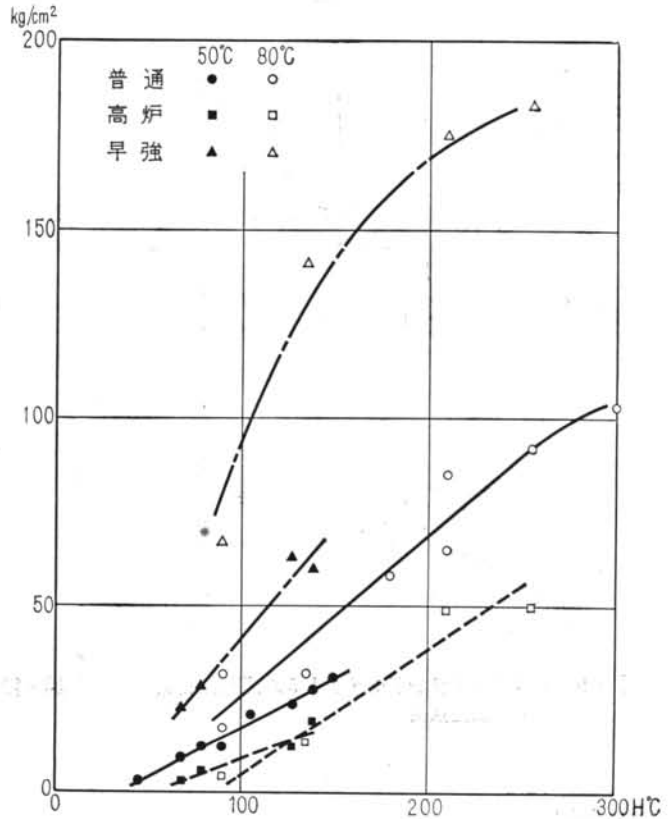


図-14 各種セメント $f(\theta, t) = \int_0^t (\theta - 20) dt$ と蒸気養生直後の強度

§ 5. コンクリート強度との関係

モルタルと同様蒸気養生を与えたコンクリートについて、一部実験を行なった。

コンクリートの調査は表-5のとおりである。コンクリートの圧縮試験体はφ10cm×20cm の円筒型を用い、各3コノ平均をとった。蒸気養生の方法はそれぞれ、3・D・50, 5・D・50, 3・D・80, および5・D・80の4種類である。

表-5 コンクリートの調査 (1立方米当り)

| セメント | 砂 | 砂利 | 水 | 水・セメント比 | スランプ |
|-----------|--------------------|-------------------|-------|---------|------|
| アサノ普通セメント | 比重 2.60 2.5mm以下 | 比重 2.60 25mm以下 | | | |
| 297kg | 808kg | 1054kg | 193 l | 65% | 19cm |

モルタルの場合と試験体の大きさや熱的性質が多少違うので、内部の温度については、特にその初期において一致しないものと考えなければならないが、結果は表-6に示すとおりであった。

これをモルタルの結果と比較するため、それぞれの標準養生28日材令強度に対する百分率をとって見ると図-15、図-16のようになる。

§ 6. 結果の考察

上記実験結果にもとづいて、蒸気養生の方法と強度との関係について検討すると、以下のよう考えられる。

a. 蒸気養生直後の強度:

最高温度を80°Cにしたものは同じく50°Cにしたものに比し、明らかに高い強度を示す。また養生時間

表-6 コンクリートの強度

| 最高温度 °C | 温度上昇 のタイプ | 蒸気養生 の時間 | 圧縮強度 kg/cm ² | | | |
|--------------------------------|--------------|-------------|-------------------------|-------------|------------------|-------------------|
| | | | 直後 | 7日 | 28日 | |
| 標準養生 (50°C 養生と同一コン クリート) | | | イ ロ ハ | — — — | 104 100 46 | 224 100 100 |
| 50 | D | 3 | イ | 8 | 110 | 183 |
| | | | ロ | — | 105 | 82 |
| | | | ハ | 4 | 49 | 82 |
| | | 5 | イ | 17 | 109 | 211 |
| | | | ロ | — | 105 | 94 |
| | | | ハ | 8 | 49 | 94 |
| 標準養生 (80°C 養生と同一コン クリート) | | | イ ロ ハ | — — — | 120 100 48 | 249 100 100 |
| 80 | D | 3 | イ | 32 | 112 | 176 |
| | | | ロ | — | 93 | 71 |
| | | | ハ | 8 | 45 | 71 |
| | | 5 | イ | 51 | 119 | 185 |
| | | | ロ | — | 99 | 74 |
| | | | ハ | 20 | 48 | 74 |

イ：強度 ロ：標準養生の相当材令強度に対する百分率
ハ：標準養生28日強度に対する百分率

の長いものが短いものより高い値を示す。この間の関係を見るために $f(t, \theta) = \int_0^t (\theta - 20) dt$ の値と強度との関係を見ると (図-14), 最高温度が一定ならば, 強度は $f(t, \theta)$ の値で定まる。したがって, 同じ $f(t, \theta)$ の値ならば, 温度の上昇のさせ方は影響がないようである。

そして, 同じ $f(t, \theta)$ の値でも, 最高温度の高い方が高い強度を示し, また $f(t, \theta)$ 値の増分に対する強度の増分の割合も大きい。

b. 28日までの強度:

一般に, この程度の養生では, 28日までは強度の増進が見られる。

3日までは明らかに当初の蒸気養生によるプラス側の影響が見られ, いずれも標準養生のものと同程度以上で, かつ直後強度の大きいものほど大きい値を示す。

7日に至ると, 標準養生のものと同程度もしくはそれ以下となり, 28日では全て標準以下となる。そして, 蒸気養生で大きい熱量を受けたものほど28日材令での強度が小さくなっているが, パラツキもかなり大きい。

c. セメントの種類との関係:

一般的にいて, 高温蒸気養生による早期の強度増加の割合は, 同一条件において, 早強セメントが最も

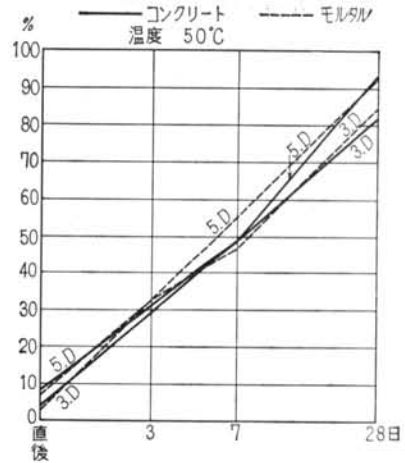


図-15 モルタルとコンクリートの圧縮強度増進の比較 (それぞれの標準養生28日強度を100とする) —コンクリート ---モルタル 温度 50°C

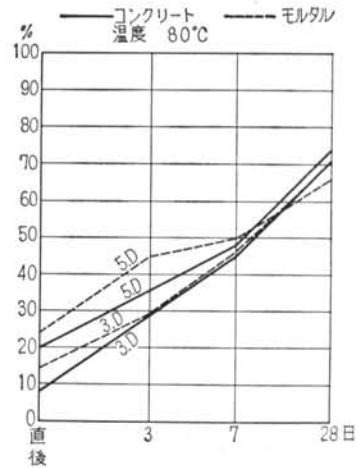


図-16 モルタルとコンクリートの圧縮強度増進の比較 (それぞれの標準養生28日強度を100とする) —コンクリート ---モルタル 温度 80°C

大きく, ついで普通セメント, 高炉セメントの順となる。

また初期高温養生による28日材令強度の低下の割合についても, 早強セメントが最も少なく, 普通セメント 高炉セメントの順となる。高炉セメントを急速に 80°C に加熱したものは供試体内部に層状の隙間を生じて, 28日強度が他に比して著しく小さくなった。

d. コンクリート強度との関係:

普通セメントについて行なった結果では、同一水セメント比のものでコンクリートおよびモルタルそれぞれの標準養生28日強度に対する各材令の強度の割合はあまり変わらない。ただし、80°C 養生の直後および3日の強度はモルタルの方が大きくなった。これは断面の大きさの相違による加熱の影響の違いに原因すると思われる。したがって、 $\phi 15\text{cm} \times 30\text{cm}$ の試験体では、もっと相違が現われると思われる。

§7. お わ り に

上記実験は、28日までの強度について行なったもので、さらに長期の強度、ならびに体積変化、耐久性等に関する問題は、別の研究にまたねばならない。

<参 考 文 献>

1. J. C. Sprague "Effect of curing temperature

on compressive strength of concrete at early ages" Proceedings of A. C. I. 1936 P. 212

2. J. J. Shideler, W. H. Chamberlin "Early strength of concrete as affected by steam curing temperature" Proceedings of A. C. I. 1950 P. 273

3. A. G. A. Saul "Principles underlying of the steam curing of concrete at atmospheric pressure" Magazine of C. R. 1951 P. 127

4. 日本セメント中央研究所 "大気圧下のコンクリートの蒸気養生" セメント技術年報 1954 P. 282

5. 郡道夫, 井上肇 "蒸気養生を施したコンクリートの第二次養生方法と強度との関係について" セメント技術年報 1959 P. 309

6. 近藤実 "高温養生における硬化セメントペーストの諸性質" 同上 P. 130

7. 渡辺喜一郎 "コンクリートの蒸気養生" セメントコンクリート 1959 No. 5

8. E. C. Higginson "Effect of steam curing on the important properties of concrete" Proceedings of A. C. I. 1961 P. 281