

日本園工用発(株)

○正会員

竹下治之

日本園工用発(株)

佐々木宏二

日本園工用発(株)

指田健次

1. まえがき トンネル掘削においては安全かつ能率的工法が望まれる。著者は一般の粘性土あるいは砂質土を対象として新しいトンネル工法として、まず地盤をカッターマシンでトンネル断面に合わせリング状に掘削し、直ちにこのスリットにコンクリートを充填し、コンクリート硬化後に全断面の掘削を行うという新工法 (Pre-lining Support 工法) の開発を行っている。このトンネル掘削工法においては、この充填コンクリートは打設10時間後において、圧縮強度  $100 \text{ kg/cm}^2$  (温度  $15^\circ\text{C}$ ) の強度を有し、しかも施工性、経済性が良いことが要求される。この条件を満足するコンクリートを見出すため、各種の混和剤を使用してコンクリートの早強性の検討を行ったが、その概要を以下に報告する。

2. 試験概要 材料としてセメントは早強ポルトランドセメント、骨材は碎石、砕砂 (FMはそれぞれ、6.29, 2.70,  $G_m$  は  $1.5 \text{ m}^3$ ) を、混和剤は表1に示すものを使用した。混和剤の使用量は標準使用量を定められたものはその量を、使用量に中のあるものは、材料コストが他の配合とほぼ一定になる使用量を用いた。各種の配合は、前も、2行、3行試験練りの結果、 $S/a$  は  $47.2\%$ 、 $W/c$  は約  $45\%$ 、スランプは  $8 \pm 1.5 \text{ cm}$  を目安に決定した。混合は100リットル試験練りミキサーを用い、養生は  $15^\circ\text{C}$  および  $20^\circ\text{C}$  恒温槽を行い、温度の影響を検討した。

3. 実験結果および考察 まず、表2の配合番号1~7に示す単独の混和剤使用の場合に対しその早期強度を検討した。試験の結果、10時間強度に対しては混和剤Fの添加が特に有効であり、他の混和剤のみでは所定の強度発現は困難であると考えられた。従って、Fをベースに他の混和剤との併用の場合を検討した。また、混和剤の増量の効果があるB、Eについて、その使用量を倍増して、その効果を検討した。これらの試験結果

表2 配合および試験結果

| 配合<br>番号 | セメント<br>W (%) | 砕砂<br>C (%) | 碎石<br>S (%) | 水<br>W | 単位量<br>(kg/m <sup>3</sup> ) | 混和剤<br>G | ①       | ②      | スランプ<br>(cm) | 空気率<br>(%) | 圧縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )     |                                |                                |                                |
|----------|---------------|-------------|-------------|--------|-----------------------------|----------|---------|--------|--------------|------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|          |               |             |             |        |                             |          |         |        |              |            | 養生温度 $15^\circ\text{C}$ 養生20時間 | 養生温度 $15^\circ\text{C}$ 養生24時間 | 養生温度 $20^\circ\text{C}$ 養生20時間 | 養生温度 $20^\circ\text{C}$ 養生24時間 |
| 1        | 45            | 47.2        | 208         | 44.2   | 777                         | 885      | -       | -      | 7.2          | 0.9        | 22                             | 201                            | 57                             | 243                            |
| 2        | •             | •           | 199         | •      | 772                         | 882      | A-2.31  | -      | 8.0          | 1.0        | 45                             | 261                            | 73                             | 300                            |
| 3        | 41.6          | •           | 187         | •      | 778                         | 909      | B-6.26  | -      | 6.5          | 1.1        | -                              | 265                            | -                              | 308                            |
| 4        | 45            | •           | 204         | •      | 772                         | 882      | C-6.62  | -      | 8.4          | 1.3        | -                              | 271                            | -                              | 307                            |
| 5        | •             | •           | 203         | •      | •                           | •        | D-6.01  | -      | 8.5          | 1.1        | -                              | 214                            | -                              | 302                            |
| 6        | •             | •           | 205         | •      | •                           | •        | E-4.10  | -      | 7.8          | 1.1        | -                              | 251                            | -                              | 273                            |
| 7        | •             | •           | 208         | •      | •                           | 885      | F-9.25  | -      | 6.0          | 1.2        | 111                            | 260                            | 164                            | 292                            |
| 8        | 45.2          | •           | 200         | •      | 776                         | 884      | A-2.31  | F-9.25 | 9.5          | 1.8        | 136                            | 278                            | 182                            | 278                            |
| 9        | 41.6          | •           | 187         | •      | 778                         | 909      | B-6.26  | -      | 6.0          | 1.6        | 174                            | 327                            | 227                            | 376                            |
| 10       | 45            | •           | 204         | •      | 780                         | 887      | C-6.62  | -      | 9.3          | 1.6        | 132                            | 276                            | 191                            | 306                            |
| 11       | •             | •           | 203         | •      | 777                         | 888      | D-6.01  | -      | 9.0          | 2.3        | 123                            | 281                            | 168                            | 298                            |
| 12       | •             | •           | 205         | •      | 778                         | 887      | E-4.10  | -      | 9.0          | 1.9        | 104                            | 268                            | 153                            | 287                            |
| 13       | 42.9          | •           | 178         | •      | 801                         | 914      | B-12.52 | -      | 6.0          | 1.7        | 72                             | 301                            | 148                            | 338                            |
| 14       | 45            | •           | 203         | •      | 777                         | 886      | F-8.20  | -      | 6.5          | 1.2        | 38                             | 231                            | 70                             | 269                            |

表1 使用 混和剤

| 混和剤 | 混和剤の分類  | 主成分      | 形状 |
|-----|---------|----------|----|
| A   | 早強性減水剤  | リチウム系減水剤 | 液状 |
| B   | •       | シリカ系減水剤  | •  |
| C   | •       | シリカ系減水剤  | •  |
| D   | •       | シリカ系減水剤  | •  |
| E   | 早強剤     | •        | •  |
| F   | 超早強性促進剤 | 塩化カルシウム  | 粉末 |

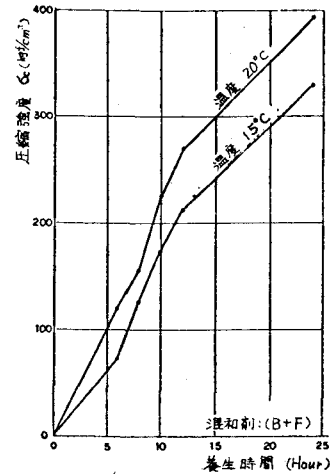


図2 養生温度による強度発現の相違

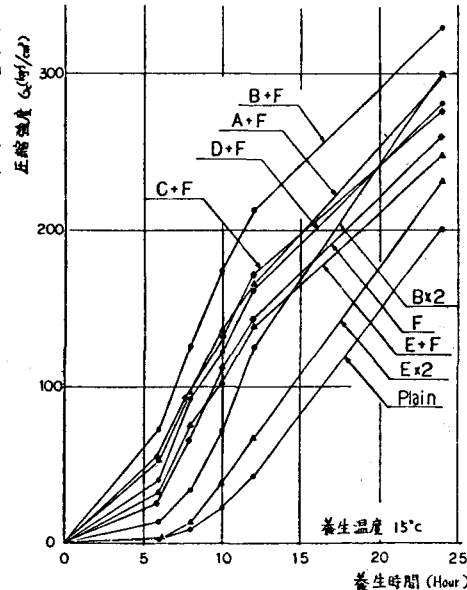


図1 各種混和剤による圧縮強度の経時変化

果と表2の8~14および図1に示す。これらの図表から分かるように、10時間程度に対しては併用の効果があり、混和剤A~DとFとの併用の場合がほぼ要件を満足している。一方、24時間程度の場合、養生温度15℃においては併用の効果があるが、20℃においては効果が薄い。これらの試験結果から、本工法に適用するコンクリート配合として混和剤BとFの併用のものを採用した。図2はこの配合のコンクリートの養生温度による強度発現の差を示す。10時間程度では5℃の温度上昇により圧縮強度は約30%増加する。このような傾向は他の配合においても同様である。図3は同配合のコンクリートの温度変化を示したものである。打設10時間後、温度が最も上昇しており、この時間帯が強度発現の最も著しいことが分かる。

次に表3に示す同種の配合のコンクリートに対し、セメント水比と圧縮強度の関係について検討した。その試験結果を図4に示す。C/W-6の間には6~10時間程度の若材令においては直線関係がないが、24時間程度になると直線関係を示す。この傾向は、他の配合および養生温度においても認められる。

図5は表2の配合番号3のものをW/Cが45%になるように修正配合したコンクリートの圧縮、割裂、曲げおよびせん断強度の経時変化を示したものである。強度は打設6時間以降の発現が著しく、圧縮強度は時間を対数目盛でプロットすると、両者はほぼ直線関係を保ち、ほぼ3日を境にその勾配は少し変化する。養生温度20℃の場合には、3日までの直線の勾配は15℃の場合に比べ幾分か大きく、3~28日の直線勾配は15℃の場合のそれとほぼ同様であった。一方、割裂強度の圧縮強度に対する比は時間とともに増大し、6、12、28時間それぞれ約1/4、1/6、1/5である。また、スランプロスについても検討した。大体30分~1cm、1時間0.25~1.5cm程度であった。

次に、この一連の試験研究から得られた主な結論をまとめると以下のようである。

- (1) 養生温度15℃において、打設10時間後に圧縮強度100kgf/cm<sup>2</sup>の強度を発現する数種類の配合が見い出された。
- (2) こゝを対象とした配合のコンクリートにおいては、著しい強度の発現は打設後6時間以降であり、ほぼ10時間後において最も強度増加率が大きいと考えられる。圧縮強度および割裂強度は時間を対数目盛でプロットすると、6~72時間においては両者間にはほぼ直線関係が成立する。
- (3) また、セメント水比と圧縮強度の間には概く若材令においては必ずしも直線関係が成立せず、ほぼ24時間程度になると直線関係が成立する。

現在、こゝに述べた混和剤BとFの併用の配合をベースに、本工法におけるコンクリートの施工法および品質等につき実験により検討中である。

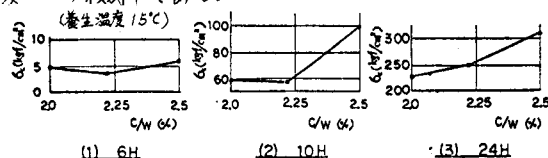


図4 混和剤(B+F)使用の場合のC/Wの関係。

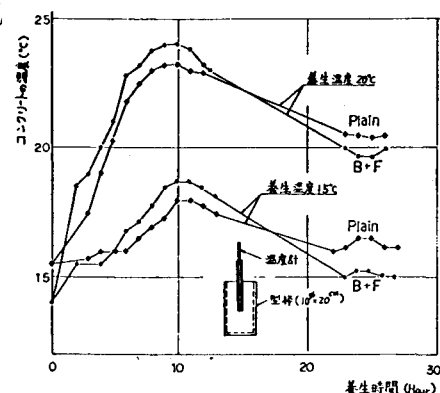


図3 コンクリートの温度上昇

表3 W/Cを変化させた場合の配合

| 配合番号 | セメント水比 |       | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |             |        | スランプロス |        |
|------|--------|-------|--------------------------|-----|-----|-----|-------------|--------|--------|--------|
|      | W (%)  | C (%) | W                        | C   | S   | 砂利  | 混和剤         | G (mm) | F (mm) | 全量 (%) |
| 1    | 50     | 48    | 188                      | 395 | 830 | 917 | B-274F-5.93 | 9.5    | 1.3    |        |
| 2    | 45     | 47    | 189                      | 446 | 787 | 107 | B-274F-6.63 | 9.0    | 0.8    |        |
| 3    | 40     | 46    | 191                      | 507 | 745 | 872 | B-274F-7.24 | 9.5    | 0.8    |        |

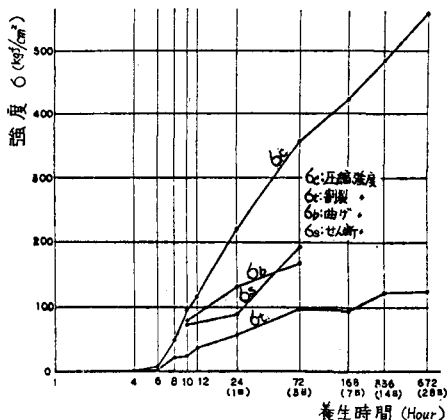


図5 諸強度の経時変化