

VI-156

凍結工法による地中拡幅工事について（その3）

－凍結地盤中での高流動コンクリートの施工－

鹿島建設（株） 正会員 横関 康祐  
 中部電力（株） 正会員 上嶋 正樹  
 鹿島建設（株） 辻井 孝  
 鹿島建設（株） 正会員 高尾 洋平  
 鹿島建設（株） 正会員 臼井 徹弥

1. はじめに

本工事は、市街地の地下約 20 m で電力供給用の既設洞道（ $\phi$  3,600mm）と新設洞道（ $\phi$  4,000mm）を地中接続するもので、地盤を凍結工法で固めて内部を直径約 10 m に掘削し、覆工コンクリートを打設する特殊な工事である<sup>1)</sup>。コンクリートの施工に際しては、①過密配筋かつ閉所での作業となるため、締め固めを十分に行わなくとも高い充填性が確保されること、②コンクリートの水和熱による温度上昇と凍結地盤による冷却が引き起こす温度差に起因する温度ひび割れ対策、が重要な課題となった。そこで、近年実施工への適用が数多く報告され、施工法が急速に進歩しつつある高流動コンクリートの適用性を検討し、事前に温度ひび割れ対策検討を行った。その内、本報告では、打設部分の温度が0～10℃といった低温環境での高流動コンクリートの流動性状、硬化コンクリート性状に関する事前検討結果、及び実施施工結果について述べる。

2. 構造物の概要

対象部位は、図-1に示す2本のシールドトンネルが直角に交わる拡幅部（ $\phi$  10×18 m）の覆工コンクリート（壁厚 0.5～2.0 m）であり、テーパ部、中央部をそれぞれ底版、側壁、頂版部分に分けて打設する総計約 600 m<sup>3</sup>（高流動 430 m<sup>3</sup>）である。鉄筋は最も密な部分では、D29 が 125mm ピッチで配筋されており、掘削を進行しながら狭い空間でのコンクリート打設となる。

3. コンクリート配合検討

施工時期が8月から12月に亘るため、コンクリートの練上り温度は30～10℃程度と変化する一方で、打設部位は凍結の影響により 0～10℃程度の低温環境となる条件の下で、コンクリートには、①高い流動性・充填性を有していること、②運搬時間が1時間程度、打設時間が2～5時間と見込まれたため2～3時間程度流動性を保持すること、③材齢28日設計基準強度 24N/mm<sup>2</sup>を満足すること、④初期水和熱による温度上昇と凍結工法による温度降下に伴う温度応力を低減すること、以上の4項目が要求品質として挙げられた。

そこで、特殊増粘剤と多量の粉体を併用する併用系高流動コンクリートについて、実施工を模擬した温度条件下での室内試験によりフレッシュコンクリート性状及び硬化性状が上記要求品質を満足することを確認した。

図-2にスランプフローの経時変化を示す。試験はコンクリートの練混ぜ温度を 10、20、35℃とし、運搬時間を考慮して1時間までそれぞれ練混ぜ温度と同温度の恒温室内に静置し、

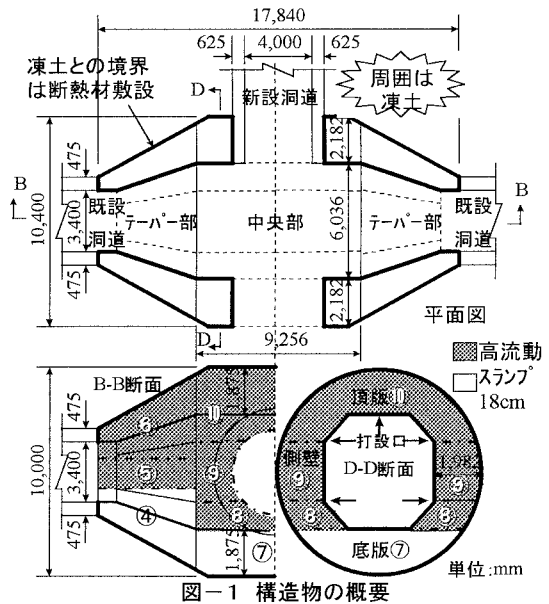


図-1 構造物の概要

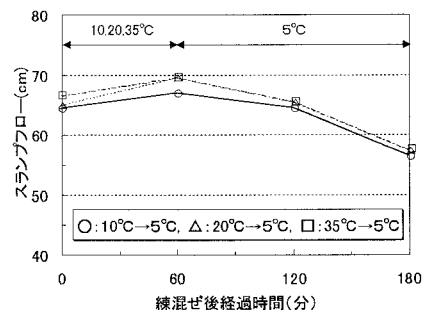


図-2 室内試験におけるスランプフローの経時変化

その後5℃の恒温室に移動して試験を行った。

練混ぜ温度に関わらず、練混ぜ直後から60分まではスランプフローがやや大きくなり、その後温度を変化すると即座に低下した。これはナフタリン系高性能減水剤の特性と考えられるが、スランプフロー65±5 cmを保持する時間は2.5時間程度であり、要求品質を満足できることが分かった。

表-1に硬化コンクリート試験結果を示す。圧縮強度・引張強度・ヤング係数はそれぞれ1つの式で表すことができ、これらの式を別途実施した

温度ひび割れ検討に適用した。また、温度に関わらず材齢28日設計基準強度を十分満足することが確認できた。断熱温度上昇式については、凝結がやや遅れるため遅れ時間 $t_0$ を考慮する必要があるが、終局断熱温度上昇量 $Q_\infty$ は土木学会コンクリート標準示方書施工編に示されている標準値とほぼ同じ値が得られた。

表-2 コンクリートの配合

| コンクリート種類 | スランプ <sup>°</sup> , 70-(cm) | 空気量 (%) | W/C (%) | s/a (%) | 単位量 (kg/m <sup>3</sup> ) |     |     |     |     |     |     |         |      |
|----------|-----------------------------|---------|---------|---------|--------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|---------|------|
|          |                             |         |         |         | W                        | C   | 石粉  | 山砂  | 砕砂  | 砂利  | 碎石  | SP剤     | 増粘剤  |
| 高流動      | 65±5                        | 4.5±1.5 | 55      | 44.6    | 175                      | 318 | 226 | 472 | 214 | 431 | 441 | 6.0~7.3 | 0.35 |
| 普通       | 18                          | "       | "       | 47.9    | 162                      | 295 | —   | 602 | 262 | 477 | 484 | 4.4     | —    |

セメント：普通ポルトランドセメント（比重3.16），石粉：舗装用石灰石粉末（比重2.71）

細骨材：多産産山砂（比重2.54，FM2.55），藤原産砕砂（2.68，FM2.78）山砂：砕砂＝7：3

粗骨材：掛斐産川砂利（比重2.61，FM6.50），南濃産碎石（比重2.67，FM6.67）川砂利：碎石＝5：5

SP剤：ナフタリン系高性能AE減水剤，特殊増粘剤：水溶性ポリサッカライド

#### 4. 実施工結果

表-2に実施工に用いたコンクリートの配合を示す。練混ぜは強制二軸型ミキサ（容量1.75 m<sup>3</sup>）を用い、トラックアジテータ車により現場まで約30～40分運搬した。その後立坑上のポンプ車で5 B管により地下20 m，水平約80 mを圧送し，側壁部分は各部位の上端部1カ所からフレキシブルホースを用いて流し込み，頂版部は天端部2カ所から注入する方法により打設速度約20～30 m<sup>3</sup>/hで打設することで良好な流動性を示し，締固めを一切行わなくとも高い充填性を確保できた。

図-3に高流動コンクリートのスランプフロー試験結果を示す。練混ぜ温度は約30℃から10℃まで変化しているのに対して，練上り直後のスランプフローは63.0～68.5 cm，現着時は64.0～69.5 cmで室内試験と同様に若干増加する傾向にあったが，打設時期によらず流動性は常に安定していた。

図-4に圧縮強度試験結果を示す。坑内温度は常に5～10℃であるため，普通コンクリート，高流動コンクリートともに標準養生供試体より現場水中養生供試体の方がやや圧縮強度が低い結果となった。一方，同一水セメント比で高流動コンクリートは普通コンクリートに比べて2～5 N/mm<sup>2</sup>大きい値を示し，変動も高流動コンクリートの方が小さい結果が得られた。

凍結地盤中でのマスコンクリート打設といった特殊な条件での施工において，高流動コンクリートの適用性について検討を行い，その有効性を確認できた。同種工事の参考となれば幸いである。

【参考文献】1)上嶋ら：凍結工法による地中拡幅工事について(その1)，第51回土木学会年次講演会，第VI部門，1996年

表-1 硬化コンクリート試験結果

| 練混ぜ・養生温度(℃)               | 35℃                                          | 20℃  | 10℃  |
|---------------------------|----------------------------------------------|------|------|
| 圧縮強度(N/mm <sup>2</sup> )  | $f_c = 4.90 \ln(M) - 23.7$                   |      |      |
| M:積算温度(℃・h)               | $r = 0.928$                                  |      |      |
| 引張強度(N/mm <sup>2</sup> )  | $f_t = 0.258 f_c(t)^{0.626}$                 |      |      |
|                           | $r = 0.958$                                  |      |      |
| ヤング係数(N/mm <sup>2</sup> ) | $E_c = 2497 f_c(t)^{0.689}$                  |      |      |
|                           | $r = 0.966$                                  |      |      |
| 断熱温度上昇式                   | $Q(t) = Q_\infty (1 - \exp(-\gamma(t-t_0)))$ |      |      |
| 終局断熱温度上昇量 $Q_\infty$ (℃)  | 46.4                                         | 46.8 | 49.8 |
| 温度上昇速度 $\gamma$ (1/日)     | 1.69                                         | 1.33 | 1.13 |
| 遅れ時間 $t_0$ (日)            | 0.5                                          | 0.33 | 1.0  |

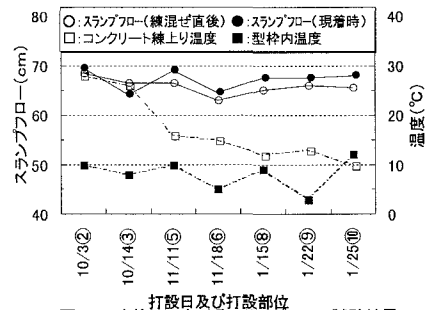


図-3 実施工におけるスランプフロー試験結果

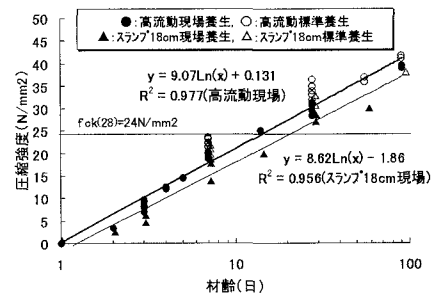


図-4 実施工における圧縮強度試験結果