

鋼繊維補強スリットコンクリートを用いた New PLS 工法の施工試験

ハザマ（正）○荒木田憲（正）谷口裕史（正）長沢教夫（フェロー）喜多達夫
日本道路公団 割田巳好 青山昌二

1. はじめに

New PLS 工法の適用範囲を拡大(超大断面や扁平断面など)するには、スリットコンクリートの変形性能(たね)を向上させることも重要であると考え、鋼繊維補強スリットコンクリートを開発し¹⁾、吉井トンネル建設工事²⁾の New PLS 工法に適用した。本報では、施工試験結果の概要について報告する。

2. 施工試験概要

施工試験は、吉井トンネル建設工事の3スリットを対象に実施した。Aスリットは鋼繊維を0.5Vol%、BおよびCスリットでは鋼繊維を0.75Vol%混入した。スリットコンクリートの使用材料、配合および目標品質を表-1~3に示す。

3. 施工試験結果

3.1 フレッシュコンクリート

フレッシュコンクリートの試験結果例(Bスリット)を表-4に示す。スランプはベースコンクリートおよび鋼繊維補

強スリットコンクリート

においても目標品質を満足

した。鋼繊維混入に伴うス

ランプ低下は平均で2.1cmで

あった。打込み終了までの

時間は、練混

ぜ開始より最大121分、出荷より79分(表-6 サイクルタイム参照)であり、目標スランプ保持時間90分を超えるケースもあったが、施工上問題はなかった。これは、試験時のコンクリート温度が20℃程度であったことも影響している

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

と考える。高温時の施工では、鋼繊維混入後のスランプ低下も危惧されるので、スランプ保持性能を高めた夏期配合の適用⁴⁾あるいはコンクリート温度の制御などを検討する必要がある。

表-1 使用材料

| 種類 | 基本特性 |
|-------|--|
| セメント | 普通ポルトランド 密度:3.15g/cm ³ 、比表面積:3360cm ² /g |
| 急硬材 | PLS-P 密度:2.92g/cm ³ 、カルシウムサルホアルミネート系化合物 |
| 凝結調整剤 | D-300 密度:2.19g/cm ³ 、有機酸とアルカリ炭酸塩の複合 |
| 急結剤 | PLS-L 密度:1.50g/cm ³ 、特殊無機アルシ 酸化合物 |
| 細骨材 | 田川産 密度:2.56g/cm ³ 、吸水率:1.97%、F.M.:2.34 |
| 粗骨材 | 足柄産 密度:2.58g/cm ³ 、吸水率:2.97%、Gmax=15mm |
| 鋼繊維 | 両端フック型 長さ30mm、公称直径0.75mm、アスペクト比40 |
| 水 | 水道水 神奈川県横須賀市 |

表-2 スリットコンクリートの配合

| 配合種類 | 粗骨材の最大寸法 Gmax (mm) | 水結合材比 W/(C+P) (%) | 細骨材率 s/a (%) | 単位量(kg/m ³) | | | | | | | |
|----------|--------------------|-------------------|--------------|-------------------------|--------|-------|-------|-------|-------|-------|--------|
| | | | | 水 W | セメント C | 急硬材 P | 細骨材 S | 粗骨材 G | 凝結調整剤 | 急結剤 L | 鋼繊維 SF |
| 0.5Vol% | 15 | 50 | 54 | 211 | 363 | 59 | 890 | 764 | 5.1 | 17 | 40 |
| 0.75Vol% | | | | | | | | | | | 60 |

注)急硬材:P/(C+P)=14%、急結剤:(C+P)×4%、凝結調整剤:(C+P)×1.2%

表-3 目標品質

| 項目 | 目標品質 |
|----------------|---|
| ベースコンクリートのスランプ | 20+2.5cm |
| 鋼繊維混入後のスランプ | 17cm以上(スリット内での充填性を確保)、90分保持(施工サイクルを考慮) |
| 急結剤混入後の自立時間 | 12分以内(横行速度100mm/min、妻型枠長1.2mより) |
| 材齢6時間強度 | 3.0N/mm ² (掘削時に支保工としての強度を確保) |
| 材齢28日強度 | 18N/mm ² (支保工として従来の吹付けコンクリートと同等) |
| 材齢28日曲げ靱性 | 高強度・鋼繊維吹付けコンクリート ³⁾ と同等 |

表-4 フレッシュコンクリートの試験結果 (Bスリット)

| 台数 | ベースコンクリート | 鋼繊維混入ベースコンクリート | 鋼繊維混入によるスランプ変化量 | 打込み開始時* | 打込み終了時* |
|----|-----------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|
| 1 | 22.5cm 15.5(10.5)℃ | 21.0cm 16.0℃ | -1.5cm | 20.0cm (31分) | 21.0cm (52分) |
| 2 | 22.5cm 17.0(14.5)℃ | 20.0cm 18.0℃ | -2.5cm | 19.5cm (26分) | 21.5cm (55分) |
| 3 | 21.0cm 18.5(16.0)℃ | 19.5cm 18.5℃ | -1.5cm | 17.5cm (32分) | 17.5cm (64分) |
| 4 | 22.0cm 19.0(16.5)℃ | 20.5cm 19.0℃ | -1.5cm | 20.0cm (35分) | 19.0cm (68分) |
| 5 | 22.0cm 19.0(17.5)℃ | 19.5cm 19.5℃ | -2.5cm | 18.5cm (39分) | 19.0cm (73分) |
| 6 | 22.0cm 20.0(17.0)℃ | 19.5cm 20.0℃ | -2.5cm | 19.5cm (39分) | 18.5cm (72分) |
| 7 | 22.0cm 20.5(17.5)℃ | 19.0cm 20.5℃ | -3.0cm | 18.5cm (52分) | |
| 平均 | 22.0cm 18.5(15.6)℃ | 19.9cm 18.8℃ | -2.1cm | 19.1cm (36分) | 19.4cm (64分) |

注)上段:スランプ(cm) 下段:コンクリート温度(カッコ内は外気温)

*切羽での試験結果。()内は鋼繊維ベース試験実施時からの経過時間

キーワード: 都市トンネル, プレイニング工法, 急硬性コンクリート, 特殊混和材, 鋼繊維

連絡先: 〒107-8658 東京都港区北青山 2-5-8 ハザマ トンネル統括部 tel:03-3423-1801 fax:03-3405-1854

3.2 硬化コンクリート

圧縮強度試験結果を表-5に、曲げ靱性試験結果を図-1に示す。圧縮強度は

表-5 圧縮強度試験結果(現場養生)

| スリット No | 繊維混入率 (Vol%) | 圧縮強度(N/mm ²) | | |
|---------|--------------|--------------------------|------|-------|
| | | 材齢6時間 | 材齢7日 | 材齢28日 |
| A | 0.5 | 3.12 | 21.9 | 29.5 |
| B | 0.75 | 3.47 | 22.3 | 30.6 |
| C | 0.75 | 3.19 | 22.0 | 28.8 |

いずれの材齢においても目標強度を満足している。一方、曲げ靱性特性も開発目標とした高強度・鋼繊維吹付けコンクリートの要求性能を満足していた。

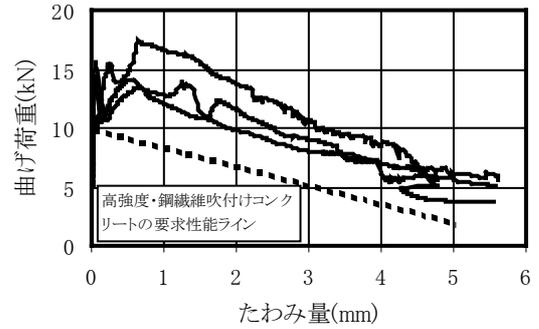


図-1 曲げ荷重-たわみ曲線(Bスリット)

3.3 サイクルタイム

サイクルタイムの測定結果を表-6に示す。鋼繊維混入および試験試料採取に要する平均時間は11分程度であった。出荷時から打込み終了までの平均時間が70.8分であるのに対し、練混ぜ開始から打込み終了までの時間が113分と目標スランプ保持時間90分をオーバーしており、練混ぜ時間の影響

表-6 繊維補強スリットコンクリートを用いた施工試験のサイクルタイム(Bスリット)

| | 1台目 | 2台目 | 3台目 | 4台目 | 5台目 | 6台目 | 7台目 | 平均(1~6台) |
|------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------|
| 練混ぜ量 | 5.0 m ³ | 3.0 m ³ | 合計34.5m ³ * |
| 練混ぜ時間 | 27分 | 27分 | 27分 | 27分 | 27分 | 29分 | 14分 | 27.3分/5m ³ |
| ミキサ洗浄時間 | - | (5分) | 10分 | - | 12分 | 10分 | 10分 | 10.5分/回 |
| ベース試験時間 | 3分 | 2分 | 2分 | 2分 | 2分 | 2分 | 2分 | 2.1分 |
| 繊維混入時間 | 7分 | 13分 | 8分 | 9分 | 10分 | 7分 | 6分 | 9分 |
| 繊維試料採取試験 | 2分 |
| 運搬時間 | 4分 | 2分 | 3分 | 3分 | 4分 | 3分 | (11分) | 3.2分 |
| 切羽待機時間 | 13分 | 19分 | 15分 | 28分 | 33分 | 33分 | 38分 | 23.5分 |
| New PLS打込み時間 | 40分 | 45分 | 44分 | 42分 | 42分 | 42分 | 22分 | 42.5分 |
| 施工能力 | 7.50m ³ /h | 6.67m ³ /h | 6.82m ³ /h | 7.14m ³ /h | 7.14m ³ /h | 7.69m ³ /h | 8.18m ³ /h | |
| 練混ぜ開始～打込み終了までの時間 | 97分 | 113分 | 115分 | 115分 | 121分 | 119分 | 96分 | 113分 |
| 出荷～打込み終了までの時間 | 57分 | 66分 | 72分 | 73分 | 79分 | 78分 | 71分 | 70.8分 |
| 強度試験 | | | | | | | | 試験体採取所要時間 |
| | | | | | | | | 2分 |

*合計量には右脚部施工分の1.5m³(8台目)を含む

が大きいことがわかる。吉井トンネル建設工事では容量0.5m³のミキサーを使用しており、容量の大きな(0.75又は1.0m³)ミキサーに変更することが練混ぜ時間短縮に有効である。また、切羽での待機時間を短縮するために切羽での鋼繊維混入も有効な手法である。

3.4 鋼繊維の分散性

X線撮影用のコアは、左右側壁部および天端部の妻部から約50cm位置(打込み口から約1m流動)および約1.0m位置(打込み口付近)の計6箇所から採取した。X線撮影は、φ15cm×40cm(スリット厚)のコアより1辺10cmの立方体を切り出し、X方向(内空側より撮影)、Y方向(横行(横断)方向に撮影)およびZ方向(妻部より奥行き(縦断)方向に撮影)の3箇所より撮影した。測定結果を表-7に示す。左右側壁部はZ方向の鋼繊維面積が少なく、カットに沿ったコンクリートの流動方向に向いている鋼繊維が多いことが分かる。一方、天端部ではX方向の繊維が若干少ない傾向を示している。今回の試験結果のみで配向性を定量的に評価することは困難であるが、いずれの箇所においても鋼繊維が存在し、ある程度の分散性(極端に偏った方向に配向していない)も有していると判断できる。

表-7 X線撮影結果

| No | 撮影方向 | 面積比(%) | |
|--------|------|--------|------|
| | | コンクリート | 鋼繊維 |
| 左-50 | X | 57.6 | 42.4 |
| | Y | 53.8 | 46.2 |
| | Z | 55.6 | 44.4 |
| 左-100 | X | 61.6 | 38.4 |
| | Y | 59.7 | 40.3 |
| | Z | 70.4 | 29.6 |
| 右-50 | X | 60.6 | 39.4 |
| | Y | 58.8 | 41.2 |
| | Z | 76.4 | 23.6 |
| 右-100 | X | 72.2 | 27.8 |
| | Y | 66.1 | 33.9 |
| | Z | 81.6 | 18.4 |
| 天端-50 | X | 68.6 | 31.4 |
| | Y | 60 | 40 |
| | Z | 56.8 | 43.2 |
| 天端-100 | X | 68.1 | 31.9 |
| | Y | 63.7 | 36.3 |
| | Z | 65.5 | 34.5 |

4. まとめ

本施工試験の結果、プラント設備あるいは鋼繊維投入位置などを考慮する必要があるものの、従来のNew PLS工法と同様の管理および施工方法で鋼繊維補強スリットコンクリートを施工可能であることが確認できた。

- 【参考文献】1)喜多他：鋼繊維を用いたNew PLS工法用スリットコンクリートの特性，土木学会第57回年次学術講演会，講演概要集第6部門(投稿中)
 2)及川他：低土被り未固結地山におけるNew PLS工法の施工報告—横浜横須賀道路吉井トンネル—，第24回日本道路会議，一般論文集(B)トンネル部会，No.8050，pp.180-181，2001
 3)日本道路公団，設計要領第三集第9編トンネル(1)トンネル本体工建設編(第二東名・名神高速道路)，pp51-52，2000.12
 4)谷口他：切削即時充填式プレイング工法用コンクリートの配合選定，コンクリート工学年次論文集，第23巻，第2号，pp.1177-1182，2001.6