

## 報告 鋼繊維を混入した高流動コンクリートの ECL 工法への適用

田中博一\*1・川端 誠\*2・金子泰治\*3・栗田守朗\*4

要旨：現在、岡山市において鋼繊維を混入した高流動コンクリートを ECL 工法の覆工コンクリートに適用している。このコンクリートには、流動性およびその保持性、材料分離抵抗性、初期強度発現性、ひび割れ抵抗性などの厳しい性能が要求されている。実施工を通じて、要求品質を満足する鋼繊維を混入した高流動コンクリートを安定して製造し供給するには、細骨材の表面水率を各バッチ毎に管理すること、また、練上り時のコンクリート温度に応じて混和剤の添加量を適切に選択することが重要であることが明らかになった。

キーワード：ECL 工法，高流動コンクリート，鋼繊維，高性能 AE 減水剤，増粘剤

### 1. はじめに

本工事は、自立性の小さい洪積砂礫層地盤において、交通量が非常に多く、沿道には人家が連なった一般国道の直下を施工するため、地盤沈下や周辺構造物への影響が懸念された。そのため、工法選定にあたって、地山の緩みを抑制し、地盤沈下を最小限にすることができる ECL 工法が採用された。

ECL 工法は、一次覆工にセグメントを用いず、シールド機テール部より、地山と内型枠の間にフレッシュコンクリートを直接打ち込み、覆工体を構築する工法である。ECL 工法には、鉄筋の有無や打ち込み方法によって様々な施工方法がある<sup>2)</sup>。本工事は、無筋でコンクリートを連続的に打ち込む工法を採用した。この工法が採用されたのは、信濃川第二水路トンネル工事、北陸新幹線秋間トンネル工事<sup>3)</sup>に続いて、本工事で 3 例目になるが、高水圧下で自立性の小さい地盤の都市型トンネルで採用されたのは、日本で初めてである。

ECL 工法の覆工コンクリートに要求される主な性能を以下に挙げる。

#### ○流動性および材料分離抵抗性

内型枠内に加圧しながら充てんするために、流動性および材料分離抵抗性を有する。

#### ○流動性の保持性

内型枠の組立て作業中などの打込み中断後に、再充てんが可能な流動性の保持性を有する。

#### ○初期強度発現性

連続施工中は、内型枠を早期に脱型するため、所定の初期強度発現性を有する。

以上のような要求性能に加え、本工事では、以下に示す性能が要求されている。

#### ○ひび割れ抵抗性

一次覆工が無筋コンクリート構造であるため、乾燥収縮や水和熱によるひび割れを抑制するためにひび割れ抵抗性を有する。

これらの厳しい要求性能を満足するコンクリートを開発するため、実施工に至るまでに配合選定試験、ポンプ圧送試験<sup>4)</sup>などを実施し基本配合を選定した。

本報告は、実施工における施工手順、コンクリートの製造、運搬および打ち込み方法、品質管理の概要を報告するものである。

\*1 清水建設（株）技術研究所 建設技術研究部 工修（正会員）

\*2 建設省中国地方建設局 岡山国道工事事務所

\*3 清水建設（株）・（株）大本組共同企業体

\*4 清水建設（株）技術研究所 建設技術研究部 主任研究員 工修（正会員）

## 2. 施工概要

### 2.1 施工手順

施工手順を図-1に示す。掘進およびコンクリートの打込み（以下併進とする）を開始し、1リング分（1.2m）の併進が終了すると、内型枠の組立てを行う。併進中に、13リング組まれた中で最後尾の内型枠を脱型し、型枠搬送装置により先頭位置まで搬送する。型枠の組立て作業中はコンクリートの打込みが中断されるため、併進を再開するまでは、配管内などのコンクリートは静置された状態となる。型枠の組立てが終了すると併進を再開する。以後はその繰り返しである。型枠の組立てに要する時間が約45分、1リング分併進するのに要する時間が約120分であるため、1リングの施工に約3時間弱かかる。連続施工中は、内型枠を材齢1.5日程度で脱型する。なお、本工事における覆工コンクリートの内径は5,900mm、設計巻厚は300mmであり、コンクリートの打設量から算定される平均巻厚は370mm程度である。

### 2.2 コンクリートの製造

#### (1) 使用材料および配合

実施工で使用している材料を表-1に、配合を表-2に示す。以下に配合上の特徴を示す。

#### ○流動性とその保持性

フライアッシュおよびポリカルボン酸系の高性能AE減水剤を使用している。

#### ○材料分離抵抗性

メチルセルロース系の増粘剤を使用している。

#### ○鋼繊維の絡み合いの防止

最大寸法の小さい粗骨材を使用し、細骨材率を大きくしている。

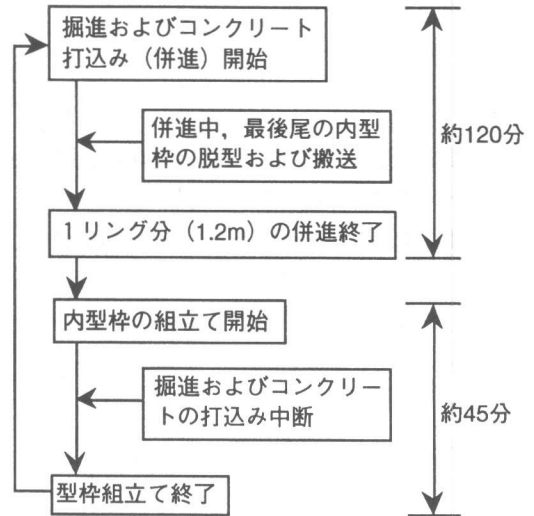


図-1 施工手順

表-1 使用材料

材料	仕様
セメント (C)	早強ポルトランドセメント 比重：3.13，比表面積：4.620cm <sup>2</sup> /g
フライアッシュ (F)	関電化工高砂工場製 比重：2.29，比表面積：3.760cm <sup>2</sup> /g
細骨材 (S)	硬質砂岩砕砂 比重：2.74，FM：2.63
粗骨材 (G)	硬質砂岩碎石 比重：2.73，FM：6.32
鋼繊維 (SF)	インデント型伸線ファイバー φ0.6mm×125mm 両端フック付き結束型ファイバー φ0.6mm×130mm
高性能AE減水剤 (SP)	ポリカルボン酸系
増粘剤 (VA)	メチルセルロース系

表-2 配合

鋼繊維混入率 (%)	粗骨材の最大寸法 (mm)	水結合材比 W/(C+F) (%)	フライアッシュ置換率 F/(C+F) (%)	細骨材率 s/a (%)	単位量(kg/m <sup>3</sup> )				混和剤	
					水 W	セメント C	フライアッシュ F	鋼繊維 SF	高性能AE減水剤 (C+F) X%	増粘剤 (g/m <sup>3</sup> )
1.0	15	38	20	68	190	400	100	78.5	1.8~2.5	900~1200

○初期強度発現性

早強ポルトランドセメントを使用している。

○ひび割れ抵抗性

鋼繊維を体積比で1%混入している。

(2) コンクリートの製造方法

コンクリートの練混ぜ方法を図-2に示す。ミキサは容量1.5m<sup>3</sup>の強制二軸練りミキサを使用し、練混ぜ時間は280秒である。

コンクリートの製造の際に特に留意した点は以下の3点である。

○練混ぜ時には、ミキサの負荷電力を測定し、コンクリートを安定して製造するための目安としている。

○本工事のコンクリートは、単位細骨材量が多いので、細骨材の表面水率の変化が、フレッシュコンクリートの性状に及ぼす影響が大きいたことが予想された。そのため、計量時にマイクロウェーブ方式の水分計で自動測定した表面水率を各バッチの表面水率を設定する際に反映させている。さらに、JISA-1111に準ずる試験方法により表面水率を1日2回以上測定している。  
○実施工前に実施した配合選定試験において、練上り時のコンクリート温度が、練上り時のスランプフローおよびその経時保持性に大きな影響を及ぼすことが明らかになっていた<sup>5)</sup>。そのため、実施工では、練上り時のコンクリート温度に応じて高性能AE減水剤および増粘剤の添加量を表-2に示す範囲で調整している。

2.3 コンクリートの運搬および打込み方法

コンクリートの運搬および打込み方法を図-3に示す。地上の専用パッチャプラントでコン

クリートを製造し、プラントから立坑下までは、定置型油圧ピストン式のコンクリートポンプで約100m圧送する。立坑下から坑内への運搬は、アジテータカーで行い、その後、坑内の先端部に配置したポンプで約30m圧送し、リング状の妻型枠に設置した8箇所の打込み口の中から1箇所を順次選択しながら内型枠内に圧入する。

コンクリートの製造から打込みまでに要する時間は通常約3時間程度であり、打込み量は1リングあたり約9m<sup>3</sup>である。

3. コンクリートの品質管理

3.1 品質管理項目

主な品質管理項目および管理基準を表-3に示す。スランプフローは、練上り後10分(以下練上り時とする)および練上り後3時間で測定している。コンクリート温度および空気量は、練上り時に測定している。

連続施工中は材齢1.5日程度で内型枠を脱型することを考慮し、圧縮強度試験は、初期強度発現性の確認を目的として材齢1日で実施している。なお、施工中は坑内の雰囲気温度が30℃程度になるため、覆工コンクリートが受ける養生条件になるべく近づける目的で、材齢1日の圧縮強度試験用供試体は、30℃一定の水中に封

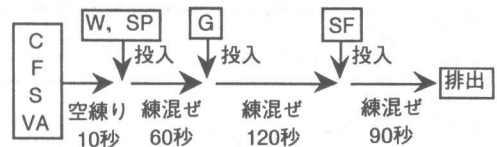


図-2 練混ぜ方法

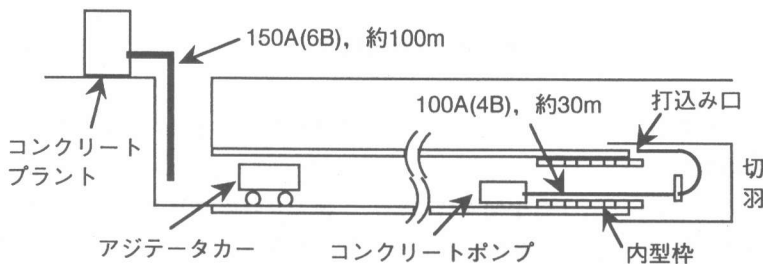


図-3 運搬および打込み方法

表-3 主な品質管理項目

試験項目	試験方法	管理値	試験頻度	摘要
スランプフロー(練上り時)	JSCE-F503	62.5±7.5cm	2回/日	流動性, 材料分離抵抗性の確認
スランプフロー(3時間後)	JSCE-F503	50cm以上	1回/日	流動性の保持性の確認
コンクリート温度	—	35℃以下	2回/日	
空気量	JISA-1128	2.0±1.5%	2回/日	
圧縮強度(材齢1日)	JISA-1108	17.6N/mm <sup>2</sup>	2回/日	初期強度発現性の確認(30℃養生)
曲げ強度(材齢7日)	JISA-1106	—	1回/150m <sup>3</sup>	標準養生
鋼繊維混入率	JSCE-F554	—	1回/日	

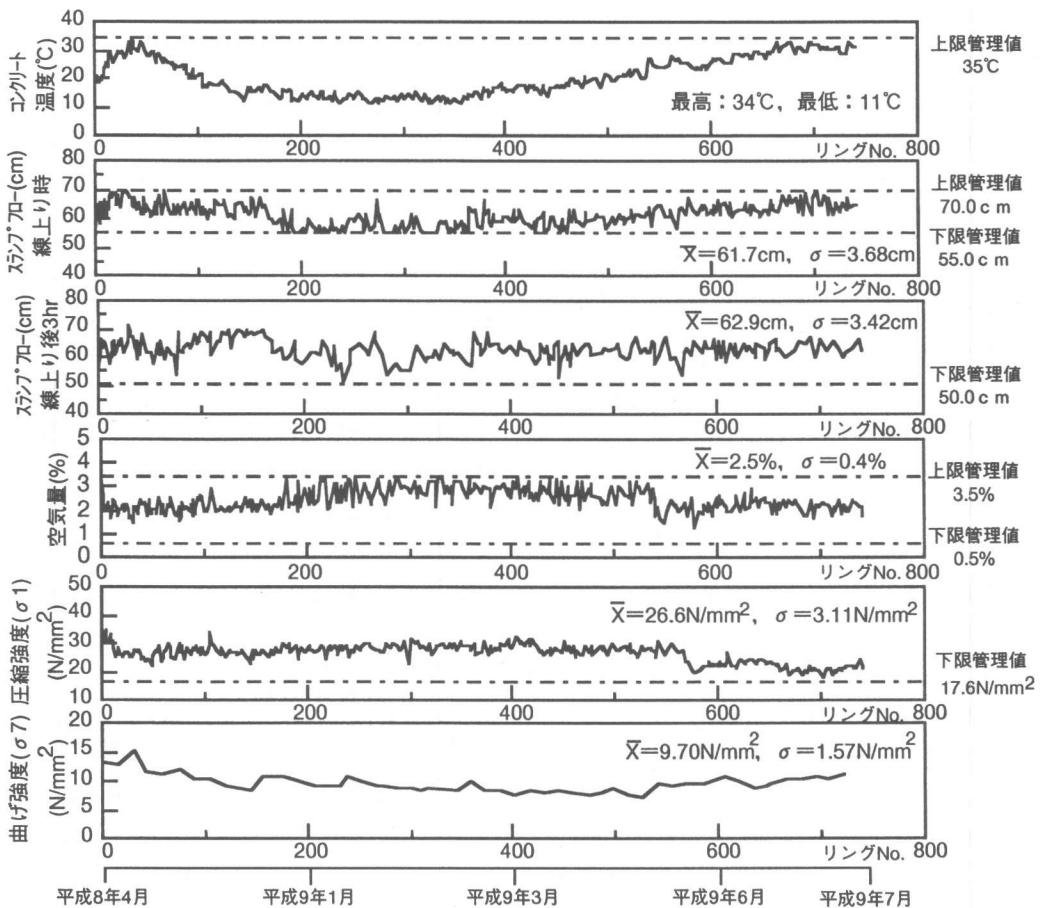


図-4 品質試験結果

かんして養生している。

### 3.2 品質管理結果

掘進を開始した平成8年4月から中間立坑に到達した平成9年7月まで(施工距離約880m)の品質管理試験結果を図-4に示す。いずれの

結果においても管理値を満足している。

#### (1) フレッシュコンクリート

練上り時のコンクリート温度は、11℃から34℃まで大きく変化しているが、練上り時のスランプフローは、平均値61.7cm、標準偏差3.68cm

と安定している。これは、前述したように、細骨材の表面水率を各バッチ毎に管理し、コンクリート温度に応じて混和剤の添加量を適切に選択したことによるものと考えられる。練上り時と練上り後3時間のスランプフローを比較すると、練上り後3時間の方が平均値で若干大きくなっており、本工事のコンクリートが、実施工において、優れた流動性の保持性を有していることが明らかになった。

(2) 硬化コンクリート

材齢1日の圧縮強度は、平均値が26.6N/mm<sup>2</sup>であり、全ての結果が設計基準強度(17.6N/mm<sup>2</sup>)を満足している。570リング程度以降の強度が、それ以前より平均で6N/mm<sup>2</sup>程度低い。これは、夏場の高温時に流動性の保持性の低下が大きくなったために、流動性の保持性を高める目的で高性能AE減水剤の初期分散成分を少なくし、保持成分を増加させたことによると考えられる。成分を変更したことにより、流動性の保持性の低下は抑制されたが、コンクリートの凝結が遅れ、材齢1日の圧縮強度が低下したと考えられる。

材齢7日の圧縮強度の平均値は、高性能AE減水剤の成分変更前が57.8N/mm<sup>2</sup>で、成分変更後が59.1N/mm<sup>2</sup>とほぼ同程度であることから、高性能AE減水剤の成分の変更が圧縮強度に及ぼす影響は、材齢7日ではほとんど無いものと考えられる。材齢7日の曲げ強度の平均値は9.70N/mm<sup>2</sup>であった。

4. フレッシュコンクリートの性状に及ぼす練上り時のコンクリート温度の影響

練上り時のコンクリート温度とスランプフローの関係を図-5に示す。練上り時のコンクリート温度によりスランプフローは異なり、コンクリート温度が高くなるほど、スランプフローが大きくなる傾向が見られる。

練上り時のコンクリート温度とスランプフローの経時変化量(練上り後3時間-練上り時)の関係を図-6に示す。コンクリート温度が20

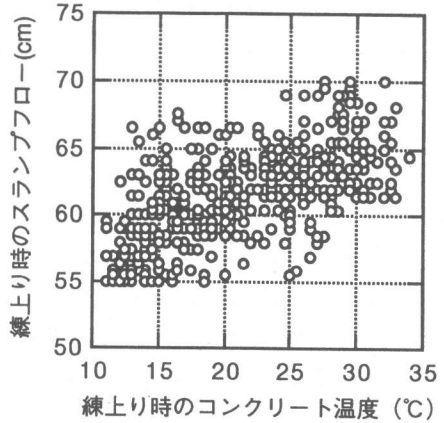


図-5 コンクリート温度とスランプフローの関係

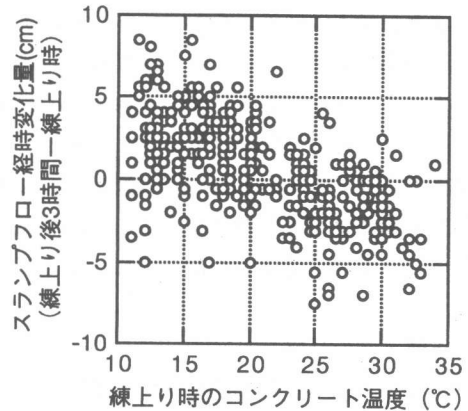


図-6 コンクリート温度とスランプフローの経時変化量の関係

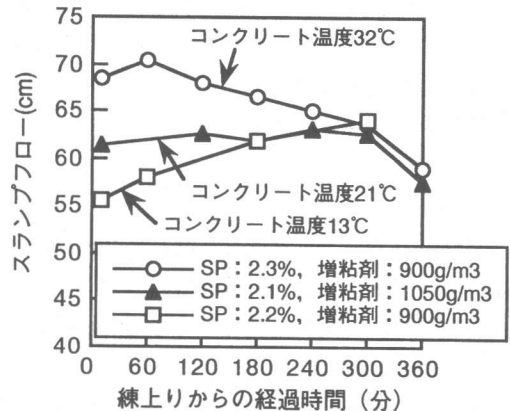


図-7 スランプフローの経時変化に及ぼすコンクリート温度の影響

℃程度以下では、練上り後3時間のスランプフローが練上り時より大きくなり、25℃程度以上では、練上り後3時間のスランプフローが練上り時より小さくなる傾向がある。

次に、現場で実施した練上り温度の異なるコンクリートのスランプフローの経時試験結果を図一7に示す。練上り温度は、13℃、21℃、32℃である。なお、試験に供したコンクリートは、練上り直後から雰囲気温度20℃一定の環境下に静置した。32℃では、練上り後60分で最大になり、それ以降は徐々に低下している。21℃では、練上り後300分まではほぼ同等である。13℃では、練上り後300分まで増加傾向にある。

以上の結果より、練上り時のコンクリート温度により、練上り時のスランプフローおよびその経時変化性状は異なると考えられる。しかし、コンクリートが通常打ち込まれる練上り後3時間程度では、練上り時のコンクリート温度によらず、スランプフローは65cm前後であり、ほぼ同程度の流動性を有したコンクリートが打ち込まれているものと考えられる。

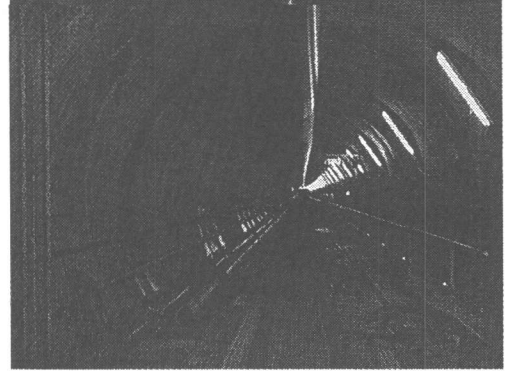
## 5. 覆工体の品質

実施工で構築した覆工体の状況を写真一1に示す。覆工厚さは、中間立坑までの全リングにおける超音波による非破壊測定により、設計巻厚である300mmが確保されていることが確認された。また、覆工表面には微細なクラックが若干見られる部分もあるが、クラックからの漏水は見られず、全体的に良好な覆工コンクリートが構築されていると言える。

## 6. まとめ

実施工において、鋼繊維を混入した高流動コンクリートをECL工法の覆工コンクリートに適用した。実施工を通じて得られた知見を以下に示す。

要求品質を満足する鋼繊維を混入した高流動コンクリートを安定して製造・供給するには、細骨材の表面水率を各バッチ毎に管理す



写真一1 覆工体の状況

ること、また、練上り時のコンクリート温度に応じて混和剤の添加量を適切に選択することが重要である。

## 謝辞

本工事においては、「岡南共同溝施工管理技術検討委員会（委員長：東京都立大学今田教授）」の委員各氏に貴重なご助言、ご指導を賜りましたことを深く感謝いたします。

## 参考文献

- 1)原田俊作・渋谷都男・栗田守朗：鋼繊維を混入した高流動コンクリートを用いたECL工法、土木技術、51巻、12号、pp.52-58、1996.12
- 2)ECL協会：ECL、1996.5
- 3)併進工法設計施工研究会編：併進工法設計施工法（都市トンネル編）、1992
- 4)田中栄治・寺坂悟志・山本英夫・栗田守朗・田野修司：鋼繊維を混入した高流動コンクリートのポンプ圧送性、土木学会第51回年次学術講演会講演概要集、第5部、pp.672-673、1996.9
- 5)野村朋宏・栗田守朗：鋼繊維を混入した高流動コンクリートの配合特性、コンクリート工学年次論文報告集、Vol19、No.1、pp.151-156、1997.6