

報 告

[1103] ECL用コンクリートの基礎性状

正会員○石黒和浩（安藤建設技術研究所）

正会員 福岡 信（安藤建設技術研究所）

正会員 立山創一（安藤建設技術研究所）

正会員 石川伸介（安藤建設技術研究所）

1. はじめに

本報告の対象としたECL工法のシステムは、シールドマシンの前進にともない少量ずつのコンクリートを連続打設するものであり、高水圧を受ける大深度での施工や中小径トンネルの施工にも対応可能なものである。そのためコンクリートに求められる性質として、高い流動性、優れたポンプ圧送性、早期型枠脱型のための初期強度発現性があげられる。さらにコンクリート自身の止水性で、妻枠、内型枠等の隙間からの漏水を防ぐシステムであるため、フレッシュコンクリート時で高い不透水性が重要となる。また、施工中のトラブル発生時の対策等を考慮し、練り混ぜ後3時間程度まで流動性を保持する必要がある。本報告は、以上の特性を満たすようアクリル系粘稠剤と高性能AE減水剤を添加したコンクリートの基礎的物性を検討したものである。

2. 実験概要

表-1 使用材料

2.1 使用材料および配合

実験に使用した材料を表-1に、配合を表-2に示す。普通コンクリートの配合は、通常の構造物の施工に用いるもので、透水試験における比較用とした。ECL用コン

セメント	早強ポルトランドセメント 比重=3.14
細骨材	埼玉県神奈川産川砂 (比重=2.59, F. M. = 3.11)
粗骨材	東京都奥多摩産碎石 (比重=2.64, Gmax=13mm)
混和剤	アクリル系粘稠剤
	高性能AE減水剤 (芳香族アミノスルホン酸系高分子化合物)

表-2 コンクリートの配合

クリートは、コンクリートに耐水圧性を与える為にアクリル系の粘稠剤を使用し、高性能AE減水剤として、アクリル系粘稠剤と最も相

	水セメント比 (%)	細骨材率 (%)	単位量 (kg/m³)				粘稠剤 kg/m³	高性能 AE減水剤 C×(%)
			水	セメント	細骨材	粗骨材		
ECL用コンクリート (基本)	50	55	175	350	990	825	1.5	3.5
ECL用コンクリート (35°C時)	50	55	175	350	990	825	2.0	5.0
普通コンクリート*	60	49	186	309	866	912	—	0.35**

* 普通コンクリートの粗骨材は、Gmax=20mmを使用

** AE減水剤

性の良かった芳香族アミノスルホン酸を主剤とした物を用いた。中小径ECLでは施工空間を考え2インチのコンクリート打設管を使用するシステムにするため、粗骨材は最大寸法13mmの単粒度碎石をもちいた。ECL用コンクリートの配合は、3時間の可使時間（3時間後のスランプ20cm、スランプフローが40cm以上）と早期強度の発現（材令2日以内に圧縮強度150kgf/cm²以上）を目標として試験練りより決定した。また、実際にコンクリートを打設するトンネル坑内では、かなり温度が上昇することがよく知られており、その環境でも同等の性能を得られる配合を求めるため、温度35°C、湿度70%の条件下で試験を行った。

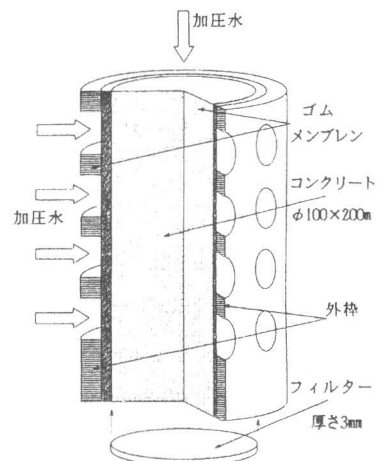


図-1 透水試験供試体

2.2 実験項目および方法

測定項目は、スランプ(JIS A1101), スランプフロー, スプレッドフロー(DIN1048), 圧縮強度, せん断強度, ヤング係数, 透水量, 断熱温度上昇量とした。なお、圧縮強度, ヤング係数試験に供した供試体は、 $\phi 10 \times 20$ cmのシリンダーとし、ヤング係数測定に高感度変位計(容量5mm)をもちいた。せん断強度試験は、直接2面せん断とし、供試体は $10 \times 10 \times 40$ cmをもちいた。断熱温度上昇の測定は、空気循環式断熱温度上昇測定装置にておこない、上部直径30cm, 下部直径40cm, 高さ40cm(容量40ℓ)についておこなった。

コンクリートの透水試験の実験装置の概要を図-1に示す。フレッシュコンクリートをゴムメンブレンに詰めた供試体($\phi 100 \times 200$ mm)を作製し圧力槽に装着後、供試体を十分量の水に浸し、加圧空気を用い槽内を加圧して透水量を自動測定した。地下50m位置の静水圧がコンクリートに作用するものとして、加圧空気の値を 5 kgf/cm^2 としている。なお、ゴムメンブレンを固定するために用いている外枠には $\phi 13$ mmの穴を20mm間隔に開けているため、加圧が開始されるとコンクリートは3軸圧縮状態となり、ゴムメンブレンとコンクリートの隙間から水が通過する事はない。水温は、 20°C 一定とし、供試体下面には、フィルター($t=3$ mm)を設け全面から排水するものとした。

3. 実験結果および考察

3.1 フレッシュコンクリートの性質

ECL用コンクリートのスランプ, スランプフロー, スプレッドフローの経時変化の測定結果を図-2に示す。図より、3時間後のスランプ, スランプフローがそれぞれ目標値の20cm, 40cmをほぼ満足している。なお、今回の検討の対象とされるコンクリートは、粘性が大きいために、スプレッドフロー試験を行ったが、フローの大きさ, 減少していく傾向とともに、スランプフローと同様の結果となった。ECL用コンクリートを気温 35°C , 湿度70%のもとで試験した結果を図-3に示す。スランプ, スランプフロー, スプレッドフローは、時間の経過とともに減少し、練り上がり1時間で必要とする流動性は失われたため、高性能AE減水剤と粘稠剤を増量することで流動性を確保した。高性能AE減水剤の増量による3時間後のスランプフローの変化を図-4に示す。図より、表-2の 35°C 配合のとおり高性能AE減水剤を $C \times 5.0\%$, 粘稠剤を 2 kg/m^2 にした。

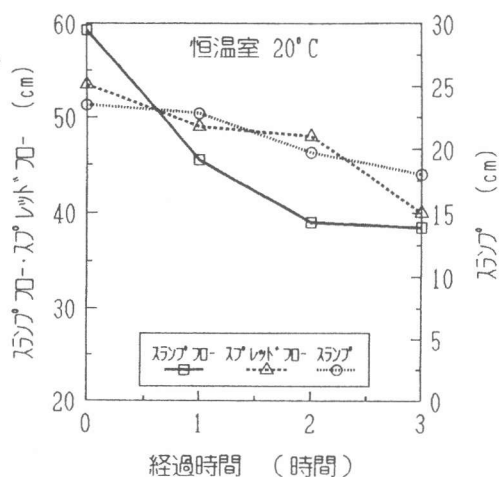


図-2 スランプ, スランプフロー, スプレッドフロー

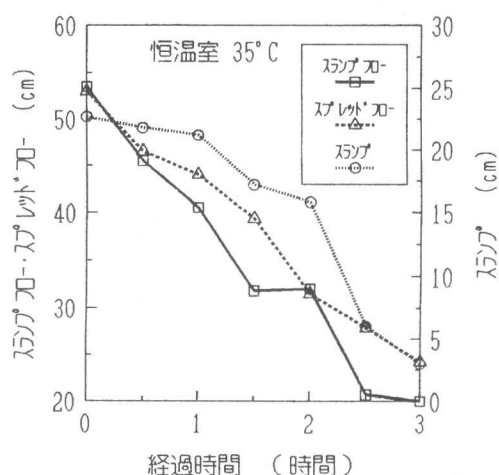


図-3 スランプ, スランプフロー, スプレッドフロー

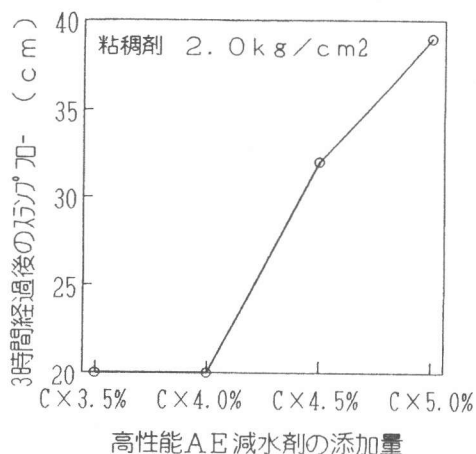


図-4 3時間後のスランプフローの変化

3.2 強度特性

ECL用コンクリートの圧縮強度、せん断強度、ヤング係数と材令の関係を図-5に示す。圧縮強度については、材令1日から2日程度の間で急激に強度が増加することが明らかで、目標とした 150kgf/cm^2 は、図より材令36時間程度で達成されいると考えられる。また、せん断強度、ヤング係数については、材令の経過に伴い上昇する。前節で述べた、 35°C 配合を 35°C で養生した場合の圧縮強度試験結果は、1日圧縮強度で 190kgf/cm^2 と目標を十分満たした。

図-6より、高性能AE減水剤、粘稠剤の増量による強度低下の影響よりも、温度上昇による強度増加の影響が大きいと考える。

3.3 透水試験

透水量の測定結果とDarcy式で求めた見かけの透水係数の変化を図-7に示す。累積透水量については、24時間後の普通コンクリートが 620ml に対して、ECL用コンクリートは 30ml と $1/20$ 以下であり、またECL用コンクリートは20時間以降の透水は認められなかった。供試体高さとの透水量の関係を図-8に示す。図より、普通コンクリートでは透水量の変化が

みられたが、ECL用コンクリートについては、ほとんど透水量は変化しなかった。これよりこの種のECL用コンクリートでは、厚さ 20cm で十分耐水性を発揮できることが確認できた。見かけの透水係数を求めた結果は、普通コンクリートで $5 \times 10^{-8} \sim 2 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 、ECL用コンクリートで $3 \times 10^{-9} \sim 5 \times 10^{-8} \text{cm/sec}$ と大きな開きがある。一般に透水係数が $1 \times 10^{-6} \text{cm/sec}$ 以下で不透水性材料と見なされているので、ECL用コンクリートは 5kgf/cm^2 の圧力を持った水に対して練り混ぜ直後から十分不透水性であると言える。供試体中の水の動きを確認するために、加圧水

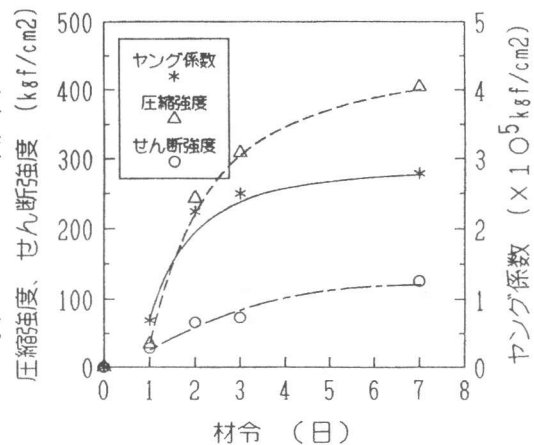


図-5 圧縮強度、せん断強度、ヤング係数

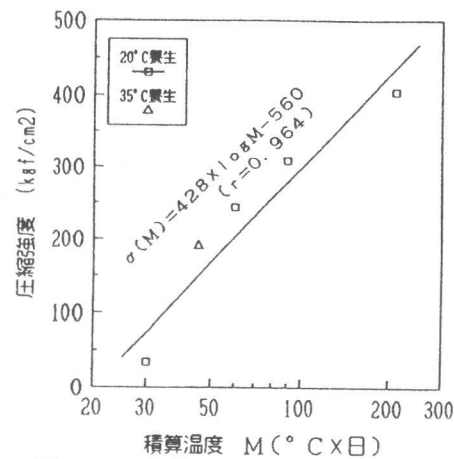


図-6 積算温度と圧縮強度

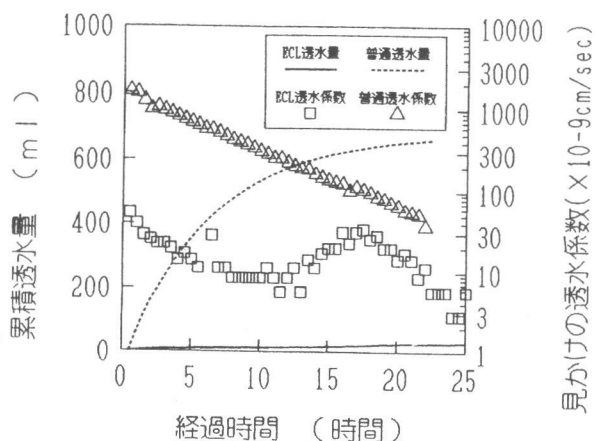


図-7 累積透水量と見かけの透水係数

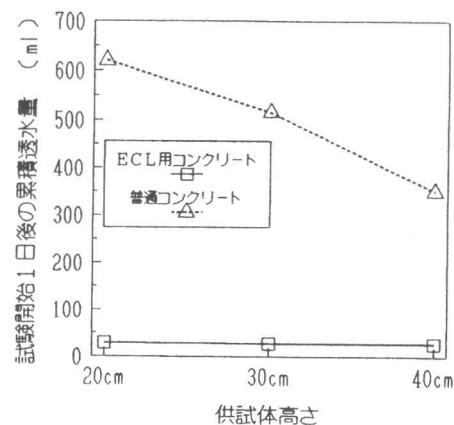


図-8 供試体高さとの透水量

に蛍光染料（フルオレッセン）を溶解して透水試験を行った。試験終了後の供試体を割裂し紫外線を照射することにより、加圧水の浸透した部分は

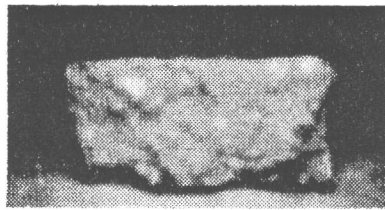


写真-1 普通コンクリート

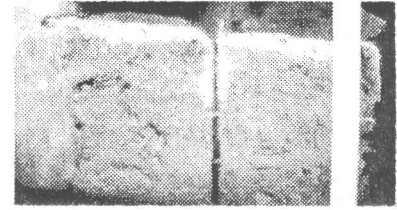


写真-2 ECL用コンクリート

緑色に発光する。写真-1は、普通コンクリートについて試験した供試体で、全体が発光しており完全に水が貫通していることがわかる。写真-2は、ECL用コンクリートについて試験した結果であり、発光している部分が上部から1cm以内にとどまっている。透水試験終了後のECL用コンクリートの供試体について圧縮強度試験を行ったが、1日圧縮強度 48kgf/cm^2 と試験をおこなっていない供試体の1日強度 30kgf/cm^2 と比較して強度の低下は見られなかった。

3.4 断熱温度上昇量

ECL用コンクリートの断熱温度上昇試験結果を図-9に示す。断熱温度上昇式として、初期材令時の挙動を良く表現でき、早強ポルトランドセメント使用時に適しているとされる式[1]を使用した。図より、今回検討の対象としたECL用コンクリートは、早強ポルトランドセメントを使用し単位セメント量も比較的多いため、多少高めの温度上昇量となっていることが認められる。また同時に材令10時間程度から温度の上昇が始まり、材令24時間でほとんど終了していることも明かである。これは、高性能AE減水剤の添加量の多さによる凝結遅延効果と、その後の急な反応による、温度の上昇となっていると考えられる。

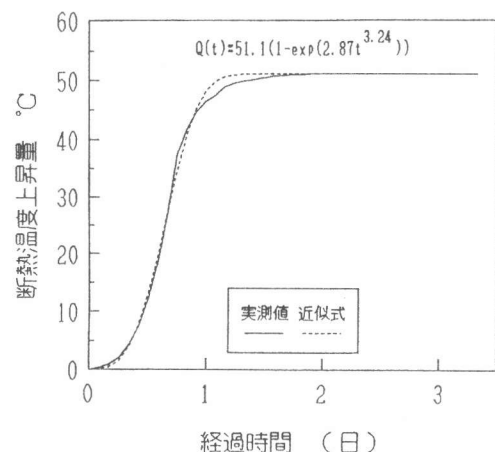


図-9 断熱温度上昇量

4. まとめ

ECL用コンクリートの配合をアクリル系粘稠剤と芳香族アミノスルホン酸を主剤とする高性能AE減水剤の組み合わせにより決定し、諸物性の試験を行った結果から以下のことが判った。
①流動性を3時間確保することができる（スランプ20cm以上，スランプフロー40cm以上）。②目標とする圧縮強度 150kgf/cm^2 は、材令36時間で達成できる。③実際のシールドトンネル坑内環境として、気温 35°C ，湿度70%に設定した場合でも、高性能AE減水剤，粘稠剤を増量することで流動性の確保，初期強度ともに対応できる。④フレッシュコンクリートの透水試験より、練り上がり直後から不透水性材料であり、強度の低下もない。⑤断熱温度上昇量は 51.1°C であり、その温度上昇は早い。

以上より、本配合は温度性状に多少問題があるが、ECL用コンクリートとして十分実用的であることが確認された。今後は、長期材令における安定性についても、検討していきたい。

参考文献

- 1) 鈴木 康範・原田 修輔・前川 宏一・辻 幸和：新試験装置によるコンクリートの断熱温度上昇量の定量化、土木学会論文集、P109, 1988-8