

New PLS工法用急硬性コンクリートの 配合選定と現場適用

喜多達夫¹・谷口裕史²・荒木田憲³・長沢教夫⁴・割田巳好⁵・青山昌二⁶

¹フェロー会員 工修 ハザマ 技術研究所 技術研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市苅間515-1)

²正会員 博士(工学) ハザマ 技術研究所 技術研究部 (〒305-0822 茨城県つくば市苅間515-1)

³正会員 ハザマ 名古屋支店 五ヶ丘トンネル作業所 (〒444-2223 愛知県豊田市松平志賀町)

⁴正会員 ハザマ 土木事業総本部 トンネル統括部 (〒107-8658 東京都港区北青山2-5-8)

⁵日本道路公団 有料道路部 有料道路建設課 (〒100-8979 東京都千代田区霞ヶ関3-3-2)

⁶日本道路公団 東京建設局 建設第二部 建設第四課 (〒105-0014 東京都港区芝3-39-9)

New PLS工法は、山岳トンネル施工法の1つであり、切羽前方に先受けおよび支保としての機能を有したコンクリートシェル(プレライニング)を構築した後、その内部を掘削する工法である。本工法に用いるスリットコンクリートは、切削スリット内に隙間なく充填させる充填性、妻型枠から開放された時点での自立性および掘削時における支保工としての初期強度が要求される。これに対し、急硬材、凝結調整剤および液体急結剤の3種類の特殊混和材を用いた特殊コンクリートを適用した。本報告では、スリットコンクリートの示方配合選定および温度変化に対する配合修正方法について実験的に検討した結果に加え、実施工での品質管理試験結果について報告する。

Key Words : tunnel, pre-lining, concrete, quick hardening concrete, special admixture,

1. はじめに

New PLS工法は、プレライニング工法の1つであり、トンネルの掘削に先立ち、専用のNew PLS機に装着した湾曲型のチェーンカッターで地山のトンネル外周相当位置を切削し、同時に急硬性コンクリートを充填することにより、トンネル縦断方向だけでなく横断方向にも連続したコンクリートシェルを構築し、その後内部を掘削してトンネルを完成させる工法である。New PLS工法の工法概要図を図-1にNew PLS機の外観を写真-1に示す。

本工法に用いるコンクリート(以下スリットコンクリートと称す)は、以下の性能が要求される。

- ① チェーンカッターにより切削された地山スリット内に分離することなく均一に充填されること。
- ② スリットコンクリートの端面が、切削に伴い移動する妻型枠から開放された時点で崩壊しないこと。
- ③ トンネル掘削時の作用土圧に耐えることができる強度を有していること。

これらの性能を満足させるために、急硬材、凝結調整剤および液体急結剤(以下、急結剤と称す)の3種類の特殊混和材を使用した急硬性コンクリート

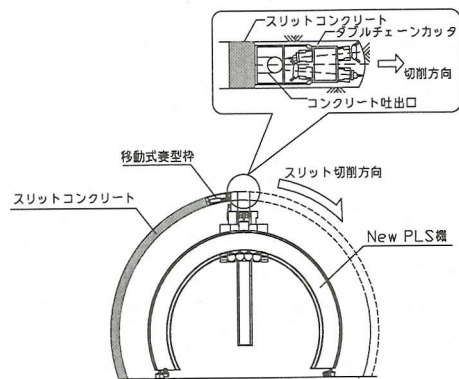


図-1 New PLS 工法施工概念図

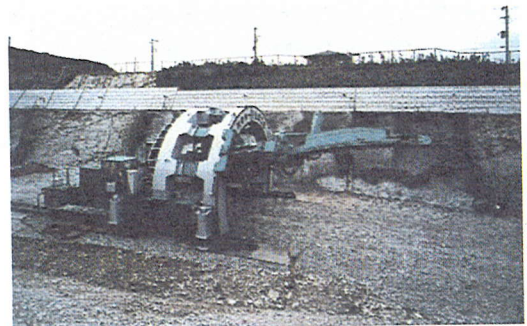


写真-1 New PLS 機の外観

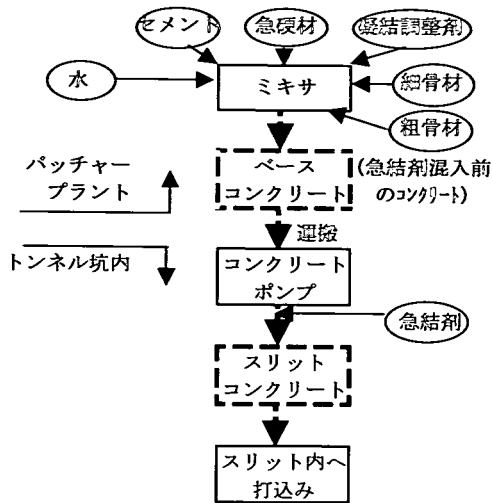


図-2 スリットコンクリートの製造・施工システム

を開発し¹⁾、3車線道路トンネル拡幅工事（掘削断面積約140m²、延長193m、先受け長2m）に適用した^{例えは2,3)}。しかし、本コンクリートは、使用材料の種類などに加え温度条件などの影響を大きく受けることも明らかになり、使用材料および温度毎に配合、特に特殊混和材の使用量を選定する必要があることも確認できた。

今回、2車線道路新設トンネル（掘削断面積約98m²、延長346.5m、先受け長3m）に本工法を適用するに当たり、スリットコンクリートの配合選定試験および温度変化に対応する配合修正方法を実験的に検討し、使用配合を選定した。さらに、選定された配合を実施工に適用し、製造および品質管理を実施した。

本報告では、配合選定試験をもとにスリットコンクリートの配合選定手法を示すとともに、その施工管理状況について報告する。

2. スリットコンクリートの概要

(1) スリットコンクリートの製造・施工システム

スリットコンクリートの製造・施工システムを図-2に示す。ベースコンクリート（急結剤を混合する前のコンクリート）は現場に設置したバッチャープラントで製造する。ベースコンクリートには、初期強度を確保するために使用する急硬材および製造から打込みまでの間、急硬材を用いたコンクリートの流動性および充填性を確保するため（急硬材による硬化を遅延させるため）に使用する凝結調整剤を

表-1 スリットコンクリートの目標品質

項目	目標品質*	特殊混和材の効果
スランプ (保持時間)	20±2.5cm (16cm以上, 120分保持)	凝結調整剤により保持
	20±2.5cm (同値で90分保持)	
自立時間	8分(妻型枠1.2m, 最大横行速度150mm/min) 12分(妻型枠1.2m, 横行速度100mm/min)	急結剤により自立時間を確保
圧縮強度	材齢4時間: 3N/mm ²	急硬材により初期強度を確保
	材齢28日: 18N/mm ²	
	材齢6時間: 3N/mm ²	
	材齢28日: 18N/mm ²	

*上段: 従来の目標品質, 下段: 本検討での目標品質

混入している。凝結調整剤は潮解性を有する粉体であり、従来は急硬材に所定量プレミックスして使用していた。このため、例えば高温時にスランプ保持時間を確保する目的で凝結調整剤量を増加させたい場合には、別途計量、密封した少量の凝結調整剤を手投入する方法を採用していた。これに対し、今回の施工では、潮解性がある粉体の貯蔵・計量を可能とするために現場で水に溶解して濃度40%（重量）のスラリーを製造・貯蔵し、練混ぜ時には混和剤の計量器を用いて自動計量を可能にした。

ベースコンクリートは、トラックアジテータで切羽まで運搬した後に、コンクリートポンプを用いて圧送する。一方、妻型枠から開放された時点で自立性を確保するために使用する急結剤は、コンクリート圧送途中でNew PLS機に設置された急結剤混入・混合装置を介してベースコンクリートに混入する従来の方法を採用した。

(2) スリットコンクリートの目標品質

スリットコンクリートの目標品質を表-1に示す。目標品質は、先の3車線道路トンネル拡幅工事の施工状況および品質管理試験結果を参考にして定めた。

① スランプおよびスランプ保持時間

ベースコンクリートのスランプ値は、従来と同様に20±2.5cmとした。一方、保持すべきスランプは、スリット長を2mから3mに延長したことを考慮して、16cm以上を120分保持から目標値（20±2.5cm）を90分間保持に短縮した。

② 自立時間

自立時間は、急結剤混入後スランプが0cmとなる時間であり、打ち込んだスリットコンクリートが妻型枠（1.2m）から開放された時点で崩壊しないために必要な目標品質である。従来は、カッタの最大切

表-2 使用材料

材料の種類	種類	基本特性
セメント	普通ポルトランドセメント	密度：3.15g/cm ³ ， 比表面積：3360cm ² /g
急硬材	PLS-P	密度：2.92g/cm ³ ， カルシウムサルボ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7水ナトリウム炭酸塩の複合体
急結剤	PLS-L	密度：1.50g/cm ³ (固形分50%水溶液)， 特殊無機アルミニウム化合物
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：2.59g/cm ³ ， 吸水率：2.95%，F.M.：6.45
水	水道水	東京都町田市

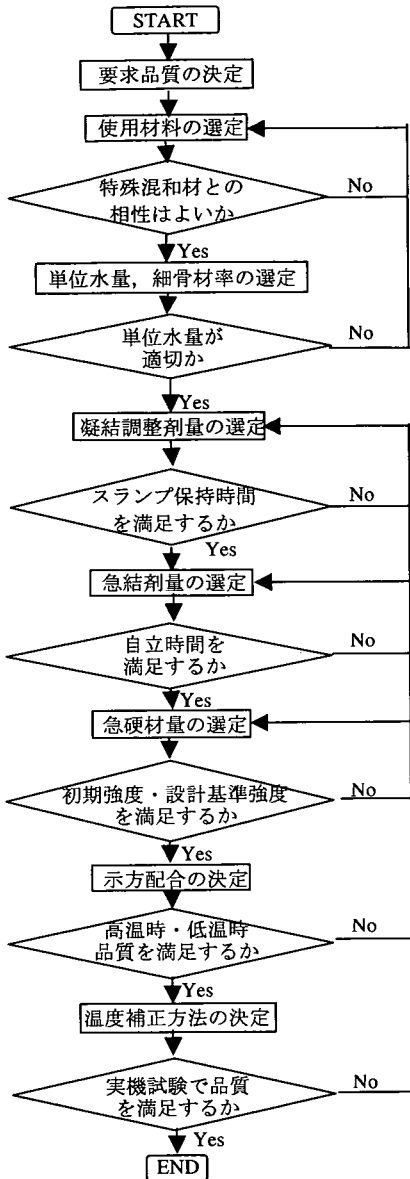


図-3 スリットコンクリートの配合選定試験フロー

削能力(最大横行速度：150mm/min)に対応できるように8分(1.2m/(150mm/min))としていたが、8分では、急結剤混入後の硬化時間が短いため施工途中で配管閉塞のトラブルが発生した。これに対し、妻型枠の長さはカッタの構造上の関係から従来と同様の1.2mとしたが、カッタの横行速度を100mm/min一定(切削速度を上げることが可能であっても、これ以上の速度で横行しないことにした)に定め、8分から12分(1.2m/(100mm/min))に変

更した。

③ 圧縮強度

初期強度は、先受け長3mでの施工サイクル(片番でスリット構築、片番で地山掘削の基本サイクル)を考慮して、3N/mm²の確保時間を4時間から6時間に変更した。材齢28日強度は、従来と同様(吹付けコンクリートを同等)の18N/mm²とした。

3. スリットコンクリートの配合選定試験

(1) 試験概要

a) 試験フロー

スリットコンクリートに使用する3種類の特殊混和材は、それぞれの効果が互いに影響することから、順番に使用量を決定していくことが困難である。このため、図-3に示す試験フローを定め、これに従い以下のように、配合試験を進めた。

凝結調整剤選定試験は、急硬材量の異なる配合に対し、所定のスランプ保持性能を満足する凝結調整剤を選定する。急結剤選定試験では、急硬材および凝結調整剤量の異なる配合に対し、所定の自立時間を満足する急結剤を選定する。急硬材選定試験では、凝結調整剤および急結剤量の異なる配合に対し、所定の初期強度を満足させる急硬材を選定する。

b) 使用材料および実験要因

使用材料を表-2に示す。3種類の特殊混和材(急硬材、凝結調整剤および急結剤)は、従来と同様のものを使用した。特殊混和材の使用量はセメントの特性(例えば、生産工場の違い)により、大きく影響されることが分かっている⁹⁾。このことから、本検討においても、セメントは前回の施工と同一工場の生産品を使用した。

表-3 実験要因および水準

実験要因		水準
単位結合材量	C+P*	400kg/m ³
急硬材量	P/(C+P)	14~18%
凝結調整剤量	(C+P)×%	0.5~1.6%
急結剤量	(C+P)×%	3~9%
細骨材率	s/a	41~47%
水結合材比	W/(C+P)	47~53%
細骨材の表面水率		表乾~7%

*P: 急硬材 (PLS-P)

実験要因および水準を表-3に示す。温度条件は30℃, 25℃, 20℃, 10℃および5℃とした。なお、低温時の試験は初めての検討であるため示方配合選定試験と同様に各特殊混和材量を変化させた試験を実施したが、高温時の配合修正は先の施工で経験しており、同様の配合修正方法を適用し、所定の品質を満足することを確認した。また、室内試験における材齢6時間強度は、目標強度の2倍となる6N/mm²とした。これは、実施工で使用する急結剤混入・混合装置はノズルによる液体急結剤注入部と配管内に突出棒を有する混合部より構成されており、この混合性能は、室内試験で使用するミキサと比較して劣ること、さらに、先の実施工時における品質管理試験結果²⁾も考慮して定めた。

また、試験途中で凝結調整剤量選定においては、細骨材の表面水率の影響が大きいことが判明したので、細骨材の表面水率も実験要因に追加した。

c) 試験方法

ベースコンクリートは、セメント、急硬材、細・粗骨材を空練りした後に、凝結調整剤および水を添加して製造した。ここで、凝結調整剤は水に溶解して混入した。凝結調整剤量選定試験では、ベースコンクリートのスランプ経時変化を測定した。急結剤量選定試験および急硬材量選定試験は、ベースコンクリート製造後10分で急結剤を混入し、混入後のスランプ試験（自立試験）および所定材齢での圧縮強度試験を実施した。なお、養生条件は練上り温度（試験温度）と同温度の室内で封緘養生とした。また、急結剤中には水が含まれており、急結剤の添加により厳密にはコンクリート中の単位水量が変化することになる。しかし、急結剤は後添加（外割り）となることから、事前にベースコンクリートの単位水量を補正することは現実的ではないと考え、従来と同様に水分を含む急結剤量として扱い、それに含まれる水分の補正は行わないことにした。

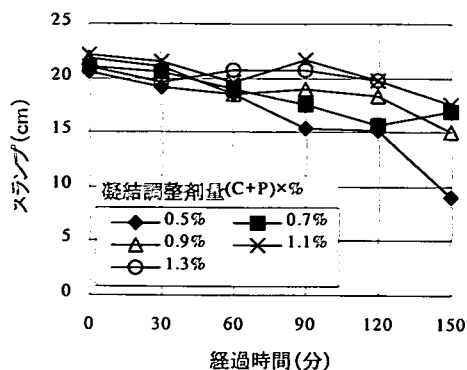


図-4 凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 (20℃, P/(C+P)=14%)

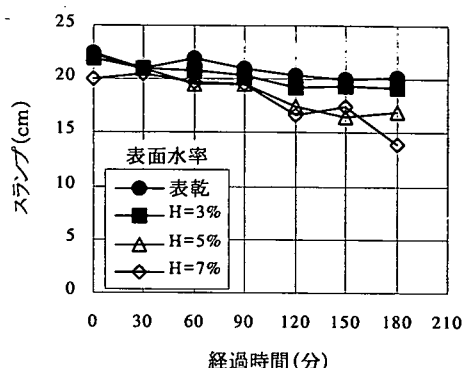


図-5 スランプ保持時間に及ぼす細骨材の表面水率の影響 (凝結調整剤量: (C+P)×1.2%)

(2) 試験結果

a) 水結合材比および細骨材率の選定

水結合材比(W/(C+P))および細骨材率(s/a)の選定試験は、先の実施工配合を参考にし、単位結合材量(C+P)は400kg/m³（スランプ20cmのコンクリートで分離しない程度の粉体量として選定）、急硬材量(P)は単位結合材量の内割り14%(P/(C+P)=14%)、凝結調整剤量は単位結合材量×1.1%((C+P)×1.1%)と仮定して、単位水量および細骨材率を変化させた試験練りを行った。この結果、スランプ20cmを確保できる条件として、W/(C+P)=50%, s/a=45%を選定し、以下の試験ではこれらを固定して試験を進めた。

b) 凝結調整剤量の選定

20℃条件における試験結果を図-4および5に示す。同一単位結合材量および急硬材量に対し、凝結調整剤量が増大するのに伴い、スランプ保持時間が長くなる。この場合、目標とした90分スランプ保持を満足させるためには凝結調整剤量を(C+P)×0.7%以上に設定する必要がある。しかし、(C+P)×0.7%の場

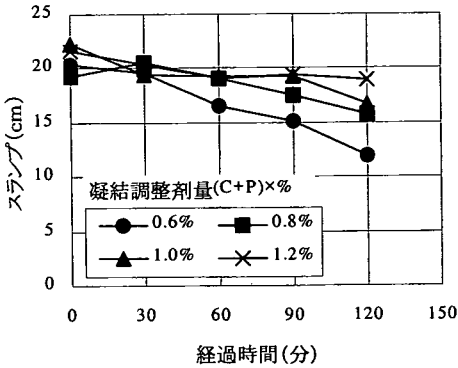


図-6 凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 (10°C, P/(C+P)=15%)

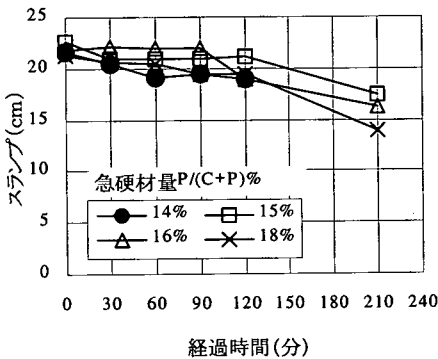


図-7 急硬材量とスランプ保持時間の関係 (10°C, 凝結調整剤量: (C+P)×1.2%)

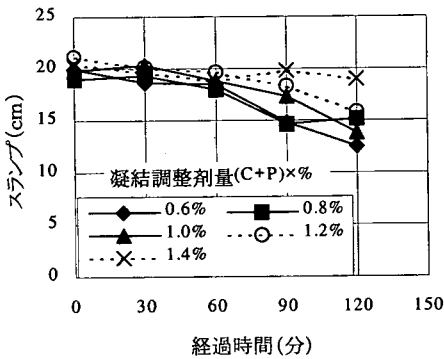


図-8 凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 (5°C, P/(C+P)=16%)

合には、90分でスランプ低下の傾向を示していること、さらには、20°C条件では25°Cまでのコンクリートを対象とすることから、25°C程度の場合には、スランプ保持が厳しくなることも予想される。スランプの低下は、スリットコンクリートの施工性および品質に大きく影響することから、スランプ保持性能

に対して安全側となる(C+P)×0.9%以上必要であると判断した。

一方、図-5に示すように、細骨材の表面水率が5%以上となる場合には、スランプの低下時期が早くなり、(C+P)×1.2%の場合にも、90分以降にスランプが低下する傾向を示した。これは、凝結調整剤を空練り後、水と同時に混入したために、空練りの際、一部の急硬材が凝結調整剤と反応する前に細骨材の表面水と反応した影響と考えられる。

このことから、実施工で使用する骨材の表面水率が5%以上となる場合も想定されること、実機ミキサの場合にも急硬材が凝結調整剤と接する前に水と接する可能性があること、さらにはスランプ保持性能が影響する充填性は、本工法による先受け効果を確保する上で最も重要な項目であることも考慮して、凝結調整剤量は安全側となる(C+P)×1.2%を選定した。

低温時の試験結果を図-6～8に示す。10°Cの場合にも凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係は20°Cの場合と同様の傾向を示す。すなわち、凝結調整剤量の増大に伴いスランプ保持時間が長くなる。また、低温時の初期強度低下を考慮して、同一凝結調整剤量に対し、急硬材量を18%まで増大させた場合にも、90分程度であれば急硬材量がスランプ保持効果に及ぼす影響が小さい。一方、2時間以上であれば、急硬材量の増大に伴いスランプ低下が大きくなった。このことから、想定している急硬材使用範囲(12～18%程度の範囲)であれば、90分スランプ保持に対する凝結調整剤量は急硬剤量の影響が小さいことも確認できた。

5°Cでは、10°Cおよび20°Cの場合と比較して同一凝結調整剤量におけるスランプ保持時間が短くなり、90分間スランプを保持するためには凝結調整剤量を(C+P)×1.4%程度まで増大させる必要がある。これは低温下では、急硬材と凝結調整剤の活性バランスが崩れ、凝結調整剤の活性低下が大きくなったことによるものと考えられる。

高温時の試験結果を図-9に示す。先の実施工時の配合修正方法に従い、凝結調整剤量を示方配合に対し25°Cで+0.2%、30°Cで+0.4%とした。この結果、高温時における凝結調整剤量の修正方法は、先の実施工時の方法を採用可能であることが確認できた。

c) 急結剤量の選定

20°C条件での試験結果を図-10に示す。自立時間は、凝結調整剤量一定の場合には、急結剤量が増大するほど、急結剤量が一定の場合には、凝結調整剤が減少するほど早くなる(短くなる)。また、凝結調

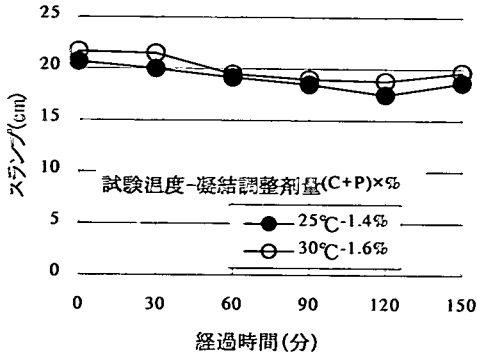


図-9 高温下での凝結調整剤量とスランプ保持時間の関係 (P/(C+P)=14%)

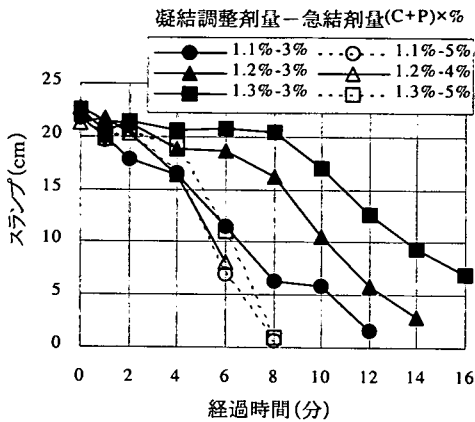


図-10 急結剤混合後のスランプ経時変化 (20°C)

調整剤が(C+P)×1.1~1.3%の範囲では、急結剤量が(C+P)×3%では急結剤混入後12分以内では自立せず、4~5%程度使用した場合には12分以内に自立することを確認した。以上より、スランプ保持性能を満足させる凝結調整剤量(C+P)×1.2%に対しては、急結剤量を(C+P)×4%とした。

低温時における試験結果を図-11および12に示す。10°C条件では、急硬材量P/(C+P)=14%および15%いずれの場合にも、凝結調整剤量(C+P)×1.2%、急結剤量(C+P)×4%で自立性能を満足する。一方、5°C条件では、自立性能を満足させるためには、急結剤量を(C+P)×7%程度以上必要であった。これは、スランプ保持に必要な凝結調整剤量が増大しているために自立に必要な急結剤使用量が増大したものと考えられる。

高温時の試験結果を図-13に示す。いずれの場合にもスランプ保持に必要な凝結調整剤量に対し、20°Cと同様の急結剤量(C+P)×4%とすることにより自立時間を満足できた。これは、先の実施工時と同

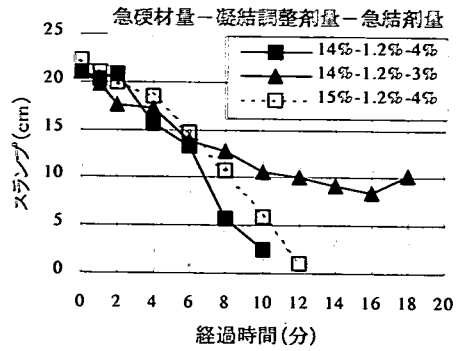


図-11 急結剤混合後のスランプ経時変化 (10°C)

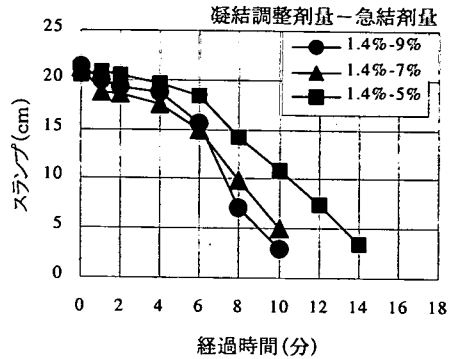


図-12 急結剤混合後のスランプ経時変化 (5°C)

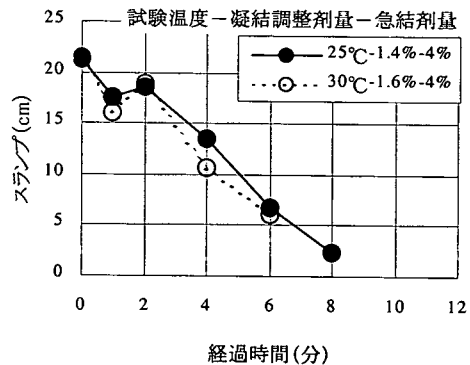


図-13 急結剤混合後のスランプ経時変化 (高温時)

様であり、高温時においては、スランプ保持に必要な凝結調整剤量を修正すれば、急結剤量は20°Cと同量でよく、使用量の修正の必要がないことが確認できた。

d) 急硬材量の選定

20°C条件での試験結果を表-4に示す。なお、表中のσ6h判定欄には、材齢6時間強度を満足するものは全て○で示してある。さらに、これらの中でスランプ保持性能および自立性能を満足する凝結調整剤

表-4 圧縮強度試験結果 (20℃)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm ²)				σ 6h 判定
			6時間	1日	7日	28日	
12%	1.1%	0%	—	4.25	31.5	39.3	×
		3%	4.96	11.0	33.5	37.6	×
		5%	5.26	8.38	31.4	37.3	×
14%		0%	—	5.52	35.4	41.0	×
		3%	5.67	11.8	30.5	37.8	×
16%		5%	6.55	8.99	29.4	36.7	○
		0%	—	5.41	35.2	41.5	×
		3%	6.80	13.8	35.0	40.5	○
18%		5%	7.66	12.4	34.2	40.4	○
	0%	—	6.63	35.5	39.5	×	
	3%	7.72	14.6	34.5	42.0	○	
14%	1.2%	5%	8.74	15.1	33.4	39.6	○
		3%	5.07	13.7	31.2	39.0	×
		4%	6.59	12.9	31.7	40.6	◎
	1.3%	5%	6.34	10.5	31.6	39.3	○
		0%	—	4.46	28.1	37.6	×
		4%	5.79	12.0	31.3	40.0	×
		5%	6.13	10.3	30.1	39.6	○
6%	6.20	7.61	28.7	38.8	○		
7%	5.82	6.93	28.4	36.2	×		

注) ◎ : 選定配合

および急結剤の組合せの中で最も経済的な組合せを選定配合(◎)とした。いずれの急硬材量および凝結調整剤量の組合せでも、急結剤を混入しない場合には、材齢6時間で硬化しない。一方、急結剤を混入する場合には、凝結調整剤量あるいは急結剤量が同量であれば、材齢6時間強度は急硬材量の増大に伴い向上し、急硬材量あるいは急結剤量が同量であれば、凝結調整剤量が少ない配合ほど材齢6時間強度が増大する。また、急結剤量に関しては、各特殊混和材量の組合せに対し、各々材齢6時間強度を最大にする急結剤量が存在し、その量は、(C+P)×4~6%程度であった。これは、急結剤量が少ない場合には、凝結調整剤の遅延効果が卓越し、強度の立ち上がりが遅れるために材齢6時間強度が低下する。一方、急結剤量が多くなる場合には、急結剤量の増加に伴い急結剤中の水分が増加するために、スリットコンクリート中の水結合材比が大きくなり、材齢6時間強度が低下するものと考えられる。なお、先に選定した凝結調整剤量(C+P)×1.2%、急結剤量(C+P)×4%の場合には、急硬材量P/(C+P)=14%で目標とする材齢6時間強度を満足した。

低温時の試験結果を表-5および6に示す。10℃の場合には、先に選定した凝結調整剤量(C+P)×1.2%、急結剤量(C+P)×4%の組合せでは、急硬材量P/(C+P)=14%条件では、目標とする材齢6時間強度を下回る。これに対し、急硬材量P/(C+P)=15%条件

表-5 圧縮強度試験結果 (10℃)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm ²)				σ 6h 判定
			6時間	1日	7日	28日	
14%	1.2%	4%	5.85	8.69	27.3	37.9	×
15%			6.13	9.49	26.1	37.7	◎
16%			6.54	9.98	27.1	37.1	○
18%			7.90	12.9	29.0	39.5	○

注) ◎ : 選定配合

表-6 圧縮強度試験結果 (5℃)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm ²)				σ 6h 判定
			6時間	1日	7日	28日	
14%	1.2%	5%	5.50	8.30	24.3	36.2	×
		7%	5.76	7.65	25.2	37.7	×
		9%	5.13	7.34	23.3	35.5	×
15%	1.4%	5%	6.17	9.50	26.0	36.3	○
		7%	6.29	9.05	24.0	33.6	◎
		9%	5.67	8.18	23.6	33.0	×
16%	1.4%	5%	7.08	10.4	26.8	37.5	○
		7%	7.41	9.13	26.3	35.3	○
		9%	6.46	8.59	23.8	34.7	○

注) ◎ : 選定配合

表-7 圧縮強度試験結果 (高温時)

急硬材	凝結調整剤	急結剤	圧縮強度 (N/mm ²)				温度 条件
			6時間	1日	7日	28日	
14	1.4	4	6.20	13.3	28.9	38.7	25℃
	1.6		5.97	15.5	31.8	39.0	30℃

では、目標とする材齢6時間強度を満足することから、10℃の場合には、凝結調整剤量および急結剤量は20℃配合と同量とし、急硬材量を+1%と配合修正する方法が適切であると判断した。

一方、5℃の場合にも、急硬材量P/(C+P)=14%条件では、凝結調整剤量(C+P)×1.2%でも材齢6時間強度を満足せず、先に選定した凝結調整剤量(C+P)×1.4%、急結剤量(C+P)×7%の組合せでは、急硬材量をP/(C+P)=15%とする必要がある。このことから、10℃の場合と同様にスランプ保持および自立性能を満足する凝結調整剤量に対し、急硬材量を20℃配合に対し+1%修正する方法を選定した。

高温時の試験結果を表-7に示す。先に選定した凝結調整剤量および急結剤量に対し、20℃と同様の急硬材量P/(C+P)=14%で試験を行った。この結果、25℃配合では目標とする材齢6時間強度を満足したが、30℃配合では若干下回るがほぼ満足できる結果となった。材齢6時間強度で、30℃の方が25℃と比較して強度が低下した原因は、凝結調整剤量の増加に伴う遅延効果が影響していると考えられる。一方、材齢1日強度は、養生温度の影響により20℃と比較して高い強度を示した。

以上のように、高温時には、20℃配合と比較して、

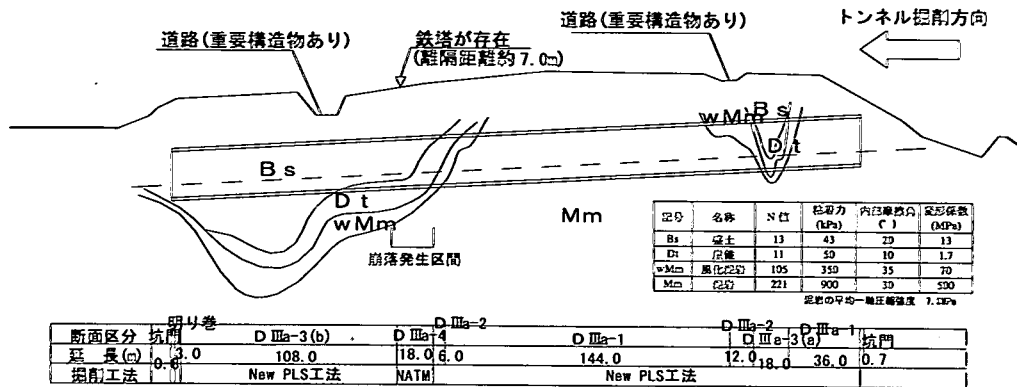


図-14 New PLS工法を適用したトンネルの地質縦断面図

急硬材量および急結剤量は同等とし、凝結調整剤量を25℃で+0.2%、30℃で+0.4%とする配合修正方法とした。

e) 選定配合のまとめ

以上の試験結果から、表-8に示す配合を選定した。

4. 実施工

(1) 工事概要およびパッチャープラント設備

実施工は、2車線道路トンネルの新設工事であり、掘削断面積は約98m²、延長は346.5mである。トンネル延長の約半分は数年前に施工された盛土であり、土被りも7~11mと薄い。また、道路を2箇所横断し、道路下にはガス管、上下水道管、NTT管の重要埋設物が敷設されているなどの特徴がある。図-14に本トンネルの地質縦断面図を示す。トンネル掘削は平成11年9月~平成12年11月(途中約3ヶ月の中断を含む)に行った。

ベースコンクリートの製造プラントは、従来の吹付けコンクリート用簡易パッチャープラント(ミキサ容量0.5m³、二軸強制練りミキサ)を改造して使用した。主な改造点は以下のとおりである。

- ① 急硬材用サイロ(20ton)および急硬材計量設備の追加。
- ② 凝結調整剤製造装置(粉体搬入、現場にてスラリー化)および計量装置の追加。
- ③ 骨材ストックビンおよびホッパーの変更(従来の吹付けコンクリートは細骨材使用量が多いため細骨材用のストックビンおよびホッパーが大きい。これに対し、スリットコンクリートは従来のコンクリートと同様に粗骨材の使用量が多いので、粗骨材用のストックビンおよびホッパーを

表-8 スリットコンクリートの配合

対象温度 (°C)	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
5	50	45	200	340	60 (15%)	762	942	5.6	28
(1.4%)								(7%)	
10								4.8	
(1.2%)									
20								5.6	16
(1.4%)	(4%)								
25								6.4	
(1.6%)									
30									

大きくした。))

- ④ ミキサ電流値によりスランプを管理する手法(以下、自動スランプ計と称す)を採用した。

(2) スリットコンクリートの品質管理試験項目

スリットコンクリートは、吹付けコンクリートに代替するものと位置付け、品質管理試験項目および方法を定めた。従来の吹付けコンクリートと異なる管理項目を表-9に示す。スリットコンクリート用材料のうち3種類の特殊混和材は、JISなどで品質基準が定められていない材料であるため、製造メーカーで定めた品質管理試験項目および規定値に対して、品質管理試験結果を毎月提出、確認することにより品質管理を行った。一方、ベースコンクリートは、印字による配合確認に加えて、施工毎にスランプ試験およびコンクリート温度の測定を行った。使用配合は1パッチ目のコンクリート温度およびトラックアジテータ1台目の試験結果により決定した。圧縮強度試験体は、切羽において施工開始時(圧送開始

表-9 品質管理試験項目（主に特殊混和材に関して）

種別		試験項目	試験方法	試験頻度	規定値
項目					
スリットコンクリート材料	急硬材 急結剤 凝結調整剤	品質管理	メーカーで定めた 品質管理試験方 法	1)施工開始前に1回	メーカーで定めた規定値
				2)製造工場または品質の変更があるごとに1回	
スリットコンクリート施工	フレッシュコンクリート	スランプ試験	JIS A 1101	1)施工ごと 2)強度試験用供試体作成時	20±2.5cm
	強度	強度試験	JIS A 1101	30m(10スリット)に1回	$\sigma_{6h}=3\text{N/mm}^2$ $\sigma_{28ck}=18\text{N/mm}^2$

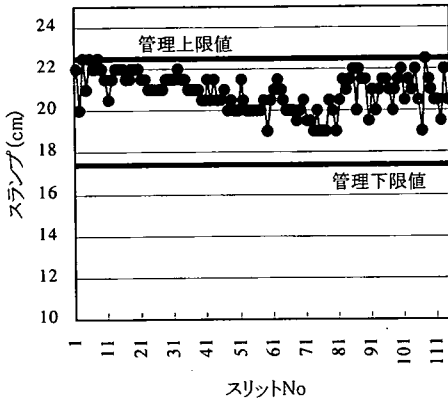


図-15 品質管理試験結果（スランプ試験）

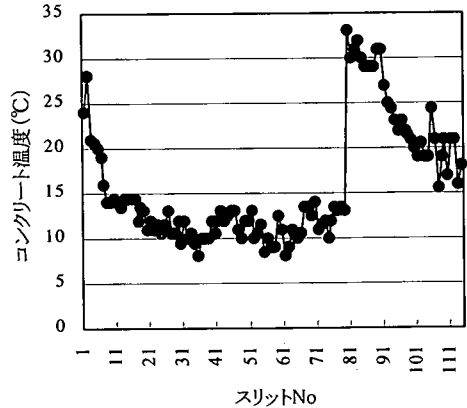


図-16 品質管理試験結果（コンクリート温度）

時)にNew PLS機の打込み口から直接採取した。なお、材齢6時間強度試験は現場内に設置した試験室内で簡易圧縮試験装置を用いて、材齢28日強度試験は、生コンプラント試験室の試験機を用いて行った。

また、施工時には上記の品質管理試験項目に追加して打込み直前のスランプ試験（切羽）を実施して、所定のスランプを確保していることを確認した。急結剤量は、切削速度およびコンクリート圧送量に合わせて、New PLS機の運転室で所定量混入できるように管理した。なお、施工中に自立性状が不足し、妻型枠から開放された時点で崩壊の危険性が生じた場合には、急結剤量を増やし、崩壊しないように施工管理を行った。

(3)スリットコンクリートの品質管理試験結果

ベースコンクリートのスランプおよびコンクリート温度の品質管理試験結果を図-15および16に示す。使用配合は標準配合(15～25℃対象)が29スリット、高温時の配合25℃配合(25～30℃対象)および30℃配合(30℃以上対象)がそれぞれ6および7スリット、10℃配合(7～15℃対象)が72スリットであり、5℃配合の適用はなかった。これは、施工現場が比較的温暖な地域であったことに加え、5℃の配合は特殊混和材使用量の増加によりコストアップすることから、冬期の夜間施工時にはパッチャープラント内ではジェットヒーターで暖めるなどの対策をとったことに

もよる。今後も、寒冷地で施工する場合には保温設備などによりコンクリート温度の低下を防ぐ方法は品質およびコストの両面で有効であると言える。

製造時のスランプは、いずれのスリット施工時においてもスランプ19.0cm～22.5cmに管理できた。これは、パッチャープラントに設置した自動スランプ計による管理に加え、パッチャーマンによる目視確認および抜き取り試験による自主管理の効果であった。

圧縮強度試験結果を図-17および18に示す。材齢6時間強度は3.0～4.5N/mm²、材齢28日強度は21.4～38.6N/mm²であり、いずれも管理強度である3および18N/mm²を満足していた。なお、材齢28日強度のばらつきが大きい原因として、急結剤混合装置の混合性能が劣ること、圧送開始時に採取することから急結剤量が安定していないこと、試験体の養生を現場試験室で封緘養生したために養生温度が異なること、さらには試験体作成時に突き棒による突きを行わないことなどが影響していると考えられる。

(4)施工状況および施工管理

スリットへの充填性およびスランプ保持に関しては、施工中にスランプ低下の危険性が生じた場合（例えば、切羽での待機時間が長くなった場合など）には、切羽でスランプ試験を実施し、スランプ低下傾向が確認できた場合には、そのコンクリート

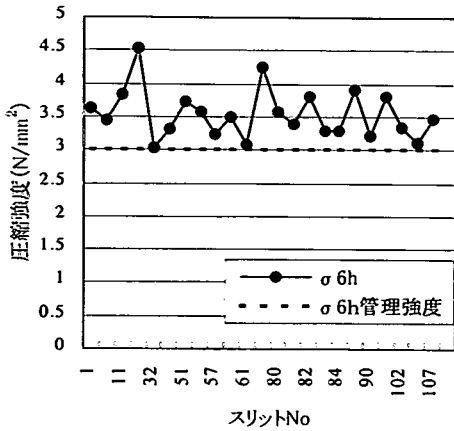


図-17 品質管理試験結果 (材齢6時間強度)

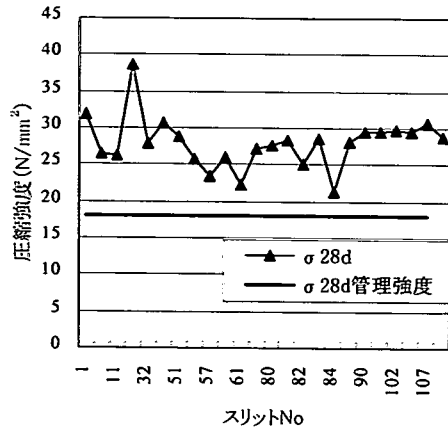


図-18 品質管理試験結果 (材齢28日強度)

を廃棄するようにした。これにより、スランプが低下したスリットコンクリートを施工することはなかった。結果として、未充填部は認められず、また、コアおよび検測孔を用いてスリットコンクリート厚さを確認したが、全ての箇所でも40~42cmであり、設計厚を確保できていた。さらに、スリットコンクリート背面に空隙は認められなかった。

急結剤による自立性能は、全てのスリットで満足し、施工途中で妻型枠から開放されたスリットコンクリートが流出してスリット構築ができなくなるようなトラブルは発生しなかった。これは、急結剤量を施工状況を確認しながら運転室で管理した効果であると考えている。すなわち、自立性状が悪い場合(妻型枠から開放された時点で表面部が少し崩れる場合など)には、急結剤量を若干増やす、一方、自立時間が短く、コンクリートの圧送圧が高くなり閉塞の危険性が認められる場合には、急結剤量を減らす様に運転・管理した結果、自立不足および管内閉塞のトラブルが回避できた。また、ベースコンクリートの製造量および急結剤消費量から算定した急結剤の使用量は(C+P)×4~4.5%程度であり、ほぼ設計量(配合どおり)を満足していることが確認できた。

また、地表面沈下量は最大で20mm以下であり、先受け工法として十分に地表沈下抑制効果を有していることも確認できた⁵⁾。

5. まとめ

本報告では、2車線道路トンネル新設工事にNew PLS工法を適用するにあたりスリットコンクリートの配合選定試験を実施し、示方配合を選定すると

もに、温度変化に伴う配合修正手法を明確にした。さらに、実施工に適用することにより選定した配合および配合修正方法が適切であることが確認できた。今回の検討で明らかになった事項を以下にまとめる。

- (1) New PLS工法に要求される性能を有するスリットコンクリートは3種類の特殊混和材を使用することにより製造することができる。すなわち、急硬材量を $P/(C+P) = 14\%$ 、凝結調整剤量を $(C+P) \times 1.2\%$ 、急結剤を $(C+P) \times 4\%$ とすれば、所定の品質を有するスリットコンクリートが製造できる。
- (2) スリットコンクリートの配合は、コンクリート温度により修正する必要がある。これに対し、コンクリート温度毎に特殊混和材使用量を変化させる配合修正を行うことにより、所定の品質を有するスリットコンクリートが製造できる配合修正方法を確立した。基本的な配合修正方法は、高温時には凝結調整剤量を増加する(25℃で+0.2%、30℃で+0.4%)、低温時には、急硬材量を増加する方法(10℃で+1%)を採用すればよい。
- (3) 選定された配合のスリットコンクリートを実施工に適用し、コンクリート温度の管理により適切な配合を選定するとともに、出荷時のスランプ管理を実施した結果、所定の品質を有するコンクリートを製造、供給することができた。
- (4) 充填性に関しては、施工時には製造時からの経過時間および切羽でのコンクリート性状を確認し、自立性状に関しては、施工状況に合せ、運転席で急結剤量を管理することが重要である。これらを確実にを行うことにより、トラブルが回

避でき、所定の品質を有するスリットコンクリートが施工できた。

なお、本トンネルは平成12年11月にNew PLS工法により無事貫通した。

謝辞：吉井トンネル施工技術検討会でご助言を頂いた都立大学名誉教授今田委員長並びに委員の方々、施工を通じてご協力いただいた日本道路公団東京建設局並びに横浜工事事務所の関係各位、コンクリート試験にご協力いただきました電気化学工業㈱の関係各位に深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 大塚哲雄, 半田実, 寺村悟, 谷口裕史, 福留和人：トンネル工法用急硬性コンクリートの基本特性, 土木学会第51回年次学術講演会講演概要集, VI-127, pp.254-255, 1996.9.
- 2) 本村均, 篠崎秀敏, 谷口裕史：New PLS工法による大断面トンネル拡幅工事—横浜新道(拡幅)保土ヶ谷トンネル—, コンクリート工学, Vol.34, No.9, pp.21-30, 1996.9.
- 3) 藤下幸三, 本村均, 寺内伸, 篠崎秀敏, 中川浩二：切削即時充填式プレライニング工法の実施工への適用, 土木学会論文集, No.602/VI-40, pp.21-34, 1998.9.
- 4) 浅沼深, 原田暁, 喜多達夫, 大塚哲男：急硬性コンクリートの特性に及ぼす各種要因の影響, コンクリート工学年次論文報告集, Vol.15, No.1, pp.471-476, 1993.
- 5) 荒木田憲, 長沢教夫, 鈴木雅行, 谷口裕史, 喜多達夫：都市トンネルにおけるプレライニング工法 (New PLS工法) の概要と施工事例, 土木学会土木建設技術シンポジウム2002論文集, pp.121-128, 2002.5.

(2002. 1. 15 受付)

DESIGN OF THE MIX PROPORTION AND APPLICATION OF THE NEW PRE-LINING SUPPORT METHOD TO A TUNNELLING WORK

Tatsuo KITA, Hirofumi TANIGUCHI, Ken ARAKIDA, Norio NAGASAWA,
Miyoshi WARITA and Shouji AOYAMA

The New PLS (New Pre-lining Support) Method is one of pre-lining methods in which the perimeter of a tunnel face is excavated with a chain cutter and immediately reinforced with a concrete shell. Firstly, this method was applied to widening Hodogaya Tunnel of New Yokohama Highway. Secondly, it was applied to Yoshii Tunnel of the Yokohama-Yokosuka Highway.

In this paper, test method and test results to select the slit concrete mix using quick hardening additive, accelerator, and setting modifier are described. This method was experimentally adopted in Yoshii Tunnel and the good results were obtained.