

低セメント量の高流動コンクリート「ニューロクリートNeo™」 の開発と実構造物への適用

桜井 邦 昭 石 田 知 子

Development of New Self-Compacting Concrete “Neuro-Crete Neo™” and Application for Concrete Structure

Kuniaki Sakurai Tomoko Ishida

Abstract

To improve the productivity of concrete construction, an application of the self-compacting concrete (SCC) that does not require compaction work is effective. However, it is necessary for the conventional SCC to increase the amount of cement. It induces the material cost and the risk of thermal crack occurrence increases. Therefore, using a new special viscosity agent and a general-purpose high water-reducing admixture, a new type of SCC known as the “Neuro-Crete Neo” that does not require an increase in the amount of cement is developed. We also verified that a high-quality concrete structure can be constructed without compaction works using Neuro-Crete Neo.

概 要

コンクリート工事の生産性を向上するには、締固め作業が不要な高流動コンクリートの適用が有効である。しかし、従来の高流動コンクリートは、一般的な建設工事で用いられる普通コンクリートに比べてセメント量を増大させる必要があり、材料コストや温度ひび割れの発生リスクが増加する課題があった。そこで、新規の特殊増粘剤と汎用的な高性能AE減水剤を用いることで、セメント量を増大することなく、自己充填性を確保できる新しい高流動コンクリート「ニューロクリートNeo™」を開発した。また、開発したニューロクリートNeoを用いることで、締固めを行うことなく高品質なコンクリート構造物が構築できることを検証した。

1. はじめに

近年、建設工事の実産性向上が強く求められている。高流動コンクリートは、自己充填性を有し締固め作業を省略できることから、施工現場でのコンクリート工事の実産性を大幅に向上できる。国土交通省では、「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」¹⁾²⁾を策定し、「現場打ちコンクリート工事の実産性が著しく向上すると判断された場合には、高流動コンクリートを選定してよい」と示している。

高流動コンクリートは、1980年代後半に我が国で開発され、大林組では、「ニューロクリート®」として明石海峡大橋のアンカレイジ、地上式LNGタンクのPC防液提コンクリートなど多くの重要構造物の構築に適用している^{3)~5)}。また、高流動コンクリートを用いた構造物が優れた耐久性を有することも確認されている⁶⁾。

各種コンクリートの位置づけの概念図をFig. 1に示す。高流動コンクリートは、コンクリート自体の高い流動性により、均質な状態で型枠の隅々まで充填できる自己充填性を有するコンクリートである。自己充填性を確保するには高い流動性と材料分離抵抗性とを両立させる必要がある。従来の高流動コンクリートは、高い流動性を高性能AE減水剤等の混和剤を用いて確保する一方で、材料分離抵抗性の確保のために、建設工事で汎用的に用いら

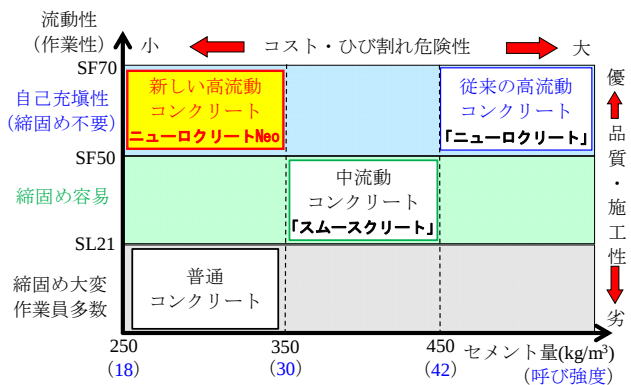


Fig. 1 各種コンクリートの位置づけの概念図
Concept of Several Concretes

れている普通コンクリートに比べ、単位セメント(粉体)量を大幅に増加させる必要がある。このため、材料コストや硬化後の収縮ひび割れの発生リスクが増加する課題がある。文献⁶⁾によれば、国内の建設現場での高流動コンクリートの施工数量は15~20万m³/年(全出荷量の0.2%程度)であり、物理的に締固めが行えない部材などの特別な場合のみの使用にとどまっている現状にある。

このため、大林組では、補助的な振動締固めにより充填可能な中流動コンクリート「スムースクリート®」を開発し、山岳トンネルの覆工コンクリートをはじめ多くの構造物へ適用してきた^{7)~8)}。中流動コンクリートは、従

来の高流動コンクリートに比べてセメント量を低減できることから、材料コストや収縮ひび割れの課題をある程度は解決できる。しかし、自己充填性は有しないため、締固め作業を完全には排除できないことから、生産性を飛躍的に向上するには至っていない。

そこで、新規の特殊増粘剤と汎用品の高性能AE減水剤を用いることで、普通コンクリートと同等のセメント量のまま、材料分離抵抗性を確保しつつ、高い流動性と自己充填性を確保できる新しい高流動コンクリート「ニューロクリートNeo™」を開発した。

本稿では、ニューロクリートNeoのフレッシュ時や硬化後の各種の品質試験結果を示すとともに、道路トンネルの覆工コンクリートに適用した結果を示す。

2. ニューロクリートNeoに用いる特殊増粘剤

ニューロクリートNeoは、単位セメント量を増やさずに、高い流動性と材料分離抵抗性を確保するため、汎用品の高性能AE減水剤と特殊増粘剤を用いる。

ニューロクリートNeoに用いる特殊増粘剤の外観をPhoto 1に示す。特殊増粘剤は、平均粒径が約80 μm の粉末状のセルロースエーテルである。セルロースエーテルはセメントペースト中に溶解して粘性を高め、材料分離抵抗性の改善やブリーディングの低減に寄与すると言われている⁹⁾。これまでも、水中不分離性コンクリートや増粘剤系高流動コンクリート等に適用されている。しかし、従来のセルロースエーテル系増粘剤は、粘性を高める反動により、流動性が低下する。このため、コンクリートとして高い流動性を確保するには、単位水量を増加させる等の対策が必要であった。

そこで、材料分離抵抗性と流動性の確保が両立できるように組成等を調整した新規の特殊増粘剤を開発した。Table 1は、水セメント比51.5%のセメントペーストに、新規の特殊増粘剤または従来のセルロースエーテル系増粘剤を混和したときの塑性粘度と降伏値をレオメータで測定した結果である。同一の塑性粘度を確保した場合、新規の特殊増粘剤の方が降伏値は小さく、高い流動性を確保できている。このため、セメント量が少なく水セメント比の比較的大きい領域でも、材料分離を生じることなく高い流動性を確保できると考えられる。

3. ニューロクリートNeoの品質確認実験

3.1 実験概要

使用材料をTable 2、試験項目と目標とした品質をTable 3、試験配合をTable 4にそれぞれ示す。検討要因は単位セメント量(水セメント比)と特殊増粘剤の添加量とした。配合条件は、単位水量175kg/m³、単位粗骨材絶対容積320L/m³で一定とした。単位セメント量の範囲は270～500kg/m³(水セメント比の範囲で65～35%)とした。

ニューロクリートNeoに用いる特殊増粘剤の添加量は、



Photo 1 特殊増粘剤の外観
External of Special Viscosity Agent

Table 1 各種の増粘剤を用いたセメントペーストの塑性粘度と降伏値の測定結果

Measurement Result of Plastic Viscosity and Yield Stress of Cement Paste using Several Viscosity Agent

増粘剤の種類	配合条件			測定結果	
	W/C (%)	高性能AE減水剤	増粘剤量 (g/m ³)	塑性粘度 (Pa・s)	降伏値 (Pa)
新規の特殊増粘剤	51.5	C×0.7%	60	0.095	0.032
従来のセルロースエーテル			300	0.101	0.131

Table 2 使用材料
Properties of Materials

種類	記号	銘柄, 物理的性質など
セメント	C	普通ポルトランドセメント, 密度3.16g/cm ³
細骨材	S	陸砂, 表乾密度2.61g/cm ³ , 吸水率1.80%, 粗粒率2.46,
粗骨材	G	碎石2005, 表乾密度2.65g/cm ³ , 吸水率0.75%, 実積率59.7%
混和剤	WR	AE減水剤 ^{*1}
	SP	高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系) ^{*1}
	SPV	高性能AE減水剤 (増粘剤一液タイプ) ^{*1}
	VMA	特殊増粘剤 (セルロースエーテル系)

*1 WR, SP, SPVは汎用品

Table 3 試験項目と準拠基準および目標品質
Test Items and Methods of Concrete and Required Qualities of Concrete

試験項目	試験方法 (準拠基準など)	目標品質
充填高さ	JSCE-F511, 障害条件: R2	30cm以上
スランプフロー	JIS A 1150	60±10cm
500mmフロー到達時間	同上	3～15秒
空気量	JIS A 1128	4.5±1.5%
ブリーディング率	JIS A 1123	普通コンクリートと同等であること
圧縮強度	JIS A 1108	
長さ変化率	JIS A 1129-3 (ダイヤルゲージ方法)	
中性化深さ	JIS A 1152, JIS A 1153 [促進条件] CO ₂ 濃度5%, 20℃60RH [促進期間] 3ヶ月	
塩分浸透深さ	JSCE-G572, [促進条件] NaCl濃度10%水溶液 (20℃) [促進期間] 3ヶ月	

Table 4 コンクリートの配合
 Mix proportion of Concrete

配合 No.	検討 要因	コンク リート 種類	自己充 填性の ランク	目標 スランブ フロー (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位粗 骨材絶 対容積 (L/m ³)	単位量 (kg/m ³)				混和剤 (C×%)			特殊 増粘剤 VMA (g/m ³)	フレッシュ試験結果	
								W	C	S	G	WR	SP	SPV		スランブ フロー (cm)	空気量 (%)
1	普通コン(比較用)	—	—	SL12cm	55.0	52.9	320	175	318	938	848	0.25	-	-	-	SL12cm	5.2
2	単位セ メント 量 (水セ メント 比)	ニューロ クリート Neo	ランク 2	60±10	65.0	54.0	320	175	269	978	848	-	2.50	-	90	58.0	5.2
3					60.0	54.9			292	959		-	2.10	-		61.0	5.1
4					58.7	53.3			298	955		-	1.90	-		61.5	5.3
5					55.0	52.9			318	938		-	1.90	-		61.5	4.6
6					51.5	52.4			340	920		-	1.75	-		62.0	5.1
7					48.6	52.0			360	903		-	1.65	-		62.5	5.2
8					47.5	51.8			368	896		-	1.55	-		62.0	5.2
9					46.1	51.5			380	887		-	1.45	-		61.5	5.7
10					43.8	51.0			400	870		-	1.25	-		61.0	5.7
11					40.0	50.1			438	839		-	1.30	-		63.0	5.0
12					35.0	48.5			500	788		-	1.35	-		64.0	4.0
13	粉体系 高流動 (比較用)	高流動 (比較用)	ランク 2	60±10	55.0	52.9	320	175	318	938	848	-	1.90	-	—	60.0	5.5
14					46.1	51.5			380	887		-	1.50	-	—	64.0	4.0
15					35.0	48.5			500	788		-	1.20	-	—	62.5	4.7
16		増粘剤系 高流動 (比較用)	ランク 2	60±10	55.0	52.9	320	175	318	938	848	-	-	1.90	-	62.5	4.1
17					51.5	52.4			340	920		-	-	1.75	-	61.5	4.7
18					48.6	52.0			360	903		-	-	1.65	-	62.5	4.2
19					46.1	51.5			380	887		-	-	1.55	-	61.5	5.2
20					43.8	51.0			400	870		-	-	1.40	-	61.5	6.0
21					40.0	50.1			438	839		-	-	1.25	-	63.0	5.6
22	特殊増 粘剤の 添加量	ニューロ クリート Neo	ランク 2	60±10	55.0	52.9	320	175	318	938	848	-	1.90	-	30	61.5	4.4
23												-	1.90	-	120	60.5	5.3
24												-	2.00	-	200	60.5	6.0
25												-	2.10	-	250	61.0	6.0

単位セメント量の検討では90g/m³で一定とし、特殊増粘剤の添加量の検討では30～250g/m³の範囲で変化させた。

比較のため、土木分野で一般的な鉄筋コンクリート構造物に使用される配合を想定した普通コンクリート(スランブ12cm、水セメント比55%、配合No.1)、および2種類の従来の高流動コンクリート、すなわち、材料分離抵抗性を確保するために単位セメント量を増加させる粉体系高流動コンクリート(配合No.13～15)、および高性能AE減水剤(増粘剤一液タイプ)を用いることで粉体系に比べて単位セメント量の増加を抑制できる増粘剤系高流動コンクリート(配合No.16～21)も試験した。

高流動コンクリートの目標品質は、コンクリート標準示方書や高流動コンクリートの施工指針⁶⁾を参考に、一般的な配筋条件の部材への適用を想定し、自己充填性はランク2とした。スランブフローの目標値は60cmとし、目標値となるよう高性能AE減水剤の添加量を調整した。

試験項目は、スランブフロー、空気量および充填高さに加えて、材料分離が生じていないことを確認するための500mmフロー到達時間とブリーディング率とした。

さらに、普通コンクリート(配合No.1)と同じ単位セメント量(水セメント比55%)のニューロクリートNeo(配合No.5)を対象に、圧縮強度の発現性、長さ変化率、中性化や塩分浸透に対する抵抗性も調べた。

コンクリートの練混ぜには、強制二軸練りミキサ(容量60L)を用い、1バッチの練混ぜ量は40Lとした。練混

ぜ方法は、セメント、骨材を投入して10秒間練り混ぜた後、あらかじめ混和剤を溶解した練混ぜ水を投入して90秒間練り混ぜた。5分間静置した後に、十分に練り返して各種の品質試験を行った。なお、特殊増粘剤は、セメントの投入に合わせてミキサ内へ投入した。試験は室温20℃・湿度60%で管理された室内で行った。

3.2 実験結果および考察

3.2.1 単位セメント量(水セメント比)の検討

各種の高流動コンクリートの充填高さ、500mmフロー到達時間およびブリーディング率の測定結果をFig. 2に示す。

充填高さは、粉体系および増粘剤系高流動コンクリートでは単位セメント量が350kg/m³を下回る(水セメント比が50%を超える)と30cm以下となり、自己充填性が確保できない結果となった。一方、ニューロクリートNeoは単位セメント量を270kg/m³(水セメント比65%)まで少なくとも充填高さ30cm以上を確保できていた。

500mmフロー到達時間は、粉体系および増粘剤系高流動コンクリートではセメント量が少なく(水セメント比が大きく)なるに従い速くなった。一方で、ニューロクリートNeoは単位セメント量によらずほぼ一定の到達時間であった。ブリーディング率についても、粉体系や増粘剤系高流動コンクリートでは単位セメント量の低下に伴い増加し、特にセメント量が400kg/m³程度以下になると急増した。ニューロクリートNeoは、上記の高流動コン

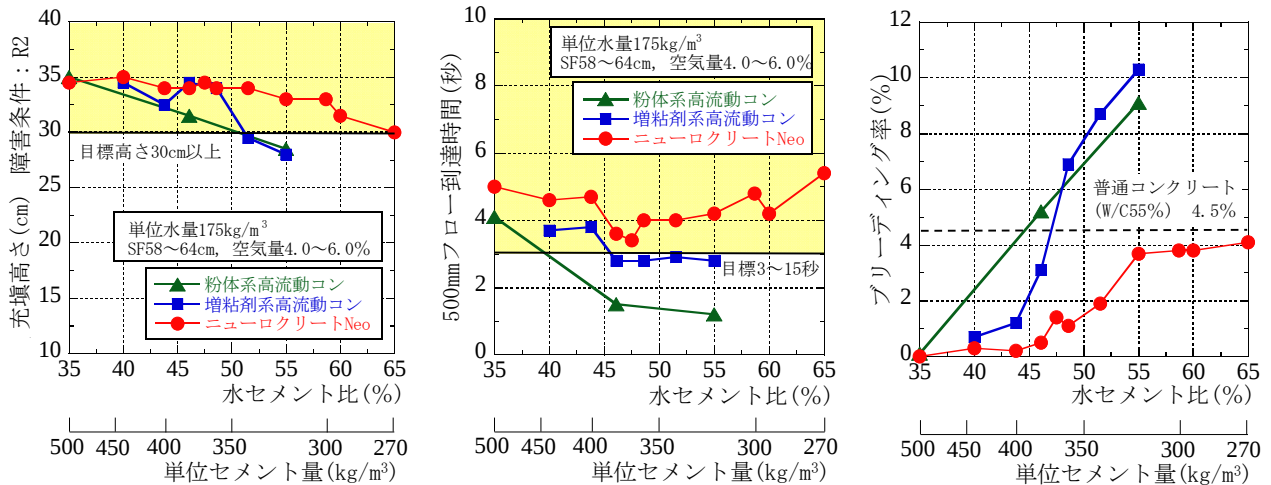


Fig. 2 各種の高流動コンクリートの単位セメント量と充填高さ, 500mmフロー到達時間およびブリーディング率の関係
Test Results of Filling Height, 500mm Flow time and Bleeding ratio of Several SCC (Unit Cement Contents)

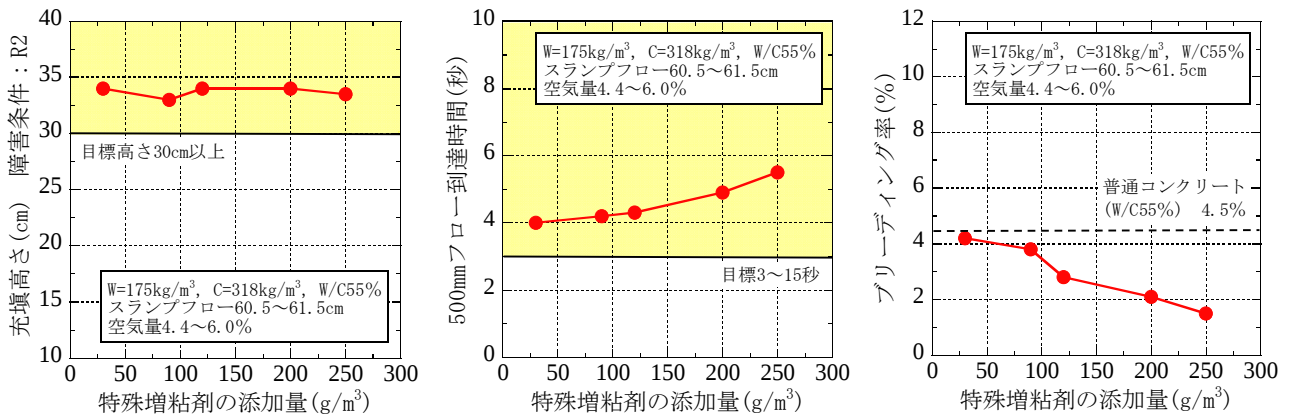


Fig. 3 ニューロクリートNeoの特殊増粘剤の添加量と充填高さ, 500mmフロー到達時間およびブリーディング率の関係
Test Results of Filling Height, 500mm Flow time and Bleeding ratio of Neuro-Crete Neo (Viscosity Agent Contents)

クリートに比べて同一の単位セメント量(水セメント比)でのブリーディング率は小さく, 水セメント比55%では, 普通コンクリートよりも小さかった。

一連の結果を踏まえると, 特殊増粘剤を用いることで, 現在のコンクリート工事で汎用的に用いられている普通コンクリートと同じセメント量(水セメント比)のまま, 材料分離抵抗性を確保しつつ, 高い流動性と自己充填性を有する高流動コンクリートが製造できるといえる。

3.2.2 特殊増粘剤の添加量の検討 単位セメント量を318kg/m³(水セメント比55%)で一定として特殊増粘剤の添加量を30~250g/m³の範囲で変化させた場合のニューロクリートNeoの各種の品質試験結果をFig. 3に示す。

充填高さは特殊増粘剤の添加量によらず, いずれも目標とする30cm以上を十分に確保できていた。また, 特殊増粘剤の添加量が多くなるほど, 500mmフロー到達時間は遅く, ブリーディング率は小さくなる結果が得られた。使用材料の種類や単位セメント量の条件に応じて特殊増粘剤の添加量を調整することで, ニューロクリートNeoの材料分離抵抗性を調整できることを示す結果と考えられる。

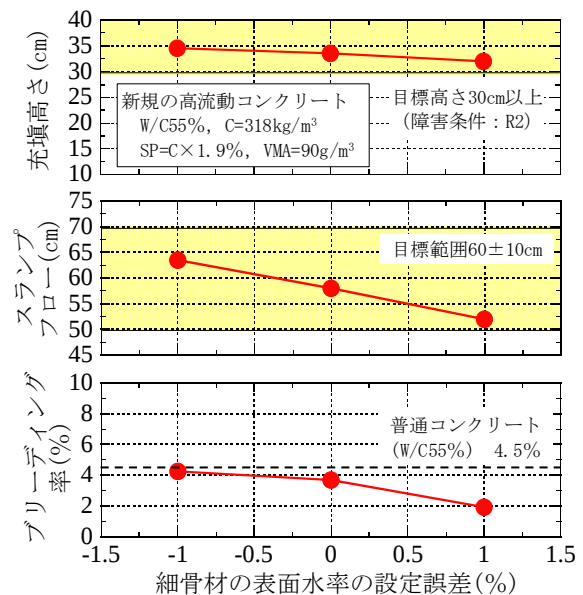


Fig. 4 細骨材の表面水率が変動した場合のフレッシュコンクリートの品質変化
Relationship of Quality of Fresh Concrete and Surface Moisture of Fine Aggregate

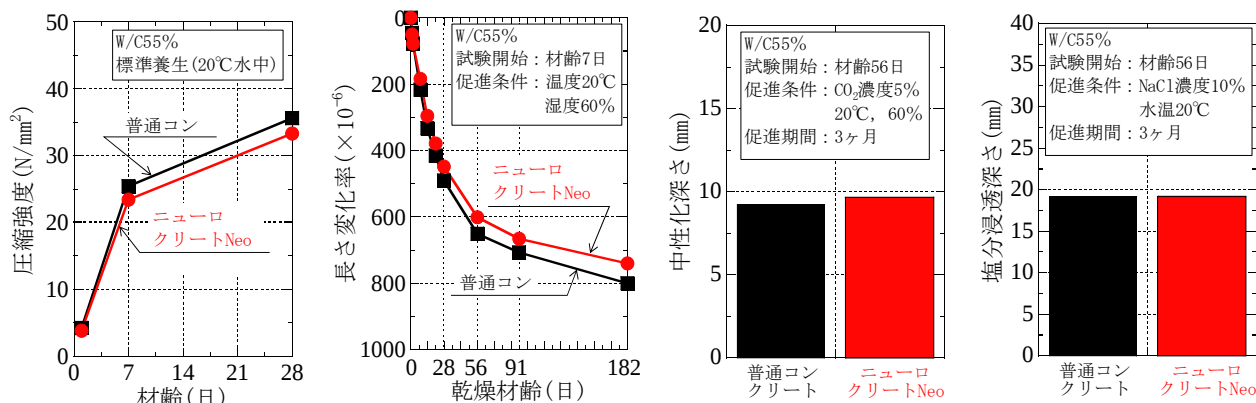


Fig. 5 ニューロクリートNeoの強度発現性、長さ変化、中性化深さおよび塩分浸透深さの試験結果
Test Results of Compressive Strength, Drying Shrinkage, Depth of Carbonation and Salt Penetration of Neuro-Crete Neo

Table 5 打込み実験に用いたニューロクリートNeoの配合
Mix Proportion of Neuro-Crete Neo for Placing Examination

自己充填性の ランク	目標 スランブ フロー (cm)	W/C (%)	s/a (%)	単位量 (kg/m ³)						混和剤		フレッシュ試験結果		
				W	C	S		G		SP (C×%)	特殊増粘剤 (g/m ³)	スランブ フロー (cm)	空気量 (%)	充填 高さ (cm)
						S1	S2	G1	G2					
ランク3	60±10	48.5	47.2	165	340	422	427	670	287	0.90	30	62.0	3.6	33.8

C: 普通セメント, S1: 川砂, S2: 砕砂, G1: 砕石2010, G2: 砕石4020, SP: 高性能AE減水剤

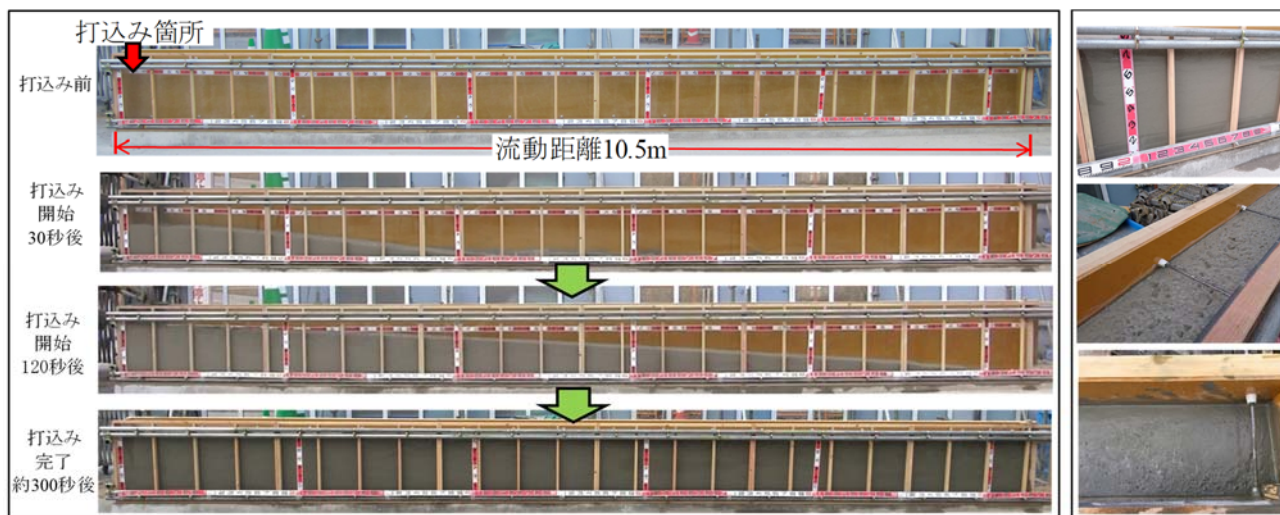


Photo 2 打込み実験の状況
Situation of Placing Examination

3.2.3 ニューロクリートNeoの品質安定性 単位セメント量 $318kg/m^3$ (水セメント比55%)のニューロクリートNeo(配合No.5)を対象に、細骨材の表面水率の設定が $\pm 1\%$ 変動した場合のフレッシュ時の品質変動を調べた(Fig. 4)。表面水率が変動しても、目標とする充填高さを満足でき、ブリーディングの急激な増大も生じなかった。ニューロクリートNeoは、実施工時に細骨材の表面水率の変動が生じても材料分離せずに自己充填性を確保できることを示す結果と考えられる。

3.2.4 ニューロクリートNeoの硬化後の品質 水セメント比55%の普通コンクリート(配合No.1)とニューロクリートNeo(配合No.5)の強度発現性、長さ変化率、中性化深さおよび塩分浸透深さの試験結果をFig. 5に示す。いずれの試験項目でも、普通コンクリートとニューロクリ

ートNeoとの顕著な違いは認められなかった。ニューロクリートNeoの硬化後の品質は、水セメント比の等しい普通コンクリートと同等であることが確認できた。

4. 実物大型枠を用いた打込み実験

4.1 実験概要

ニューロクリートNeoを用いることで、締固めを行うことなく、均質な状態で流動および充填できることを検証するため、模擬型枠(長さ10.5m×幅0.3m×高さ0.9m、数量 $2.2m^3$)を用いた打込み実験を行った。

使用したニューロクリートNeoの配合をTable 5に示す。なお、5章で後述するように、山岳トンネルの覆工への適用を想定し、自己充填性のランクはランク3とした。

Table 6 トンネル覆工に用いたニューロクリートNeoの配合と品質試験結果
Mix Proportion of Neuro-Crete Neo for Tunnel Lining and Several Quality Test Results

配合種類	配合										品質試験結果									
	自己充填性のランク	目標スランブフロー (cm)	目標空気量 (%)	W/C (%)	s/a (%)	単位粗骨材絶対容積 (L/m³)	単位量 (kg/m³)				混和剤 (C×%)	特殊増粘剤 (g/m³)	スランブフロー (cm)	500mmフロー時間 (秒)	充填高さ (ランク3) (cm)	漏斗流下時間 (秒)	空気量 (%)	ブリーディング率 (%)	圧縮強度 (N/mm²)	
							W	C	S	G									材齢 24時間	材齢 28日

C: 高炉セメントB種, S: 山砂 (65%) + 砕砂 (35%), G: 砕石2005, WR: AE減水剤 (高機能タイプ), SP: 高性能AE減水剤 (ポリカルボン酸系)

ニューロクリートNeoは、市中の生コン工場の実機ミキサで製造(2m³×2バッチ)して、アジテータ車にて実験ヤードまで約30分かけて運搬した。

コンクリートは、模擬部材の端部から、アジテータ車のシュートにて打ち込んだ。実施工での荷卸し速度を模擬し、約5分で打ち込んだ。なお、実験時のコンクリート温度は約15℃であった。

4.2 実験結果および考察

ニューロクリートNeoの流動状況をPhoto 2に示す。コンクリート自体の高い流動性により、10.5m先の反対側端部まで容易に流動した。また、ノロやペースト分の先走りは認められなかった。

流動実験後に、コンクリートの流動勾配を測定したところ約1/175であり、平たんに充填されていることを確認した。また、流動先端部からコンクリート試料を採取して5mmふるい上で洗い試験を行い、試料中の粗骨材量を調べたところ、含有していた粗骨材量は、粒径4020が配合計算値に対して103%、粒径2005が102%であり、均質な状態で流動・充填できていたことを確認した。

以上のことから、ニューロクリートNeoを用いることで、締固めを行うことなく均質な状態でコンクリートを充填できることが確認できた。

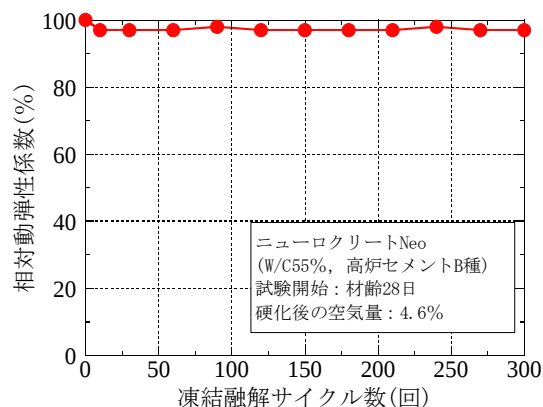
5. 山岳トンネルの覆工コンクリートへの適用

5.1 目的

ニューロクリートNeoを道路トンネルの覆工コンクリート(幅12.6m、高さ9.16m、設計厚さ40cm、1スパン長さ10.5m)に試験的に適用した。これにより、安定した品質のニューロクリートNeoが市中の生コン工場で継続的に製造・供給できること、ニューロクリートNeoを用いることで、締固めを行うことなく高品質なコンクリート構造物が構築できることを、それぞれ確認した。また、従来の覆工コンクリートで施工する場合と比較を行い、締固め作業が不要となり生産性が向上することを検証した。

5.2 ニューロクリートNeoの配合と目標とした品質

施工に用いたニューロクリートNeoの配合を配合選定時の品質試験結果と合わせてTable 6に示す。なお、施工した覆工が無筋構造物のため、自己充填性はランク3とした。ブリーディング率は従来の覆工コンクリートに対し

Fig. 6 凍結融解試験結果
Test Result of Freezing and Thawing resistance

半減でき、圧縮強度の発現性は同等であった。また、施工箇所が東北地方沿岸部であったことから凍結融解試験(JIS A 1148 A法)を行ったところ、十分な凍結融解抵抗性を有していることも確認した(Fig. 6)。

5.3 実施工の概要

コンクリートの製造は生コン工場の実機ミキサで行った。1バッチの練混ぜ量は2m³とし、2バッチ製造してアジテータ車に積み込んで施工現場(運搬時間は約30分)まで運搬した。練混ぜ時間は全材料投入後120秒間とした。特殊増粘剤は、あらかじめ1m³当たりの添加量(60g/m³)を水溶紙に梱包し、他の材料の投入と同時に実機ミキサに投入した。施工は春期に行い、外気温は12℃、コンクリート温度は15℃程度であった。

打込み概要をFig. 7に示す。通常の覆工施工と同様に、側壁部はスパン中央の打込み口から行い、自由落下高さが1.5m以下となるように、コンクリートの打上がりに合わせて順次上方の打込み口から打ち込んだ。天端部は既設側端部の吹上げ口から打ち込んだ。また、打上がり速度は、標準的な速度である1.5m/hとした。

実施工時の品質試験結果をTable 7に示す。いずれも目標範囲を満足しており、ニューロクリートNeoが、市中の生コン工場で安定的に製造できることを確認した。

ニューロクリートNeoの流動状況をPhoto 3に示す。上段左は、側壁部のスパン中央から打ち込んでいる状況を、上段左は型枠端部における充填状況を示している。下段左は天端部において、写真中央奥から打ち込んでいる状況を、下段左は10.5m先の型枠端部における流動状況を

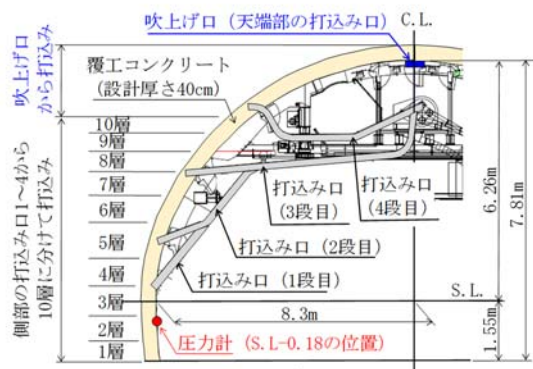


Fig. 7 コンクリートの打込みの概要
Outline of Placing Neuro-Crete Neo

Table 7 コンクリートの荷卸し時の品質試験結果
Test Results of Neuro-Crete Neo on Discharge

項目	単位	目標 品質	試験 回数	試験結果	
				平均値	偏差
充填高さ(ランク3)	cm	30以上	7	34.8	0.45
スランプフロー	cm	60±10	12	62.1	1.36
500mmフロー到達時間	秒	3~15	12	4.3	0.71
空気量	%	5.5±1.5	12	5.9	0.45
圧縮強度(材齢28日)	N/mm ²	24以上	3	36.2	0.51

示している。側壁部および天端部とも型枠の端部まで容易に流動し充填できていた。また、側壁部の流動先端にてコンクリート試料を採取して洗い試験を行ったところ、試料中の粗骨材容積は配合計算値に対して103%であり、材料分離することなく均質な状態で流動し充填できていることを確認した。

セントル下端付近に圧力計を設置して、打上りに伴う側圧を測定した。測定結果を打上り高さとの関係で整理してFig. 8に示す。側圧の最大値は約0.055N/mm²で、中流動コンクリート(スランプフロー35~50cm)で施工した過去の実績¹⁰⁾と同程度であった。一般に、高流動コンクリートを用いる場合は側圧を液圧として考慮する必要があるが⁶⁾、トンネル覆工のように打上り速度が比較的小さい場合には、打上り高さの全高に相当する液圧ほどの側圧は生じないものと考えられる。

5.4 生産性向上に関する検証

ニューロクリートNeoの適用による生産性向上の効果を検証するため、同一断面をTable 6に示す従来の覆工コンクリートを用いて施工した場合と比較した(Table 8)。

施工に要する時間はいずれも約7.5時間で同等であった。従来の覆工コンクリートの場合、1スパン当たりのパイプレータによる締固め時間は合計960分(16時間)であった。このため、ニューロクリートNeoの採用により打込み作業における作業員数を2名程度は削減できるものと考えられる。

また、セントル内でパイプレータによる締固め作業を行っているときの騒音は約95dBと大きく、文献¹¹⁾によれば「長時間で難聴」となるレベルであった。一方、ニュー

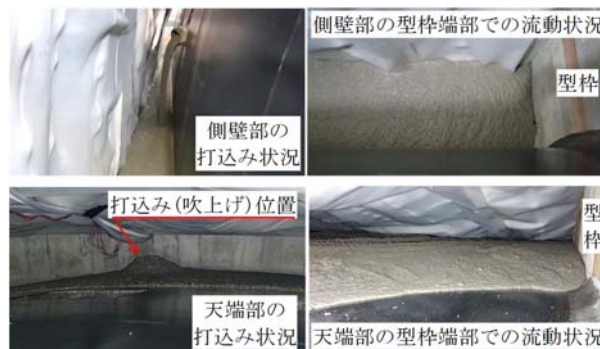


Photo 3 流動状況(上：側壁部，下：天端部)
Flowing and Filling Situation of Placing Neuro-Crete Neo

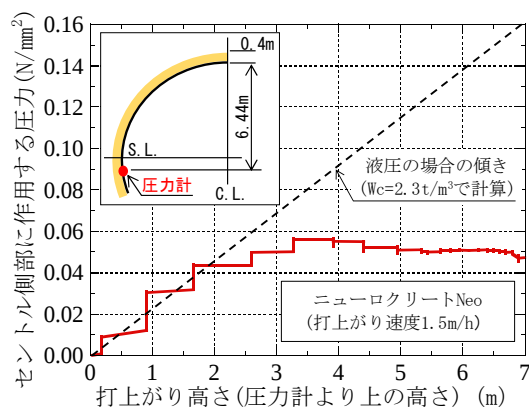


Fig. 8 セントルに作用する側圧の測定結果
Result of measurement of lateral pressure

Table 8 生産性の向上効果の検証結果
The improvement effect of the productivity

項目	従来の覆工 コンクリート	ニューロ クリートNeo
施工時間	7時間20分	7時間40分
施工数量	130m ³	132m ³
パイプレータによる 締固め作業時間	960分 (16時間)*1	なし
セントル内の騒音	95dB	75dB

*1 締固め作業に従事した作業員(5名)の合計時間

ーロクリートNeoを用いた場合、セントル内にはコンクリートポンプによる圧送音が生じているだけで騒音は75dB(大声での会話のレベル)まで低減され、作業環境も大幅に改善できることが検証できた。

5.5 仕上がりに関する検証

ニューロクリートNeoにより構築した覆工の脱型後の仕上がりをPhoto 4に示す。充填不良は認められず良好な仕上がりであった。材齢56日に構築した覆工の側壁部と天端部にて、テストハンマーによる反発度とトレント法による透気係数を測定した。測定結果をTable 9~10に示す。測定は、1箇所当たり3回行い平均値を求めた。測定時の表面の含水率は4.7~5.3%であった。

ニューロクリートNeoで施工した覆工の表層品質は、水セメント比のほぼ等しい従来の覆工コンクリートと同



Photo 4 ニューロクリートNeoで構築した覆工の外観
External of Lining Built by Neuro-Crete Neo

Table 9 表層品質の測定結果(反発度)
Test Result for Strength of Surface Concrete

コンクリートの種類	テストハンマーによる反発度(一)					
	側壁部			天端部		
	既設側	スパン中央	妻側	既設側(吹上)	スパン中央	妻側
従来の覆工コンクリート	35.9	36.5	35.7	38.0	38.4	38.0
ニューロクリートNeo	39.2	39.1	38.1	39.3	39.0	38.8

Table 10 表層品質の測定結果(透気係数)
Test Result for Air Permeability of Surface Concrete

コンクリートの種類	トレント法による透気係数 $kT(\times 10^{-16} \text{ m}^2)$					
	側壁部			天端部		
	既設側	スパン中央	妻側	既設側(吹上)	スパン中央	妻側
従来の覆工コンクリート	0.48	0.15	0.78	0.16	0.52	0.34
ニューロクリートNeo	0.51	0.66	0.52	0.18	0.33	0.26

等であった。ニューロクリートNeoを用いることで、締固め作業を行うことなく、均質なトンネル覆工が構築できることを示す結果と考えられる。

6. まとめ

特殊増粘剤を用いることで、従来の普通コンクリートと同等のセメント量のまま自己充填性を確保できる低セメント量の高流動コンクリート「ニューロクリートNeo」を開発した。また、開発したニューロクリートNeoを道路トンネルの覆工コンクリートに適用した。得られた知見を以下に示す。

- 1) 特殊増粘剤を用いることで、単位セメント量270～

500kg/m³(水セメント比65～35%)の範囲で自己充填性のランク2を満足するニューロクリートNeoを製造することができる。

- 2) ニューロクリートNeoのブリーディング率、強度発現性、収縮特性および耐久性は、水セメント比の等しい普通コンクリートと同等である。
- 3) ニューロクリートNeoは、コンクリート自体の高い流動性により、流動距離10.5mを均質な状態で流動し充填できる。
- 4) ニューロクリートNeoを用いることで、均質なトンネル覆工を構築できる。
- 5) トンネル覆工にニューロクリートNeoを適用することで、締固め作業が不要になり、作業員数を低減できるとともに作業環境も改善できる。

参考文献

- 1) 流動性を高めたコンクリートの活用検討委員会：流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン，2017.3
- 2) 国土交通省大臣官房 技術調査課：「流動性を高めた現場打ちコンクリートの活用に関するガイドライン」について、コンクリートテクノ，Vol.36，No.7，pp.17-19，2017.7
- 3) 三浦律彦他：高流動コンクリート(ニューロクリート)の開発(その1)―ニューロクリートの基礎物性と過密配筋を有する土木構造物への適用―，大林組技術研究所報，No. 47，pp.43-50，1993
- 4) 近松竜一他：高流動コンクリート(ニューロクリート)の開発(その2)―橋梁マスコンクリート構造物への適用例―，大林組技術研究所報，No.51，pp.71-76，1995
- 5) 近松竜一他：高流動コンクリート(ニューロクリート)の開発(その3)―低発熱・低収縮性ニューロクリート―，大林組技術研究所報，No. 56，pp.77-82，1998
- 6) 土木学会：高流動コンクリートの配合設計・施工指針〔2012年版〕，コンクリートライブラリー136，2012.6
- 7) 桜井邦昭他：トンネル覆工用「スモースクリート」の開発，大林組技術研究所報，No.71，pp.1-10，2011
- 8) 桜井邦昭他：加振併用型の高流動コンクリート「スモースクリート」の適用事例，大林組技術研究所報，No. 72，2012
- 9) 加藤忠哉：水溶性・水分散型高分子材料の最新技術動向と工業応用，日本科学情報，pp.841-863，2001
- 10) 中間祥二他：中流動コンクリートを用いたトンネル覆工の施工―北海道横断自動車道久留喜トンネル―，コンクリート工学，Vol.48，No.6，pp.25-30，2010.6
- 11) 日本火薬工業会：あんな発破 こんな発破 発破事例集，pp.30-33，2002.3