

PCプレキャスト部材を対象とした高流動コンクリートの配合と物性の検討

オリエンタル白石(株)	技術研究所	正会員	○中村	敏之
オリエンタル白石(株)	関東工場		宗像	英二
オリエンタル白石(株)	滋賀工場		中村	憲生
オリエンタル白石(株)	福岡工場		前田	道孝

Abstract : High fluidity concrete has the self-compactability. It isn't necessary to be compacted using the rod type vibrator. Therefore placing of concrete is possible by a small number of people. When high fluidity concrete is applied to PC pre-cast products, the improvement of work environment can be expected. We studied mix proportion of high fluidity concrete for PC pre-cast products with air-entraining and high-range water-reducing admixture containing viscosity. As a result, the material properties of the high fluidity concrete which designed mix proportion satisfied the target value of the guideline.

Key words : High fluidity concrete, Improvement of work environment, Pre-cast products

1. はじめに

わが国では人口減少や高齢化が進み、それにともない建設工事に関わる働き手が不足してきており、今後、働き手の減少を上回る生産性の向上が必要となる。そういった背景から国土交通省では、近年の技術・工法の発展を踏まえて、コンクリート構造物のプレキャスト化や締固め作業が不要である高流動コンクリートの活用など建設工事の効率化に資する技術の導入を推進している。

その中でプレストレストコンクリート（以下、PC）構造では、すでに道路橋用橋桁や更新用PC床版など、さまざまなプレキャスト部材が活用され、建設工事の生産性向上に貢献してきた。今後もその採用は多いと予想されるが、PCプレキャスト部材の製作工場においても建設現場と同様に働き手の不足の問題は生じており、さらなる省力化・省人化が必要である。一方、PCプレキャスト部材に高流動コンクリートを採用する場合、高強度であることからセメント量が過大な傾向となり、粘性過多による施工性の低下や温度ひび割れ発生の可能性などの課題があった。しかし、最近では、比較的少ないセメント量で低粘性かつ分離抵抗性を兼ね備えた高流動コンクリートを可能とする増粘剤一液型高性能AE減水剤が開発され、PCプレキャスト部材などの高強度への適用は少ないものの、その実績は増えており、これまでよりも安定した品質の高流動コンクリートが製造できるようになった。

そこで本稿では、工場で作成する高強度のPCプレキャスト部材を対象として、増粘剤一液型高性能AE減水剤を使用した高流動コンクリートの配合と物性について検討した。

2. 検討方法

2.1 概要

それぞれ使用骨材が異なるPCプレキャスト部材を製作する3工場において、PCプレキャスト部材で主に適用される呼び強度50N/mm²のコンクリートを対象に高流動コンクリートの適用を検討した。シリーズIでは、そのうちのA工場を対象に、土木学会「高流動コンクリートの配合設計・施工指針」¹⁾（以下、高流動指針）に準じたフレッシュ性能を満足する配合の検討を行った。さらにその硬化特性などの物性を従来の普通コンクリートと比較した。シリーズIIでは、シリーズIの検討結果をも

とに、B工場およびC工場の配合を検討し、それぞれフレッシュ性能と硬化特性を確認した。

2.2 配合条件

サイロなどの増設の必要がなく、できるだけ工場の既存設備による製造とするため、混和剤以外の使用材料は従来の普通コンクリートと同じとし、また、従来と近い品質が得られることを期待して、水セメント比は呼び強度50N/mm²の普通コンクリートと同じとした。混和剤には増粘剤一液型高性能AE減水剤を使用した。自己充填性はランク2とし、スランプフローは600mm、空気量は4.5%に設定した。

3. シリーズ I

3.1 検討方法

セメントは早強ポルトランドセメントを使用した。骨材は砕砂および砕石を使用した(表-1)。混和剤は増粘剤一液型高性能AE減水剤を使用し、空気量の調整にはAE剤を使用した。練混ぜは温度20℃、相対湿度60%の室内で、100L強制練りミキサにより1バッチ当り50リットルを練り混ぜた。練り混ぜた高流動コンクリートは表-2に示すスランプフロー試験、空気量試験、JSCE-F 512「高流動コンクリートの漏斗を用いた流下試験方法(案)」(以下、V漏斗試験)およびJSCE-F 511「高流動コンクリートの充填試験方法」(以下、U型充填試験)を実施した。写真-1にV漏斗試験およびU型充填試験の実施状況を示す。

これらの試験は流動性と材料分離抵抗性の相互に関わる性能を評価する試験であり、その結果は単位水量(W)、単位粗骨材絶対容積(Vg)、混和剤の使用量などの配合要因に影響される。そのため、水セメント比を38%で固定し、Wを160~172kg/m³、Vgを0.300~0.320m³/m³、混和剤のセメント質量に対する添加率を0.75~1.5%の範囲とし、適宜修正しながら繰り返し練混ぜを行った。このうちスランプフローが600±50mmの範囲、かつ、500mmフロー到達時間および空気量が表-2の目標値を満足した29配合について、配合要因と試験結果の関係を整理した。

3.2 配合要因と試験結果の整理

(1) 単位水量と増粘剤一液型高性能AE減水剤の関係

図-1に29配合における単位水量と増粘剤一液型高性能AE減水剤(以下、SP)の添加率の関係を示す。なお、ここには両者が同じでVgが異なるデータを含めている。そのほかの配合要因の影響もあるため、若干のばらつきはあるものの、SPの添加率が大きいほど単位水量が少なくなる傾向にある。このことから、本検討の範囲では、PCプレキャスト部材のような高強度に対して増粘剤一液型高性能AE減水剤を用いた場合も従来の高性能AE減水剤と同様にその使用量に比例した一定の減水効果があるものと考えられる。

(2) 配合要因とV漏斗流下時間の関係

表-1 骨材の品質 (A工場)

細骨材	硬質砂岩 砕砂	表乾密度 (g/cm ³)	2.64
		吸水率 (%)	0.96
		実積率 (%)	55.6
		粗粒率	2.68
		微粒分量 (%)	2.4
粗骨材	硬質砂岩 砕石	最大寸法 (mm)	20
		表乾密度 (g/cm ³)	2.66
		吸水率 (%)	0.45
		実積率 (%)	61.0
		粗粒率	6.66

表-2 試験方法と目標値

試験方法	測定項目	目標値
スランプフロー試験	スランプフロー	600±20mm
	500mmフロー到達時間	3~15秒
空気量試験	空気量	4.5±1.5%
V漏斗試験	V漏斗流下時間	7~20秒
U型充填試験	U型充填高さ	300mm以上



写真-1 V漏斗試験, U型充填試験

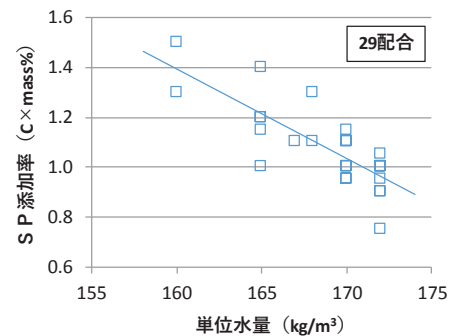


図-1 単位水量とSP添加率の関係

29配合のうち、V漏斗試験を実施した17配合について、**図-2**、**3**にそれぞれ単位水量、単位粗骨材絶対容積とV漏斗流下時間の関係を示す。V漏斗流下時間は単位水量が大きいほど、単位粗骨材絶対容積が小さいほど小さくなる傾向が見られる。さらにV漏斗流下時間の目標値7~20秒を満足する場合は単位水量が168~172kg/m³、単位粗骨材絶対容積が0.300~0.308m³/m³の範囲にある。また、単位水量が170kg/m³であるにも関わらずV漏斗流下時間が目標値から大きく外れている配合の単位粗骨材絶対容積は0.315m³/m³であり、一方、単位粗骨材絶対容積が0.300m³/m³であるにも関わらず、V漏斗流下時間が目標値から大きく外れている配合の単位水量は165kg/m³となっている。このことから、V漏斗流下時間は単位水量と単位粗骨材絶対容積の相互バランスにより特性が決定され、本検討の範囲では、単位水量を168kg/m³以上、かつ、単位粗骨材絶対容積を0.308 m³/m³以下とすることで、V漏斗流下時間が目標値を満足できるものと考えられる。

(3) 配合要因とU型充填高さの関係

29配合のうち、U漏斗充填試験を実施した21配合について、**図-4**、**5**にそれぞれ単位水量、単位粗骨材絶対容積とU型充填高さの関係を示す。V漏斗流下時間と同様に、U型充填高さは単位水量が大きいほど、単位粗骨材絶対容積が小さいほど小さくなる傾向が見られる。さらにU型充填高さの目標値300mm以上を満足しない配合は、単位水量が160kg/m³の1配合と165kg/m³の2配合、また、単位粗骨材絶対容積が0.310m³/m³の1配合と0.320m³/m³の2配合であった。目標値を満足しない配合数は減少したものの概ねV漏斗流下時間と同じ傾向であり、同様に単位水量を168kg/m³以上、かつ、単位粗骨材絶対容積を0.308 m³/m³以下とすることで、U型充填高さが目標値を満足できるものと考えられる。

3.3 配合とフレッシュ性能

以上の整理から、高流動コンクリートの配合は単位水量を170kg/m³、SP添加率を1.0%、単位粗骨材絶対容積を0.308m³/m³とすることが妥当であると考えられた。**表-3**に配合表を示す。あわせて従来の普通コンクリートの配合も示す。**表-4**に高流動コンクリートのフレッシュ性能の試験結果を示す。**写真-2**にスランプフロー試験状況を示す。いずれの試験も目標値を満足し、また、目視による性状も良好であり、十分な流動性、材料分離抵抗性および自己

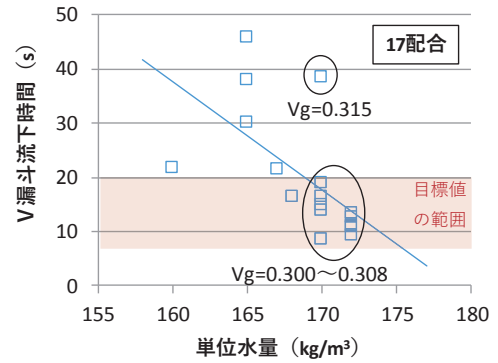


図-2 単位水量とV漏斗流下時間の関係

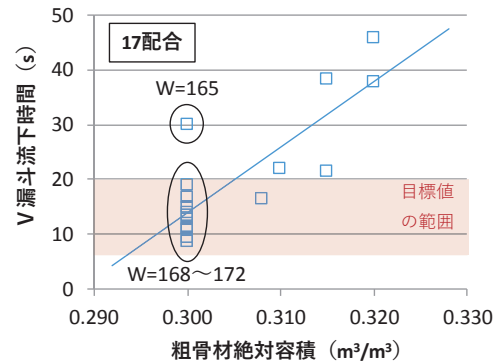


図-3 単位粗骨材絶対容積とV漏斗流下時間の関係

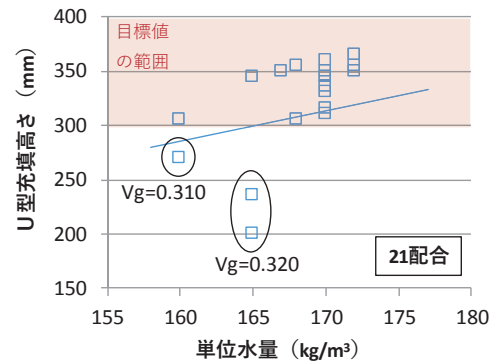


図-4 単位水量とU型充填高さの関係

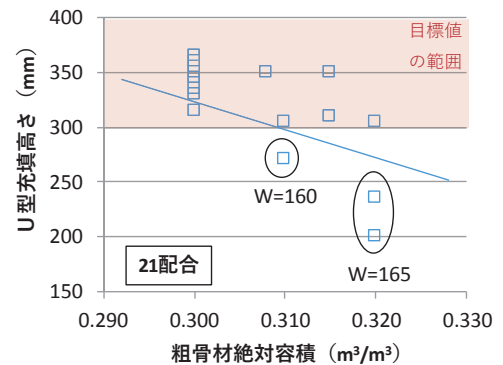


図-5 単位粗骨材絶対容積とU型充填高さの関係

充填性が得られることが確認できた。

3.4 従来の普通コンクリートとの比較

上記の高流動コンクリートの品質の妥当性を確認するため、従来の普通コンクリートと凝結特性、硬化特性、収縮特性およびクリープ特性を比較した。普通コンクリート(表-3)では高性能 AE 減水剤を使用し、それ以外は同じ材料を用いた。また、試験に用いた試料のスランブは 12cm、空気量は 5.1%であった。

(1) 凝結時間

凝結時間は JIS A 1147 に準じて測定した。図-6 に凝結時間の測定結果を示す。高流動コンクリートは普通コンクリートよりも凝結始発までの時間が 45 分程度長くなった。これは混和剤の使用量が多いことに起因していると考えられる。しかし、PCプレキャスト部材を蒸気養生で製造する場合、コンクリート表面の品質を低下させないように蒸気養生の開始を凝結始発以降とする必要があるため²⁾、その遅れが労働時間を増加させることとなる。そのため、生産性の向上に資するためには硬化促進剤の使用など適切な方法で凝結の遅延を抑制する対策³⁾が必要であると考えられる。

(2) 圧縮強度および静弾性係数

圧縮強度および静弾性係数はそれぞれ JIS A 1108, JIS A 1149 に準じて測定した。供試体は4組採取し、1組を20℃で気中養生、1組を標準養生、2組を材齢18時間蒸気養生したのちに脱型して20℃で気中養生した。蒸気養生は前置き20℃を5時間、最高温度55℃を5時間とし、養生温度の上昇および下降勾配を15℃/時とした。試験は材齢18時間に気中養生と蒸気養生の各1組、材齢7日に蒸気養生1組、材齢28日に標準養生1組の供試体を用いて実施した。図-7, 8 に圧縮強度と静弾性係数の測定値を示す。通常、呼び強度50N/mm²のPCプレキャスト部材における圧縮強度の規定はプレストレス導入時(本稿では、材齢18時間を想定)で35N/mm²以上、保証材齢7日で設計値50N/mm²以上を満足する必要があるが、いずれもそれを上回る結果であった。しかし、普通コンクリートと比較して高流動コンクリートは圧縮強度が気中養生の材齢18時間で若干小さく、それ以外では大きくなり、また、静弾性係数は材齢28日で設計値33kN/mm²を上回るものの全体的に小さくなる傾向であった。これは凝結の遅延にともなって初期の有効材齢時では強度発現が若干遅れること、その影響以降は単位骨材量が少ないことから強度が大きく、静弾性係数が小さくなったと考えられる。

(3) 乾燥収縮、自己収縮およびクリープ

乾燥収縮ひずみ、自己収縮ひずみおよびクリープひずみはそれぞれ JIS A 1129, JCI-SAS2 における埋込みゲージ法, JIS A 1157 に準じて測定した。図-9, 10, 11 にそれぞれ乾燥材齢182日までの乾燥収縮ひずみの測定値、材齢91日までの自己収縮ひずみの測定値、材齢91日までのクリープひずみの測定値を示す。いずれも高流動コンクリートは普通コンクリートとほぼ同等であった。

(4) 塩化物イオン浸透深さ

塩化物イオン浸透深さは角柱供試験体100×100×400mmを用いて塩水浸漬試験により測定した。供試体は材齢1週まで20℃で水中養生し、温度20℃、相対湿度60%で12時間乾燥させてから打込み面、底面および両端面をエポキシ樹脂塗料で被覆したのちに、材齢1週から温度20℃、濃度10%の塩化ナトリウ

表-3 高流動コンクリートの配合

	W/C	s/a	Vg	SP	単位量 (kg/m ³)			
	%	%	m ³ /m ³	%	W	C	S	G
高流動	38	52.1	0.308	1.0	170	447	876	816
普通	38	42.0	0.391	0.6	153	403	747	1039

表-4 フレッシュ性能

測定項目	試験結果		目標値
スランブフロー	mm	600	600±20mm
500mmフロー到達時間	s	5.2	3~15秒
空気量	%	5.0	4.5±1.5%
V漏斗流下時間	s	16.4	7~20秒
U型充填高さ	mm	350	300mm以上

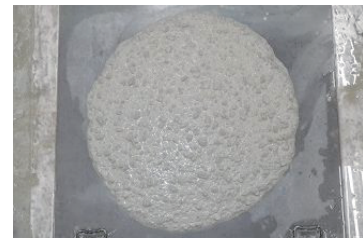


写真-2 スランブフロー

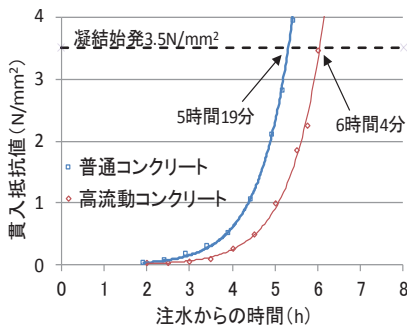


図-6 凝結時間

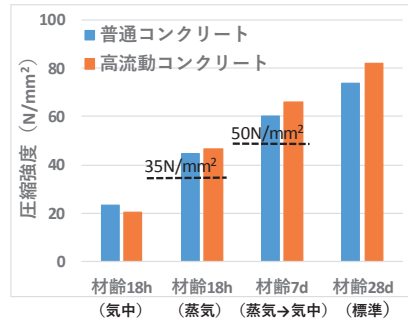


図-7 圧縮強度

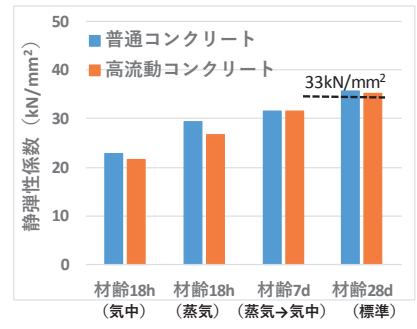


図-8 静弾性係数

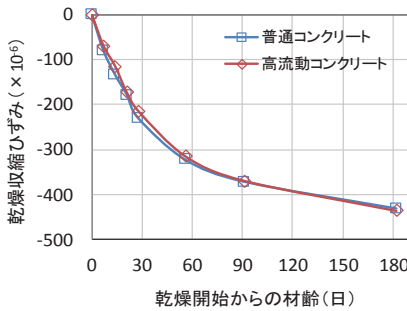


図-9 乾燥収縮ひずみ

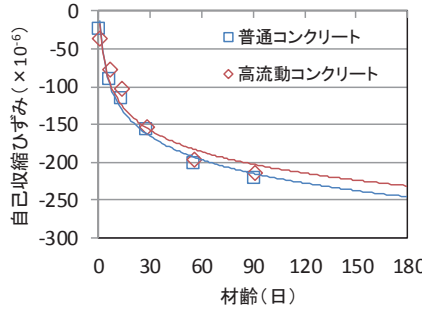


図-10 自己収縮ひずみ

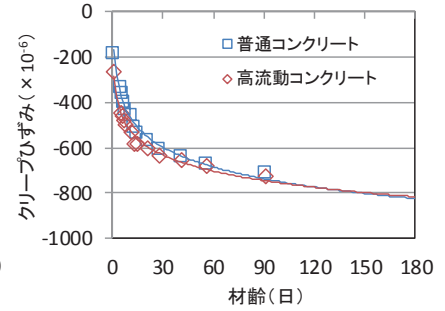


図-11 クリープひずみ

ム水溶液中に浸漬し、浸漬開始から1, 4, 8, 13週となったときに供試体を割裂して硝酸銀溶液を噴霧して塩化物イオン浸透深さを測定した。図-12に材齢91日までの塩化物イオン浸透深さの測定値を示す。高流動コンクリートは普通コンクリートとほぼ同等であった。

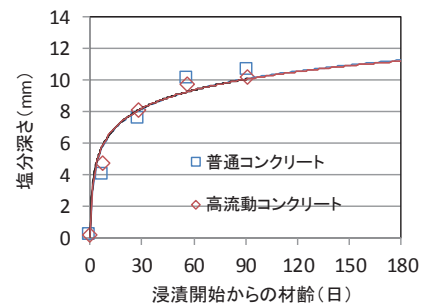


図-12 塩化物イオン浸透深さ

(5) 考察

高流動コンクリートは従来の普通コンクリートと比較して、混和剤の使用量が多いことが要因と思われる凝結の遅延はあるものの、圧縮強度、静弾性係数、乾燥収縮、自己収縮、クリープおよび塩化物イオン浸透深さなどの品質・耐久性はほぼ同様であることが分かった。これは水セメント比やセメントの種類、骨材が同じであることが要因と考えられる。

4. シリーズII

4.1 各工場の配合および試験結果

(1) 配合およびフレッシュ性能

シリーズIの検討結果の整理をもとにB工場およびC工場の配合を設定して、フレッシュ試験、圧縮強度試験および静弾性係数試験を実施した。なお、水セメント比はそれぞれ工場の従来の普通コンクリートと同じとし、B工場、C工場ともに36%とした。表-5, 6に各工場の使用骨材と配合を示す。骨材品質の影響が考えられたため、A工場を基準として、B工場は流動性が確保しやすい石灰系骨材の使用や細骨材の実積率が大きいことから単位水量を小さくした。C工場は細骨材の実積率が小さく、粗骨材の粗粒率が大きいため、適度な単位セメント量が必要と考えられたことから単位水量を多く、かつ、単位粗骨材絶対容積を小さくした。最終的に目標スランプスローが満足するようSPの添加率で調整した。表-7にフレッシュ性能の結果を示す。いずれの試験も目標値を満足し、A工場とほぼ同等な性能が得られた。また、目視による性状も良好であった。

(2) 強度試験結果

試験方法はシリーズ I と同様とし、試験は材齢18時間に蒸気養生1組、材齢7日に蒸気養生1組、材齢28日に標準養生1組の供試体を用いて実施した。図-13に圧縮強度と静弾性係数の測定結果を示すが、いずれも所定の品質を満足した。また、各工場を比較すると圧縮強度はほぼ同等であり、それぞれ従来と同じ水セメント比であったことが要因と推察される。一方、B工場ではヤング係数が大きい石灰系骨材を使用していることから静弾性係数が大きくなったと推察され、この傾向も従来の普通コンクリートと同様であった。

表-5 使用骨材の品質

		A工場	B工場	C工場
細骨材	種類	砕砂	砕砂	砕砂
	岩種	硬質砂岩	石灰岩	結晶片岩
	表乾密度 (g/cm ³)	2.64	2.67	2.68
	吸水率 (%)	0.96	0.87	0.80
	実積率 (%)	55.6	57.6	55.3
	粗粒率	2.68	2.80	2.76
		2.4	2.3	1.2
粗骨材	種類	砕石	砕石	砕石
	岩種	硬質砂岩	石灰岩	結晶片岩
	最大寸法 (mm)	20	20	20
	表乾密度 (g/cm ³)	2.66	2.70	2.72
	吸水率 (%)	0.45	0.42	0.45
	実積率 (%)	61.0	61.0	62.0
	粗粒率	6.66	6.35	6.82

5. まとめ

高強度のPCプレキャスト部材を対象に高流動コンクリートの配合と物性を検討した結果、本稿の範囲において、以下の知見が得られた。

- 1) 通常使用している材料を変更することなく、増粘剤-液型高性能 AE 減水剤を使用して、単位水量と単位粗骨材絶対容積の配合を調整するだけで容易に高流動コンクリートが製造できることが分かった。
- 2) 上記 1) の結果として、従来の普通コンクリートと同等の硬化特性、収縮特性、クリープ特性および塩化物イオン浸透抵抗性を確保できることが分かった。
- 3) 本検討で配合した高流動コンクリートは従来の普通コンクリートと比較して、凝結時間が遅延することから、生産性を低下させないために適切な対策を講じることが望ましいと考えられる。
- 4) 3 工場において同等の性能を確保するための配合が異なり、これには骨材品質の違いが影響していると考えられる。骨材品質を考慮して配合を調整した各工場の高流動コンクリートは高流動指針のフレッシュ性能の目標値を満足し、圧縮強度も所定の品質を満足することを確認した。

表-6 各工場の配合

	W/C	s/a	Vg	SP	単位量 (kg/m ³)			
	%	%	m ³ /m ³	%	W	C	S	G
A工場	38	52.1	0.308	1.00	170	447	447	816
B工場	36	52.2	0.308	0.90	165	458	458	832
C工場	36	52.0	0.300	1.10	175	486	486	816

表-7 フレッシュ性能の比較

測定項目	試験結果			目標値	
	A工場	B工場	C工場		
スランプフロー	mm	600	610	618	600±20mm
500mmフロー到達時間	s	5.2	6.0	6.2	3~15秒
空気量	%	5.0	4.8	4.2	4.5±1.5%
V漏斗流下時間	s	16.4	13.4	17.0	7~20秒
U型充填高さ	mm	350	355	345	300mm以上

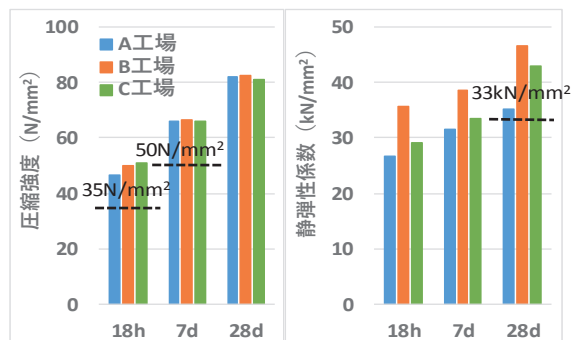


図-13 圧縮強度および静弾性係数

参考文献

- 1) (社)土木学会：高流動コンクリートの配合設計施工指針，2012.6
- 2) 中村，北澤，並木，呉：蒸気養生で製造されるコンクリートの表層品質，プレストレストコンクリート工学会第23回シンポジウム論文集，pp.77-80，2014.10
- 3) 中村，北澤，佐々木，呉：蒸気養生で製造するコンクリートの品質向上に関する早強剤の効果，プレストレストコンクリート工学会第24回シンポジウム論文集，pp.621-626，2015.10