

論文 スランプの保持特性と打重ね性能に及ぼす配合要因の影響に関する研究

大友 健^{*1}・府川 徹^{*2}・新藤 竹文^{*3}

要旨：セメント種類・減水剤の種類が異なる6種類の高性能AE減水剤コンクリートおよび4種類のAE減水剤コンクリートにおいて測定した静置条件でのスランプの保持状態およびプロクター貫入抵抗値から判定した凝結特性と許容打重ね時間との関係から、設計スランプの大きさなどの配合要因がこれらの特性に及ぼす影響を考察したところ、高性能AE減水剤コンクリートにおいては、設計スランプと凝結始発時間あるいは設計スランプとスランプ保持状態から、各々許容打重ね時間が推定できる可能性が明らかとなった。

キーワード：打重ね、許容打重ね時間、凝結、スランプ、施工性能、高性能AE減水剤

1. はじめに

コンクリート標準示方書の性能照査型への移行にともない、コンクリートの施工性能の評価に関する技術的な蓄積の必要が増している。施工性能としてワーカビリティが重要なものであることはいままでのないが、この一つの要素であるスランプの大きさとその保持特性は、いわゆる打重ね性能に関与する凝結特性とも関連して、良質な構造体を構築するのに重要な評価項目であると考えられる。このような背景から、著者らは、既報¹⁾において報告したように、コンクリートのスランプ保持状態とプロクター貫入抵抗試験により評価される許容打重ね時間などとの関係についての調査を継続している。

本研究は、これらの調査により得られた結果に基づいて、設計スランプなどの配合要因が、静置条件でのスランプの保持状態およびプロクター貫入抵抗値から判定した凝結特性と許容打重ね時間との関係に及ぼす影響について考察したものである。

2. コンクリートの要求性能と配合・使用材料

対象とした工事事例ごとのコンクリートの要

求性能と実験時の温度条件を表-1に、コンクリートの仕様・配合と使用材料を表-2に示す。これらは、各工事の施工計画に際して検討されたものであるため、試験温度や使用材料などに統一性はない。各々の設定の背景については文献1)～6)を参照されたい。ここで、事例1～事例6では、高性能AE減水剤コンクリートを主に検討した。事例7・8はAE減水剤コンクリートである。事例1および事例2では、同じ配合において、コンクリート温度がスランプの経時変化と凝結特性に及ぼす影響を検討している。

表-1 要求性能と温度条件

事例	スランプ (cm)	スランプ保持 設定時間(分)	静置条件 での評価値	コンクリート温度
1	現着18 (筒先15以上)	運搬30+施工30 +圧送余裕30	90分後 15cm程度	5,10,20, 30,38°C
2 ²⁾	現着21 (筒先15以上)	運搬15+施工30 +圧送余裕45	90分後 18cm以上	14,20,30 °C
3 ³⁾	現着21 (筒先18以上)	運搬90+施工30 +圧送余裕30	150分後 19.5cm以上	28°C
4	現着15 (筒先12以上)	運搬30+施工30 +圧送余裕30	90分後 12cm以上	24°C
5 ⁴⁾	製造時10 (現プラ使用)	運搬10+圧送・ 打込み余裕50	60分後 6.5cm以上	20~ 27°C
6 ⁵⁾	現着10 (筒先8程度)	運搬30+圧送・ 打込み余裕30	60分後 6.5cm以上	13°C
7 ⁶⁾	現着8以上 (通常のAEコン)	運搬30+圧送・ 打込み余裕30	60分後 6.5cm以上	29°C
8	現着12以上 (通常のAEコン)	運搬30+圧送・ 打込み余裕15	45分後 8.0cm以上	22°C

*1 大成建設 (株) 技術センター土木技術研究所土木構工法研究室主任研究員 博(学術) (正会員)

*2 大成建設 (株) 技術センター土木技術研究所土木構工法研究室主任研究員 (正会員)

*3 大成建設 (株) 技術センター土木技術研究所土木構工法研究室チームリーダー 博(工) (正会員)

表-2 コンクリートの仕様・配合と使用材料

No.事例-配合	粗骨材の最大寸法(mm)	設計スランブ(cm)	水セメント比(%)	細骨材率(%)	単位量(kg/m ³)							材料				
					水	セメントC	石灰石粉末LS	細骨材	粗骨材	高性能AE減水剤(Px%)	その他の混和剤(Px%)	セメント	粗骨材	細骨材	高性能AE主成分	スランブ保持性調整混和剤
1-1	20	18	38.0	45.0	160	421	-	767	965	0.80	-	早強	碎石	陸砂	SP1	A,B,C,Zの4種
1-2	20	18	38.0	45.0	163	429	-	761	954	1.05	-					
1-3	20	18	38.0	44.8	165	434	-	753	954	1.30	-					
2-1	20	18	40.0	44.4	183	458	-	715	887	-	(標準量)*1	高炉B	高炉スラグ	山砂	-	-
2-2	20	18	40.0	44.4	158	395	-	770	951	0.65	0.0,0.30*2					
2-3	20	21	40.0	44.4	163	408	-	759	938	0.65,0.80	0.0-0.20*2	早強	山砂利	山砂	SP2	R0,R*2で調整
3	25	21	39.0	48.0	160	410	-	836	914	1.60	-					
4-1	20	15	55.0	52.1	171	311	-	924	888	0.87	-	低熱	碎石	混合砂*3 混合砂*4	SP1	A相当
4-2	20	15	55.0	52.1	171	311	-	977	894	0.85	-					
5-1	40	10	59.2	39.4	148	250	80	712	1133	0.55,0.65	-	低熱	碎石	砕砂	SP3	BL,BLL K0,K1,K2
5-2	40	10	59.2	38.7	148	250	100	682	1133	0.65	-					
6-1	20	8	54.0	45.8	159	294	-	678	1023	-	(標準量)*1	高炉B	碎石	砕砂+川砂	-	-
6-2	20	8	54.0	46.2	156	289	-	689	1023	0.70	-					
6-3	20	8	54.0	46.6	156	289	-	702	1023	0.75	-	低熱	川砂利	川砂	-	-
7-1	25	8	52.0	41.0	151	290	-	765	1108	-	(標準量)*1					
7-2	25	8	55.0	43.4	157	286	-	810	1063	-	(標準量)*1	高炉B	碎石	砕砂+川砂	-	-
8-1	20	12	55.0	46.0	162	295	-	832	1012	-	(標準量)*1					
8-2	20	12	55.0	46.4	159	289	-	845	1012	-	(標準量)*1	低熱高炉	碎石	砕砂+川砂	-	-

SP1:ポリカルボン酸系化合物(標準型)(F社製)(Z→A→B→Cの順にスランブ保持能力が大,事例4のSP1はAと同等)
 SP2:ポリカルボン酸エーテルと配向ポリマーの複合体(遅延型)(P社製)(R0→R2→R3の順にスランブ保持能力が大)
 SP3:ポリカルボン酸エーテル分子内架橋ポリマー複合体(P社製)(BL→BLL,K0→K1→K2の順にスランブ保持能力が大)
 *1 AE減水剤(標準形)(リグニンスルホン酸化合物系(P社製)) *3石灰石砕砂と高炉スラグ細骨材
 *2 遅延剤:変成リグニンスルホン酸化合物とオキシカルボン酸化合物の複合体(P社製) *4加工砂と石灰石砕砂

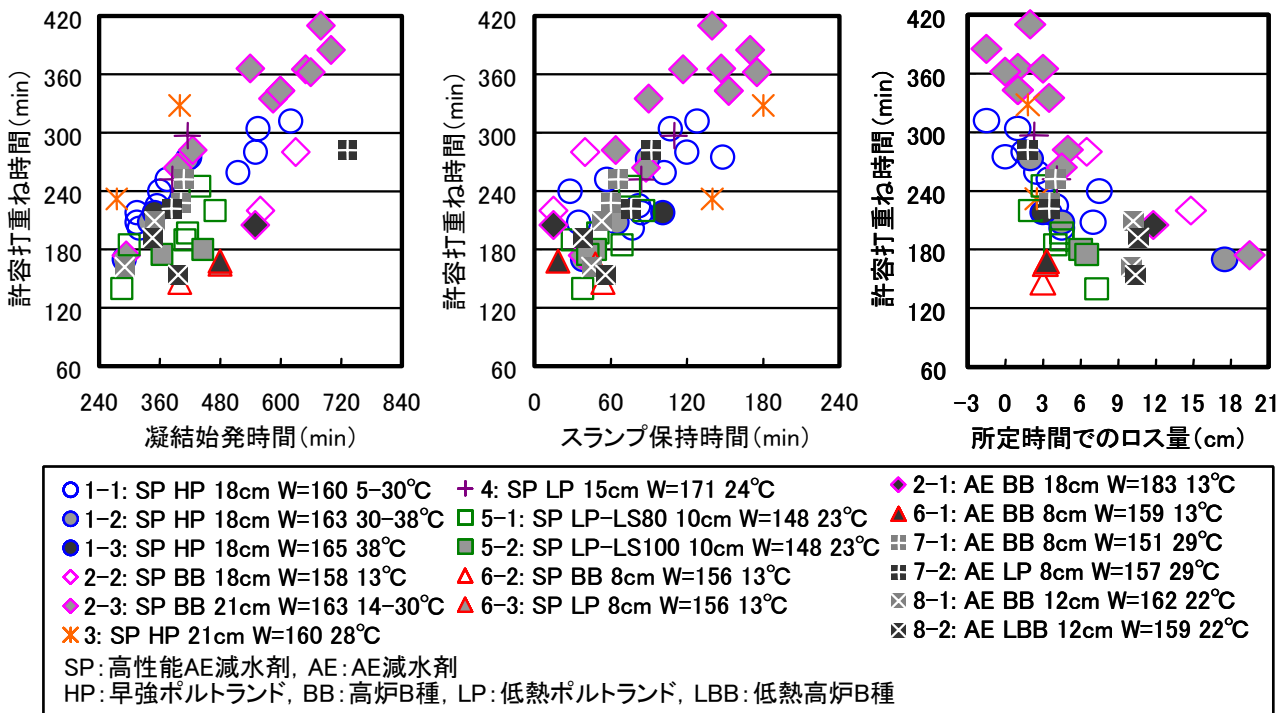


図-1 凝結始発時間・スランブ保持状態が許容打重ね時間に及ぼす影響

3. 実験方法と評価項目

スランブの経時変化は、湿布で覆った練船中にコンクリートを所定の時間静置し測定前に数回切り返してからスランブを測定する方法によ

った。練上りからスランブが変化して評価値を下回るようになるまでの時間をスランブ保持時間とし、練上りのスランブから保持設定時間までのスランブの変化量を所定時間でのスランブ

ロス量とした。測定時間内でスランプロス量が小さかったデータについては、測定したスランブの変化を二次曲線で近似してそれ以降の変化を推定した。許容打重ね時間は、プロクター貫入抵抗試験によって $0.1\text{N}/\text{mm}^2$ の貫入抵抗値が得られた時間とした⁷⁾。

4. 実測データの傾向と温度の影響の補正

表-2 の各々の配合において測定された許容打重ね時間を、凝結始発時間・スランブ保持時間・所定時間でのスランブロス量との関係として図-1に示す。凝結始発時間が遅くなるほど、スランブ保持時間が長くなるほど、許容打重ね時間が大きくなる傾向があるが、配合の種別などの特徴は明確ではなく、一定の凝結始発時間あるいは一定のスランブ保持状態に対する許容打重ね時間の最大最小の差が150分程度以上にもなる。所定時間でのスランブロス量と許容打重ね時間との関係では、配合ごとの反比例関係があるようにも見える。

これらの図には、コンクリート温度が大きく異なる条件での試験値が混在している。たとえば事例1および事例2において、コンクリート温度により凝結始発時間・許容打重ね時間・スランブの保持状態は図-2に示すように変化している。そこで図-3に示すように、凝結始発時間・許容打重ね時間・スランブ保持時間については各々有効材齢 (t_{eff} :ここでは、コンクリート温度 20°C の時に相当する材齢 (時間) と定義し

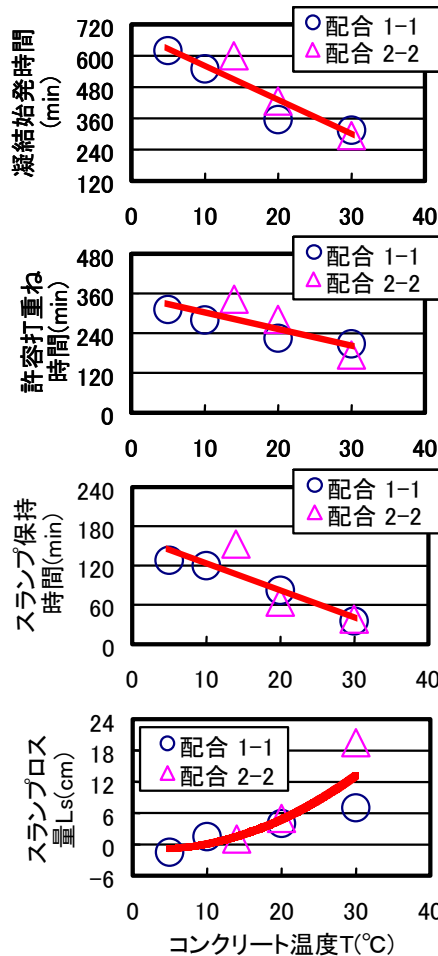


図-2 コンクリート温度が凝結時間・許容打重ね時間とスランブ保持状態に及ぼす影響

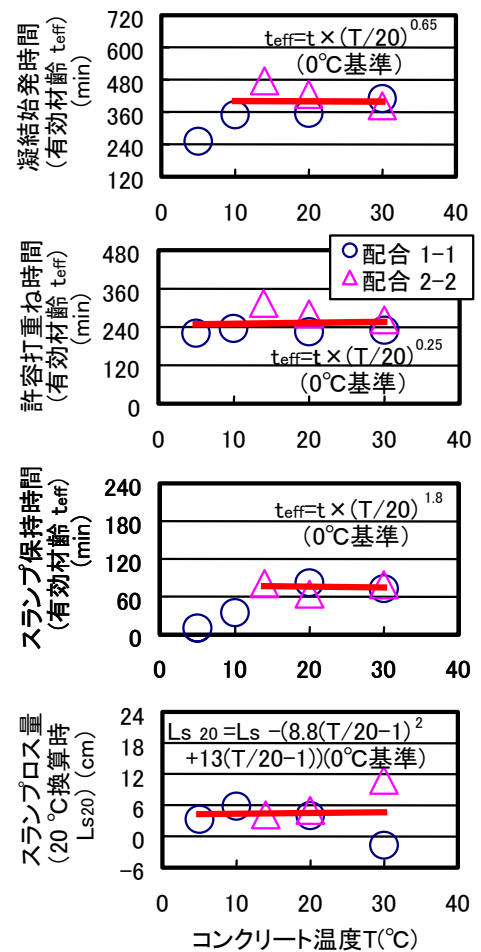


図-3 コンクリート温度の影響の補正方法

た)を用いる¹⁾ことで、スランブロス量においてはコンクリート温度が 20°C 時における換算ロス量をもちいることで、コンクリート温度の影響を相対的に補正することとした。

コンクリート温度が 13°C から 30°C の範囲で得られた高性能 AE 減水剤コンクリートに関する測定データについて、図-3中に示す式により温度の影響を補正した状態での、許容打重ね時間に及ぼす凝結始発時間・スランブ保持時間・所定時間でのスランブロス量の影響を図-4に示す。この場合、凝結始発時間と許容打重ね時間との関係では、一定の始発時間に対する許容打重ね時間の変化幅がやや小さくなったようであるが、スランブ保持時間・所定時間でのスランブロス量では、むしろ配合の種別によって許容打重ね時間の早遅が際立つようになっている。

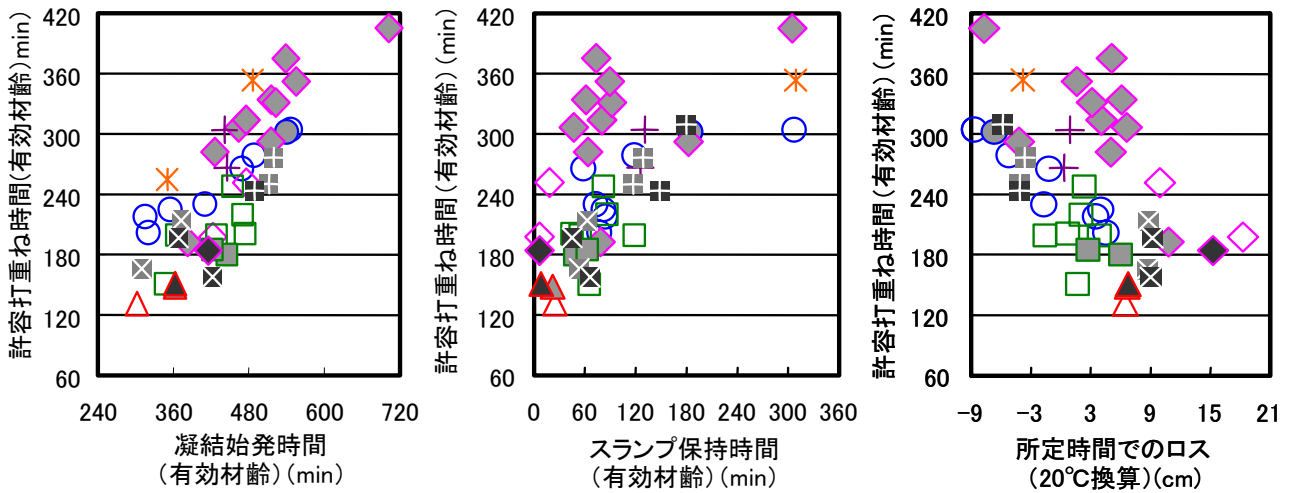


図-4 温度補正後の許容打重ね時間に及ぼす凝結始発時間・スランプ保持状態の影響
(凡例は図-1 と同様である)

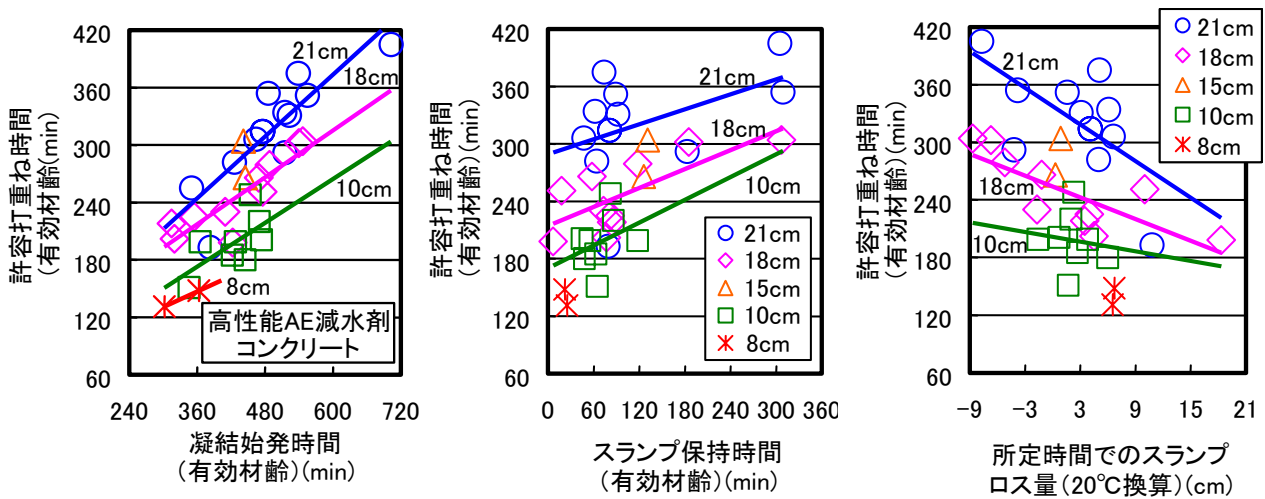


図-5 設計スランプが凝結始発時間・スランプ保持状態と許容打重ね時間との関係に及ぼす影響

5. 許容打重ね時間に及ぼすスランプの影響

この配合種別ごとの相違を、設計スランプの相違ごとに分類して図-5に示す。同じ凝結始発時間であれば、スランプの大きい配合ほど許容打重ね時間が大きくなることが明らかである。スランプ保持時間・所定時間でのスランプロス量と許容打重ね時間との関係においても、一定のばらつきはあるもののスランプが大きいものほど許容打重ね時間が大きくなる傾向にある。

図-5中に示される近似線を、各々の関係ごとに、任意の設計スランプに対する傾きと切片として表わした結果を図-6に示す。この関係を用いれば、設計スランプと凝結時間あるいは設計スランプとスランプの保持状態から許容打重ね

時間を推定することが可能となる。図-7は、実測値の上に、図-6に示された式によって得られた関係を用いて求めた設計スランプ毎の許容打重ね時間の計算値を示したものである。

図-8は、AE減水剤コンクリートを対象として、凝結始発時間・スランプ保持状態と許容打重ね時間との関係を示したものである。この場合は、高性能AE減水剤コンクリートとは異なり、設計スランプの大きさの影響は表れておらず、凝結始発時間が大きいほど、スランプの保持状態が良いほど、許容打重ね時間が大きくなる傾向が認められた。

6. 許容打重ね時間に及ぼすその他の影響要因

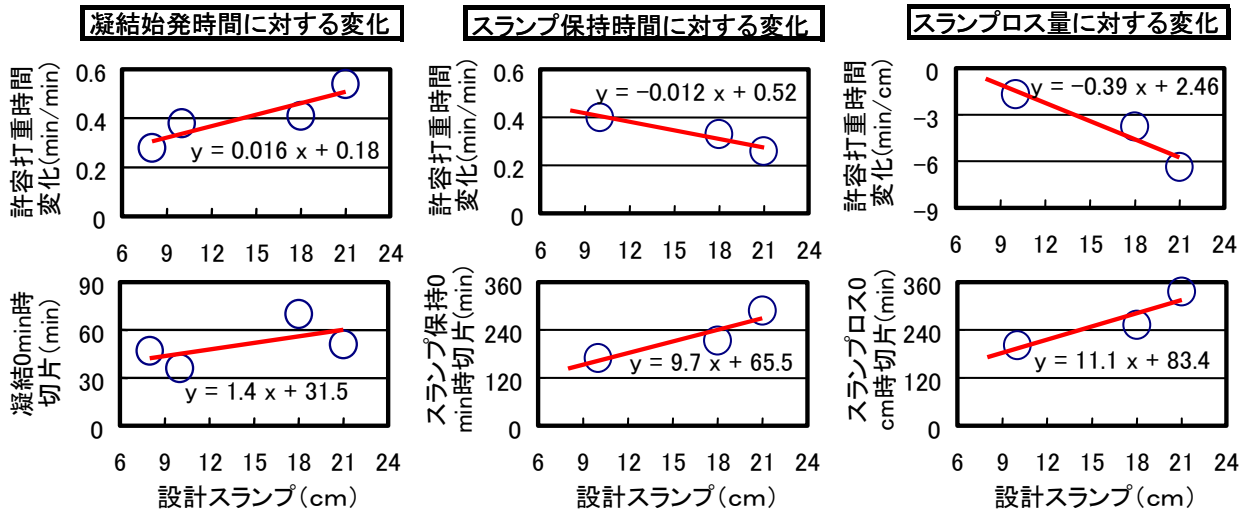


図-6 異なる設計スランプ時の許容打重ね時間の傾きおよび切片

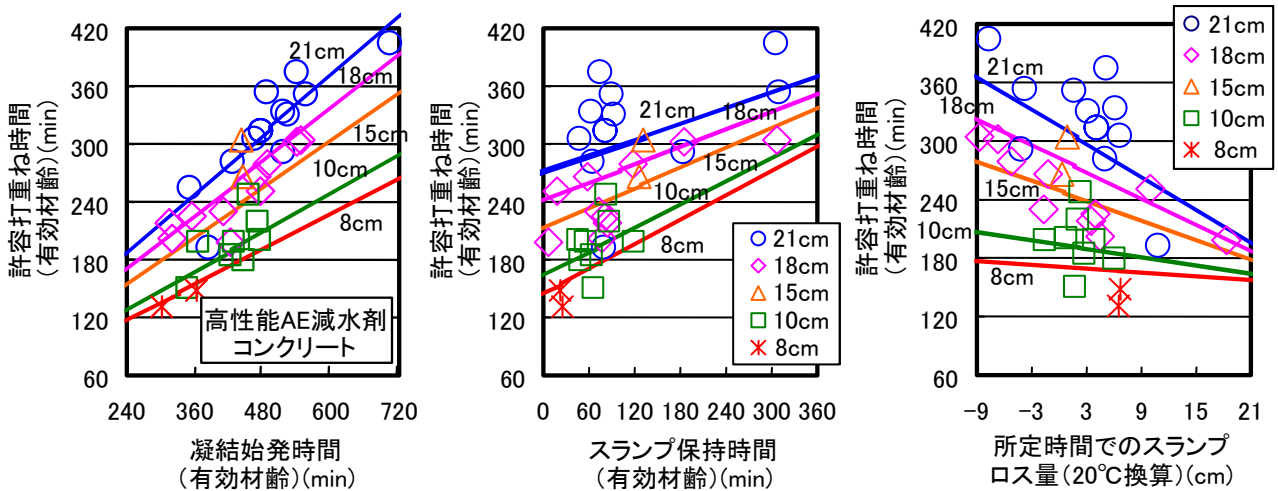


図-7 定式により得た設計スランプ・凝結始発時間・スランプ保持状態と許容打重ね時間との関係

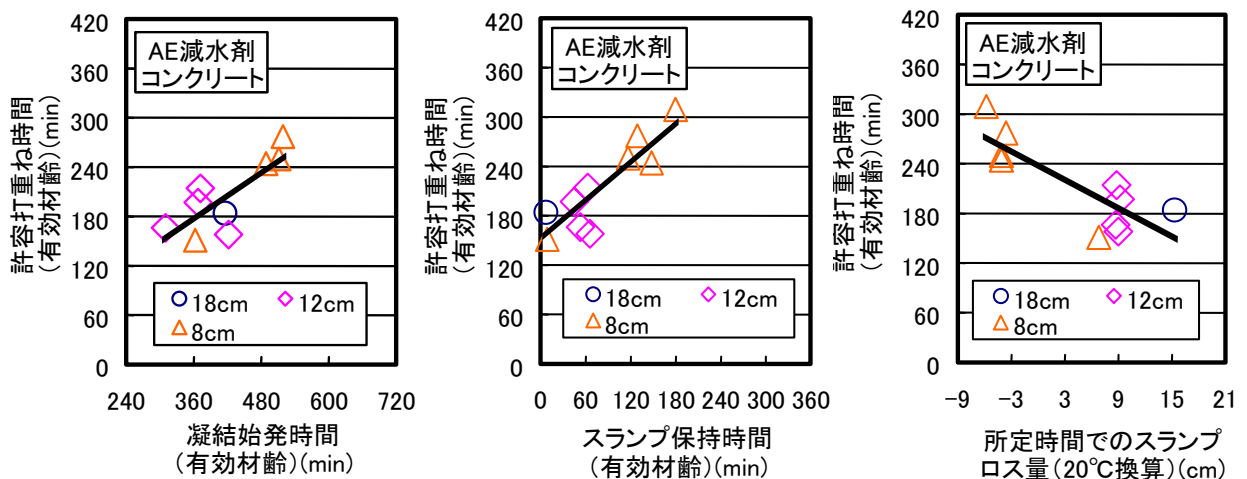


図-8 AE 減水剤コンクリートにおける凝結始発時間・スランプ保持状態と許容打重ね時間との関係

図-9 には、同等の設計スランプで異なる配合での許容打重ね時間の変化状況を示した。一般的な考え方として、硬化速度の速いセメントで

は許容打重ね時間が小さくなるのではないかと、また、単位水量あるいは水セメント比が小さければ、各々許容打重ね時間が小さくなるのでは

ないか、と思われたが、ここで示したデータの範囲においては、明確な傾向は認められなかった。

同じ材料を用いて、配合のみを変化させるのであれば、前述のような変化傾向も想定されるが、ここで示した配合はいずれも、各々に与えられた材料に対して、工事に適

切となる、結果的に最適なワーカビリティとなるように調整されたものである。そのため、単に、材料の性質や単独の配合要因によってのみ影響を受けるものにはなっていないと推察される。

7. まとめ

種々の高性能 AE 減水剤コンクリートおよび AE 減水剤コンクリートを対象として、設計スランプ等の配合要因が、静置条件でのスランプの保持状態およびプロクター貫入抵抗値から判定した凝結特性と許容打重ね時間との関係に及ぼす影響について検討したところ、限定されたデータからではあるが、以下が明らかとなった。

- (1) 高性能 AE 減水剤コンクリートにおいては、設計スランプと凝結始発時間あるいは設計スランプとスランプ保持状態を知ることによって、許容打重ね時間が推定できる可能性がある。
- (2) AE 減水剤コンクリートにおいては、設計スランプの大きさに関わらず、凝結始発時間が大きいほど、スランプの保持状態が良いほど、許容打重ね時間が大きくなる傾向がある。

参考文献

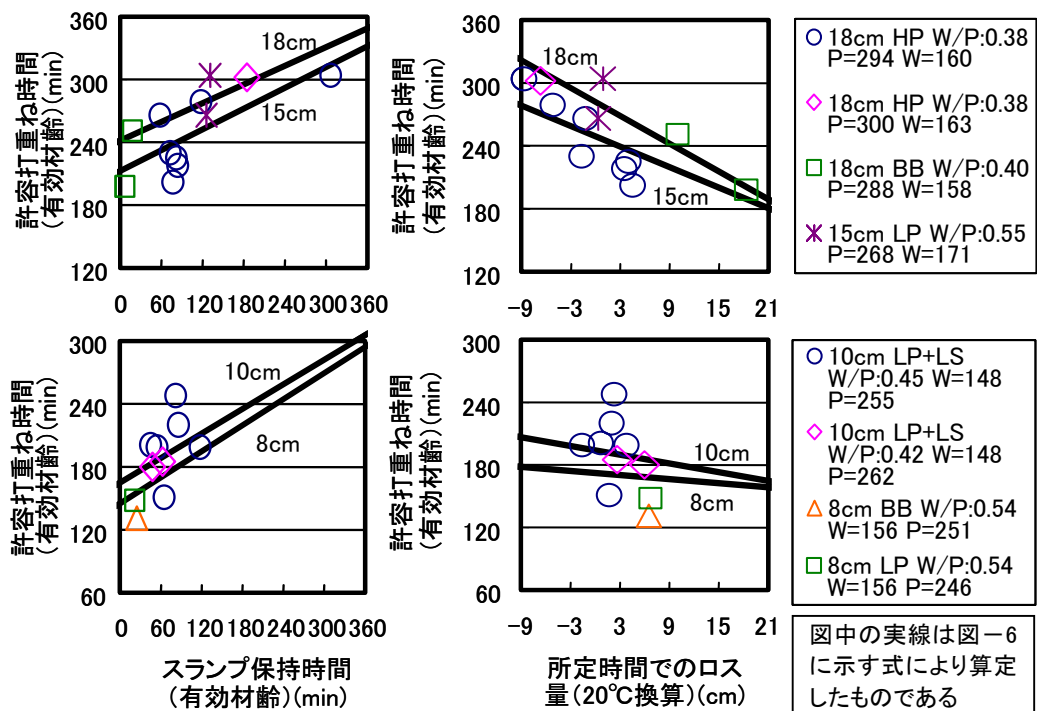


図-9 同等な設計スランプ条件での許容打重ね時間の変動傾向

- 1) 大友健ほか：高性能 AE 減水剤を用いたコンクリートのスランプ保持特性と打重ね性能, コンクリート工学, Vol.42, No.4, pp.7~17, 2004.4
- 2) 高野良広ほか：高炉スラグ粗骨材コンクリートの高所圧送によるサイロ構造物の急速施工, コンクリート工学, Vol.41, No.8, pp.46~52, 2003.8
- 3) 福永靖雄ほか：わが国最長スパン[265m]の鋼・コンクリート複合アーチ橋を架ける, セメント・コンクリート, No.674, pp.36~44, 2003.4
- 4) 大谷圭一ほか：世界最大の震動台をつくるー防災科学研究所実大三次元震動破壊実験施設震動台基礎工事ー, コンクリート工学, Vol.39, No.10, pp.35~41, 2001.10
- 5) 中江兼二ほか：低発熱収縮補償コンクリートによる高品質遮水壁の施工ー苫田鞍部ダム・コンクリートフェイシングのスリップフォーム工法ー, コンクリート工学, Vol.43, No.2, pp.49~55, 2005.2
- 6) 平野明德ほか：駅前市街地における国内最大級の陸上ニューマチックケーソン躯体の施工ー国内初の入札時 VE 設計施工提案型工事静岡駅前地下駐車場工事ー, コンクリート工学, Vol.41, No.8, pp.53~59, 2003.8
- 7) 岡沢智ほか：打重ね部の一体評価ー許容打重ね時間間隔の管理についてー, コンクリート工学, Vol.39, No.5, pp.83~88, 2001.5