

沖縄県の暑中期におけるコンクリート温度が品質に与える影響に関する実験

萩原望

1. はじめに

現在、地球温暖化が世界では問題になっており、日本においても猛暑日や気温 40 度を超える異常気象を記録するなど、暑中期のコンクリート施工において品質に更なる悪影響を与えることが懸念されている。

日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS 5 (以降、JASS 5) では暑中コンクリート工事において、高温により生じる様々な影響を考慮し、荷卸し時のコンクリート温度は、原則として 35°C 以下となるよう定められている。沖縄県内の生コンクリート工場は、他の地域よりも 1 ヶ月早い 5 月から暑中期としている。品質を確保するために材料を冷却し、遅延形の混和剤を使用するなど一般的な対策を講じているが、夏場の日中においてはコンクリート温度 35°C 以下を満たすことが難しいと考えられる。そこで本実験では、実際に沖縄県にて実機実験を行い、コンクリート温度が 35°C 以上の際にフレッシュ性状、圧縮強度に対してどのような影響をもたらすのかを明らかにすることを目的とする。

2. 実験概要

2.1 実施地区および時期の選定

地域性による変動を考慮し、本島中南部、本島北部、石垣、宮古の 4 地区に分けて実施した。実施時期については、外気温が最も上がると想定される 7 月～8 月とした。その詳細を表 2.1 に示す。また、宮古地区においては実施直前にコロナウィルス感染拡大の影響により実験中止を余儀なくされた。

2.2 使用材料

表 2.2 に本実験で使用した材料の詳細を示す。

2.3 コンクリートの調合と条件

表 2.3 に本実験で使用した調合と条件設定を示す。本実験は建築工事と土木工事の 2 つの工事を想定しており、練上がり 30 分後の目標スランプ値が 18cm と 12cm の 2 つの調合となっている。呼び強度は共通で 30N/mm² とした。また建築工事想定については荷卸し時のコンクリート温度の違いと混和剤の違いによる 3 つの条件設定、土木工事想定については荷卸し時のコンクリート温度の違いとフライアッシュの有無の違いによる 3 つの条件設定をしている。そのため条件⑥の空気量に関しては空気量の目標値が 2.0%

となっている。

2.3 実験内容

経時変化試験をトラックアジテータ車を用いて、練上がり直後、30 分後、60 分後、90 分後に行い、スランプ、空気量、コンクリート温度について調査した。それ以外に凝結試験、圧縮強度試験、中南部地区については模擬構造体 (1m×1m×1m) を作成し、温度履歴調査とコア採取を行い構造体強度についても調査した。

表 2.1 実施地区と実施日詳細

地区	実施日
中南部地区	令和 2 年 7 月 3 日、4 日
北部地区	令和 2 年 7 月 8 日、10 日
石垣地区	令和 2 年 7 月 16 日、8 月 10 日
宮古地区	コロナウィルスの影響により中止

表 2.2 使用材料

材料名	記号	種類・産地	密度 (g/cm ³)	実容率
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16	-
練り混ぜ水	W	工業用水・地下水・湧き水	1.00	-
細骨材	海砂	S ₁	沖縄本島初級産	2.57-2.60
	砕砂	S ₂	沖縄本島本部半島産	2.65
	砕砂	S ₃	石垣島産	2.95
粗骨材 (砕石 2005)	G ₁	沖縄本島本部半島産	2.69-2.70	59.0-60.0
	G ₂	石垣島産	2.69	59.2
混和剤	FA	フライアッシュ	2.24	-
混和剤	AD ₁	AE 減水剤 (遅延形)	1.05-1.08	-
	AD ₂	高性能 AE 減水剤 (遅延形)	1.08-1.09	-

表 2.3 調合と条件設定の詳細

建築工事想定							
条件	調合	呼び強度 (N/mm ²)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	混和剤	
①	30-18-20N	30	18±2.5	4.5 ±1.5	35°C 以下	AE 減水剤 (遅延形)	
②					35°C 以上	高性能 AE 減水剤 (遅延形)	
③						AE 減水剤 (遅延形)	
土木工事想定							
条件	調合	呼び強度 (N/mm ²)	目標スランプ (cm)	目標空気量 (%)	コンクリート温度 (°C)	混和剤	
④	30-12-20N	30	12±2.5	4.5 ±1.5	35°C 以下	AE 減水剤 (遅延形)	
⑤					35°C 以上		FA
⑥							

3 実験結果

3.1 コンクリート温度

図 3.1.1 は、コンクリート温度の経時変化試験の結果となっている。コンクリート温度は最高で 36.6°C となった。また図の 3.1.2 は本実験と並行して行った、沖縄県の生コンクリート工場のコンクリート温度実態調査の度数分布である。こちらの結果も最高温度は 36°C から 37°C の間となっており、本実験の結果は実際の施工と同等の温度となっているといえる。また式 (1) は日本建築学会が報告²⁾しているコンクリート温度推定式である。

$$\theta(t) = (\theta_0 - \theta_r + \beta) \exp(-\alpha \cdot t) + \theta_r \quad (1)$$

ここに、

$\theta(t)$: 時刻 t におけるコンクリート温度 (°C)

θ_0 : JASS 5 式で求められる温度 (°C)

θ_r : 運搬時の外気温 (日射の影響を考慮した相当外気温) (°C)

α : 外気とコンクリートとの熱の伝達の割合を表す係数 (1/時間)

β : セメントの水和熱および材料間の摩擦熱による温度上昇量 (°C)

t : 輸送時間 (時間)

30-18-20N の結果を用いて、式中の θ_r を求め、日射の影響度合いを確かめた。表 3.1 がその結果である。 θ_r と実際の外気温との差は 5°C 程度となり、沖縄の気候特性でもある強い日射を受けたと考えられる。

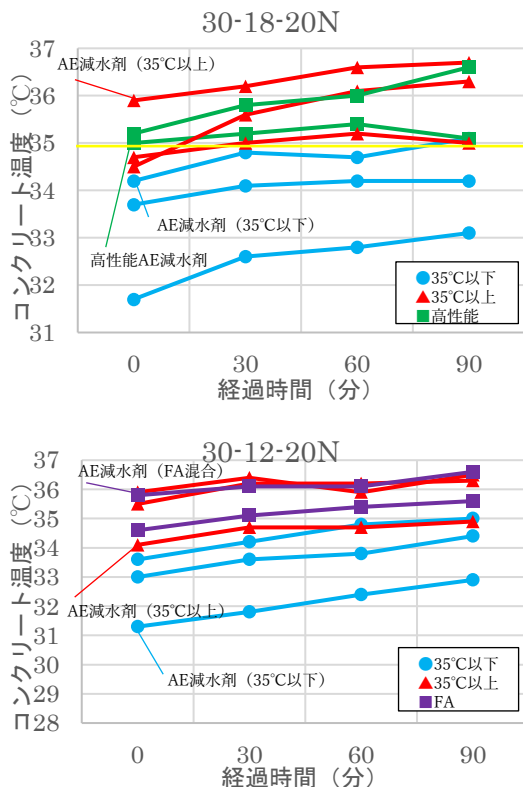
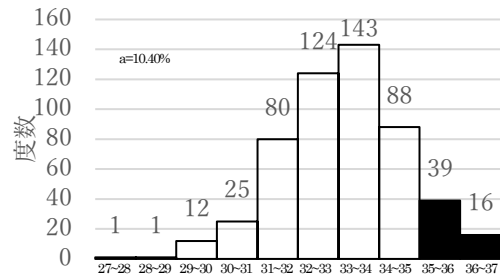


図 3.1.1 コンクリート温度の経時変化



荷卸し時のコンクリート温度 (°C)

図 3.1.2 各生コンクリート温度の度数分布

表 3.1 相当外気温と実際の外気温との差

条件		35°C以下 AE 減水剤	35°C以上 AE 減水剤	35°C以上 高性能
中南部 地区	相当外気温	35.4	36.9	35.1
	外気温との差	5.1	6.6	5.4
北部 地区	相当外気温	33.5	36.8	37.0
	外気温との差	0.9	4.8	5.0
石垣 地区	相当外気温	34.3	35.1	—
	外気温との差	5.3	2.5	—

3.2 温度履歴

図 3.2 は中南部地区で作成した模擬構造体の中央部の温度履歴を示している。30-18-20N では、コンクリート温度の違いによって差はなく、また高性能 AE 減水剤を用いることで最高温度を低くすることができた。30-12-20N では、こちらもコンクリート温度の違いによる差はなく、FA を用いた場合は最高温度を低くすることができた。

3.3 スランプ

図 3.3 はスランプの経時変化試験の結果となっている。30-18-20N について、AE 減水剤についてはコンクリート温度の違いによってスランプの変化量に大きな差はなかった。しかしながら高性能 AE 減水剤は他と比べ大きなスランプロスを生じた。本実験の調合の粉体量が少ないため、混和剤の添加量が少なくなってしまったためと考えられる。30-12-20N については、コンクリート温度や、フライアッシュの有無によってスランプの変化量に差が出ることはなかった。

3.4 空気量

図 3.4 は空気量の経時変化の結果となっている。30-18-20N について、高性能 AE 減水剤を用いた調合が他と比べ空気量の値が低くなっているが、これもさきほど述べた混和剤の添加量の影響と思われる。AE 減水剤の調合はコンクリート温度が 35°C 以上、以下に関わらず横ばいの傾向となっている。30-12-20N について、こちらはどの調合も横ばいの傾向となっている。

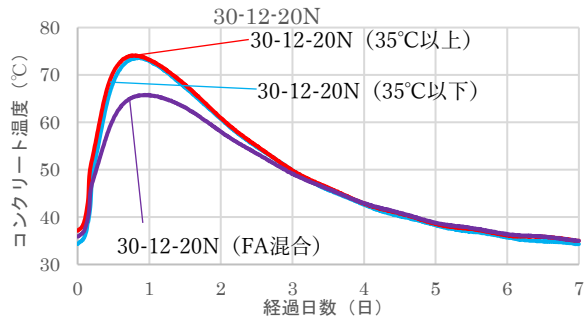
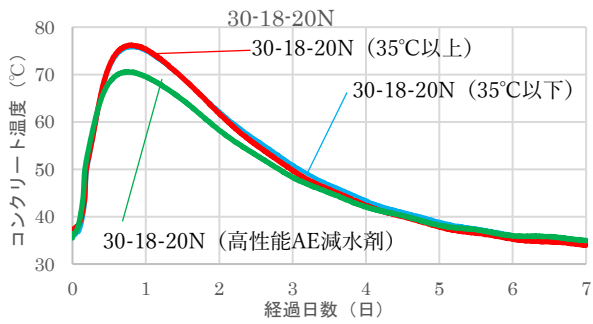


図 3.2 初期材齢における温度履歴

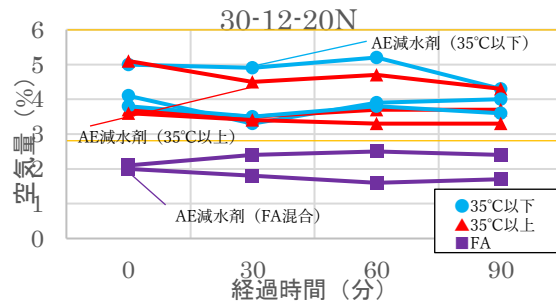
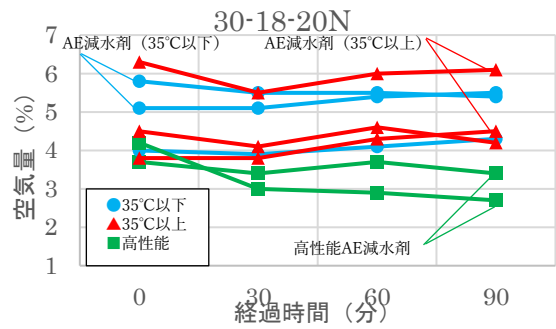


図 3.4 空気量の経時変化

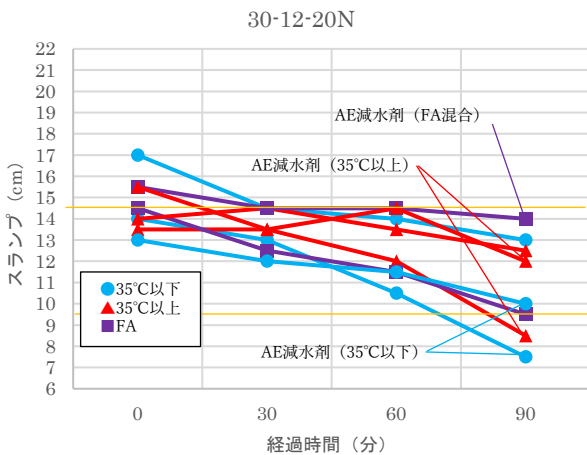
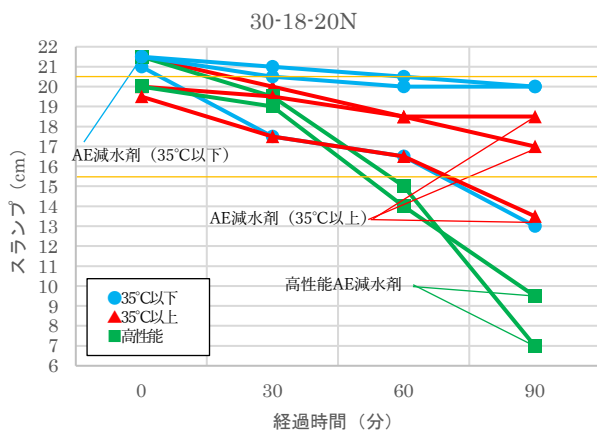


図 3.3 スランプの経時変化

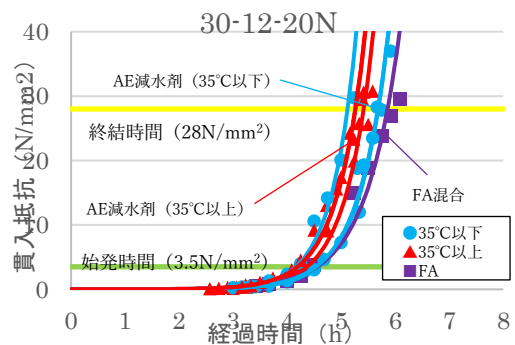
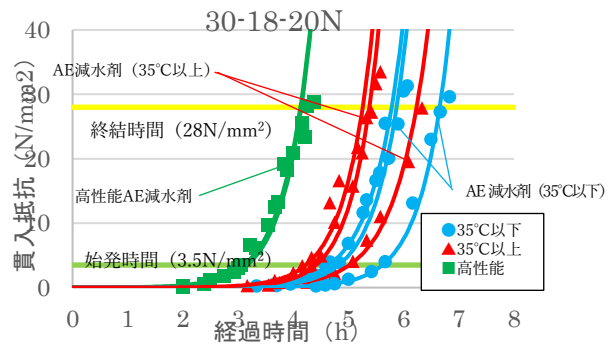


図 3.5 凝結試験結果

3.5 凝結試験

図 3.5 は凝結試験の結果を示している。30-18-20N について、AE 減水剤の調合はコンクリート温度が 35°C 以上の場合でも、35°C 以下と同じほぼ同じ時間に始発時間に達したが、高性能 AE 減水剤を用いた場合は AE 減水剤よりも 1 時間程度早く始発時間に達した。これも混和剤の添加量の影響と思われる。30-12-20N については、全ての調合でほぼ同時刻に始発時間に達した。

3.5 圧縮強度試験

管理用供試体の圧縮強度試験の結果を図 3.5.1 に示す。全ての地区、条件において材齢 28 日で呼び強度を満たす結果となった。また本実験は供試体の採取後から脱型するまでの養生を、20℃気中養生と 30℃気中養生の 2 種類に分けて強度の違いを調査した。結果は材齢 3 日では初期養生 30℃の方が強度はでたが、材齢 7 日後からは初期養生 20℃の方が強度は高くなる傾向にあり、材齢を重ねるごとにその差は大きくなった。供試体の初期養生の温度管理の重要性を確認できた。コア試験体の圧縮強度試験の結果を図 3.5.2 に示す。30-18-20N について、コア試験体の強度は荷卸し時のコンクリート温度が 35℃以上の場合でも 35℃以下と同等の強度がでることがわかった。また材齢 28 日で品質基準強度の 24N/mm² を大きく上回り、構造体強度補正値を 3N/mm² とした場合の 27N/mm² も上回った。これは模擬構造体が雨にさらされ、養生条件が良くなったことが要因と考えられる。30-12-20N についても、同様に荷卸し時のコンクリート温度が 35℃以上の場合と 35℃以下の場合とで大きな強度差はなかった。

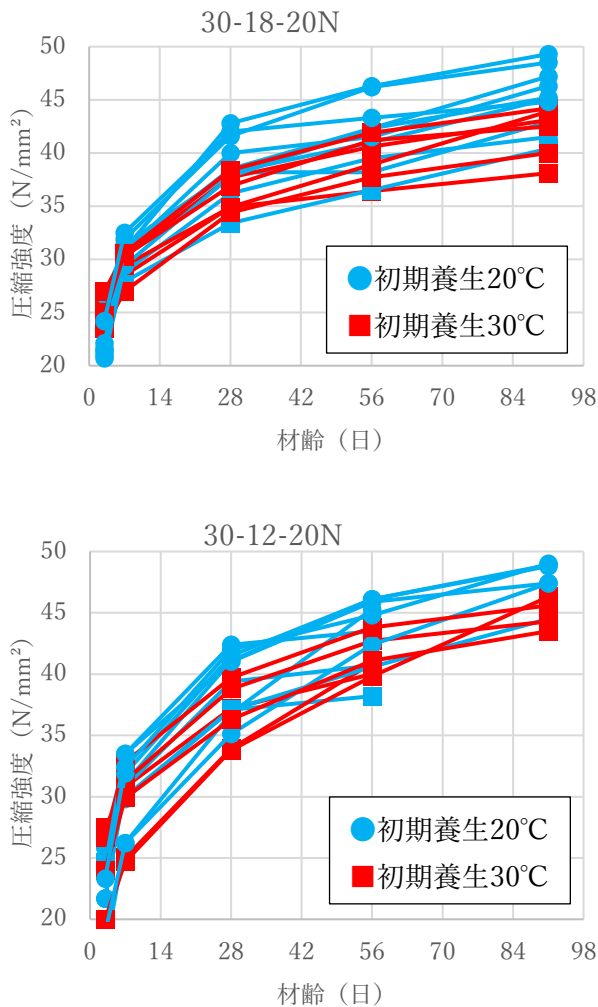
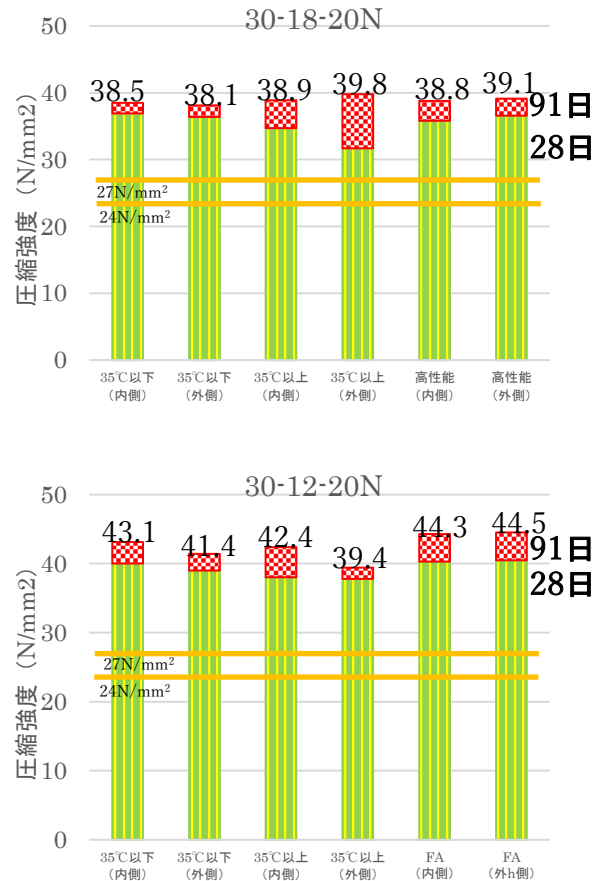


図 3.5.1 管理用供試体の強度



4. まとめ

本実験のコンクリート温度は 36.6℃が最高温度となった。沖縄県は周りが海に囲まれた島であり、外気温の最高気温が他県と比べ低いため、コンクリート温度も 36℃後半に留まると考えられる。その中で得られた知見を以下に示す。

- 1) 荷卸し時のコンクリート温度が 35℃以上の場合でも、目標のスランプ、空気量を満足することができる。
- 2) 荷卸し時のコンクリート温度が 35℃以上の場合と 35℃以下の場合とで、初期材齢の温度上昇に大きな差はなかった。
- 3) 荷卸し時のコンクリート温度が 35℃以上の場合でも、材齢 28 日で品質基準強度を満足し、長期強度に置いても 35℃以下と同等の

5. 謝辞

本実験を沖縄で行うにあたり、沖縄県生コンクリート工業組合各位の多大なる協力をいただきました。ここに謝意を表明いたします。

〈参考文献〉

- 1) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS5 鉄筋コンクリート工事 2018, pp.432-433
- 2) 日本建築学会, 暑中コンクリートの施工指針・同解説 2018, pp86-88