

沖縄における暑中コンクリートの品質管理に関する研究

宮崎 晃太

1. はじめに

沖縄県の気候は日本の他の都道府県とは違う、独特な気候特性を持つ。一年を通して平均気温が高い、日射量が多いなどの特性があり、特に暑中期に施工されるコンクリートは高い外気温や強い日射などの影響でコンクリート温度が上昇し、品質に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) ではこのような懸念から、荷卸し時のコンクリート温度は、原則として 35℃以下となるよう定めている。現在沖縄県のコンクリート工場では運搬中の生コン車に遮熱塗料を塗るなど、コンクリート温度の上昇を抑えるための対策を講じているが、暑中期の日中においてはコンクリート温度 35℃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、沖縄県にて実機実験を行い、九州大学で行った実験と比較しながら、コンクリート温度が 35℃を超えた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及ぼ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

実施地区については、地域性による違いを考慮し、4地区に分けたが、コロナウイルスの影響により、2地区での実施となった。実施時期については、外気温が最も高いと想定される7月～8月とした。表 2.1 に詳細を示す。

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いる。呼び強度は建築工事が 30N/m²、33N/m²とし、土木工事は 30N/m²とした。練上がり 30 分後の目標スランプ値は建築工事が 18cm、土木工事が 12cm となっている。空気量は 4.5% で共通となっている。

2.3 実験内容

コンクリート温度、スランプ、空気量について経時変化試験を行った。経時変化試験は、アジテータ車に

て行き、練上がり直後、30 分後、60 分後、90 分後とした。管理用供試体は練上がり 30 分後に採取し、採取日から材齢 3 日までの環境温度を JASS5 に規定されている 20±3℃および緩和規定の 20±10℃ (約 30℃) に分別して保管した。その後、全ての試験体を脱型し、脱型後は試験材齢まで 20±3℃の水中養生で保管し、材齢 3 日、7 日、28 日、56 日、91 日で圧縮強度試験を行った。また、中南部地区 B の条件で模擬構造体 (1m×1m×1m) を作製し、コア採取を行い、圧縮強度試験を材齢 28 日、56 日、91 日で行った。

表 2.1 実施地区および時期

地区	実施日(工場数)(識別)
中南部	令和4年7月22日, 29日(2工場)(A, B)
北部	令和4年8月17日, 18日(1工場)
石垣	コロナウイルスの影響により中止
宮古	コロナウイ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)	実積率(%)
セメント	C	普通ポルトランドセメント	3.16	-
練混ぜ水	W	工業用水・地下水・上澄水	1.00	-
細骨材	S ₁	海砂(沖縄本島産)	2.59~2.60	-
	S ₂	砕砂(沖縄本島産)	2.64~2.67	-
粗骨材	G ₁	砕石2005(沖縄本島産)	2.70	59.3~60.0
混和剤	A D ₁	AE減水剤(遅延形)	1.01~1.13	-
	A D ₂	高性能AE減水剤(遅延形)	1.05~1.14	-

表 2.3 調合と条件設定の詳細

条件	記号	呼び強度(N/mm ²)	目標スランプ(cm)	目標空気量	荷卸し時のコンクリート温度(℃)	混和剤
建築工事						
1	30-18-20N	30	18±2.5	4.5±1.5	35℃以下	AE
2					35℃超え	減水剤
3	33-18-20N	33	18±2.5		35℃以下	高性能AE
4					35℃超え	減水剤
土木工事						
5	30-12-20N	30	12±2.5	4.5±1.5	35℃以下	AE
6					35℃超え	減水剤

3 実験結果

3.1 コンクリート温度

図 3.1.1 は建築工事想定 of 調合の荷卸し時のコンクリート温度の経時変化試験の結果となっている。荷卸しを練上がり 30 分後と想定し、その時のコンクリート温度 35°C 以下と 35°C 超えで実験の設定ができています。しかし、35°C 超えの条件においては 38°C 程度まで温度が上昇することが望まれており、35°C 以下の条件との温度差がわずかしくないため、今後も同様の実験を継続していく必要があると考える。

式 (1) は日本建築学会が報告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)

コンクリート温度の結果を用いて、式中の θ_r を求めた。日射の影響が強ければ相当外気温と外気温の差が大きくなるはずであると考え、日射の影響を確かめてみた。表 3.1.2 がその結果である。結果として、相当外気温と外気温の差と当日の天候、日射量に関係性は見られなかった。この結果の要因として、沖縄では強い日射に対して冒頭で述べたような対策が講じられていることが考えられる。

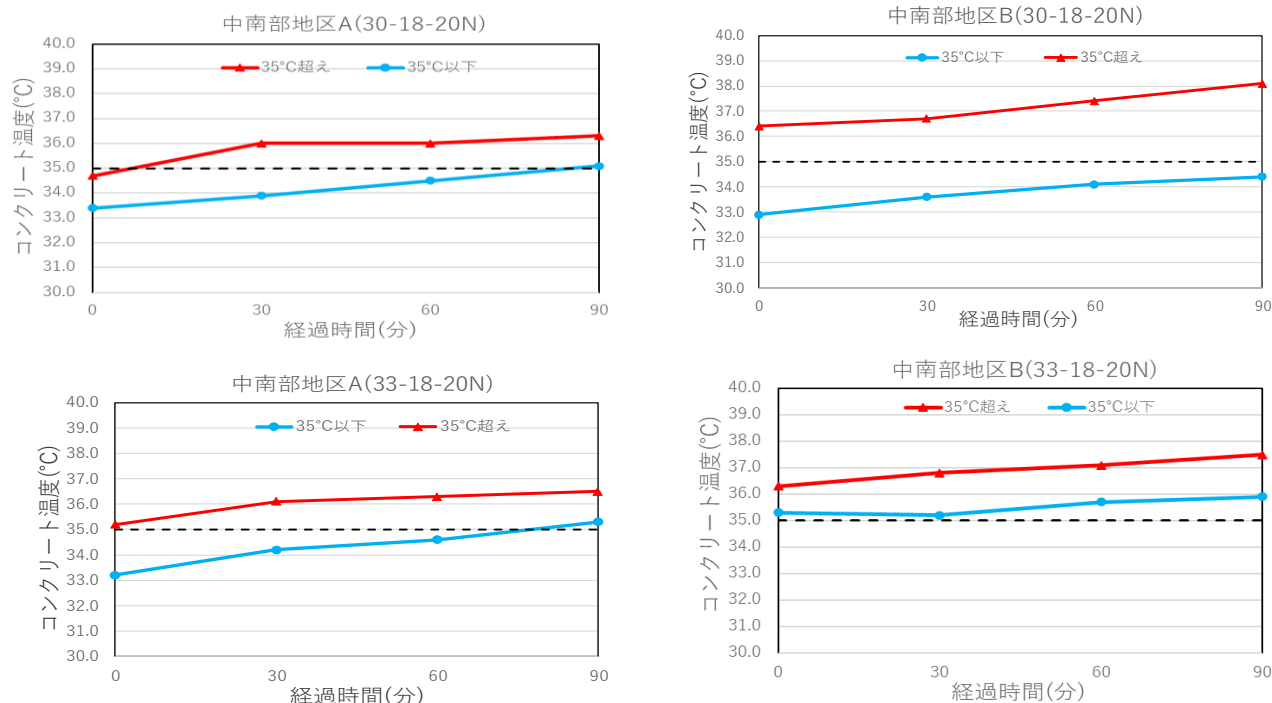


図 3.1.1 コンクリート温度の経時変化

表 3.1.2 相当外気温と外気温の差

	W/C=47%	30-18-20N(W/C=48%)				33-18-20N(W/C=46%)			
		中南部地区 A		中南部地区 B		中南部地区 A		中南部地区 B	
地区	九州大学	35°C以下	35°C超え	35°C以下	35°C超え	35°C以下	35°C超え	35°C以下	35°C超え
①相当外気温	28.6	33.1	36.5	33.1	35.6	34.2	35.9	33.5	36.0
②外気温	31.6	31.6	33.8	29.7	35.0	30.7	34.4	30.9	33.1
①-②	-3.0	1.5	2.7	3.4	0.6	3.5	1.5	2.6	2.9
天候	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴	晴
日射量 (MJ/m ²)	2.4	1.4	2.7	1.5	3.6	2.2	2.5	2.5	3.3

3.2 スランプ

図 3.2.1、図 3.2.2 はスランプの経時変化の結果となっている。運搬時間の規定について、JIS では練混ぜから荷卸し地点到着まで 1.5 時間、JASS5 では練混ぜから打ち込み終了まで外気温 25°C 以上で 90 分と規定されているため、生コン車は練混ぜ後 30 分から 60 分の間に現場に到着する必要がある。そこで今回は経時 30 分から 60 分に着目すると、すべての調合、地区でコンクリート温度に関わらず、目標のスランプを満たしている。適切に化学混和剤が用いられればコンクリート

温度が 35°C を超えても目標値を満たすことができた。また 90 分経過すると、スランプが目標値よりも大きく下がることから、90 分後に生コン車が到着するとコンクリートの品質が保てていないことも分かる。

3.3 空気量

図 3.3.1、図 3.3.2 は空気量の経時変化の結果となっている。こちらもスランプと同様に練混ぜ後 30 分から 60 分ですべての調合、地区でコンクリート温度に関わらず、目標値を満たしている。これもさきほど述べた混和剤が適切に使用されたからだと考えられる。

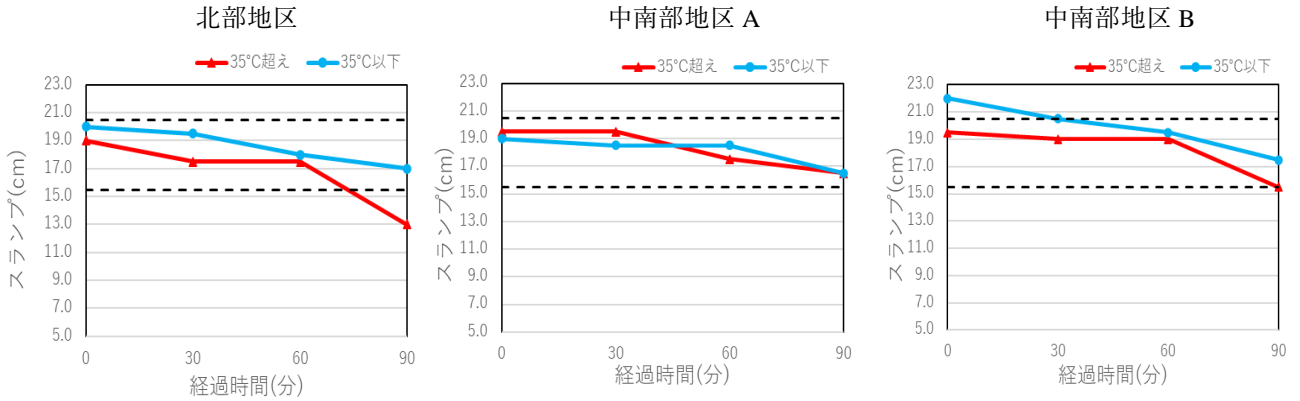


図 3.2.1 スランプの経時変化(30-18-20N)

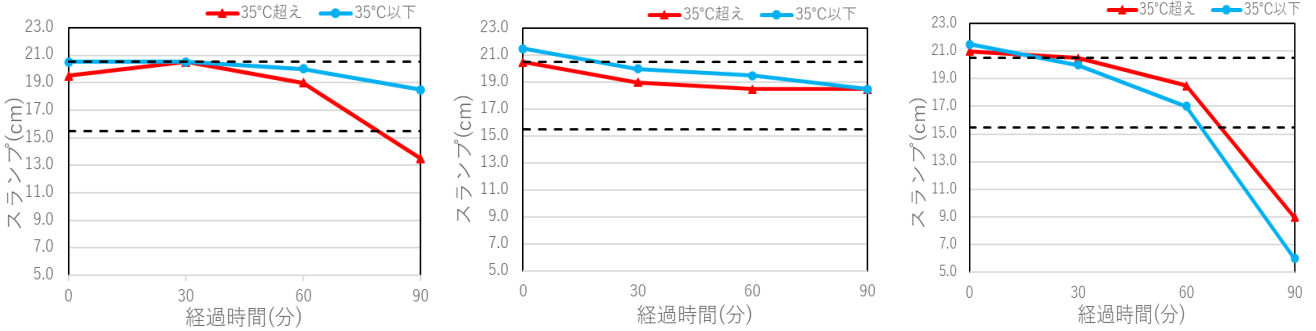


図 3.2.2 スランプの経時変化(33-18-20N)

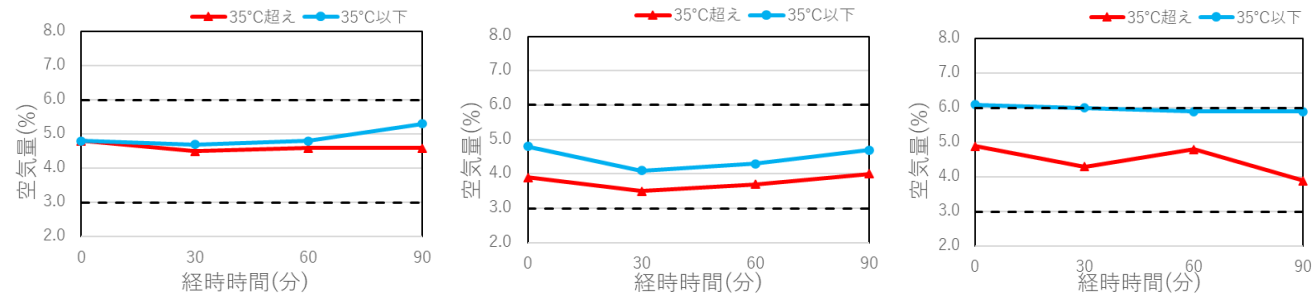


図 3.3.1 空気量の経時変化(30-18-20N)

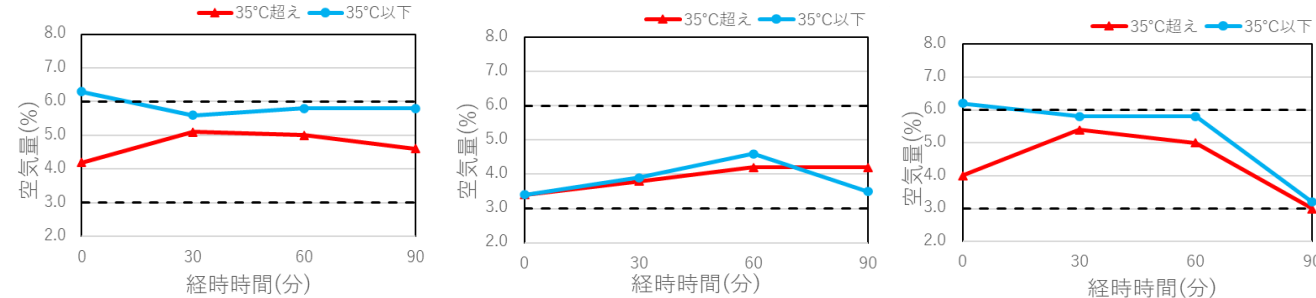


図 3.3.2 空気量の経時変化(33-18-20N)

3.4 脱型までの温度管理の違いによる圧縮強度の差
脱型まで 20℃±3℃と 20℃±10℃で保管した、33-18-20Nの材齢28日における管理用供試体の圧縮強度を図3.4に示す。脱型まで同じ温度で保管すれば、コンクリート温度が 35℃以下と 35℃超えでは差はなかった。しかし、保管温度が違えば、およそ 2N/mm²の差が生じている。これは構造体強度補正値を低く見積もってしまう危険性があり、初期の温度管理の重要性が分かる。

3.5 構造体強度補正値

構造体強度補正値を図3.5に示す。今回の沖縄での結果は 3N/mm²となり、九大での結果と比較すると沖縄の方がS値は小さくなった。この要因として、一般的に模擬構造体は室内で保管するが、今回の沖縄での実験では屋外で保存していたため、沖縄の高い湿度やスコールなどの影響で図6に示すように構造体の圧縮強度が高くなったことなどが考えられる。

4 まとめ

- 1) フレッシュ性状については、適切に化学混和剤を使用すれば、コンクリート温度が 35℃を超えても目標のスランプ、空気量を満足することができる。
- 2) 管理用供試体の脱型までの温度管理が 20±3℃と 20±10℃では圧縮強度の差がおよそ 2N/mm²生じ、これ

はS値を小さく見積もってしまう危険性があるため、脱型までの温度管理が重要であることが分かり、JASS5の緩和規定は撤廃すべきだと考える。

3) 構造体強度補正値について、結果として 3N/mm²という結果になった。本来模擬構造体は室内で保管するが、今回の沖縄の実験では屋外で保管したことでS値が小さくなったと考えられる。一般的な実験と保管方法が違っているので、今後も実験を重ねていく必要があると考えられる。一方で、実際の現場では今回の沖縄での保管方法に近く、S値は 3N/mm²で十分だと考えることもできる。

5 謝辞

本実験を行うにあたり、現地で作業に携わって頂いた協和工業、山城生コンクリート工業、大城生コン工業の皆様、並びに丁寧かつ熱心なご指導を頂いた小山先生に、心よりお礼申し上げます。

参考文献

- 1) 日本建築学会, 建築工事標準仕様書・同解説 JASS 5 鉄筋コンクリート工事 2022
- 2) 日本建築学会, 暑中コンクリートの施工指針・同解説 2022
- 3) 気象庁, 過去の気象データ

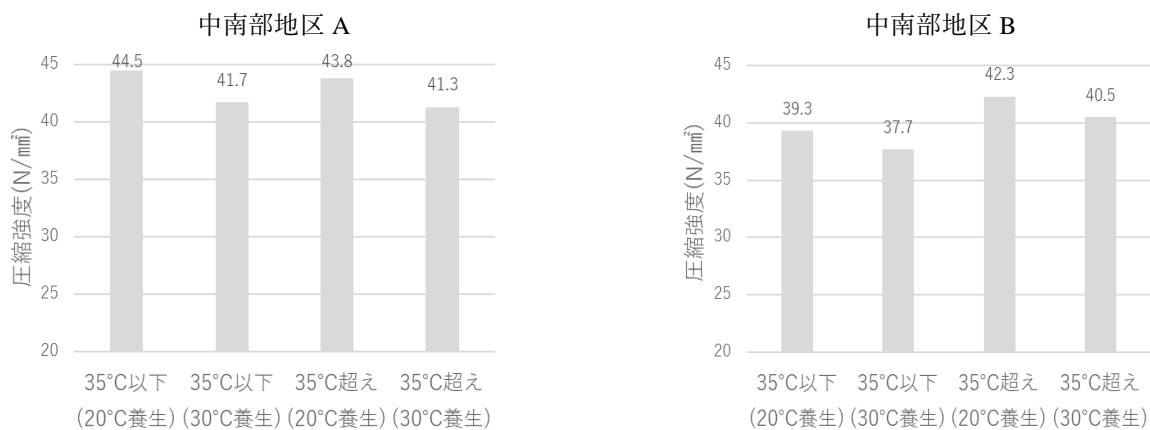


図 3.4 材齢 28 日の圧縮強度試験結果(33-18-20N)

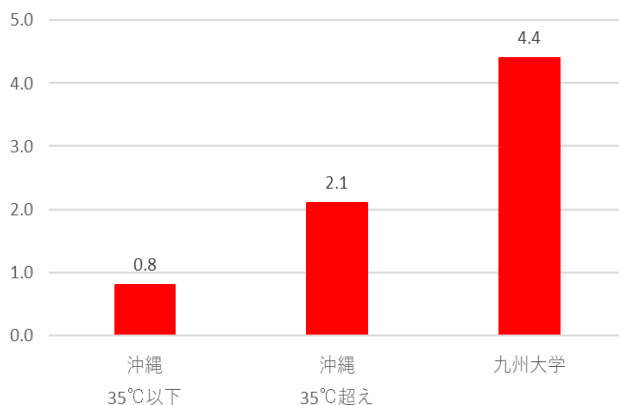


図 3.5 構造体強度補正値図

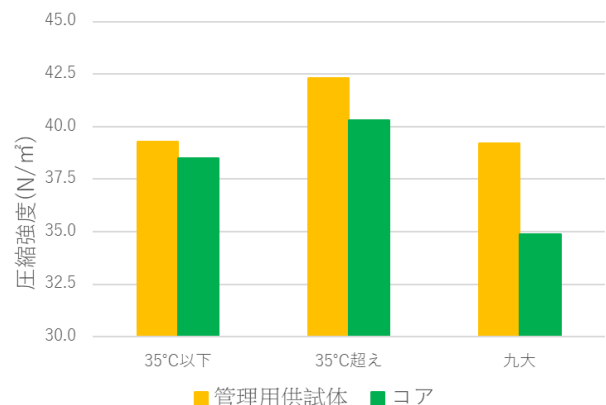


図 3.6 管理用供試体とコアの圧縮強度