

低炭素型のコンクリートの収縮特性

大成建設株式会社 土木技術研究所 正会員○荻野正貴, 正会員 大脇英司
前田建設工業株式会社 技術研究所 正会員 白根勇二, 正会員 舟橋政司
国立研究開発法人 土木研究所 正会員 中村英佑

1. はじめに

混和材を多量に使用することでCO₂排出量を削減できる低炭素型のコンクリートを開発した¹⁾. この低炭素型のコンクリートは同程度の強度の普通コンクリートと比較して発熱量が小さく¹⁾, マスコンクリートへの適用が期待できる. マスコンクリートは温度ひび割れに対する照査が必要である. 低炭素型のコンクリートでは照査に必要なデータのうち, 断熱温度上昇量, 圧縮強度, ヤング率, 熱膨張係数などについて報告した^{1), 2)}. 本報告では, 20℃の定温養生(20℃養生)とマスコンクリートを想定した養生(簡易断熱養生)での自己収縮ひずみについて報告する.

2. 実験概要

早強ポルトランドセメントと 3, 4 種の混和材を組み合わせた低炭素型のコンクリート 4 配合と普通コンクリート 1 配合について検討した. 配合を表 1 に示す. 参考に乾燥収縮ひずみと CO₂ 排出量を示した. 乾燥収縮試験(JIS A 1129-3)では, 材齢 3 日で脱型して 7 日まで標準養生した供試体を用いた. 低炭素型のコンクリートの構成材料の製造時の CO₂ 排出量は N100 と比べ 70~85%削減できる²⁾.

20℃養生の自己収縮ひずみを「(仮称) 高流動コンクリートの自己収縮試験方法」を参考に測定した³⁾. 内側にフッ素樹脂製シートを敷設した 10×10×40cm の型枠の中心部にひずみ計を設置し, 1 配合につき 3 体ずつ打設し, 水分の逸散のないように密封した. JIS A 1147 による凝結の始発時間(表 1)を起点としてひずみを測定した. 材齢 3 日で脱型して再度, 密封した後, 20℃の室内に静置し, ひずみ測定を継続した.

簡易断熱養生における自己収縮ひずみ測定には簡易断熱ブロックを用いた(図 1). 凝結の始発時間(表 1)から材齢 30 日まで温度とひずみを測定した. 各配合の材齢 28 日での線膨張係数²⁾と中心部の温度から温度ひずみを算出し, 測定したひずみから差し引いて自己収縮ひずみとした.

3. 試験結果および考察

低炭素型のコンクリートの 20℃養生における自己収縮ひずみを図 2 に示す(膨張を正, 収縮を負). 検討した低炭素型のコンクリートの乾燥収縮ひずみは, 配合に依らず N100 と同等であったが(表 1), 自己収縮ひずみは配合により異なった. H25BF, H25BFS は N100 と同等の自己収縮ひずみで

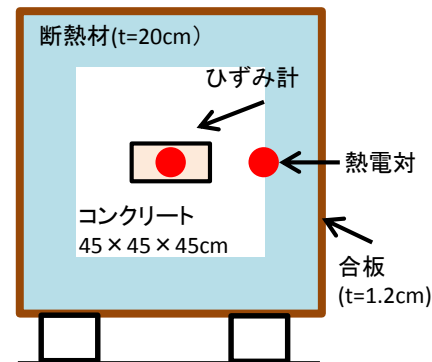


図1 簡易断熱ブロックの構造

表 1 配合および CO₂ 排出量

配合名	配合条件			結合材の質量割合(%)						凝結の 始発時間 (時：分)	乾燥収縮 ひずみ（－） 乾燥：547 日 (収縮を負)	CO ₂ 排出量 ²⁾ (kg/m ³)
	水結合材 比 (%)	単位 水量 (kg/m ³)	単位 結合材量 (kg/m ³)	セメント		混和材						
				N	H	B	F	S	A			
N100	55.0	165	300	100	－	－	－	－	－	5：40	-662×10 ⁻⁶	235
H25BF	40.5		407	－	25	45	30	－	－	4：45	-663×10 ⁻⁶	90.7
H25BFS	42.5		388	－	25	45	25	5	－	5：50	-638×10 ⁻⁶	84.9
H25BFA	42.1		392	－	25	45	25	－	5	5：25	-656×10 ⁻⁶	87.4
H10BS	43.4		380	－	10	85	－	5	－	4：15	-608×10 ⁻⁶	44.4

N: 普通ポルトランドセメント, 密度 3.16g/cm³, 比表面積 3300cm²/g. H: 早強ポルトランドセメント, 密度 3.14g/cm³, 比表面積 4560cm²/g.
B: 高炉スラグ微粉末 4000, 密度 2.90g/cm³, 比表面積 4500 m²/g. F: フライアッシュⅡ種, 密度 2.30g/cm³.
S: シリカフェューム, 密度 2.25g/cm³. A: 無水セッコウ, 密度 2.90g/cm³. 水: 横浜市上水道水.
細骨材: 静岡県掛川産陸砂, 密度 2.56g/cm³. 粗骨材: 茨城県笠間産砕石, 密度 2.67g/cm³.

キーワード コンクリート, CO₂ 排出量削減, 混和材, 乾燥収縮, 自己収縮, マスコンクリート

連絡先 〒245-0051 神奈川県横浜市戸塚区名瀬町 344-1 TEL 045-814-7231

あり、H10BSはN100の約2.5倍であった。しかし、これらはいずれも単調に収縮するため従来のコンクリートと同様の評価式⁴⁾で整理できると考えられる。一方、H25BFAは初期に膨張し、その後、収縮に転じる挙動を示した。単調に収縮しないため同様の手法を適用できず、膨張コンクリートにおける膨張ひずみの評価式と組み合わせた。

従来のコンクリートの場合、有効材齢 t における自己収縮ひずみ ε_{sh} は以下の式(1)で予測される⁴⁾。膨張コンクリートの膨張ひずみ ε_{ex} は式(2)で予測される⁴⁾。また、ポルトランドセメントを使用する場合は ε_{∞} について、高炉セメントB種を使用する場合には ε_{∞} 、 a 、 b についてコンクリートの最高温度の影響を考慮する。

$$\varepsilon_{sh} = \eta_c \times \varepsilon_{\infty} \times [1 - \exp\{-a \times (t - t_0)^b\}] \quad \dots \text{式 (1)},$$

$$\varepsilon_{ex} = \varepsilon_{ex\infty} \times [1 - \exp\{-a_{ex} \times (t - t_0)^{b_{ex}}\}] \quad \dots \text{式 (2)}$$

ここで、 $\eta_c \times \varepsilon_{\infty}$ ：セメント種類の影響を加味した自己収縮ひずみの終局値 ($\times 10^{-6}$)、 t_0 ：凝結の始発 (有効材齢 (日))、 a 、 b ：係数、 $\varepsilon_{ex\infty}$ ：膨張ひずみの終局値 ($\times 10^{-6}$)、 a_{ex} 、 b_{ex} ：係数

H25BF、H25BFS、H10BSでは式(1)を用いて回帰分析を行い、実測値と比較した(図2：点線)。H25BFAでは式(1)と式(2)を足し合わせて新たな評価式とし、回帰分析により実測値と比較した(図3)。いずれも実測値と計算値はよく一致しており、20℃養生の自己収縮ひずみは式(1)あるいは膨張の影響を加味した式(1)+式(2)を用いて整理できた。

簡易断熱養生における自己収縮ひずみについても、20℃養生の場合と同様に、式(1)あるいは式(1)+式(2)を用いて回帰分析を行って実測値と比較し(図3)、整理できた。

回帰分析において最適化した各係数を20℃養生と簡易断熱養生で比較すると(表2)、最高温度の上昇に伴いH25BF、H25BFSでは $\eta_c \times \varepsilon_{\infty}$ が増加して a 、 b が減少し、H10BSでは $\eta_c \times \varepsilon_{\infty}$ が減少して a 、 b が増加した。結合材の5%程度の量の混和材の変更により、収縮ひずみの終局値や収縮速度への最高温度の影響が顕著に異なった。マスコンクリートの温度ひび割れに対する照査には、これらの係数の温度依存性を明らかにすることが望ましいが、配合の違いに敏感であることに注意が必要である。

4. 結論

低炭素型のコンクリートの温度応力解析への適用のため、20℃養生、簡易断熱養生での自己収縮ひずみを測定し、従来のコンクリートの収縮ひずみの評価式、および、この評価式と膨張コンクリートの膨張ひずみの評価式を組み合わせた式で表現した。低炭素型のコンクリートの自己収縮ひずみの終局値および自己収縮速度は温度の影響により変化することが判明した。なお、本研究は土木研究所が主催する共同研究「低炭素型セメント結合材の利用技術に関する研究」の成果の一部である。

参考文献

- 1) 白根ほか：第69回年次学術講演会講演概要集、V-190, pp.379-380, 土木学会, 2014.
- 2) 舟橋ほか：コンクリート工学年次論文集, No.36, pp.232-237, 2014.7.
- 3) コンクリート工学協会：超流動コンクリート研究委員会報告書(II), 1993.5.
- 4) 日本コンクリート工学協会：マスコンクリートのひび割れ制御指針, 2008.

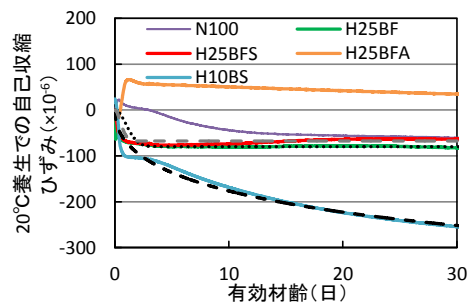


図2 20℃養生の自己収縮ひずみ
(点線は式(1)による)

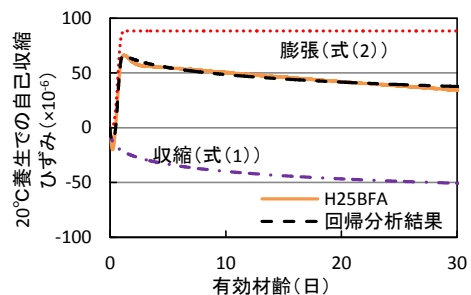


図3 膨張を生じた場合の回帰分析

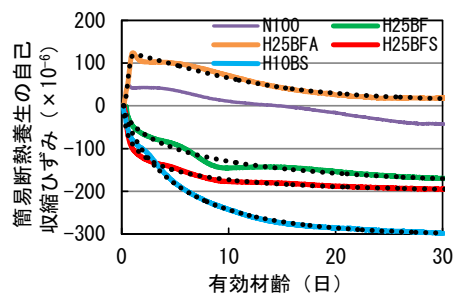


図4 簡易断熱養生の自己収縮ひずみ
(点線は式(1)、式(2)による)

表2 収縮ひずみ、膨張ひずみの評価式の係数

		H25BF	H25BFS	H25BFA [#]	H10BS [*]
20℃ 養生	$\eta_c \times \varepsilon_{\infty}$ ($\times 10^{-6}$)	80	69	73	412
	a	0.52	4.16	0.33	0.19
	b	1.98	1.07	0.37	0.48
簡易断熱 養生	$\eta_c \times \varepsilon_{\infty}$ ($\times 10^{-6}$)	190	203	112	305
	a	0.28	0.64	0.04	0.26
	b	0.61	0.48	1.31	0.79

*：20℃養生では、有効材齢91日まで回帰分析した

#：20℃養生では、 ε_{ex} 、 ε_{∞} =88, a_{ex} =3.40, b_{ex} =3.74

簡易断熱養生では、 ε_{ex} 、 ε_{∞} =125, a_{ex} =5.18, b_{ex} =2.19