

繰り返し極低温まで冷却されるコンクリートの劣化に及ぼす冷却最低温度の影響

東北大学 学生員 ○ 中村 誠
東北大学 大村英昭
東北大学 正員 三浦 尚

1. はじめに

コンクリートは常温から極低温まで繰り返し冷却されると劣化することが知られている。その劣化の程度を変化させる要因は様々であり、その一つに冷却最低温度がある。LNG や LPG などの極低温物質の貯蔵設備などに使用されるコンクリートや、極寒地で使用されるコンクリート構造物は、それぞれ異なる温度まで繰り返し冷却されることが考えられる。それぞれの曝される条件に適した配合のコンクリートが使用され、かつ適切な維持管理が必要であろう。そのため、コンクリートが繰り返し極低温まで冷却されたときの劣化に冷却最低温度がどのように影響を及ぼすかを調査することは重要である。

冷却最低温度と劣化の関係は、過去に三浦・李¹⁾によって、W/C56% の Non-AE コンクリートを用いて研究されている。冷却最低温度の低下に伴って劣化が増大するのは、 -20°C から -50°C の範囲であると報告している。本研究では配合を8種類とし、以下に述べる方法で冷却最低温度と劣化の関係を詳しく調査した。

2. 実験概要

コンクリートが極低温に曝される場合の劣化は a) セメント硬化体の劣化、b) 骨材の劣化、c) 骨材とセメント硬化体部分の界面の劣化、の三種類に分類できる。本研究では特にこの a) に注目し、各配合におけるセメント硬化体部分の劣化の違いが顕著になるように供試体はモルタルとした。

実験に用いたモルタルの配合を表-1に示す。この配合は、各 W/C について代表的なコンクリートの配合を想定

表-1 配合表

Non-AE、 AE の別	W/C (%)	空気量 (%)	単位量 (kg/m^3)			混和剤 (g/m^3)	
			W	C	S	減水剤	AE 剤
Non-AE	36	3.5 ± 0.5	270	750	1175	9000	—
Non-AE	46	3.5 ± 0.5	270	587	1309	5635	—
Non-AE	56	3.5 ± 0.5	270	482	1396	4629	—
Non-AE	66	3.5 ± 0.5	270	409	1456	3927	—
AE	36	10.0 ± 1.0	270	750	1007	9000	863
AE	46	10.0 ± 1.0	270	587	1142	0	411
AE	56	10.0 ± 1.0	270	482	1228	0	386
AE	66	10.0 ± 1.0	270	409	1288	0	491

し、それらから粗骨材だけを取り除き単位水量とコンシステンシーを一定にすることで決定した。AE モルタルの空気量 $10 \pm 1\%$ は、コンクリートの空気量で約 6% を想定したものである。空気量の測定は JIS A 1116 に基づく重量法を採用した。モルタル供試体は図-1に示すように、 $4 \times 4 \times 16 \text{cm}$ の角柱供試体とし、打設時に端面にゲージプラグを埋め込んだ。中心部に熱電対を埋め込んだ温度測定用供試体も用意し、温度制御に用いた。冷却開始は材齢 28 日とした。冷却は液化窒素を適量噴霧することで行った。供試体は最大冷却速度 $-2.1^{\circ}\text{C}/\text{min}$ で冷却最低温度 T_0 まで冷却後、 $+40^{\circ}\text{C}$ の水槽に投入して $+20^{\circ}\text{C}$ まで温度を回復し、これを 1 サイクルとした。3 サイクルごとに供試体温度 $+20^{\circ}\text{C}$ で一次共鳴振動数と長さ変化を測定し、相対動弾性係数 P と耐久性指数 DF、平均ひずみ ε_a を算出し劣化の指標とした。平均ひずみ ε_a は長さ変化から次式により定義する。

$$\varepsilon_a = \frac{(x_{i2} - x_{i1}) - (x_{02} - x_{01})}{L_0} \times 10^6 (\mu)$$

ここで、 L_0 は基長 ($=140 \text{mm}$) である。また、 x_{i1} は標準尺、 x_{i2} は供試体の i サイクル時点における測定値 (mm) である。冷却最低温度 T_0 は、 -30 、 -50 、 -70 、 -90°C とした。また、冷却加熱は 15 サイクルまでとした。

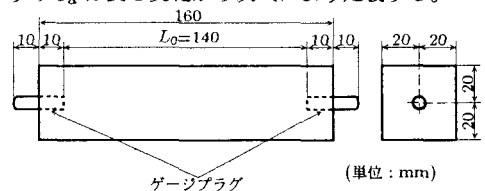


図-1 供試体の形状と寸法

3. 結果および考察

各配合について、冷却最低温度 T_u と 15 サイクル終了時までの耐久性指数 DF、平均ひずみ ε_a の関係を図-2に示す。DF の値は、 $T_u = -30^\circ\text{C}$ に比べて $T_u = -50^\circ\text{C}$ では減少しているが、 $-50^\circ\text{C} \geq T_u \geq -90^\circ\text{C}$ の範囲では減少は見られない。また、平均ひずみ ε_a については、 $T_u = -30^\circ\text{C}$ で最も小さく、 $T_u = -50^\circ\text{C}$ になると増大するが、 $-50^\circ\text{C} \geq T_u \geq -90^\circ\text{C}$ では増大は見られない。W/C66%,NonAEにおいて、 $T_u = -50^\circ\text{C}$ の場合に ε_a が最も大きくな

っているが、 $T_u = -70^\circ\text{C}$ あるいは -90°C の場合よりも $T_u = -50^\circ\text{C}$ の場合のほうが劣化するとは考えにくく、これは供試体のばらつきであろうと考えられる。この DF と ε_a の結果から、劣化が増大する T_u の範囲は -50°C までであると言える。ただし、W/C36%,Non-AE の供試体においては他の配合と傾向が若干異なり、 -50°C と -70°C の間で DF がほぼ同一であるにもかかわらず、平均ひずみが $T_u = -70^\circ\text{C}$ まで大きくなる傾向を示している。これはばらつきであることも考えられるが、このあとサイクルを経ると $T_u = -50^\circ\text{C}$ と同程度だった DF が急激に低下する可能性もあることを示す。すなわち、劣化が増大する T_u の範囲が -50°C より低い温度まで伸びている可能性がある。しかし、15 サイクル終了時点で DF は 90% 以上で、差が小さいため判断は困難であり、W/C36%,Non-AE における $T_u \leq -50^\circ\text{C}$ の範囲の劣化の変化については、今後詳しく調査する必要がある。この W/C36%,Non-AE は、DF が他の配合に比べて非常に高い値でありながら、 ε_a は W/C66%,AE よりも大きくなっており、この点からも特に注意を払う必要があると思われる。

実験に用いた 8 種類の配合のうち、46%,Non-AE の各サイクルごとの相対動弾性係数 P と平均ひずみ ε_a の変化を、図-3に示した。この図からも、 $-30^\circ\text{C} \geq T_u \geq -50^\circ\text{C}$ で劣化が大きくなり、 $T_u \leq -50^\circ\text{C}$ では変化がないことが分かる。

通常、極低温における劣化はセメントペースト部分で起こると考えられるため²⁾、この実験で得られたモルタル供試体での劣化の傾向は、良質なコンクリートであれば同様に見られると思われる。よって以上の結果から、繰り返し極低温まで冷却されるコンクリートの劣化を調査する際、冷却最低温度を -50°C に設定することで最も厳しい条件を得ることができると考察される。

4. まとめ

この研究で使用された配合のモルタル供試体において、ある冷却最低温度まで繰り返し冷却された場合、冷却最低温度の低下によって劣化が増大するのは -50°C までの範囲であり、 -50°C 以下の温度範囲では劣化はそれ以上大きくならないという結果が得られた。

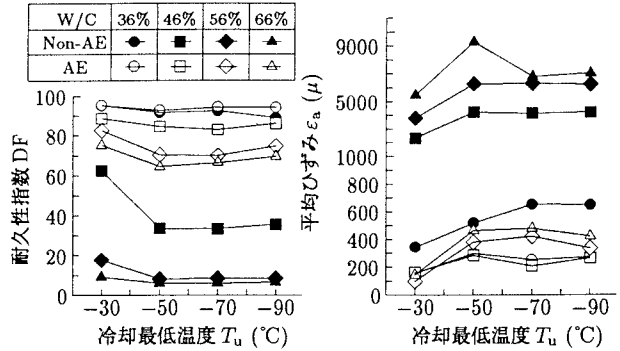


図-2 冷却最低温度と耐久性指数、平均ひずみの関係

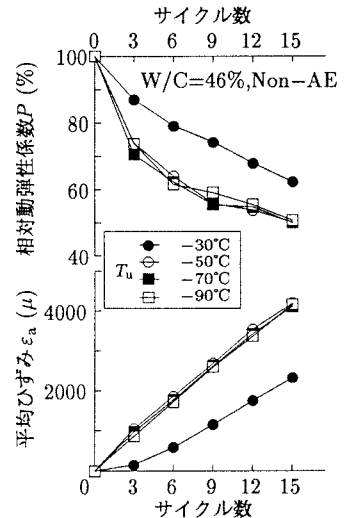


図-3 相対動弾性係数と平均ひずみ

参考文献

- 1) 三浦 尚・李 道憲：低温下におけるコンクリートのひずみ挙動と劣化，土木学会論文集，No.420，V-13，pp.191-200，8.1990
- 2) 内川 浩：組成と構造の観点から見た硬化セメントペースト、モルタルおよびコンクリートの類似点と相違点，セメント・コンクリート，No.507，pp.33-46，5.1989