

V-15

透水性コンクリートの耐凍害性に関する2, 3の実験

北海道大学大学院 学生員 徳重英信
 北海道大学工学部 正 員 佐伯 昇
 北海道大学工学部 正 員 三上 隆
 北海道大学工学部 正 員 志村和紀

はじめに

コンクリートは、構造物を構成する材料として様々な環境の下におかれる。その中でも凍結融解作用という現象を把握する事は、特に寒冷地で生活を営む我々にとっても必要不可欠な課題であり、コンクリートの耐久性を確保するためにはマトリックスが水密であること、特に耐凍害性確保の為には適切な量のエントレインドエアが連行されている事が必要不可欠であること等が、現在までの数多くの研究で報告がなされている。一方、構造物としてのコンクリートは近年その多様性を増してきており、それがおかれる環境条件、およびその構造物の持つ付加的な価値といったものも、これまでに無い広い範囲での可能性が必要とされつつある。河川における防災的な意義は当然欠く事のできないものであるが、たとえば近自然工法などにおける河川を取り巻く生態系に対する配慮などにおいて、自然界での水の流れをある程度確保することによる生態系（特に植生）の保全に対し、護岸材料としてのコンクリートの可能性など材料としてのコンクリートの新たな側面を考える必要性が出てきている。

このようなことを背景に、本研究では透水性コンクリートの凍害に対するアプローチのひとつとして、その凍結融解作用による挙動を、ひずみにより実験的に把握することを目的とした。

1 凍結融解作用に関する過去の研究

凍結融解のメカニズムに関する研究は、T.C.Powersに代表されるように、現在まで数多くの報告がなされている。それらの中から水圧説、氷圧説、および対象としている材料は違うが、凍上論における考え方の3つに特に着目すると以下ようになる。

T.C.Powers¹⁾は凍結時にマトリックスに作用するものとして、氷晶生成時に空隙より排出される水分による水圧説を提案している。Powersの式¹⁾中で $R_t=12$, $S=1$, $r=20$ とすると $W/C=0.35$ において、空隙中心部からの影響半径と空隙径の比と水圧との関係を表す事ができる。しかしこの式では透水係数 $K=1.9 \times 10^{-9}$ cm/s以上では毛細管空隙比 $\varepsilon \geq 1$ となり、これより高い透水係数では水圧がほぼ0となる。従ってセメントペーストの透水度を上げるために導入する比較的大きな空隙による影響をそのままこの理論中で議論するのは困難であると思われる。これに対し、氷の体積膨張率9%が直接的に氷晶圧として作用する事に加え、V.P.Gröbl²⁾はセメントペーストと氷の線膨張係数の差により、融解時に氷晶圧が生じるという説を提案している。Gröblの式では空隙中心より壁圧を含む距離と空隙径の比と、空隙壁に作用する引張力の相関を示す事ができ、 $R/r > 10$ に於いてはほぼ温度変化のみに依存する。尚、簡単のために氷が融解する時点で氷圧からは解放されるものと仮定し、Gröblの式²⁾中の氷圧発生時の温度変化 δT の基準点を $t_0=0$ とした。

他方、空隙内の氷生成をアイスレンズの成長課程としてとらえ、たとえば土質に対する凍上論³⁾によると以下ようになる。アイスレンズ成長面では不凍水の存在が確認されており、長時間経過後アイスレンズの成長が止まった場合、氷の化学ポテンシャルと不凍水の化学ポテンシャルは等しいと考えられる。これより

Some Experiment for Frost Resistance of Permeable Concrete by Hidenobu TOKUSHIGE, Noboru SAEKI, Takashi MIKAMI and Kazunori SHIMURA

ポテンシャルの平衡の式が得られ、密閉された空間でバルク水と氷が接している場合、氷圧力と氷接面の水圧を等しいとすると、この式は[Clausius-Clapeyron]の式と一致する。土中に於いてバルク水の氷圧は大気圧に等しくなると考えると、氷接面での温度がそこでの圧力に支配的となり、この理論では最大凍上力は土の固有値には関係なく温度条件（最低温度）のみに依存する事となる。

2 実験概要

2. 1 供試体

透水性をもつコンクリートとして、混和剤（起泡剤、AE減水剤・高性能AE減水剤）により透水性をもたせる起泡コンクリート、および骨材の粒形の操作により構造的に空隙を作り透水性を持たせるポーラスコンクリートを供試体として用いた（以降、各々起泡コンクリート、ポーラスコンクリートと称する）。高性能AE減水剤は安定した起泡を促すべく、また空気量増大によるマトリックスの弱化を出来るだけ押さえることを目的として用いた。

凍結融解試験用供試体は10×10×40cmの角柱を用い、供試体中心部長軸方向に温度、ひずみ共に測定可能なカールソントタイプの埋めこみ式ひずみゲージを設置した。なお、比較対照のためW/C=50%、空気量4.1%の比較的通常のオーダーのAEコンクリートに於いても測定を行った。また、同様のひずみゲージを供試体長軸方向外側対面に、専用アダプターを用い設置し、表面付近のひずみを測定した。（以降、各々埋めこみゲージ、外付けゲージと称する。）

2. 2 凍結融解試験

供試体を材令14日（AEコンクリートは早強セメント使用のため7日）で低温室内に搬入し、供試体長軸方向上面から融解時にシャワー方式で水を供給した。温度変化のサイクルは、供試体内温度約13℃～約-21℃で24時間を1サイクルとした。供試体表面部及び供試体内（中心部）温度の変化を図-1に示す。

このような温度変化に添ったコンクリートの挙動を測定した。

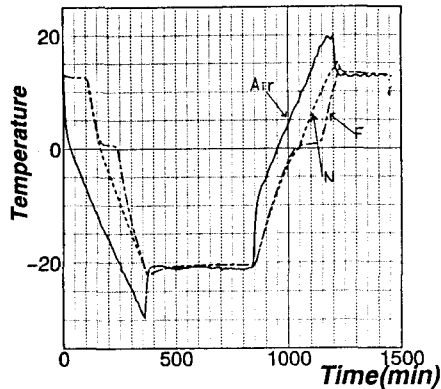


図-1(a) AE及び起泡コンクリートの内部温度と気温の変化

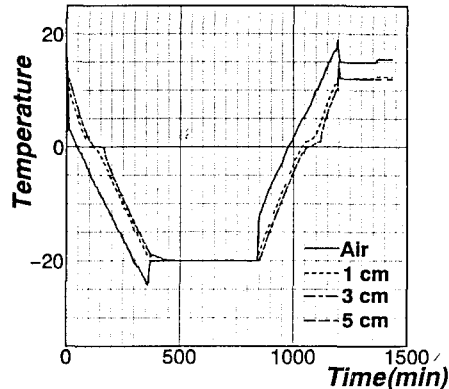


図-1(b) ポーラスコンクリートの内部温度と気温の変化

3 実験結果及び考察

3. 1 供試体内部の温度変化

図-1はAEコンクリートに取り付けた外付けゲージの温度、AEコンクリートの内部温度、および起泡コンクリート内部温度、および熱電対によるポーラスコンクリートの内部温度変化の測定結果である。図-1(a)中に於いて、“N”はAEコンクリートの内部（中心部）の温度変化（以降、AE内部），“F”は起泡

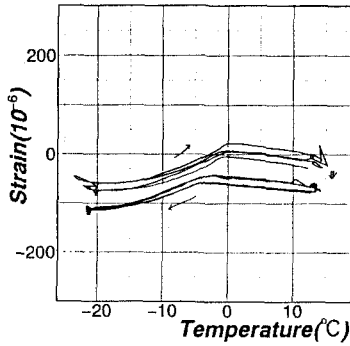


図-2(a)

AEコンクリートの内部ひずみ

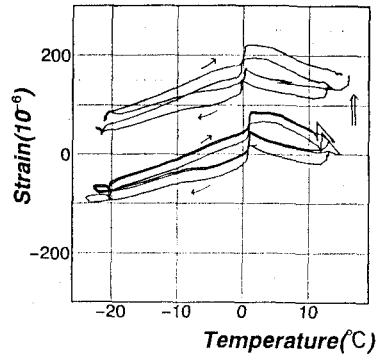


図-2(b)

起泡コンクリートの内部ひずみ

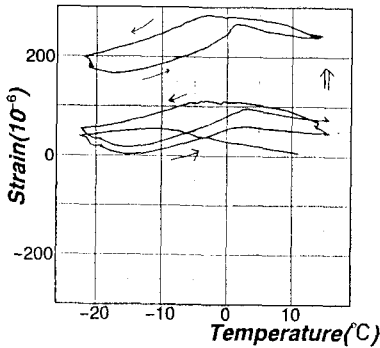


図-3(a) AEコンクリートの
外付けゲージによる測定結果

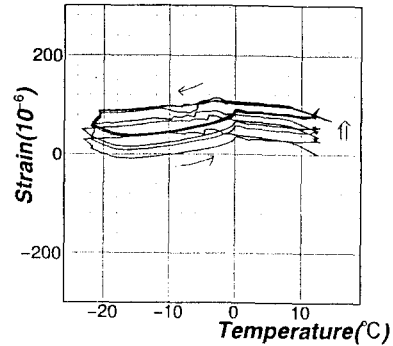


図-3(b) ポーラスコンクリートの
外付けゲージによる測定結果 (TypeA)

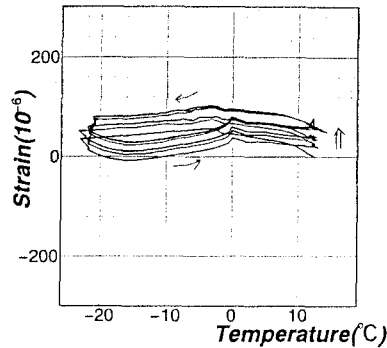


図-3(c) ポーラスコンクリートの
外付けゲージによる測定結果 (TypeB)

コンクリート内部（中心部）の温度変化（以降，起泡内部），"Air"はAEコンクリート外付けゲージの温度変化（以降，気温）である．AE内部の温度は，気温にほぼ一定の遅れを保ちながら追随している．しかしながら起泡内部に於いては，0℃付近で一定となる部分が温度低下時，温度上昇時共に存在する事がわかった．また，図-1(b)中の"Air"は気温((a)に同じ)，"1cm"，"3cm"，"5cm"は，それぞれ供試体中央部の短軸方向表面から中心部に向けての距離であり，熱電対を用いて測定したそれぞれの点における温度

結果である。"5 cm"と"3 cm"における測定結果はほぼ同じ挙動を示したが、表面より中心部に向かうほど0℃付近で一定になる挙動が現れてくる事がわかった。

3. 2 埋めこみゲージによる測定結果

図-2(a)はAEコンクリートの1, 5, 34, 40サイクル目の埋めこみゲージによる測定結果である。サイクルを重ねるごとにやや収縮側に移動しているが、ひずみはほぼ戻ってくる結果となっている。また、図-2(b)に起泡コンクリートの16, 20, 21, 44, 50サイクル目の埋めこみゲージによる測定結果を示す。こちらはサイクルを重ねるごとに膨張側に残留ひずみを呈する事が確認された。また、温度低下時には収縮側、温度上昇時には膨張側に、0℃付近で温度一定のままひずみが増加している。これは図-1のように、0℃付近では時間が経過しても、供試体内部では(外気温が変化しているにもかかわらず)温度が一定のままである事が影響しているものと考えられる。

3. 3 外付けゲージによる計測結果

図-3(a)にAEコンクリートの1, 2, 30サイクル目、図-3(b)にポーラスコンクリートTypeA(透水係数 $=10^{-1}\text{cm/s}$)の1, 2, 3, 8, 9, 10サイクル目、および図-3(c)にポーラスコンクリートTypeB(透水係数 $=10^{-2}\text{cm/s}$)の1, 2, 3, 8, 9, 10サイクル目の外付けゲージの測定結果を示す。比較的初期のサイクルではあるが、サイクルを重ねるごとに各々膨張側にひずみが移動しており、残留ひずみを呈している。なお、各測定結果は長軸方向対面各々の結果を平均したものである。

4 まとめ

以上の結果より、以下の事を本研究のまとめとする。

1. 凍結融解を受ける透水性コンクリート(起泡コンクリートおよびポーラスコンクリート)の内部温度変化はAEコンクリートのそれとは異なり、温度上昇、低下時共に0℃付近で一定になる部分が存在し、特にポーラスコンクリートの測定結果に於いては、中心部に向かうにつれてこの挙動が現れてくる事がわかった。
2. 埋めこみゲージの測定結果と外付けゲージの測定結果より、温度-ひずみ挙動で差異を生じる事がわかった。これは上記のような供試体内での温度分布の差異が要因の一つではないかと考えられ、透水性コンクリートの熱的性質の測定を含め、この挙動について今後詳細に検討する必要がある。

参考文献

- 1) T.C.Powers : The Air Requirement of Frost-Resistant Concrete (1949)
- 2) V.P.Grübl, München : Über die Rolle des Eises im Gefüge Zementgebundener Baustoffe
Beton 31 H.2, pp.54/58(1981)
- 3) 石崎武志 : 凍上現象の物理 日本結晶成長学会誌 Vol.18 No.2 pp.181-187(1991)

謝辞：本研究において、実験に対して多大な助力を得た北海道大学工学部生の木村 慎、栗田幸治の両氏、および供試体作成において多大な助力を得た北海道ポラコン株式会社 of 山田 茂氏に謝意を表します。