

凍結融解作用によるコンクリートのひずみ挙動と凍害劣化に及ぼす鉄筋拘束の影響

正会員 ○菅原奈美*1
同 鈴木邦康*2
同 濱 幸雄*3
会員外 原田彩加*4

1. 材料施工-4. 特殊なコンクリート

凍害劣化、鉄筋拘束、凍結融解試験、耐凍害性、ひずみ

1. はじめに

室内実験における凍害の促進試験として JIS A 1148A 法や RILEM CIF 試験などがあり、これらの凍結融解試験ではコンクリート自体の耐凍害性を評価することを目的としているため、無筋コンクリートが用いられている。しかし、実構造物の鉄筋コンクリート部材には補強鉄筋が配されており、鉄筋はコンクリートの乾燥収縮を防止する役割も担っている。ここで、凍害劣化は膨張による劣化と言われていることから、補強鉄筋はコンクリートの収縮を拘束するだけでなく、凍害による膨張を拘束すると考えることもできる。しかし、鋼材で拘束したコンクリート供試体を用いて凍結融解試験を行った研究は、高橋ら¹⁾や國府²⁾による研究があるものの、これらはいずれも膨張コンクリートの膨張を鋼材で拘束することを目的としたものであり、凍害劣化に対する鉄筋の影響について検討したものではない。

そこで本研究では、コンクリートの長さ変化及び凍害劣化に及ぼす鉄筋拘束の影響を把握することを目的として、鉄筋で拘束したコンクリート供試体を用いて凍結融解試験を行った。

2. 実験の概要

2.1 実験計画

実験は目的別にシリーズ1と2からなる。実験計画をそれぞれ表-1、2に示す。

シリーズ1では、鉄筋の拘束方法の違いによる影響を検討するため、拘束なし(無筋)、一軸拘束(軸筋1本)、三軸拘束(軸筋4本あばら筋有)の3水準の供試体を作製した。図-1に供試体詳細図を示す。軸筋1本にはD16の異形棒鋼を、軸筋4本

表-1 シリーズ1の実験計画

供試体記号	w/c (%)	供試体寸法 (cm×cm×cm)	拘束方法	養生条件
35A2	35	10×10×40	拘束なし	4週水中 20℃乾湿
35B2			一軸拘束	
35C2			三軸拘束	
35A5			拘束なし	4週水中 50℃乾湿
35B5			一軸拘束	
35C5			三軸拘束	
55A2	55	10×10×40	拘束なし	4週水中 20℃乾湿
55B2			一軸拘束	
55C2			三軸拘束	

表-2 シリーズ2の実験計画

供試体記号	w/c (%)	供試体寸法 (cm×cm×cm)	拘束方法	養生条件
10N	35	10×10×40	拘束なし	4週水中 50℃乾湿
10D16			D16	
7.5N		7.5×7.5×40	拘束なし	
7.5D10			D10	
7.5D16			D16	
7.5D19			D19	

表-3 調査表

w/c (%)	スランブ (cm)	Air (%)	s/a (%)	単位水量 (kg/m ³)	絶対容積(l/m ³)			混和剤 [C×wt(%)]
					セメント	細骨材	粗骨材	
35	21	2.0	44.2	175	159	286	361	0.80
55	18	1.0	46.8	187	108	325	370	—

※高性能AB減水剤は原液で使用

表-4 コンクリートの練り上がり性状

	w/c (%)	スランブ (cm)	Air (%)	単位容積質量 (kg/m ³)	練温 (℃)	フロー (mm)
シリーズ1	35	23.5	1.6	2451	22.4	420×382
	55	18.4	1.8	2429	20.9	—
シリーズ2	35	23.3	1.0	2460	19	598×605

あばら筋有には軸筋にφ6のなまし鉄線、あばら筋にφ1.2の針金を使用した。供試体本数は、各水準につき2本ずつ作製した。養生条件は4週水中養生後、乾燥条件を20℃と50℃の2水準に設定し、乾燥5日水中2日の繰返しを4サイクル行った(以下、乾湿繰返しとする)。

シリーズ2では、拘束方法をD16の一軸拘束とし、供試体断面の違いによる影響を検討するため、断面を7.5×7.5cm²と10×10cm²の2水準、鉄筋量の違いによる影響を検討するために断面が7.5×

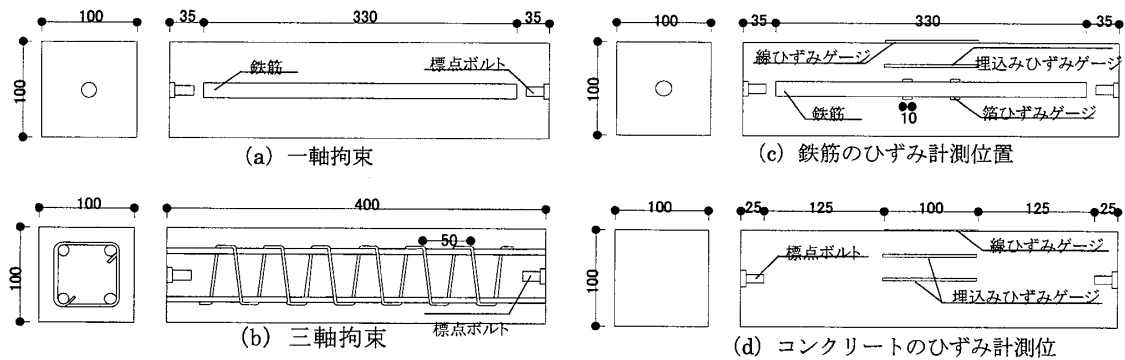


図-1 供試体詳細図およびひずみ計測位置

7.5cm²のものについて軸筋をD16のほか、D10及びD19を配した3水準の供試体を作製した。供試体本数は各水準につき3本ずつ作製し、その内の1本にひずみゲージを貼付した。養生条件は4週水中養生後、50℃の乾湿繰返しとした。

2.2 使用材料および調査

セメントは普通ポルトランドセメント($\rho = 3.16\text{g/cm}^3$)、細骨材は登別産陸砂(表乾密度 $= 2.69\text{g/cm}^3$ 、粗粒率 $= 2.70$ 、吸水率 $= 1.52\%$)、粗骨材は敷生川水系安山岩砕石(表乾密度 $= 2.67\text{g/cm}^3$ 、粗粒率 $= 6.64$ 、吸水率 $= 1.83\%$)を使用した。化学混和剤は、ポリカルボン酸エーテル系高性能AE減水剤標準形の低空気連行タイプを使用した。表-3にコンクリートの調合を、表-4に練り上がり性状を示す。

2.3 凍結融解試験および測定項目

凍結融解試験は、JIS A 1148A 法(水中凍結融解試験)に準じて行った。測定項目は、質量減少率、長さ変化、相対動弾性係数とした。なお、鉄筋拘束供試体における動弾性係数については、國府²⁾の研究から、通常の動弾性係数の測定方法に準じて行うことができるとされているので、拘束なし

供試体と同様の方法で測定した。さらに、シリーズ2では供試体のひずみ挙動を把握するため、図-1に示す位置でコンクリート及び鉄筋のひずみを測定した。また、凍結融解試験終了後にひび割れ本数の測定を松村ら³⁾の方法に準じて行った。

3. 実験結果および考察

3.1 拘束方法の違いによる影響(シリーズ1)

図-2に凍結融解試験中の長さ増加比の変化を示す。水セメント比35%では養生条件にかかわらず、長さ増加比は拘束なし供試体より鉄筋拘束供試体のほうが小さくなっており、鉄筋拘束により長さ変化が抑制されていると言える。また、拘束方法の違いが長さ変化に及ぼす明確な差は見られない。

図-3に凍結融解試験中の相対動弾性係数の変化を示す。水セメント比35%では相対動弾性係数の低下は、拘束なし供試体をもっとも大きく、次に三軸拘束、一軸拘束の順に小さくなっている。これらのことから、鉄筋拘束によりコンクリートの膨張量が小さくなることで劣化が抑制されたと考えられる。また、本実験では水セメント比55%の供試体は拘束の有無にかかわらず劣化しなかつ

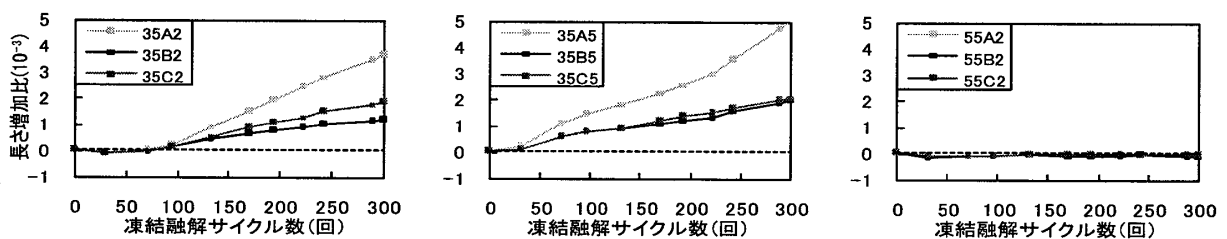


図-2 凍結融解試験中の長さ増加比(シリーズ1)

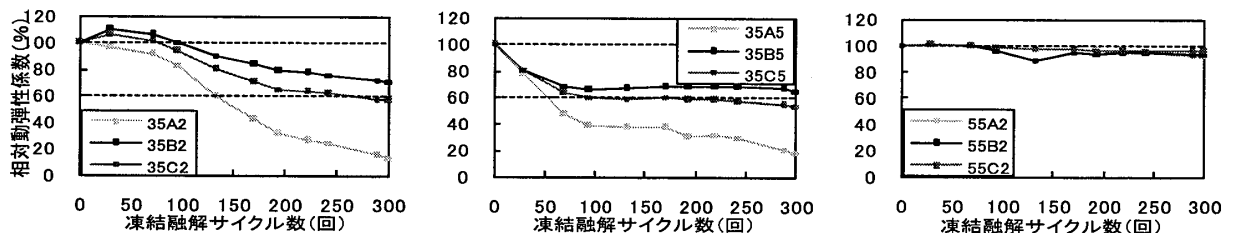


図-3 凍結融解試験中の相対動弾性係数(シリーズ1)

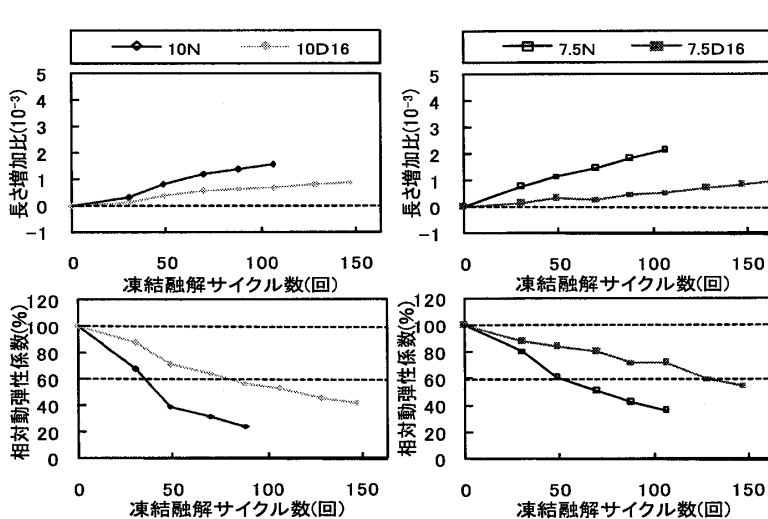


図-4 断面の違いによる比較

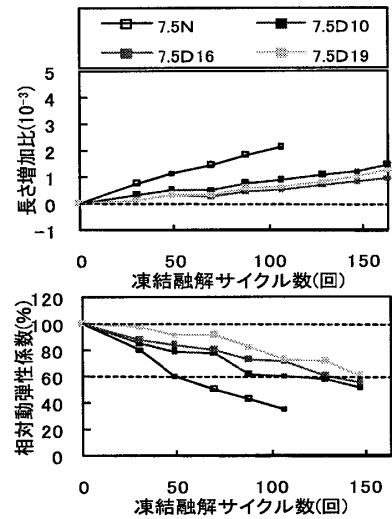


図-5 鉄筋量の違いによる比較

たため、拘束方法の違いによる差は見られなかった。これは、乾湿繰り返し養生中の乾燥温度を20℃とした結果、軽微な乾燥が耐凍害性を向上させたため、劣化しなかったと考えられる。

3.2 供試体断面の違いによる影響 (シリーズ2)

軸筋がD16と等しく供試体断面の大きさのみ異なる7.5D16と10D16について、長さ増加比および相対動弾性係数の変化を、それぞれ拘束なし供試体と比較して図-4に示す。断面の大きさにかかわらず、拘束なし供試体に比べ鉄筋拘束供試体のほうが長さ変化は小さく、これと対応して相対動弾性係数の低下も小さくなっている。

3.3 鉄筋量の違いによる影響 (シリーズ2)

供試体断面が同じで鉄筋量のみ異なる7.5N、7.5D10、7.5D16及び7.5D19について、長さ増加比および相対動弾性係数の変化を図-5に示す。鉄筋量と長さ増加比の間には明確な傾向は見られないが、相対動弾性係数の低下は7.5D19 < 7.5D16 < 7.5D10の順になっており鉄筋量の多いもののほうがより劣化を抑制しているといえる。

3.4 長さ増加比と相対動弾性係数の関係

図-6にシリーズ2について、凍結融解試験中の長さ増加比と相対動弾性係数の関係を示す。前述のように、鉄筋拘束の有無や鉄筋量の違いにより、長さ増加比の変化及び相対動弾性係数の変化には大きな違いが見られた。しかし図-6に示すように鉄筋拘束の有無、拘束方法や鉄筋量が異なっても、長さ増加比と相対動弾性係数の間にはほぼ同一の関係が見られる。このことは、鉄筋拘束供試体と拘束なし供試体の長さ増加比が等しければ、鉄筋の有無に関わらず相対動弾性係数もほぼ同じ値となり、凍害劣化が同程度であることを意

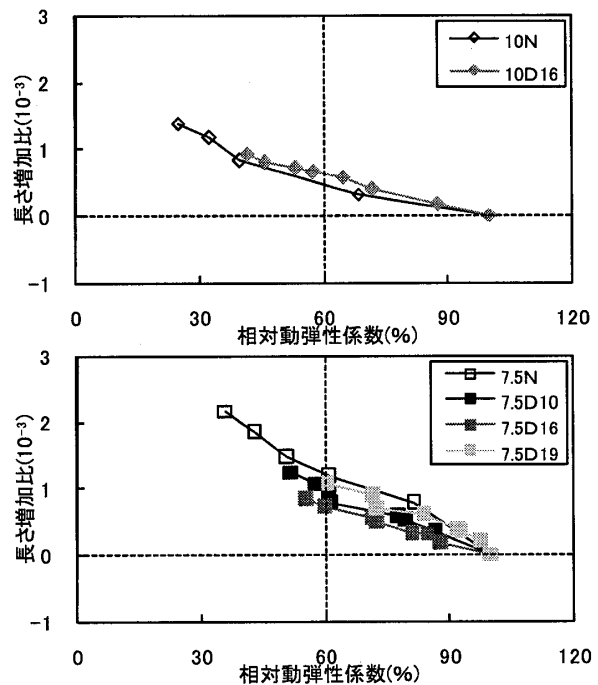


図-6 長さ増加比と相対動弾性係数の関係

味すると考えられる。

3.5 コンクリート及び鉄筋のひずみ計測値

図-7に7.5Nについて、凍結融解試験中の供試体内部の温度とコンクリート中心部でのひずみ計測値の関係を示す。凍結融解の回数が増加するにつれて、長さ増加比が大きくなることと対応して、コンクリートのひずみは徐々に大きくなっていくことがわかる。図-8に7.5D16について、供試体内部の温度と鉄筋のひずみ計測値の関係を示す。前述のように、本実験では鉄筋拘束供試体は、コンクリートの膨張が抑制される結果が得られた。このことから、鉄筋の有無による長さ増加比の差に相当する拘束力を鉄筋が負担するとすれば、鉄筋には引張りひずみが生じると考えられる。

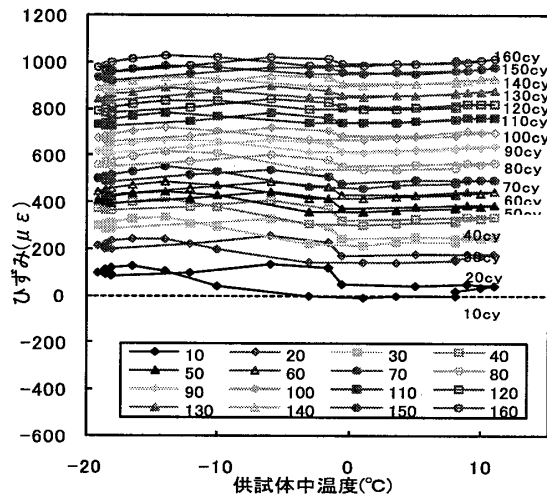


図-7 コンクリートのひずみ計測値

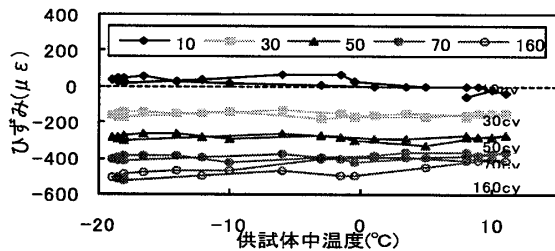


図-8 鉄筋のひずみ計測値

しかし、図-8に見られるように本実験では、凍結融解の回数が増すにつれて鉄筋には圧縮ひずみが蓄積される結果となった。このような現象が生じるメカニズムの解明については、今後の検討課題としたい。

3.6 ひび割れ計測数

図-9に単位長さあたりのひび割れ発生数を示す。供試体断面の大きさが異なっても鉄筋拘束供試体のひび割れ発生数は、拘束なし供試体よりも少なくなっている。また、鉄筋量のみ異なるものを比較すると、鉄筋量が多いものほどひび割れ発生数が少なくなっている。図-10の単位長さあたりのひび割れ発生数と相対動弾性係数の関係を示す。供試体断面の大きさが異なっても、ひび割れ発生数の少ない供試体ほど相対動弾性係数が大きくなっているのがわかる。このことから、供試体を鉄筋で拘束し、その鉄筋量が多いものほど凍害劣化が抑制されていることが確認できる。

4. まとめ

本研究の結果、以下のことが明らかとなった。

1)鉄筋拘束供試体は拘束なし供試体と比較して、凍結融解による長さ変化および相対動弾性係数の

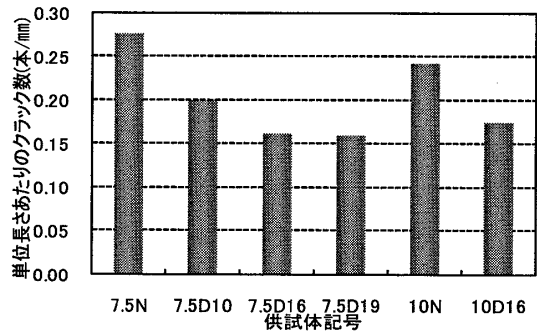


図-9 単位長さあたりのひび割れ発生数

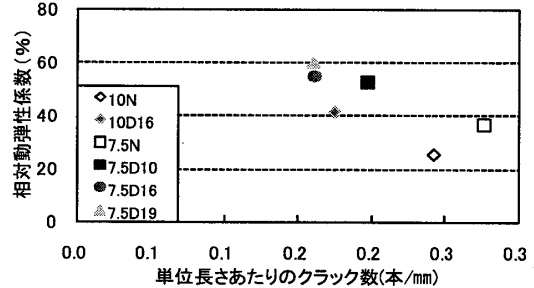


図-10 相対動弾性係数とひび割れ発生数の関係

低下が抑制される。

- 2)鉄筋拘束供試体の長さ増加比と相対動弾性係数の関係は、拘束なし供試体のものとほぼ一致する。
- 3)凍結融解試験後の供試体において、ひび割れ本数は、供試体断面の大きさに関わらず鉄筋拘束供試体の方が拘束なし供試体よりも少なく、鉄筋量が多いものほどひび割れ発生数が少ない結果となり、相対動弾性係数の低下も小さくなっていったことから、鉄筋による拘束が凍害劣化を抑制しているといえる。
- 4)無筋供試体中心のコンクリートのひずみは凍結融解回数の増加に伴って長さ増加比が大きくなることと対応して大きくなったが、鉄筋拘束供試体の鉄筋のひずみは小さくなった。このような現象が生じる機構については今後の検討課題としたい。

謝辞

本実験を実施するにあたり、室蘭工業大学卒業生・窪田光真氏、川嶋隆介氏に多大なご協力をいただきました。記して謝意を表します。

《参考文献》

- 1) 高橋幸一, 浅野研一, 辻野英幸, 豊田邦男: 膨張コンクリートの耐凍害性に及ぼす影響とその機構について, 『膨張コンクリートによる構造物の高機能化/高耐久化』に関するシンポジウム, pp.79-84, 2003.9
- 2) 國府勝郎: 膨張コンクリートと鋼材との複合効果に関する研究, 東京都立大学学位論文, 1984.3
- 3) 松村宇, 桂修, 吉野利幸: 凍害を受けたコンクリートの劣化性状と劣化度評価に関する研究, 日本建築学会構造系論文集, No.563号, pp.9-13, 2003.1

*1 室蘭工業大学大学院

*2 室蘭工業大学 講師・博士(工学)

*3 室蘭工業大学 准教授・博士(工学)

*4 ミサワホーム株式会社

*1 Graduate School, Muroan Institute of Technology

*2 Assis.Prof., Muroan Institute of Technology, Dr.Eng.

*3 Assoc.Prof., Muroan Institute of Technology, Dr.Eng.

*4 Misawa Homes Corporation