

凍結融解試験条件による耐凍害性の相違および
凍結融解に起因するひび割れが耐久性指数の変化に及ぼす影響正会員 ○渡邊 詩穂子¹
同 濱 幸雄²1. 材料施工—2. モルタル・コンクリートの物性
凍結融解試験、養生条件、凍結融解サイクル数、微細ひび割れ、耐凍害性

1. はじめに

コンクリートの耐凍害性は一般に促進凍結融解試験によって評価されている。我が国では ASTM C-666 に準拠した JIS A 1148A 法(水中凍結水中融解試験)が最も広く用いられており、多くのデータの蓄積がある。また、近年では RILEM TC-176 で提案された RILEM CDF/CIF 法も用いられるようになってきた。この現状では、凍結融解試験方法が異なると同一のコンクリートでもその耐凍害性の結果に差が出るのではないかと考えられる。

そこで本研究では、同一のコンクリートを用いて JIS A 法、B 法および RILEM CIF 法による凍結融解試験を行い、養生条件・凍結融解方法・凍結融解サイクル数が耐凍害性の評価結果に及ぼす影響について検討を行った。

また、一般にコンクリートの凍害劣化の進行には微細ひび割れの蓄積が影響していると言われていいる。松村らの研究¹⁾によると、相対動弾性係数の低下に伴いひびわれ本数は増加し、両者の関係には負の相関があることが示されている。そこで、本研究ではこの関係をもとに、凍結融解によって生じたひび割れがその後の耐凍害性の変化に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験方法及び使用材料

凍結融解試験の条件を表 1 に、使用したコンクリートの条件を表 2 に示す。凍結融解試験前の養生条件は 20℃・4 週水中養生(養生 a)及び養生期間中に 20℃・60%RH での気中養生を加えた養生(養生 b) の 2 水準とした。凍結融解試験は JIS A 1148 A 法及び B 法、RILEM CIF 法に準じて行い、JIS A 法は相対動弾性係数が 60%を切るまで、B 法は 300 サイクルまで、RILEM CIF 法は 56 サイクルま

表 1 凍結融解試験の条件

凍結融解試験	凍結融解試験までの養生条件
①JIS A法 (水中凍結水中融解)	a. 4週20℃水中
	b. 1週20℃水中 +室温20℃湿度60%3週乾燥+1週20℃水中
②JIS B法 (気中凍結水中融解)	a. 4週20℃水中
	b. 1週20℃水中 +室温20℃湿度60%3週乾燥+1週20℃水中
③RILEM CIF	b. 1週20℃水中 +室温20℃湿度60%3週乾燥+1週20℃水中

表 2 コンクリートの条件

試験体記号	セメント	W/C (%)	スランブ(フロー)	空気量 (%)
35-1.0	普通ポルトランド セメント	35	フロー	1.0
35-4.5			650mm	4.5
55-1.0	55	55	スランブ	1.0
55-4.5			180mm	4.5

表 3 調合表

試験体 記号	Air (%)	s/a (%)	W (kg)	絶対容積(ℓ/m ³)			単位 粗骨材 かさ容積 (m ³ /m ³)	高性能AE 減水剤 C×wt(%)	AE 減水剤	空気 調整剤 C× wt(%)
				C	S	G				
55-1.0	1.0	45.9	172	99	314	370	0.62	-	250ml	0.02
55-4.5	4.5	45.9	172	99	314	370	0.62	-	/C100kg	0.0005
35-1.0	1.0	40.9	160	169	256	370	0.60	4.32	-	0.02
35-4.5	4.5	40.9	160	169	256	370	0.60	4.32	-	-

でを目安に行った。

セメントは普通ポルトランドセメント(密度 3.16g/cm³)、細骨材にはコイトイ産陸砂(表乾密度 2.69 g/cm³、粗粒率 2.05、吸水率 1.46%)、粗骨材には尾幌産碎石(表乾密度 2.68 g/cm³、粗粒率 6.53、吸水率 1.42%)を用いた。調合表を表 3 に示す。

3. 実験結果および考察

3.1 凍結融解試験結果

(1) JIS A 法試験結果

図 1 に JIS A 法による凍結融解試験での 300 サイクルまでの相対動弾性係数の変化を示す 55-4.5 では気中養生を加えた場合(養生 b)の方が劣化しにくくなっているのに対して、35-1.0 では気中養生を加えた養生 b のほうが早期に劣化しており、気中養生の影響が逆の結果を示している。

図2にJIS A法での1500サイクルまでの相対動弾性係数の変化を示す。35-4.5は凍結融解1400サイクルを過ぎても相対動弾性係数の低下はほとんどなかった。35-1.0の養生aは300サイクルではほとんど相対動弾性係数の低下を示さなかったが、700サイクルを超えてから急激な相対動弾性係数の低下を示した。このことは、耐凍害性評価のために必要な凍結融解サイクル数を再検討する必要性を示唆している。

(2) JIS B 法試験結果

図3にJIS B法における相対動弾性係数の変化を示す。35-1.0では気中養生を加えた場合(養生

b)の方が200サイクルあたりから急激に相対動弾性係数が低下し最終的には40%近くなったのにも関わらず、気中養生なしの場合(養生 a)はほとんど低下しなかった。

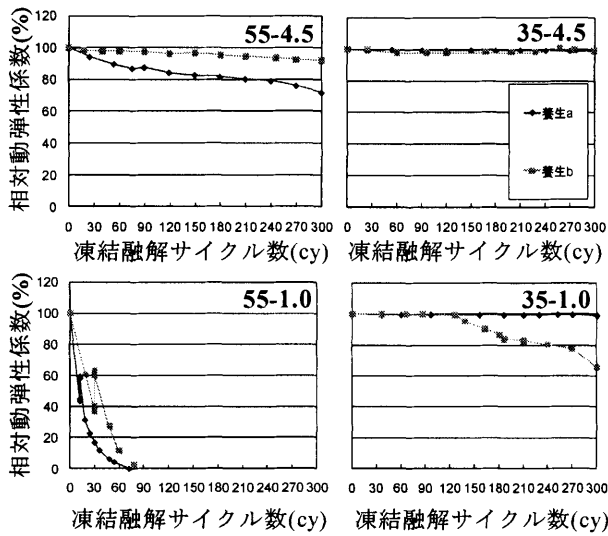


図1 JIS A法による300サイクルまでの相対動弾性係数の経時変化

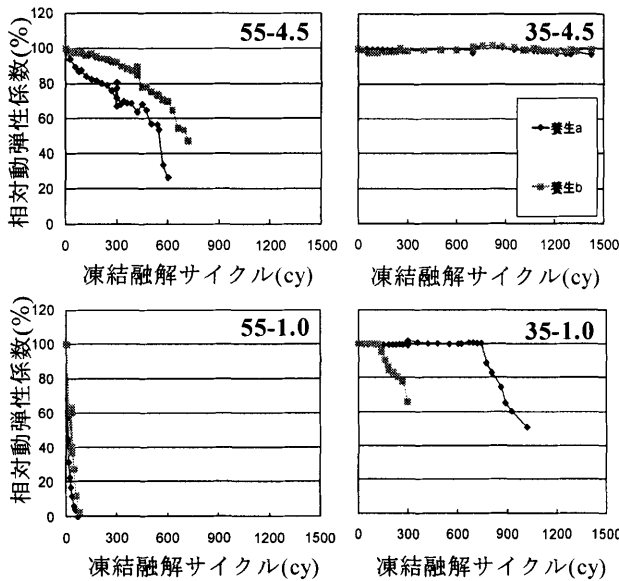


図2 JIS A法による1500サイクルまでの相対動弾性係数の経時変化

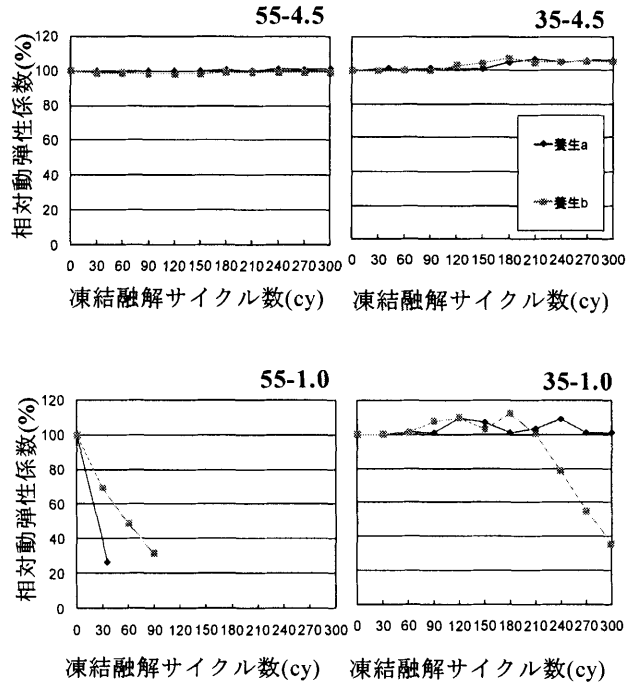


図3 JIS B法による相対動弾性係数の経時変化

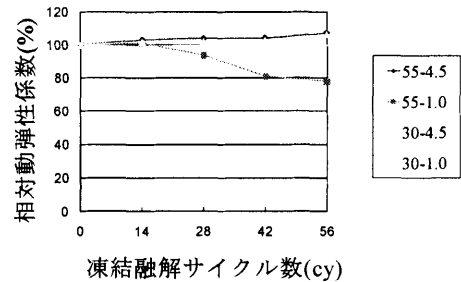


図4 RILEM CIF法 相対動弾性係数の経時変化

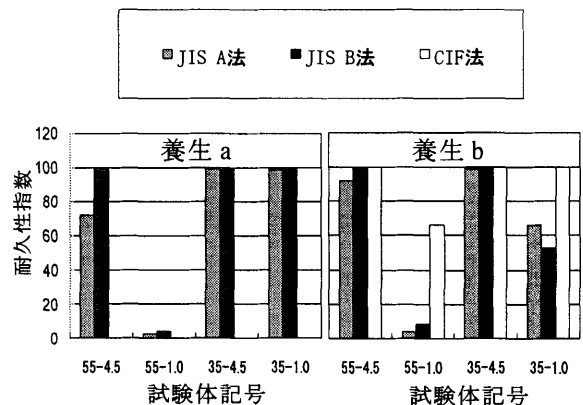


図5 養生 a 時の耐久性指数 図6 養生 b 時の耐久性指数

(3) RILEM CIF 法試験結果

図4に RILEM CIF 法における相対動弾性係数の変化を示す。55-1.0のみ14サイクルあたりから相対動弾性係数が低下し始め、56サイクルで80%を下回った。

3.2 各種凍結融解試験及び養生条件の違いによる耐凍害性の評価結果の違い

3.1で示した相対動弾性係数から求めた JIS A 法及び B 法では 300 サイクル、RILEM CIF 法では 56 サイクルでの 4 週水中養生(養生 a)時の耐久性指数の比較を図5に、気中養生を加えた場合(養生 b)の耐久性指数の比較を図6に示す。

気中養生が加わる場合(養生 b)は空気量の少ない低水セメント比のコンクリート(35-1.0)では、JIS B 法のほうが JIS A 法よりも劣化を示した。これは、養生時に乾燥が加わることでコンクリート内の細孔量や微細なひび割れが増加したことが原因と推測されるが、この検討は本実験の範囲外である。また、同じく 35-1.0 では JIS A 法及び JIS B 法ともに劣化を示していたのにも関わらず、RILEM CIF 法はほとんど劣化を示さなかった。RILEM CIF 法で劣化を示したものは 55-1.0 のみであった。

3.3 ひびわれ本数と相対動弾性係数の関係

松村らの既往の研究で¹⁾相対動弾性係数の低下に伴いひびわれ本数は増加し、両者の関係には負の相関が見られることが明らかにされている。この両者の関係を表すために(1)式が提案されている。

$$DFr = -2.3625Cn + 1.3142 \quad \dots (1)$$

ここに、DFr：相対動弾性係数(RDM)のロジット変換値

$$DFr = \log_{10}(DF / (100 - DF))$$

Cn：単位測長あたりのひびわれ本数(本/mm)

劣化の進行に伴う相対動弾性係数の低下に対応して(1)式からひび割れ本数を算出することができる。

(1)式を用いることにより、凍害劣化の進行に伴う相対動弾性係数の低下に対応したひびわれ本数を算出することができる。そこで、図7に示すように、ある凍結融解サイクル(N サイクル)時の相対動弾性係数に対応するひび割れ本数を(1)式から算出し、さらにNサイクル時の動弾性係数を基準としてN+300サイクルまでの相対動弾性係数を再計算して耐久性指数を算出することによって、凍結融解によって生じた微細ひび割れの本数が耐久性指数の変化に及ぼす影響を評価することが可能となる。

図2に示した 55-4.5 及び 35-1.0 の凍結融解試験結果から求めたひび割れ本数と耐久性指数の関係を図8に示す。なお、(1)式は相対動弾性係数90%以下の範囲での近似式として提案されたものであるが、今回の検討では相対動弾性係数90%以上の場合にも適用している。また、相対動弾性係数が90%以上の場合で(1)式によってひび割れ本数が算出できなかった場合にはひび割れ0本/mmと仮定して検討を進めた。

55-4.5の養生aでは、ひび割れ本数0~0.3本/mmまでの範囲ではひび割れ本数が増加するほど耐久性指数がやや大きくなり、ひび割れ本数が0.3本/mm以上ではひび割れ本数が増加するほど耐久性指数が低下している。また、55-4.5の養生bでは、ひび割れ本数が増加しない場合、つまり相対動弾性係数の低下がない条件の範囲でも耐久性指数が低下し、ある段階からひび割れ本数の増加とともに耐久性指数が低下している。

一方、700 サイクルまで相対動弾性係数がほとんど低下せず、その後に急激な劣化を示した 35-1.0 の養生 a では、ひび割れ本数が 0 本/mm のまま耐久性指数が 40 程度まで低下し、その後ひび割れ本数が増加しても耐久性指数の変化がないという結果を示している。

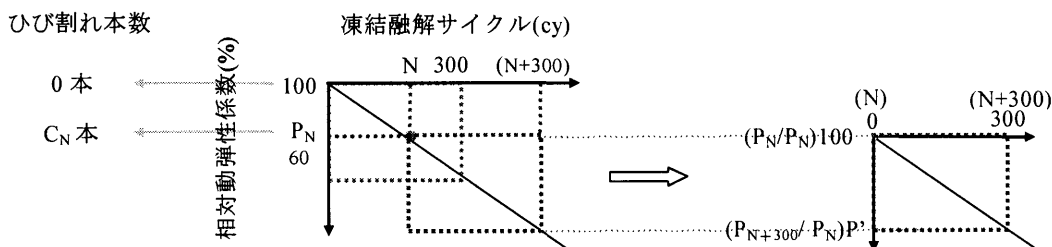


図7 N サイクルを基準として 300 サイクルの DF を算定する場合

4. 劣化パターンのモデル化による考察

3.3 の検討結果から、ひび割れ本数と耐久性指数の変化の関係は、対象とするコンクリートの劣化パターンによって異なることが示唆された。そこで、表4および図9に示すような初期の耐久性指数が60となる(300サイクルで相対動弾性係数が60%となる)劣化モデルを8種類設定し、前項と同様の検討を行い、それぞれの劣化モデルにおけるひびわれ本数と耐久性指数の関係を図10のように求めた。

すべての劣化モデルにおいて、ひび割れ本数と耐久性指数の変化の関係は異なっている。直線的に相対動弾性係数が低下する劣化モデル①②④は、ひび割れ本数の増加とともに耐久性指数が低下する傾向にある。初期段階で緩やかに、後に急激に相対動弾性係数が低下する③⑦⑧では、初期のひび割れ本数が少ない段階で急激に耐久性指数が低下し、その後にひび割れ本数の増加に対する耐久性指数の低下が緩やかになる傾向にある。また、初期段階で急激に相対動弾性係数が低下する劣化モデル⑤⑥は、ひび割れ本数の増加につれて耐久性指数が高くなっている。

5. まとめ

- 1) 同一のコンクリートで各種凍結融解試験を行うと、耐凍害性の評価に差のあることが分かった。
- 2) 空気量の少ない低水セメント比のコンクリートは気中養生を加えた養生bが劣化した。
- 3) 養生時に気中養生が加わると、35-1.0でJIS B法がJIS A法よりも劣化する。
- 4) 凍結融解によって生じた微細ひび割れの本数と耐久性指数の変化の関係は、対象とするコンクリートの凍害劣化パターンによって異なることが明らかとなった。

【謝辞】本研究の実験実施にあたり、釧路高専・大楽隆男元教授、三森敏司准教授の協力を得た。記して、謝意を表す。

【参考文献】

- 1) 松村宇、桂修、吉野利幸、凍害を受けたコンクリートの性状と劣化度評価法に関する研究、日本建築学会構造系論文集、第563号9-13、2003年1月
- 2) 田畑雅幸、洪悦郎、鎌田英治、コンクリートの凍害におけるひび割れの考察、日本建築学会構造系論文集、第366号、

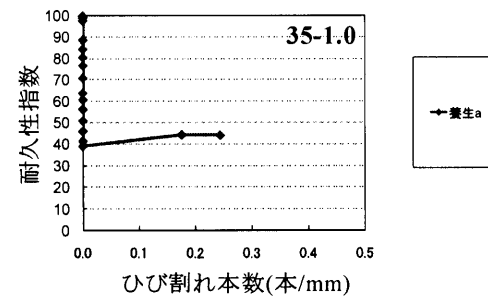
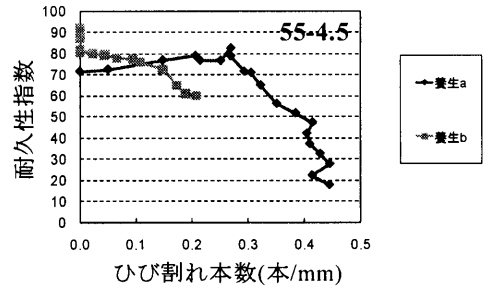


図8 ひびわれ本数と耐久性指数の関係

表4 劣化モデルの分類

モデル番号	低下モデルの分類
①	直線的に低下する
②④	ほぼ直線的に低下する
⑤⑥	初期に急激に、後に緩やかに低下する
③⑦⑧	初期に緩やかに、後に急激に低下する

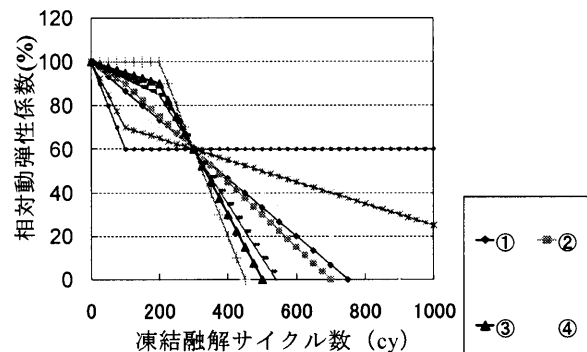


図9 劣化モデル

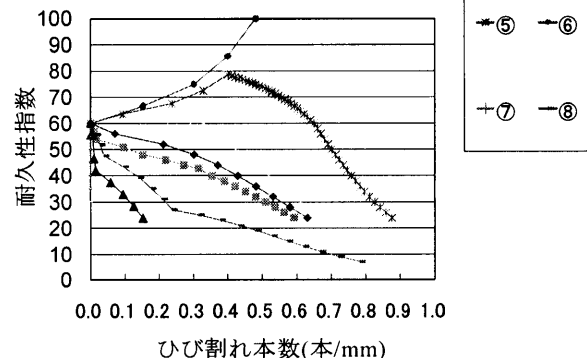


図10 ひびわれ本数と耐久性指数の関係

*1 室蘭工業大学大学院

*2 室蘭工業大学 准教授 博士(工学)

*1 Graduate School, Muroran Institute of Technology.

*2 Assoc. Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.