

簡易透気試験を用いたコンクリート構造物の耐久性評価手法の検討

正会員 ○高橋 力也*1

同 濱 幸雄*2

同 岸本 嘉彦*3

1. 材料施工-2. モルタル・コンクリートの物性

透気性、相対動弾性係数、ドリル削孔法、微破壊試験、耐久性評価、中性化

1. はじめに

近年、構造物の維持保全の立場から現場で、微破壊で、簡便に行える適切なコンクリート構造物の耐久性評価手法の開発が求められている。日本建築学会建築工事標準仕様書 JASS5 では、鉄筋コンクリート構造物の供用期間は中性化の進行程度により評価され、その指標である中性化速度係数をもとに建築物の耐用年数が算出されている。中性化速度係数は透気係数と関係が深いことが知られており¹⁾、コンクリート構造物の劣化診断・耐久性評価方法として、現場で容易に実施できる透気試験方法が注目されており、特に比較的安価で簡便に実施できるドリル削孔法やトレント法に関する検討が行われている²⁾³⁾⁴⁾。

一方、積雪寒冷地における鉄筋コンクリート構造物に発生する特有な劣化現象として凍害がある。構造物の維持保全のために表層部から劣化が進行する凍害の劣化程度を定量評価することは必要であるが、現場では凍害劣化の指標である相対動弾性係数を測定することは不可能であり、実構造物においては目

視と環境条件からの推定という方法で凍害劣化を評価しているのが現状である。凍害の進行にともない発生するコンクリートの微細ひび割れは、透気性に影響を及ぼし、相対動弾性係数と中性化速度係数比とは一定の関係にあることが指摘されている。

そこで本研究では、コンクリートの透気性に着目し、ドリル削孔法による簡易透気試験による簡易透気速度から、凍害劣化による影響を考慮した耐久性評価手法を提案することを目的とし、簡易透気速度と中性化速度係数および相対動弾性係数の関係について検討を行った。

2. 実験計画および方法

実験計画およびフレッシュ性状を表1に示す。試験体は直径φ10cm×高さ10cmのモルタル試験体とし、水セメント比が異なるベース試験体と、凍害劣化を想定し予め表層部の水セメント比と表層部厚さを変化させたモデル試験体の2種類とした。モデル試験体の概要を図1に示す。ベース試験体の水セメ

表1 実験計画

試験体種類	W/C (%)		測定項目	試験体の条件	フレッシュ性状						
					W/C (%)	練温 (°C)	空気量 (%)	フロー値 (mm)	単位容量質量 (kg/m ³)		
ベース	55	65	簡易透気速度 動弾性係数 中性化深さ	促進中性化 0, 1, 4, 8, 13週	55	21.0	3.5	192×200	2279		
	75										
モデル	W/C (%)				厚さ (cm)		65	19.0	3.0	240×245	2271
	ベース部	表層部					75	19.0	3.1	300×300以上	2262

A Study on Durability Evaluation of Reinforced Concrete Structures by Air permeability tests

TAKAHASHI Rikiya et al.

ント比は 55%、65%、および 75%の 3 水準とした。モデル試験体はベース部の水セメント比を 55%、劣化部を 65%、75%とした。劣化部の厚さは 1、3、5、および 7cm とした。どちらの試験体も打設後封緘養生を 4 週行った後脱型し、その後 20°C60%RH の恒温恒湿室にて 4 週気中養生を行った後に促進中性化試験を開始し、促進中性化試験前および所定の材齢毎に試験体を装置から取り出し、各測定を行った。

測定項目は表 1 の通りとした。簡易透気速度に関してはドリル削孔法⁴⁾を用いて測定する。ドリル削孔法は、ドリルを用い試験体に φ10 mm×50 mm の孔をあけ、その孔にシリコン栓をした後エポキシ樹脂により密閉する。その後孔内を真空状態とし、孔の周壁から空気が流入し真空度が一定区間低下する際に要する時間 T を測定し、(1)式より簡易透気速度 K を算出した。

測定は一試験体につき 4 回行い、1 回目を除いた 3 回の平均値を用いた。

$$K = (P_1 - P_2) / T \quad (1)$$

$T < 10$ 秒の時 $P_1 = 33.3$ $P_2 = 13.3$ (kPa)

$T > 10$ 秒の時 $P_1 = 25.3$ $P_2 = 21.3$ (kPa)

ここに、 K : 簡易透気速度 (kPa/sec)

T : P_1 から P_2 への低下に要した時間 (sec)

動弾性係数の測定は縦振動法および超音波伝播速度の二つの方法で求めた。超音波伝播速度の測定は試験体側面から行い、表層部より 1cm ごとに深さを変化させ、測定を行った。

3. 実験結果および考察

3.1 簡易透気試験および中性化深さ

水セメント比ごとの中性化速度係数と簡易透気速度の関係を図 2 に示す。水セメント比が高くなるほど簡易透気速度は増加し、それに伴い中性化速度係数も増加する結果となった。また、簡易透気速度と中性化速度係数の両者にはよい相関がみられた。

3.2 中性化速度係数比と相対動弾性係数

図 2 において、水セメント比 55% の場合の中性化速度係数に対する中性化速度係数比と、同じく水セメント比 55% を 100% とした場合の縦振動法で求め

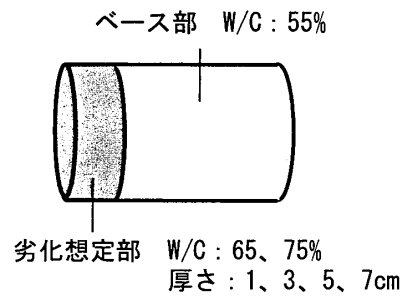


図 1 モデル試験体の概要

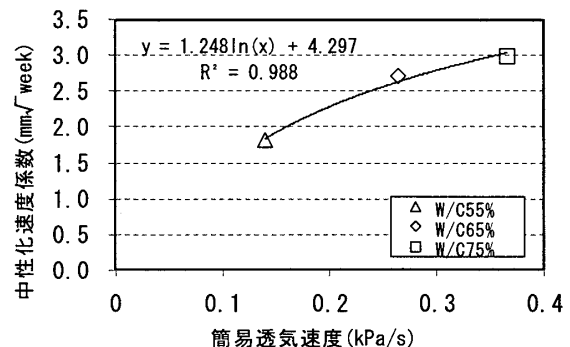


図 2 簡易透気速度と中性化速度係数の関係

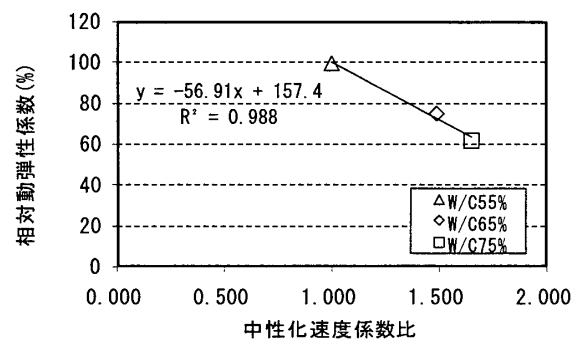


図 3 中性化速度係数比と相対動弾性係数の関係

た相対動弾性係数の関係を図 3 に示す。水セメント比が高くなるほど中性化速度係数比は増加しており、逆に相対動弾性係数の値は低下している。また、中性化速度係数比と相対動弾性係数は線形近似で決定係数 $R^2 = 0.988$ と、高い負の相関がみられた。

3.3 モデル試験体の相対動弾性係数

図 4 にモデル試験体の表層部が水セメント比 65% 時の、および図 5 に表層部が水セメント比 75% の場合の深さ 9cm を 100% とした場合の、深さ方向への相対動弾性係数の変化を示す。図 4、図 5 ともに試験体表面に近いほど相対動弾性係数が低下しているのがわかる。また、表層部の厚さおよび水セメント比が大きいほど相対動弾性係数の低下は大きくなり、最も低下した M75-5cm では深さ 1cm で相対動弾性係数

は 71%となった。設定したモデル条件に応じて相対動弾性係数が低下していることから、モデル試験体は凍害劣化による相対動弾性の低下を表しているといえる。また、水セメント比 55%のベース試験体において表層部の相対動弾性係数が低下しているのは、ブリーディングによる影響と考えられる。

3.4 耐久性評価手法の検討

3.1 および 3.2 から中性化速度係数と簡易透気速度、及び中性化速度係数比と相対動弾性係数の間にはよい相関を示した。以上より、まず図 1 中の式を実験式(2)式として用い、簡易透気試験結果から中性化速度係数予測値 Nt を算出する。

$$Nt = -1.248 \ln(K) + 4.297 \quad (2)$$

ここに、 Nt ：中性化速度係数予測値(mm/√ week)

K ：簡易透気速度(kPa/s)

次にその予測値より、図 2 中の式を実験式(3)式として用い、中性化速度係数比から相対動弾性係数予測値 RDM_t を算出する。

$$RDM_t = (-0.5691(Nt/N_i) + 1.574) \times 100 \quad (3)$$

ここに、 RDM_t ：相対動弾性係数予測値(%)

N_i ：初期中性化速度係数(mm/√ week)

本実験では、初期の中性化速度係数 Nt は水セメント比 55%のベース試験体の値を用いた。モデル試験体の(2)式および(3)式によって得られた算出結果を表 2 に示す。また、(3)式より算定したモデル試験体の相対動弾性係数の予測値と縦振動法により測定した実測値との対応を図 6 に示す。

図 6 より、全体的に実測値が予測値を上回る結果となったが、決定係数は $R^2 = 0.767$ と概ね高い相関を示した。以上の結果から、簡易透気速度を用いて凍害の劣化程度を診断するこの耐久性評価手法は適

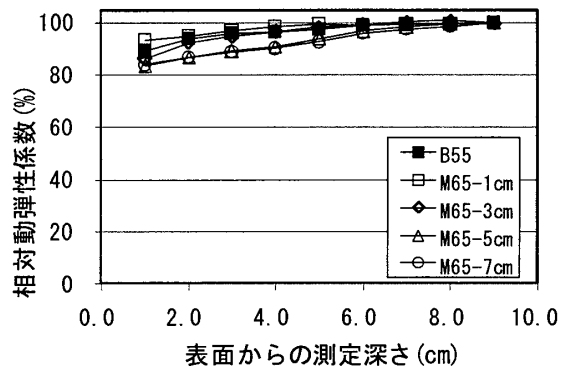


図 4 超音波伝播速度による相対動弾性係数の深さごとの変化(W/C=65%)

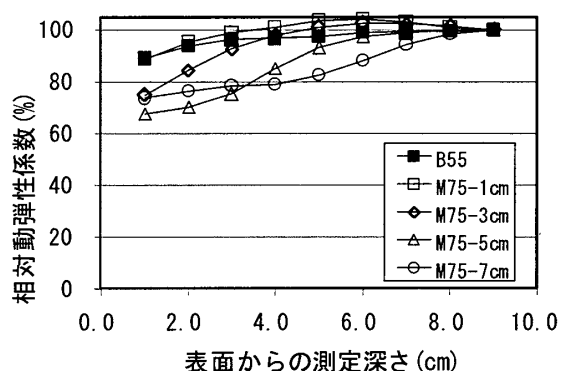


図 5 超音波伝播速度による相対動弾性係数の深さごとの変化(W/C=75%)

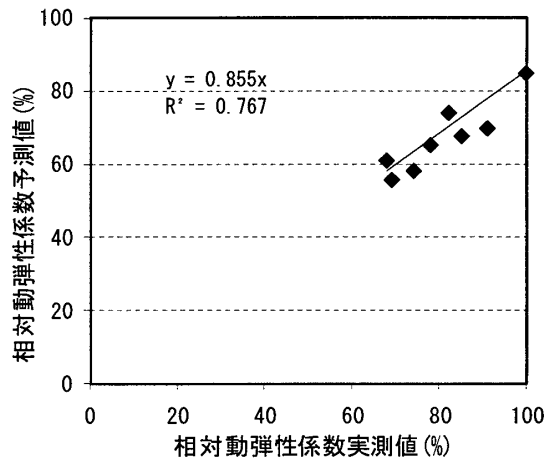


図 6 相対動弾性係数の予測値と実測値の対応

表 2 耐久性評価手法による算出結果

モデル試験体名	簡易透気速度 (kPa/s)	中性化速度係数予測値 (mm/√ week)	中性化速度係数比	相対動弾性係数 (%)	
				予測値	実測値
M65%-1cm	0.21	2.349	1.275	85	100
M65%-3cm	0.31	2.835	1.538	70	91
M65%-5cm	0.33	2.913	1.581	67	85
M65%-7cm	0.28	2.708	1.469	74	82
M75%-1cm	0.35	2.987	1.621	65	78
M75%-3cm	0.42	3.214	1.744	58	74
M75%-5cm	0.45	3.300	1.791	55	69
M75%-7cm	0.39	3.122	1.694	61	68

切に行える可能性を示した。

3.5 深さごとの相対動弾性係数と、縦振動法による相対動弾性係数の関係

図7に試験体の深さごとの超音波伝播速度による相対動弾性係数と、縦振動法による試験体全体の相対動弾性係数の対応の例を示す。また、超音波伝播速度による深さごとの相対動弾性係数と縦振動による試験体全体の相対動弾性係数の相関の変化を図8に示す。図8より、相関係数Rは表層部から1cmの値が最も高く、超音波測定位置が深くなるにつれ低下した。この結果から、縦振動法による相対動弾性係数は、劣化部である試験体表層を最も大きく評価していることが分かった。本研究の目標とする測定部位はかぶりコンクリートであるため、表層部1cmのみではなく、かぶりコンクリート全体を評価することが今後の検討課題といえる。

4. まとめ

本研究では簡易透気速度を用いた耐久性評価のため、簡易透気速度と中性化速度係数および相対動弾性係数の関係を検討した。以下にそのまとめを記す。

- 1) 水セメント比が増加するにつれ、中性化速度係数と簡易透気速度は共に増加する。また、中性化速度係数と簡易透気速度の間には良い相関がみられた。
- 2) 中性化速度係数比が増加するにつれ、相対動弾性係数は低下する。また、両者の間に高い負の相関がみられた。
- 3) 本研究の耐久性評価手法により、簡易透気速度から凍害の劣化程度が診断できる可能性を示した。
- 4) 縦振動による相対動弾性係数は試験体表層部の相対動弾性係数と最も相関が高い。

謝辞

本研究は、文部科学省技術振興調整費プログラムの一環として実施したものである。また、実験実施にあたり、室蘭工業大学卒業生の高田竜太君(現 鹿島建設株式会社)の多大な助力を得た。記して謝意を表する。

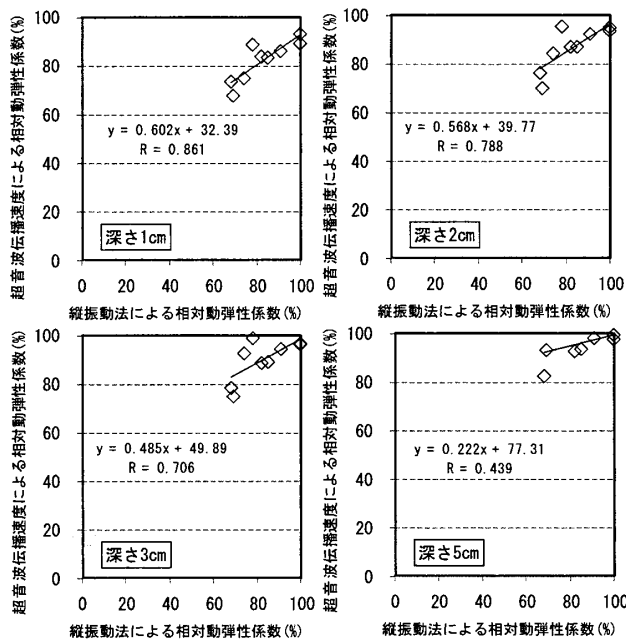


図7 深さごとと試験体全体の相対動弾性係数の対応

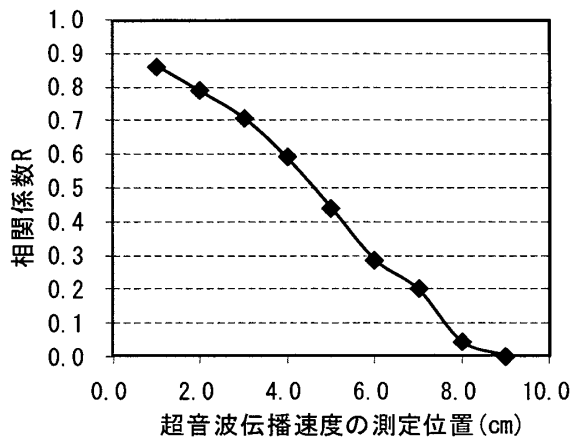


図8 試験体全体の相対動弾性係数と、深さごとの相対動弾性係数の相関の変化

【参考文献】

- 1) 金武漢ら：モルタル及びコンクリートの中性化に影響を及ぼす透気係数に関する実験的研究、コンクリート工学年次論文集、Vol122、No. 1、2000
- 2) 笠井芳夫ほか：ドリル削孔を用いた構造体コンクリートの簡易透気試験方法—その1 簡易透気試験方法(案)の提案—、日本建築学会大会学術講演梗概集(中国)、1999年9月
- 3) 下澤和幸ほか：簡易透気性試験による鉄筋コンクリート構造物の耐久性評価手法に関する研究—その1 供試体による簡易透気試験と中性化深さ到達期間—、日本建築学会学術講演梗概集(北陸)、2010年9月
- 4) かぶりコンクリートの透気性に基づくRC構造物の耐久性能検証に向けた基礎的研究、日本建築学会構造系論文集、第74巻、第638号、pp563-569、2009年4月

*1 室蘭工業大学大学院 博士前期課程

Graduate student, Muroran Institute of Technology

*2 室蘭工業大学大学院 教授 博士(工学)

Prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.

*3 室蘭工業大学大学院 助教 博士(工学)

Assistant prof., Muroran Institute of Technology, Dr. Eng.