

コア採取による凍害危険度4~5の山間部の コンクリート構造物での凍害・塩害調査

(独) 土木研究所 寒地土木研究所 道北支所 ○葛西 隆廣
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 遠藤 裕丈
 (独) 土木研究所 寒地土木研究所 耐寒材料チーム 田畑 浩太郎

厳しい財政事情の下でコンクリートの長寿命化を図るには適切な維持管理が必要である。特に積雪寒冷地においては、凍結融解と凍結防止剤などの塩化物との複合作用による劣化に対する耐久性設計法の充実と、劣化予測技術の向上が求められる。本論文では、実態に即した凍害の各種劣化形態（ここではスケーリングとひび割れを対象）の複合的な発生・進展を考慮した合理的な耐久性設計法の確立・提案に向け、凍害危険度4~5の山間部の道路橋を対象にコア採取による調査を実施した。その結果、凍害を受けたコンクリートの損傷程度と、劣化の進行状況を確認できた。

キーワード：コンクリート、凍害、ひび割れ、スケーリング

1. はじめに

わが国では、建設後、40~50年が過ぎたコンクリート構造物の数が増加傾向にあり、本格的な維持更新の時代を迎えている。コンクリート構造物を効率良く維持するためには、適切な劣化予測を行う必要がある。しかし、現在の凍害の予測の考え方はスケーリングのみ、もしくはひび割れのみといった単一の凍害形態の進行を前提としており、スケーリングとひび割れの複合発生など2種類以上の凍害形態が同時に進行する実際の状況とは対応していない。また凍結融解の厳しさや凍結防止剤の散布量は地域によって異なり、それらが凍害の進行に及ぼす影響についても明確になっていない。

そこで、凍害による各種劣化形態（ここでは、スケーリングとひび割れを対象）の複合的な発生・進行を考慮した凍害の進行予測技術の提案に向け、凍害危険度4~5の山間部の道路橋を対象に調査を行い、スケーリングによる損傷度合の定量的な評価、ならびにコア採取による凍害ひび割れの度合の定量的な評価を行った。

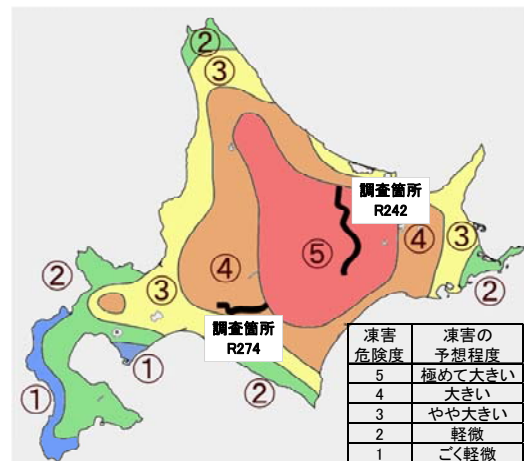


図-1 凍害危険度マップ

表-1 調査対象橋梁諸元

凍害危険度	路線名	橋梁	架設年度	所在地	凍害危険度	路線名	橋梁	架設年度	所在地
5	一般国道242号	a橋	S51	遠軽町	4	一般国道274号	A橋	S48	むかわ町
		b橋	S42	遠軽町			B橋	S60	むかわ町
		c橋	S34	遠軽町			C橋	S59	むかわ町
		d橋	S42	北見市			D橋	S45	占冠町
		e橋	S32	置戸町			E橋	S48	日高町
		f橋	S39	足寄町			F橋	S57	日高町

2. 調査概要

(1) 調査対象橋梁部位

図-1に凍害危険度マップ¹⁾を示す。これは凍害発生の危険性をグレード分けしたもので、外気温上の最低温度や凍結融解日数などの気象データを基に作成されている。

凍害危険度は、その数値が大きいほど凍害が発生する危険性が高いことを表しており、環境の厳しさの目安となる。

ここでは調査の目的に鑑み、凍害危険度と凍結防止剤の散布量に着目して調査橋梁を選定した。調査路線を図-1に、調査橋梁を表-1に示す。調査橋梁は、過年度の

調査結果をもとに²⁾、凍害危険度が5のエリアに属する一般国道242号の遠軽～陸別～足寄間の34橋と、凍害危険度が4のエリアに属する一般国道274号の夕張～日高～日勝峠間の25橋の中から、凍害の程度が外見上、最も大きかった橋梁を各路線から6橋ずつ、計12橋選定した。これらの路線の平成15年度における凍結防止剤の散布量の比は、一般国道242号が1に対して一般国道274号は15である。

対象部位は、路面から流れ落ちてくる凍結防止剤を含んだ融雪水の水みちにあたる橋台とした。

(2) 調査内容

凍害の程度の定量的な評価および劣化予測に必要なデータを取得するため、スケーリングに関しては剥離度、凍害ひび割れに関しては相対動弾性係数を調査した。図-2にコア採取箇所および調査概要を示す。

a) 剥離度

剥離度³⁾の定義は次式で表される。

$$D_m = D \times A_s = \frac{S}{50 \times 50} \quad (1)$$

ここに、 D_m は剥離度 (mm)、 D は剥離深さ (mm)、 A_s は枠内におけるスケーリング面積の割合、 S は枠内におけるスケーリング面積 (cm²) である。図-3に剥離度の測定要領を示す。はじめにスケーリングの程度が大きいエリアに50×50cmの枠を置き、枠内におけるスケーリング発生箇所をチョークで明示し、デジタルカメラで撮影して剥離面積 (Scm²) を求めた。これを枠内面積の2500cm²で除した値を A_s とした。次にノギスを用いて剥離深さを枠内で10点測定し、その平均値を D とした。

b) 相対動弾性係数

図-2に示す凍害の程度が外見上大きい箇所からコアを採取し (①のコア)、次いで図-4に示す要領で深さ1,2,3,4,5cm位置の超音波伝播速度を測定した。相対動弾性係数は式(2)⁴⁾および式(3)より求めた。

$$E_d = 4.0387V^2 - 14.438V + 20.708 \quad (2)$$

$$RE_d = \frac{E_{dn}}{E_{d0}} \times 100 \quad (3)$$

ここに、 E_d は動弾性係数 (GPa)、 V は超音波伝播速度 (km/sec)、 RE_d は相対動弾性係数 (%)、 E_{dn} は各深さにおける動弾性係数 (GPa)、 E_{d0} は部材供用前の動弾性係数 (GPa) (不明ならば、健全とみなせる箇所の動弾性係数) である。

E_{d0} については、図-2に示す外見上健全な箇所から採

取した「②のコア」の最深部で測定された超音波伝播速度の平均値と「①のコア」の最深部で測定された超音波伝播速度値の大きな方を採用し、(2)に代入した。

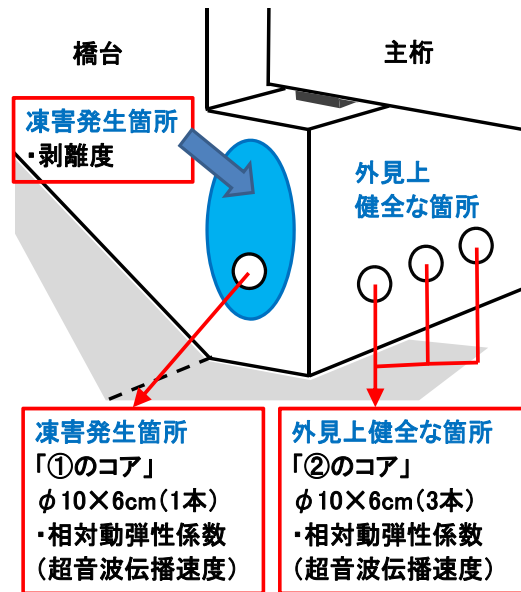


図-2 コア採取箇所および調査内容

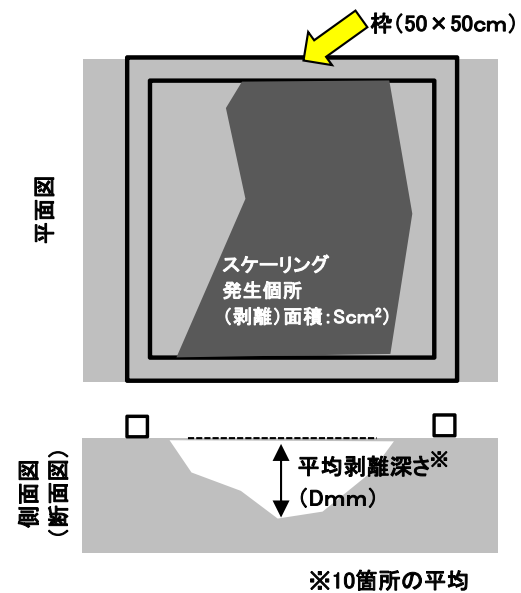


図-3 剥離度の測定要領

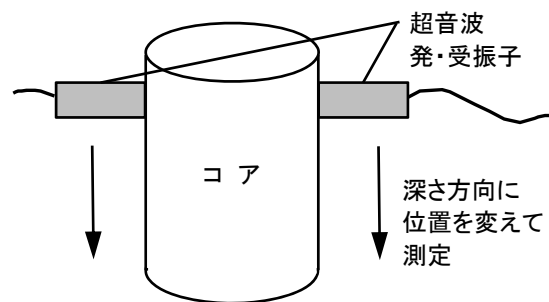


図-4 超音波伝播速度の測定要領

3. 調査結果

(1) 剥離度の調査結果

図-5に剥離度の調査結果を示す。凍害危険度が5で凍結防止剤の散布量が少ない一般国道242号における剥離度は、選定した6橋のうち4mm以上が2橋で、それ以外は4mm以下であった。この路線に架かる橋梁の剥離度は全体的に4mm以下と考えられる。一方、凍害危険度が1ランク低く凍結防止剤の散布量が多い一般国道274号の剥離度は、選定した6橋全てにおいて4mm以上の値を示した。この路線には剥離度が4mm以上の橋梁が多く存在していると推定される。選定した6橋の剥離度の平均値は、一般国道274号が12mmで、一般国道242号の6mmの2倍になっており、凍害危険度が5で凍結防止剤の散布量が少ない一般国道242号の橋梁より、凍害危険度が4で凍結防止剤の散布量が多い一般国道274号の橋梁の方が剥離度は大きい結果が示された。

このことは、剥離度は低気温や凍結融解日数よりも凍結防止剤の散布量の影響を大きく受けることを示唆している。しかしながら調査箇所数が12橋と未だ少ないことから、傾向の把握に向けてさらにデータの蓄積を図る必要がある。

(2) 相対動弾性係数の調査結果

図-6に一般国道242号の相対動弾性係数、図-7に一般国道274号の相対動弾性係数の調査結果をそれぞれ示す。グラフの横軸の深度は、図-8に示すように剥離面からの深さではなく、橋梁建設当初から残存している表面からの深さを表している。スケーリングによる欠損のために測定できなかった位置の相対動弾性係数は0%で表示している。

一般国道242号、274号ともに、深度にかかわらず概ね横ばいの値を示した。また、剥離面直下の値は、a橋を除き、一般的な耐凍害性の下限値とされる60%を概ね上回っていた。

今回の調査の範囲では、表面でスケーリングによる欠損が生じていても、内部における凍害による損傷は表層範囲に留まっており、内部の損傷は小さい傾向が示された。

4. 凍害の予測の試み

(1) 予測方法

凍害予測方法については、未だ十分整備されていないが、既往の研究においてモデルが幾つか提案されている。本調査では、これらの中から比較的簡易な以下のモデル⁵⁶⁾を用いて劣化の予測を試みた。

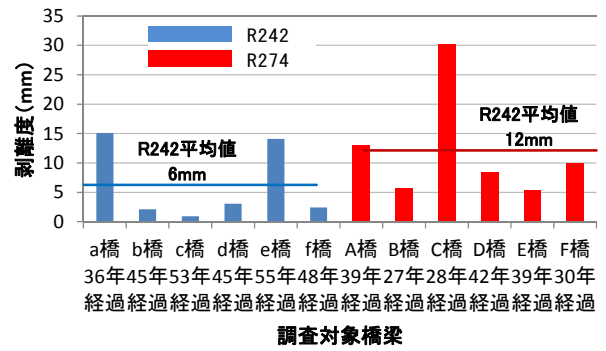


図-5 剥離度の調査結果

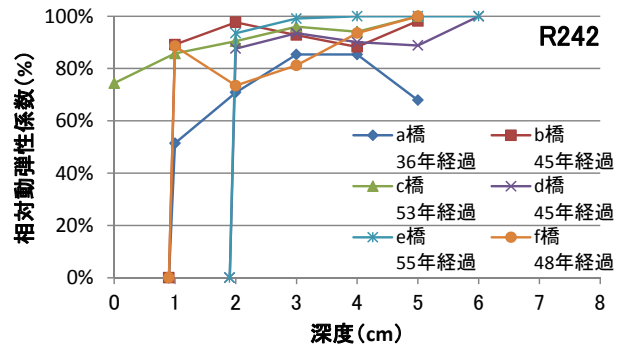


図-6 R242 相対動弾性係数の調査結果

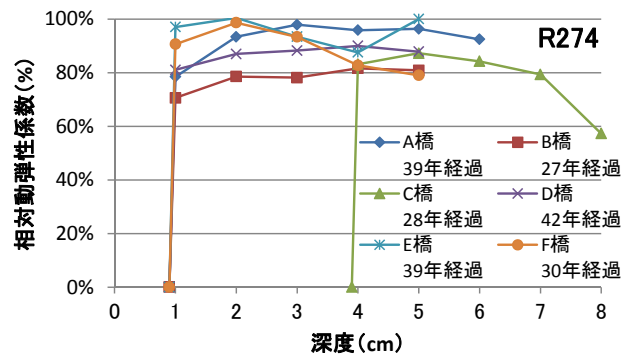


図-7 R274 相対動弾性係数の調査結果

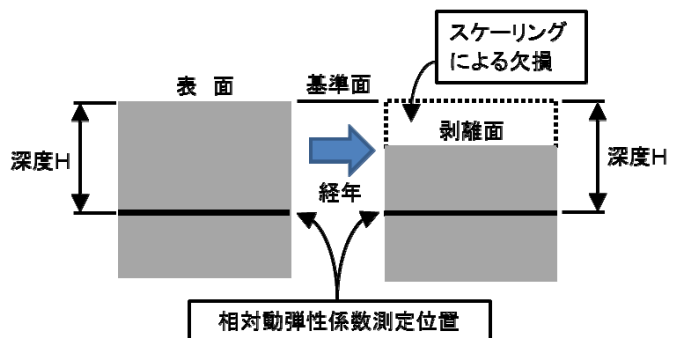


図-8 相対動弾性係数の測定深度

$$\text{スケーリング) 剥離度 } D_m = ae^{\frac{b \log t}{A}} \quad (4)$$

凍害ひび割れ) 相対動弾性係数 $RE_d = 100e^{-at}$ (5)
 $(0 \leq RE_d \leq 100)$

ここに、 t は凍結融解履歴（現場においては供用年数（年）をあてる）、 A は t を無次元化させるための係数（一般に調査した年数の平均があてられる）、 a 、 b 、 c 、 d は係数である。

(2) 剥離度の予測

a) 一般国道242号の予測

図-9に一般国道242号の剥離度の予測を示す。現在までの剥離度の推移を実線で、実測値をプロットで、今後の予測を破線で表示している。a,e橋についてはほかの橋

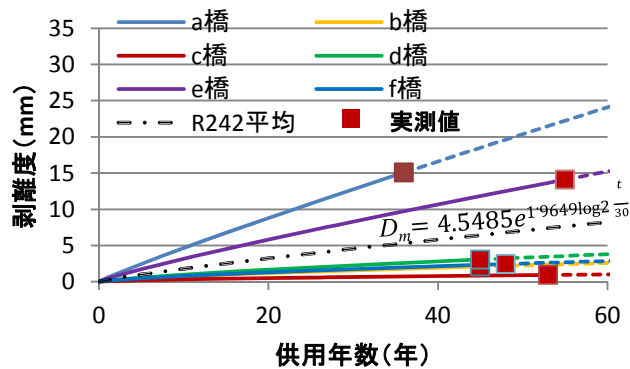


図-9 一般国道 242 号の剥離度の予測

に比べると大きな値を示している。この2橋の傾向については、今後、コンクリートの品質を調べて要因を明らかにしていく必要があるものの、今回の調査は目視調査を行った34橋の中から最もスケーリングの激しい橋梁を選定しており、路線全体を評価すると、供用60年経過後の剥離度は1~4mm程度以下に収まるものと予測される。ここでは、安全側の評価を行うため、これら6橋の予測の結果を平均して、一般国道242号の橋梁における剥離度の予測式を求めた。予測の結果を式(6)に示す。

剥離度 $D_m = 4.5485e^{1.9649 \log \frac{t}{A}}$ (6)

年数を無次元化させるための係数 A は、経過年数の中間をとって30とした。

b) 一般国道274号の予測

積雪寒冷地ではスパイクタイヤの規制をうけて、平成3年度から道路の安全性を確保するための凍結防止剤の散布量が急増した。このような平成3年を境に環境の変化が生じている（平成3年よりも前は凍結融解のみ作用、平成3年以降は凍結融解と塩化物が複合的に作用）路線では単純に式(4)による予測を行うことができない。そこで、散布量が少ない一般国道242号の剥離の要因は凍結融解のみで建設時から平成3年度まではその予測式(6)に則ると仮定して、一般国道274号の剥離度を予測した。

図-10に一般国道274号の6橋の剥離度予測結果を示す。

一点鎖線はR242平均値、破線は予測値、プロットは実測値を示す

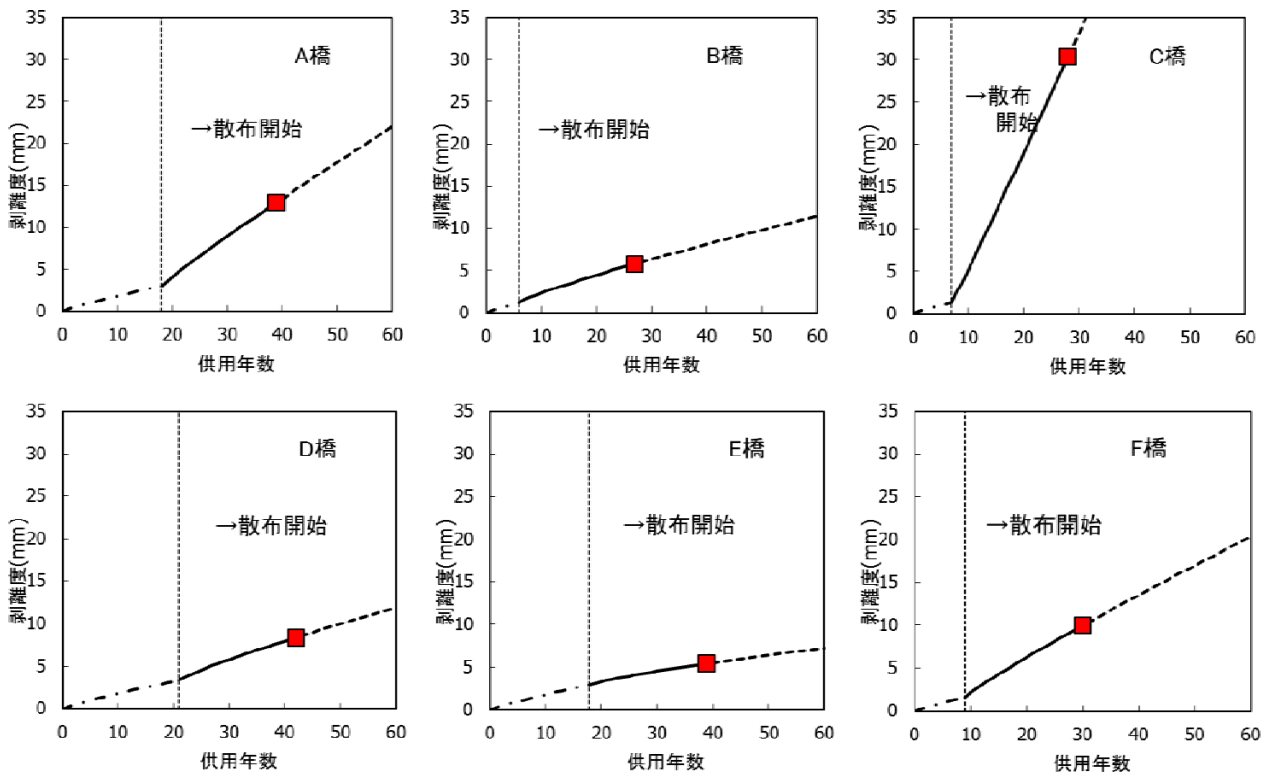


図-10 一般国道 274 号の 6 橋の剥離度の予測結果

一般国道274号の剥離度は平成3年以降増え始め、供用60年経過後には特異な値と考えられるC橋の77mmを除くと7~22mm程度になると予測される。また、ここでも前述と同様にC橋を含む6橋の剥離度を平均して、一般国道274号の予測式を以下に求めた。結果を式(7)に、また、予測のイメージを図-11に示す。

$$\begin{aligned}
 \text{剥離度 } D_m = & 4.5485e^{1.9649\log\frac{E}{A}} \\
 & + 13.968e^{2.1963\log\frac{t-E}{A}}
 \end{aligned}
 \quad (7)$$

ここに、 E は平成3年までの供用年数である。

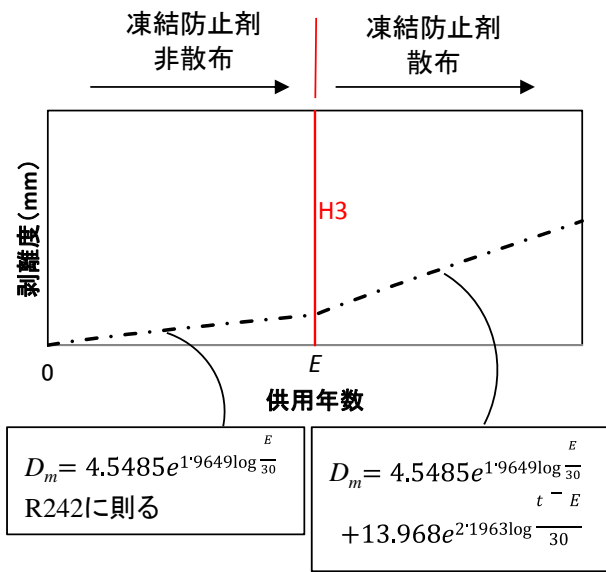


図-11 一般国道 274 号の剥離度の予測イメージ

今回は一例として、一般国道242号、274号の橋台の予測式を示したが、この予測式は、平成24年の1点のデータをもとに算出した式であるため、式の精度を将来的にさらに高めるには、継続的にデータを取得・蓄積し、適宜解析を行って式の修正を図っていくことが望ましい。

(3) 相対動弾性係数の予測

図-12に一般国道242号の相対動弾性係数の予測を示す。de橋の深度1cmの相対動弾性係数は、スケーリングによる欠損のため、測定できなかったため表示していない。また、破線はコンクリートが剥がれずに現存していると仮定した場合の予測であり、3. (2) 相対動弾性係数の調査結果に示したような、コンクリートが突然剥がれ落ちる挙動は表せていない。このことから、式(5)の予測方法に剥離の速度ならびに剥離の影響を加味した評価が必要である知見を得た。

5. まとめ

本報告では、凍害による各種劣化（スケーリングとひび割れ）の複合的な発生・進行を考慮した劣化予測技術の提案に向け、道路橋の橋台を対象にコア採取による凍害劣化調査を実施した結果、以下のことが明らかとなった。

- (1) 剥離度の程度は、低気温や凍結融解日数よりも凍結防止剤の影響に大きく依存する傾向が見られた。
- (2) 表面でスケーリングによる欠損が生じていても、内部の損傷は小さいと考えられる。

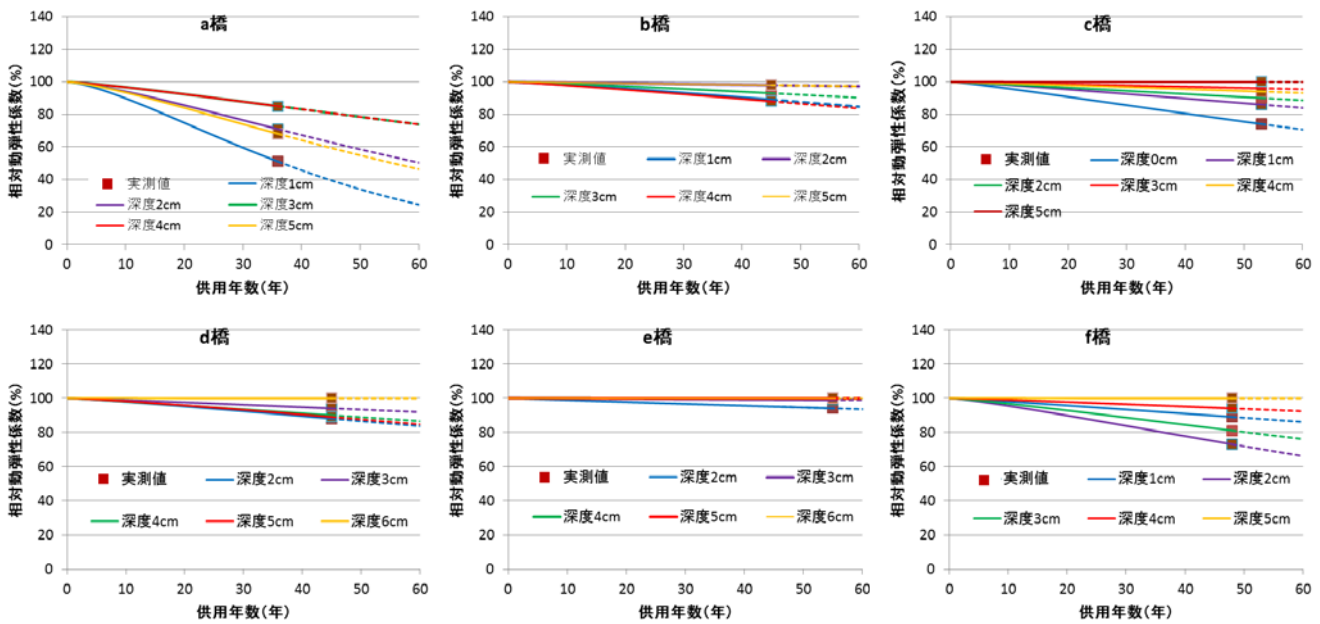


図-12 一般国道 242 号の相対動弾性係数の予測

- (3) 剥離度の予測では一般国道242号、274号の一般的な橋台の予測式(6) (7)を得ることができた。しかし係数 a 、 b はコンクリートの品質、凍害危険度、凍結防止剤の散布量によって変わるため、今後は、ほかの路線で同様の調査を行ってデータを蓄積し、この設計方法を充実させていきたい。

参考文献

- 1) 長谷川寿夫：コンクリートの凍害危険度算出と水セメント比限界値の提案，セメント技術年報，XXIX，pp. 248-253, 1975.
- 2) 田畑浩太郎，遠藤裕丈：寒冷地山間コンクリート構造物のスケーリングとひび割れが複合した凍害の調査，第 55 回（平成 23 年度）北海道開発技術研究発表会，2012. 2
- 3) 北海道開発局港湾部港湾建設課，寒地港湾技術センター：海洋環境下におけるコンクリートの耐久性向上技術検討業務報告書，資 1-10, 2000. 3
- 4) 緒方英彦，中野資博，藤原貴央，高田龍一，服部九二雄：超音波法によるコンクリート製水路の凍害，コンクリートの凍結融解抵抗性の評価方法に関するシンポジウム論文集，pp. 63-70, 日本コンクリート工学，2006. 12
- 5) 遠藤裕丈，田口史雄，林田宏，名和豊春：簡易で実用的なスケーリング進行予測式の提案，コンクリート工学年次論文集，Vol. 33, No. 1, pp. 923-928, 2011. 7
- 6) 野口博章：凍結融解作用を受けるコンクリートの劣化予測に関する基礎的研究，法政大学博士学位論文，p32, 2007. 9