

実データに基づく汚濁防止膜カーテン強度の経時劣化特性のモデル化

福永 勇介¹・宮田 正史²・新井 洋一³・島田 伊浩⁴・
的場 栄孝⁵・三吉 正英⁶

¹ 正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)
E-mail: fukunaga-y92y2@mlit.go.jp

² 正会員 国土技術政策総合研究所 港湾研究部 (〒239-0831 神奈川県横須賀市長瀬 3-1-1)
E-mail: miyata-m92y2@mlit.go.jp

³ フェロー会員 特定非営利活動法人 リサイクルソリューション (〒104-0032 東京都中央区八丁堀 3-11-8)

⁴ 正会員 (一財) 港湾空港総合技術センター (〒100-0013 千代田区霞ヶ関 3-3-1 尚友会館 3 階)

⁵ (一財) 港湾空港総合技術センター (〒100-0013 千代田区霞ヶ関 3-3-1 尚友会館 3 階)

⁶ (一社) ウォーターフロント協会 (〒108-0023 東京都港区芝浦 3-11-9)

汚濁防止膜カーテンは、海域での浚渫工事や埋立工事等において、発生する汚濁の拡散を防止するために設置されるもので、近年カーテン部の再利用が標準となってきた。カーテン部は紫外線等による経時劣化が避けられないため、合計設置期間に応じた引張強度の経時劣化を考慮した上でカーテン部の引張強度の性能照査が行われている。現在使用されている引張強度の経時劣化特性を表す予測式は、実データに基づいて定式化されたものであるが、適用可能な合計設置予定期間の上限が 1000 日程度に限られていた。本検討では、この予測式の適用限界を 1800 日程度まで拡張することを目的として、実海域に設置された汚濁防止膜カーテンを始めとする、カーテンの引張強度の経時劣化に関する実データを追加で多数収集し、性能照査に使用する引張強度の経時劣化特性の予測式を改めて提案した。

Key Words : silt curtain, time-related deterioration, tensile strength, empirical Bayes, reuse

1. はじめに

汚濁防止膜カーテンは、海域での浚渫工事や埋立工事等において、発生する汚濁の拡散を防止するために設置される構造物であり、適切な保管、管理の下、複数回にわたり再利用されることが近年標準的となってきた。図-1に示すように、汚濁防止膜の基本的な構成は4つの部位からなり、それらは、カーテン、ウェイトにより構成され汚濁拡散防止機能を有するカーテン部、カーテン部を垂直方向に安定させる機能を有するフロート部、汚濁防止膜の張力を受け持つテンション部、アンカー、アンカーロープにより構成され汚濁防止膜を水中に固定するための係留部である。これらの部位のうち、ポリエステル製の不織布が一般的に用いられるカーテン部は、紫外線、波浪等の物理的、化学的作用や海域の特性の影響を大きく受け、フロート部、テンション部、係留部に比して経時劣化の程度が大きい。

カーテンの破断に関する性能照査は、一般的に汚濁防止膜技術資料(案)¹⁾に従って実施されており、当該文献

には照査に用いるカーテンの引張強度の経時劣化に関する部分係数と、その根拠となる経時劣化特性に関する予測式が記載されている。引張強度の経時劣化特性とは、

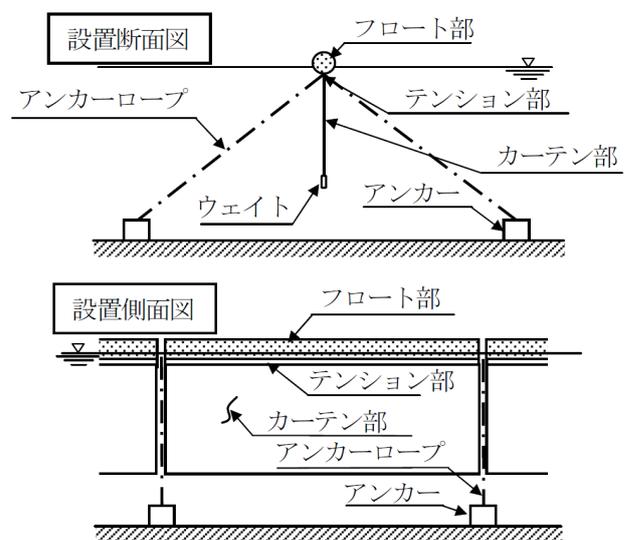


図-1 汚濁防止膜カーテンの模式図¹⁾

汚濁防止膜カーテンの合計設置予定期間に対するカーテンの引張強度の残留強度比の関係であり、引張強度の残留強度比とは、カーテンが初期に保有していると期待される引張強度の予測値に対する、合計設置予定期間後に保有していると期待される引張強度の予測値の比である。これは、当時得られた315個のカーテンの引張試験のデータを基に定式化されたもの²⁾であるが、このデータにおける汚濁防止膜カーテンの最大合計設置期間が2年弱であったため、この予測式の適用可能な合計設置予定期間の上限も1000日程度となっており、それよりも長い期間に対する引張強度の経時劣化特性は不明であった。その後現在に至るまで追加の実データが得られたため、本検討では、それを基にカーテンの引張強度の経時劣化特性を改めて定式化し、適用限界を1800日程度まで拡張することを目的としている。

2. カーテンの破断に関する現行の性能照査法と経時劣化特性

カーテンの破断に関する性能照査は、汚濁防止膜技術資料(案)¹⁾で示されている式(1)に従い、カーテンに作用する張力がカーテンの強度を超えないことを照査することで行われる。

$$T_3 \geq T_c \gamma_c \frac{3}{100} \quad (1)$$

ここに、 T_c ：設置単位長さ当たりのカーテンに作用する張力 [N/m]、 T_3 ：3cm 幅の試験片の所要強度 [N/3cm]、 γ_c ：部分係数である。

式(1)の部分係数 γ_c は、式(2)¹⁾で表され、表-1 に示すとおり、おのおの値は合計設置予定期間により区分されている。

$$\gamma_c = k_1 k_2 k_3 \quad (2)$$

ここに、 k_1 ：引張強度の経時変化に関する係数、 k_2 ：引張強度の経時変化に対する、不確定要因による散らばりに関する係数、 k_3 ：カーテン生地 of 縫合部における引張強度の低下に関する係数である。

式(2)の k_1 は、引張強度の残留強度比 r の逆数を基に設定されており、カーテンの引張強度の経時劣化特性

は式(3)¹⁾²⁾で表される。

$$r = 1 - \sqrt{\frac{d}{1000}} \quad (3)$$

ここに、 r ：引張強度の残留強度比 ($\in [0, 1]$)、 d ：合計設置予定期間 [day] ($\in [0, 1000]$) である。

式(3)は、その当時の315個のデータを基に、合計設置期間をいくつかの区間に分割して、各区間における平均 - 標準偏差を算出し、それらのグラフ上の点の大半が、求めようとしているグラフの上側の領域に含まれるように、すなわちカーテンの引張強度の低下を多めに見積もって安全側になるように定式化されたものである。

3. 汚濁防止膜の強度の経時劣化評価法の検討

(1) 本検討に使用したデータ

表-2 は、カーテンの引張強度の経時劣化特性の定式化に用いた全 500 個のデータの数の内訳である。データの種類の取得した場所等の観点から大別すると 5 種類あり、それぞれ、旧版の汚濁防止膜技術資料(案)³⁾作成時に使用した 2005 年時点のデータ、新潟東港における実海域実験データ⁴⁾、実工事におけるカーテン回収時の試験データ⁴⁾、横浜港湾空港技術調査事務所による実海域実験データ、その他 ((一社) ウォーターフロント協会による監査時のデータ、汚濁防止膜を使用した民間企業による試験結果の自己申告データ等) である。表-2 の丸括弧の付いていない数字は本検討で使用したデータ (全 500 個) の内訳を、丸括弧付きの数字は現行の汚濁防止膜技術資料(案)¹⁾において汚濁防止膜の経時劣化特性の定式化の際に使用したデータ (全 315 個) の内訳をそれぞれ示している。上記のデータの種類のうち、新潟東港における実海域実験データの汚濁防止膜の設置環境 (海域、波浪の状況等)、引張試験の条件等については詳細な記述があるが、それ以外のデータの種類については、汚濁防止膜の型番、規格強度 (メーカーにより、その値を下回らない

表-2 検討に用いたデータ数の内訳

※ 括弧付き数値は、汚濁防止膜技術資料(案)¹⁾作成当時のデータ

係数	合計設置予定期間 [days]			
	[0, 180]	(180, 365]	(365, 545]	(545, 730]
k_1	1.7	2.5	3.8	6.7
k_2	3.0	3.0	3.0	3.0
k_3	1.67	1.67	1.67	1.67
γ_c	8	12	20	34

データ種別	品番		
	#300	#500	#800
2005年時点データ	18 (18)	18 (18)	12 (12)
新潟東港実験データ	23 (21)	11 (10)	11 (10)
近年の実工事データ	46 (39)	189 (187)	0 (0)
横浜技調実験データ	30 (0)	84 (0)	0 (0)
その他	13 (0)	36 (0)	9 (0)

ことが保証された引張試験結果としての強度), 初期強度 (未使用時の引張試験結果としての強度), 合計設置期間, 残留強度 (合計設置期間経過後に行った引張試験の結果としての強度) に関するデータのみを収集でき, 引張強度の経時劣化特性に影響を与えると考えられる設置環境や引張試験の条件等に関する詳細なデータは収集できなかった. 本検討で用いた汚濁防止膜の品番には, 引張強度の異なる#300, #500, #800の3種類があり, 規格強度はそれぞれ, 2942, 4904, 7846 [N/3cm], 初期強度はメーカーにより若干異なるが, 例示するとそれぞれ, 3310, 6190, 8770 [N/3cm] である. これらには初期利用, 再利用のものの何れもが含まれている.

(2) 品番および初期利用・再利用の違いの影響の検討

本検討では, カーテンの引張強度の経時劣化特性を, 合計設置予定期間に対する引張強度の残留強度比の関係としてモデル化する. 引張強度の残留強度比は, 長尾ほか (2013) ²⁾ に準じて, 引張強度の初期値に対する残留強度の予測値の比として定義する. すなわち, 再利用の場合であっても, 再利用開始時の強度に対して比を取るのではなく, 初期強度に対して比を取るものとする. よって, カーテンの引張強度の経時劣化特性のモデル化に用いる引張強度の残留強度比のデータは, カーテンの初期強度 (未使用時の引張試験結果としての強度) のデータに対する, 残留強度 (合計設置期間経過後に行った引張試験の結果としての強度) のデータの比となる. 図-2に, 引張強度の経時劣化特性に関する汚濁防止膜技術資料 (案) 作成当時のデータ (orig) と追加データ (added) の関係を示す. 合計設置期間が0日の時点で残留強度比が1.0を超えているものがあるが, 製品完成後に計測した引張強度の計測値を, 使用前に改めて計測した時の計測値が上回っていたためである.

図-3, 図-4 はそれぞれ, 品番の違いから見た引張強度の経時劣化特性, 初期利用 (virgin)・再利用 (reuse) の違いから見た引張強度の経時劣化特性である. 図-3によれば, #800のデータは#300, #500のデータに比して散らばりが大きいものの, 品番の違いによって引張強度の経時劣化特性に大きな違いは見られない. また, 図-4によれば, 一見すると, 合計設置期間が500日以降において初期利用と再利用の経時劣化特性に違いが認められるが, 初期利用のデータの大半は合計設置期間0~500日において集中しており, この期間において初期利用と再利用の経時劣化特性に大きな違いがないことから, 全期間においても両者の経時劣化特性に違いがないと判断した. また, カーテンの劣化の主な原因は紫外線であるため, 再利用の方が初期利用よりも経時劣化の程度が大きいように思えるが, 通常, 汚濁防止膜は紫外線の影響を受け

ないようにブルー・シートを被せた状態で屋外で保管したり, 倉庫で保管したりするため, 再利用であっても初期利用と同じ引張強度の経時劣化特性を有しているものと判断した.

(3) 引張強度の経時劣化特性の統計モデリング

引張強度の経時劣化特性の定式化の枠組みとして, ベ

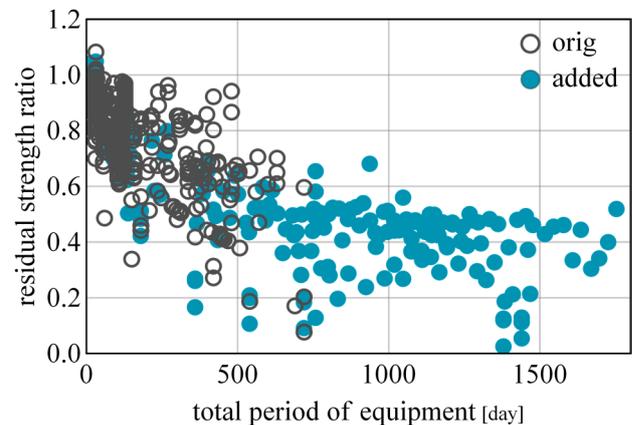


図-2 引張強度の経時劣化特性に関する汚濁防止膜技術資料 (案) ¹⁾作成当時のデータと追加データの関係

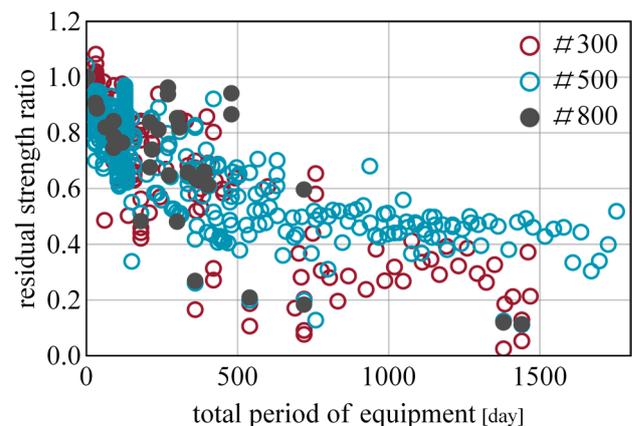


図-3 品番の違いから見た引張強度の経時劣化特性

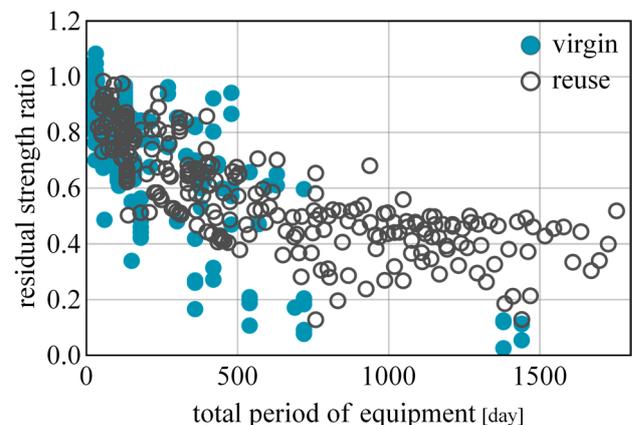


図-4 初期又は再利用の違いから見た引張強度の経時劣化特性

イズ推論における経験ベイズ [エビデンス近似]⁵⁾を採用する。この方法は、伝統的統計学における最尤推定法とは異なり、データに適合させつつも、過学習を回避可能かつ、回帰関数の値の予測誤差を評価可能である。引張強度の経時劣化特性の予測式には、一般的な関数である、引張強度の経時劣化特性を表すモデル式が、決定論的合計設置予定期間 d のべき関数 d^m ($m \in \{1, \dots, M\}$, ここに、 M は最大次数) を基底関数とした線型回帰モデルを用いる。

引張強度の経時劣化特性を表すモデル式が、決定論的な関数 $f(d, \mathbf{w})$ と加法性のガウス・ノイズ ε の和で表されると仮定すれば、式(4)で表される。

$$r = f(d, \mathbf{w}) + \varepsilon = \boldsymbol{\varphi}(d)^T \mathbf{w} + \varepsilon \quad (4)$$

ここに、 $\boldsymbol{\varphi}(d)$: d の特徴ベクトル ($:= [d^0, \dots, d^M]^T$) ($\in \mathbb{R}^{M+1}$), \mathbf{w} : 係数 ($:= [w_0, \dots, w_M]^T$) ($\in \mathbb{R}^{M+1}$), ε : ガウス・ノイズ ($\in \mathbb{R}$) である。

\mathbf{w} , ε は確率変数とし、それらはそれぞれ、式(5)に示す分布に従うと仮定する。

$$\left. \begin{aligned} \mathbf{w} &\sim \mathcal{N}(\mathbf{w} \mid \mathbf{0}_{\mathbb{R}^{M+1}}, \alpha^{-1} I_{M+1}) \\ \varepsilon &\sim \mathcal{N}(\varepsilon \mid 0, \beta^{-1}) \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

ここに、 $\mathcal{N}(x \mid \boldsymbol{\mu}, \boldsymbol{\Sigma})$: 期待値 $\boldsymbol{\mu}$ ($\in \mathbb{R}^D$), 分散共分散行列 $\boldsymbol{\Sigma}$ ($\in \mathbb{R}^{D \times D}$) の D 変量正規分布の確率密度関数, $\mathbf{0}_{\mathbb{R}^D}$: D 個の成分を持つ零ベクトル ($\in \mathbb{R}^D$), α : 係数の精度パラメータ (確率変数ではない変数) ($\in (0, \infty)$), I_D : D 次の単位行列 ($\in \mathbb{R}^{D \times D}$), β : ガウス・ノイズの精度パラメータ (確率変数ではない変数) ($\in (0, \infty)$) である。

図2~図4より、引張強度の残留強度比が合計設置期間の任意の区間において外れ値が頻発する程データの散らばりは大きくないと判断し、加法性のノイズには正規分布を仮定した。

経験ベイズの枠組みでは、以下のフローに従って、回帰方程式を算出する。

① 式(6)で表されるモデル・エビデンス $p(\mathbf{r})$ を最大化する α, β の最適解 α^*, β^* を求める。

$$p(\mathbf{r}) = \int_{D_{\mathbf{w}}} p(\mathbf{r} \mid \mathbf{w}) p(\mathbf{w}) d\mathbf{w} = \mathcal{N}(\mathbf{r} \mid \mathbf{0}_{\mathbb{R}^N}, \beta^{-1} I_N + \alpha^{-1} \boldsymbol{\Phi} \boldsymbol{\Phi}^T) \quad (6)$$

ここに、 $p(\mathbf{r})$: モデル・エビデンス, $p(x)$: 確率変数 x の確率密度関数, \mathbf{r} : 引張の残留強度比の N 個のデータを成分に持つベクトル ($:= [r_1, \dots, r_N]^T$) ($\in \mathbb{R}^N$), r_n : n 番目の引張の残留強度比のデータ

($\in [0, \infty)$) (ここに、 $n \in \{1, \dots, N\}$), $D_{\mathbf{w}} := (-\infty, \infty)^{M+1}$ ($(-\infty, \infty)$ の $M+1$ 個の直積), $p(y \mid x)$: x が与えられた下での y の条件付き確率密度関数, $\boldsymbol{\Phi}$: 計画行列 ($:= [\boldsymbol{\varphi}(d_1), \dots, \boldsymbol{\varphi}(d_N)]^T$) ($\in \mathbb{R}^{N \times (M+1)}$), d_n : n 番目の合計設置期間のデータ ($\in [0, \infty)$) (ここに、 $n \in \{1, \dots, N\}$) である。

② ①で求めた α^*, β^* を式(7)で表される引張強度の残留強度比の予測分布に代入する。

$$p(r \mid \mathbf{r}) = \int_{D_{\mathbf{w}}} p(r \mid \mathbf{w}) p(\mathbf{w} \mid \mathbf{r}) d\mathbf{w} = \mathcal{N}(r \mid \boldsymbol{\varphi}(d)^T \mathbf{m}_N, \sigma_N^2(d)) \quad (7)$$

ここに、 $\mathbf{m}_N := \beta^* S_N \boldsymbol{\Phi}^T \mathbf{r}$ ($\in \mathbb{R}^N$), $S_N := (\alpha^* I_N + \beta^* \boldsymbol{\Phi} \boldsymbol{\Phi}^T)^{-1}$ ($\in \mathbb{R}^{N \times N}$), $\boldsymbol{\varphi}(d)^T \mathbf{m}_N$: 予測分布の期待値 ($\in \mathbb{R}$), $\sigma_N^2(d)$: 予測分布の分散 ($:= (\beta^*)^{-1} + \boldsymbol{\varphi}(d)^T S_N \boldsymbol{\varphi}(d)$) ($\in (0, \infty)$) である。

③ ②求めた予測分布の期待値を回帰関数とし、回帰方程式を式(8)で表す。

$$r = \boldsymbol{\varphi}(d)^T \mathbf{m}_N \quad (8)$$

基底関数のべき関数の最大次数には任意性があるため、現時点で得られているデータ集合を最も上手く説明するモデルを判定可能な赤池ベイズ情報量基準 (ABIC)⁶⁾を用いて、基底関数の最大次数 M の選択を行ったところ、図5に示すとおり、ABIC が最小となる時の M は3となった。一方、図5には式(8)と引張強度の残留強度比のデータとの2乗和誤差 (sum-of-squares error (SSE)) も共に示してあるが、 M が大きくなるに連れて2乗和誤差が小さくなっている。これは、回帰関数における基底関数の最大次数が大きい程2乗和誤差が小さくなるため、伝統的統計学の最尤法の枠組みでは、最大次数の大きい基底関数がモデル式として選択されるということを示唆している。よって、ベイズ統計学の枠組みでは、最大次数の大きいモデルで必ずしもABICが最小となるとは限ら

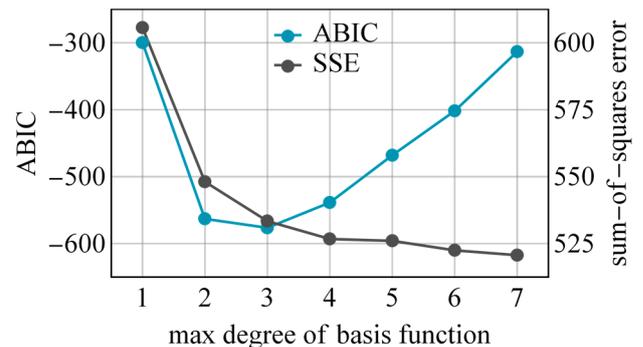


図5 基底関数の最大次数と ABIC, 2 乗和誤差の関係

ない、つまり、最大次数の大きいモデルが必ずしも手元にあるデータ集合を最も上手く説明するものになるわけではないことを意味している。なお、示唆という言葉を用いたのは、今回求めた2乗和誤差が伝統的統計学の最尤法に則って算出したものではなく、あくまで経験ベイズによる式(8)と引張強度の残留強度比のデータから求めたものであるため、その点注意されたい。

(4) 引張強度の経時劣化特性の予測式における安全性の余裕の設定

式(8)は予測分布の期待値から求めた回帰方程式であるが、今後、引張強度の経時劣化特性に関する部分係数を設定することを考慮して、回帰方程式に対し安全性の余裕を付加し、引張強度の経時劣化特性の予測式として設定することを考える。

表-3^{7),8)}は、他分野における、安全性の余裕を見込んで設定された材料強度関係の設計用値を示している。これによると、各パラメータの設計用値の設定法はさまざまであるため、本検討では標準偏差の分を安全性の余裕として見込んで、予測分布の期待値 - 予測分布の標準偏差を引張強度の残留強度比の特性値として採用する。次項で詳述するが、これは本検討による引張強度の経時劣化特性を基に改めて部分係数を設定する際、式(2)による現行の部分係数の設定法を踏襲することを考慮した上での判断でもある。そうすると、引張強度の経時劣化特性の予測式は式(9)で表される。

$$r = \phi(d)^T m_N - \sigma_N(d) \quad (9)$$

しかし、 $\sigma_N(d)$ は無理関数であり、式(9)の右辺はもはや d の3次関数ではないため、引張強度の経時劣化特性の予測式を d の3次関数で表すために、式(9)の右辺を d の3次関数で近似することを試みる。具体的には、 d が0から式(9)の右辺の関数の零点($d \approx 1858$)までの閉区間を500に等分割し、各区間の境界における式(9)の右辺の関数の値と、今求めようとしている d の3次関数の値の2乗和誤差を最小化するように、その3次関数の係数を求める。すると、引張強度の経時劣化特性の予測式は、式(9)の右辺の近似関数として式(10)で表される。

表-3 材料強度関係のパラメータの設計用値の設定例^{7),8)}

※ μ : 期待値, σ : 標準偏差

パラメータの種類	設計用値
鉄筋コンクリートの終局曲げ耐力	$\mu - 0.82 \sigma$
異形鉄筋の降伏強度	$\mu - 2.5 \sigma$
防波堤堤体底面と基礎との摩擦係数	$\mu - 0.38 \sigma$

$$r = [1, d, d^2, d^3] \begin{bmatrix} 8.67 \times 10^{-1} \\ -1.68 \times 10^{-3} \\ 1.58 \times 10^{-6} \\ -4.97 \times 10^{-10} \end{bmatrix} \quad (10)$$

図-6に、式(10)の引張強度の経時劣化特性のグラフ($\mu - \sigma_N$)、現行の引張強度の経時劣化特性のグラフ(present)、参考までに、標準偏差を安全性の余裕として見込む前の引張強度の経時劣化特性(μ)、別の安全性の余裕を見込んだ引張強度の経時劣化特性($\mu - 1.5\sigma_N$, $\mu - 2.0\sigma_N$)、予測分布の各種パーセント点(10%点, 5.0%点, 2.5%点)、引張強度の経時劣化特性をモデリングする際に用いたデータ(data)を示す。図-6に示すとおり、現行の引張強度の経時劣化特性の予測式は $d = 1000$ で $r = 0$ となってしまう。一方、式(10)の引張強度の経時劣化特性の予測式は $d \approx 1800$ で $r = 0$ となるため、引張強度の経時劣化特性の予測式の適用限界がデータに基づき800日程拡張されている。

(5) 引張強度の経時劣化特性の予測式に基づく部分係数の設定法の方針

本検討で得られた引張強度の経時劣化特性に基づく部分係数の設定法の方針として、以下に2つの選択肢を提案する。

1つ目の選択肢は、式(2)による設定法を踏襲する方法である。図-6によれば、式(10)の引張強度の経時劣化特性のグラフの下側の領域に含まれるデータの方が、現行の引張強度の経時劣化特性のグラフの下側の領域に含まれるデータよりも、その数が多くなっているため、式(10)の引張強度の経時劣化特性の方が安全性の余裕を小さく見積もっていることになり、危険側の設定となっている。しかし、式(2)の現行の部分係数の設定法を踏襲して、式(10)に基づき改めて部分係数を設定すれば、 k_1 は式(10)で定まる r の逆数を基に設定され、 k_2 , k_3 で引張強度の経時変化に対する不確定要因による散らばりや、カー

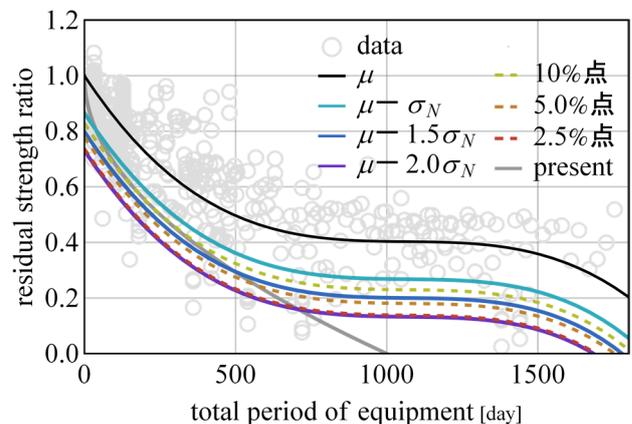


図-6 現行、本検討で提案した引張強度の経時劣化特性の比較

テン生地の縫合部における引張強度の低下の影響がそれぞれ考慮されるため、大半のデータは部分係数の逆数のグラフの上側の領域に含まれることになり、結局は安全側の設定となる。

2つ目の選択肢は、 k_2 、 k_3 を用いない方法である。これは、式(4)では、 r のうち d の関数として説明できる部分が $f(d, w)$ で、説明できない部分がガウス・ノイズ ε として表現されているため、引張強度の経時変化に対する不確定要因による散らばりや、カーテン生地縫合部における引張強度の低下の影響はそのノイズに含まれると考えることができる。この場合は、 k_1 のみを部分係数として採用することになるため、現行の引張強度の経時劣化特性に基づき式(2)で定まる部分係数と同等の安全性の余裕を k_1 単独で見込むためには、現行の引張強度の経時劣化特性よりも安全性の余裕をより多く見込む必要があり、図-6で大半の合計設置予定期間において present よりも下側にある $\mu - 1.5\sigma_N$ 、 $\mu - 2.0\sigma_N$ 、5.0%点、2.5%点の関数を基に部分係数を決める必要がある。

4. まとめ

本検討は、汚濁防止膜の引張強度を対象に、各種の実データを収集し、ベイズ統計学の枠組みに則って経時化特性をモデル化し、その予測式を提案した。本検討より得られた主な知見は、以下のとおりである。

- ・引張強度の経時劣化特性は、品番の違い、初期利用・再利用の違いに対して大きな違いはないことを確認した(図-3、図-4)。その結果を受けて、品番の違い、初期利用・再利用の違いによらず、1つの予測式で引張強度の経時劣化特性を定式化した。
- ・基底関数のべき関数の最大次数は大きい程、引張強度の経時劣化特性の予測式はデータへの適合がよくなる(データと回帰関数の2乗和誤差が小さくなる)が、データ集合を最も上手く説明するモデルとはならない、

つまり ABIC が最小とはならないことを確認した。また、ABIC に基づきべき関数の最大次数の選択を行ったところ、最大次数は3となった(図-5)。

- ・式(10)で表される予測分布の期待値 - 予測分布の標準偏差の近似関数を、引張強度の経時劣化特性の関数として採用し、現行の引張強度の経時劣化特性の予測式の1000日程度の適用限界が拡張され、1800日程度まで適用可能にした(図-6)。

謝辞: 本検討の結果の取りまとめに当たり、(一財)ウォーターフロント協会 専務理事 平尾壽雄様より貴重なご意見を頂きました。ここに記して感謝します。

参考文献

- 1) (一財) 港湾空港総合技術センター: 汚濁防止膜技術資料(案), 2013.
- 2) 長尾毅, 島田伊浩, 三吉正英, 小坂康之, 力竹正広, 東博之: 汚濁防止膜カーテン強度の経時劣化評価法に関する研究, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No.2, 2013.
- 3) (財) 港湾空港建設技術サービスセンター: 汚濁防止膜技術資料(案), 2008.
- 4) 島田伊浩, 新井洋一, 長尾毅, 三吉正英, 山本直文, 岡本直, 石坂修, 須藤彰二: 汚濁防止膜の経過月数による強度劣化に関する実海域実験, 土木学会論文集 B3 (海洋開発), Vol.69, No. 2, 2013.
- 5) Bishop, M., Christopher: Pattern Recognition and Machine Learning, Springer, pp.165-169, 2006.
- 6) 本城勇介, Setiawan, Budihi: 赤池ベイズ情報量基準による事前分布の選択を考慮した逆解析に関する基礎的研究, 応用力学論文集 Vol.7, pp.145-153, 2004.
- 7) 長尾毅: ケーソン式防波堤の終局曲げ安全性照査に関する信頼性設計手法の提案, 土木学会論文集 No.696, I -58, pp.173-184, 2002.
- 8) 長尾毅: ケーソン式防波堤の外的安定に関する信頼性設計法の適用, 土木学会論文集 No.689, I -57, pp.173-182, 2001.

(Received February 6, 2020)

(Accepted May 1, 2020)

MODELING OF TIME-RELATED DETERIORATION OF TENSILE STRENGTH FOR SILT CURTAIN BASED ON REAL DATA

Yusuke FUKUNAGA, Masafumi MIYATA, Yohichi ARAI, Yoshihiro SHIMADA, Hidetaka MATOBA and Masahide MIYOSHI

This study aims at proposing a new prediction expression of time-related deterioration of tensile strength for silt curtains. The prediction expression of the present design method is based on 315 real data regarding tensile strength deterioration for silt curtains such as field experiments results and the application was limited to around 1,000 days of expected total period a silt curtain would be equipped.

Authors proposed the new prediction expression for time-related tensile strength deterioration based on statistical analysis using collected 500 real data and expanded its application limit to around 1,800 days.