

トンネル覆工の長期構造性能の評価・予測に関する研究 (1)

— 初期の力学性能の確率論的評価に関する一考察 —

金沢工業大学大学院 ○学生員 木谷 理志¹⁾

パシフィックコンサルタンツ(株) 正会員 清水 幸範²⁾

金沢工業大学 正会員 木村 定雄¹⁾

1. はじめに

これまでに筆者らは、未貫通なひび割れなどの欠陥を有する鉄筋コンクリートからなる覆工の劣化進展にともなって変化する構造性能の評価および予測に関する実験的研究を実施してきている^{1),2),3)}。この研究ではまず、実在のトンネル覆工のおかれている環境を整理して覆工の構造性能や耐久性能を低下させる主劣化要因を整理した。その結果、トンネルの用途に応じて覆工の劣化進展に影響を及ぼす要因は様々ではあるが、主劣化要因として乾湿繰返し作用、塩化物イオンの浸入および中性化作用を抽出した。そして、覆工部材をモデル化した供試体(鉄筋補強モルタル供試体：以下、RM 供試体と呼ぶ)を作製し、これを用いて主劣化要因ごとに促進劣化実験を行い、モルタルの強度、供試体の曲げ耐力および曲げ剛性などの力学性能の長期的な変化を実験的に確認している。これまでの研究では、力学性能の変化が小さいと考えられる初期の段階、すなわち材齢 30 日および材齢 108 日～170 日の力学性能の結果が得られている。

本報告はこのふたつの材齢における供試体の圧縮強度および曲げ耐力の実験結果を用いて、その経時的な力学性能の変化を定量的に評価するための確率論的手法について考察したものである。

2. 実験概要および実験結果^{1),2)}

シールド工事用セグメントの製作に用いるコンクリートをモデル化したモルタル(W/C=0.4)の圧縮実験用供試体は直径 100mm、高さ 200mm とした。また曲げ実験には RM 供試体(100×100×400mm)を用いることとし、材齢 5 日目に一点曲げ載荷により欠陥をモデル化した未貫通ひび割れを導入した。導入したひび割れの大きさはその表面の開口幅が 0.1～0.4mm である。その後、

乾湿繰返し作用、塩化物イオンの浸入および中性化作用の各主劣化要因ごとの促進劣化養生を圧縮実験用供試体および RM 供試体に施した。そして、材齢 30 日および材齢 108 日～170 日(以下、材齢 170 日と呼ぶ)に圧縮実験および二点曲げ実験を行った。図 1 および図 2 はそれらの実験結果を示したものである。図中の圧縮強度および曲げ耐力の確率密度分布は、促進劣化養生を施した期間が比較的短いことから、材齢 30 日および材齢 170 日ごとに、すべての促進劣化養生をあわせて、さらに、曲げ耐力の結果においては未貫通ひび割れを導入しない RM 供試体の結果もあわせて整理している。図 1 をみると、モルタルの圧縮強度は材齢 30 日から材齢 170 日までに平均 10.6N/mm² の強度増大が認められる。一方、図 2 をみると、曲げ耐力は材齢 30 日から材齢 170 日までに若干ではあるが、強度が低下する傾向がある。

3. 初期材齢における圧縮強度および曲げ耐力の検定

ここでは、圧縮強度と曲げ耐力を指標として、材齢 30 日のデータ(母集団 A)と材齢 170 日のデータ(母集団 B)とが同じ力学性能であるか否かを検定した。

検定の手順は、まず、F 検定：母集団 A と母集団 B の分散が等分散であるか否かを行い、次に、t 検定、または Welch 検定：母集団 A と母集団 B の母平均が等しいか否かを行うものである。なお、t 検定と Welch 検定の採否は、F 検定の結果、両母集団の分散が等しい場合には t 検定を、また異なる場合には Welch 検定を採用するものとした。圧縮強度に関する F 分布、t 分布およびすべての検定結果を図 3、図 4 および表 1 に示す。これらより、材齢 30 日と材齢 170 日の圧縮強度の分散は、有意水準が 10% よりも小さければ等分散でと考えられる。しかし、母平均は 0.5～20% の有意水準に関わらず

キーワード：トンネル、覆工、耐久性、構造性能、確率、信頼性設計

連絡先： 1) 〒921-8501 石川県 石川郡 野々市町 扇が丘 7-1 TEL：076-248-8426 FAX：076-294-6713

2) 〒163-0730 東京都 新宿区 西新宿 2-7-1 TEL：03-3344-0575 FAX：03-3344-1366

両者で異なる。これは材齢 30 日から 170 日にかけての圧縮強度の増進が大きいことを意味する。一方、曲げ耐力に関する F 分布, t 分布およびすべての検定結果を図 5, 図 6 および表 2 に示す。これらより, 材齢 30 日と材齢 170 日の曲げ耐力は, 0.5~20%の有意水準では両者の分散が異なる。しかし, Welch 検定の結果により, 母平均は 5%以下の有意水準では等しいと判断される。

以上から, モルタルの圧縮強度は材齢が 30 日から 170 日になることによって増大し, その特性が異なる。し

かしながら, モルタルの圧縮強度が増大しても材齢 30 日と材齢 170 日の曲げ耐力は, 有意水準 5%でほぼ同程度と判断できる。

【参考文献】

- 1) 水上, 上野, 木村: ひび割れを有するシーールド工用セグメントの初期劣化進展とその考察(1), 土木学会第58回年次学術講演会VI-133, 2003.9.
- 2) 三村, 坂井, 木村: ひび割れを有するシーールド工用セグメントの初期劣化進展とその考察(2), 土木学会第58回年次学術講演会VI-132, 2003.9.
- 3) 木村, 三村, 吉田, 水上: 未貫通なひび割れを有する覆工コンクリートの初期劣化進展とその考察, トンネル工学初稿論文集, 2003.11.

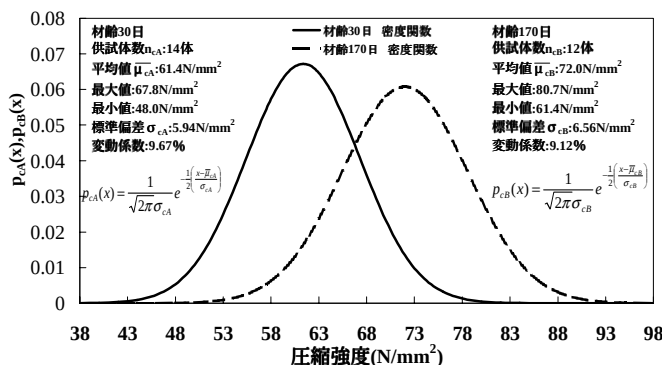


図1 圧縮強度の確率密度分布

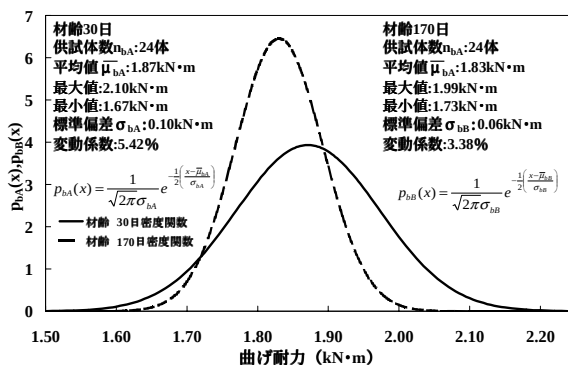


図2 曲げ耐力の確率密度分布

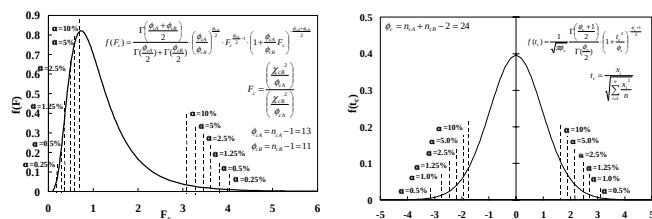


図3 圧縮強度のF分布

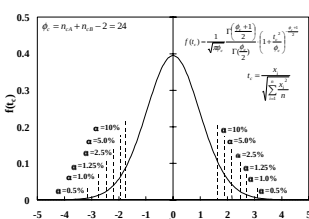


図4 圧縮強度のt分布

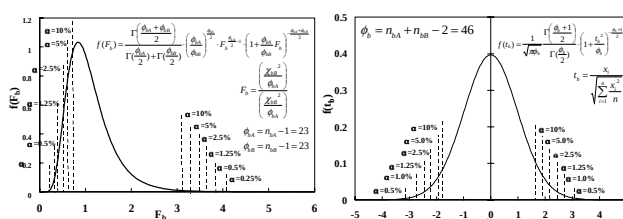


図5 曲げ耐力のF分布

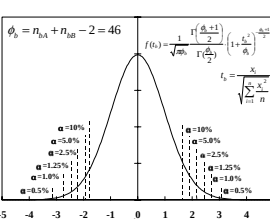


図6 曲げ耐力のt分布

表1 モルタルの圧縮強度の検定結果

【F検定結果】

帰無仮説 $H_0: \sigma_{cA}^2 = \sigma_{cB}^2$ 対立仮説 $H_1: \sigma_{cA}^2 \neq \sigma_{cB}^2$
両側検定 $\phi_{bA}=13, \phi_{bB}=11$

有意水準 α (%)	0.5	1	2.5	5	10	20
$F_c(\phi_{cA}, \phi_{cB}, \alpha/2)$	2.58	2.17	1.70	1.38	1.10	0.84
検定統計量 F_{c0}	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03	1.03
判定	採択	採択	採択	採択	採択	棄却
$F_{c0} > F_c$ なら棄却						

【t検定結果】

F検定において $\sigma_{cA}^2 = \sigma_{cB}^2$ が採択されたとき
帰無仮説 $H_0: \mu_{cA} = \mu_{cB}$ 対立仮説 $H_1: \mu_{cA} \neq \mu_{cB}$
両側検定 $\phi_c=24$

有意水準 α (%)	0.5	1	2.5	5	10	20
$t_c(\phi_c, \alpha)$	3.091	2.797	2.391	2.064	1.711	1.318
検定統計量 t_{c0}	4.477	4.477	4.477	4.477	4.477	4.477
判定	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却
$ t_{c0} > t_c$ なら棄却						

【Welch検定結果】

F検定において $\sigma_{cA}^2 = \sigma_{cB}^2$ が棄却されたとき
帰無仮説 $H_0: \mu_{cA} = \mu_{cB}$ 対立仮説 $H_1: \mu_{cA} \neq \mu_{cB}$
両側検定 $\phi_{cw}=25$

有意水準 α (%)	0.5	1	2.5	5	10	20
$t_{cw}(\phi_{cw}, \alpha)$	3.078	2.787	2.385	2.060	1.708	1.316
検定統計量 t_{cw0}	4.460	4.460	4.460	4.460	4.460	4.460
判定	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却
$ t_{cw0} > t_{cw}$ なら棄却						

表2 曲げ耐力の検定結果

【F検定結果】

帰無仮説 $H_0: \sigma_{bA}^2 = \sigma_{bB}^2$ 対立仮説 $H_1: \sigma_{bA}^2 \neq \sigma_{bB}^2$
両側検定 $\phi_{bA}=23, \phi_{bB}=23$

有意水準 α (%)	0.5	1	2.5	5	10	20
$F_b(\phi_{bA}, \phi_{bB}, \alpha/2)$	2.58	2.17	1.70	1.38	1.10	0.84
検定統計量 F_{b0}	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69	2.69
判定	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却	棄却
$F_{b0} > F_b$ なら棄却						

【t検定結果】

F検定において $\sigma_{bA}^2 = \sigma_{bB}^2$ が採択されたとき
帰無仮説 $H_0: \mu_{bA} = \mu_{bB}$ 対立仮説 $H_1: \mu_{bA} \neq \mu_{bB}$
両側検定 $\phi_b=46$

有意水準 α (%)	0.5	1	2.5	5	10	20
$t_b(\phi_b, \alpha)$	2.949	2.687	2.317	2.013	1.679	1.300
検定統計量 t_{b0}	1.689	1.689	1.689	1.689	1.689	1.689
判定	採択	採択	採択	採択	棄却	棄却
$ t_{b0} > t_b$ なら棄却						

【Welch検定結果】

F検定において $\sigma_{bA}^2 = \sigma_{bB}^2$ が棄却されたとき
帰無仮説 $H_0: \mu_{bA} = \mu_{bB}$ 対立仮説 $H_1: \mu_{bA} \neq \mu_{bB}$
両側検定 $\phi_{bw}=38$

有意水準 α (%)	0.5	1	2.5	5	10	20
$t_{bw}(\phi_{bw}, \alpha)$	2.980	2.712	2.334	2.024	1.686	1.304
検定統計量 t_{bw0}	1.689	1.689	1.689	1.689	1.689	1.689
判定	採択	採択	採択	採択	棄却	棄却
$ t_{bw0} > t_{bw}$ なら棄却						