

廃線トンネル内の熱環境に関する長期測定

その1 2010年の測定結果

正会員 ○長谷健*¹ 同 崔軍*² 同 湊政樹*³ 恩庄亜美*³ 橋本康平*⁴

廃線トンネル、温度、湿度、実測

1 はじめに

近年、廃線（廃道）トンネルを利用して焼酎やワインの熟成を試みる事例が増えている。しかしながら、トンネル内の熱環境に関する詳細な研究報告が少ないのが現状である。西川¹⁾は、道路トンネルにおける凍害防止工法の施工範囲を求めるための基礎資料として、北海道にある、国道37号線札文華トンネル内の温度について1年間にわたって測定を行ったが、中国地方のトンネルに関する実測調査の報告が見当たらない。

本文は、中国地方にある廃線トンネルを酒蔵として再利用する可能性を探るため、2003年12月1日に一部廃線となったJR可部線柴木トンネル内の温湿度について測定し、その結果を報告するものである。

2 トンネルの概要と測定方法

測定対象トンネルは、広島県安芸太田町大字柴木に位置し、標高が約400mである。トンネル内の高低差は、南東入口より北西入口の方が約9m高い。トンネルの長さは約730m、幅は約3.62~3.80m、高さは約5.24mである。トンネルの北西入口と南東入口の様子を写真1、2に、内部の様子を写真3に示す。

今回の測定は、トンネル内に8箇所の温湿度測定点を配置した。測定点の詳細は図1に示す通りである。各測定点の高さは地面から30cmである。温湿度測定にT&D社のおんどとりRTR-53ALを用いた。測定センサーの設置様子を写真4に示す。測定期間と入口の開放状況を表1に示す。測定時間間隔は、6月30日以前、測定点によって異なり、②と④は30分、その他は10分であった。6月30日14:00以降はすべての点の測定時間間隔を30分に統一した。

3 測定結果

測定は現在も続いているが、本文では、2010年2月4日~3月3日と2010年6月7日~12月7日の測定結果について報告する。

表1 測定期間と入口の開放状況

季節	測定期間 (2010年)	入口の開放状況	
		南東入口	北西入口
冬期	2月4日~3月3日	全閉	全閉
	12月1日~12月7日	全閉	上部のみ開放
梅雨期	6月7日~6月24日	全閉	全閉
	6月25日~6月30日	全閉	上部のみ開放
夏期	7月1日~9月30日	全閉	上部のみ開放
	10月1日~10月31日	全閉	上部のみ開放
	11月1日~11月16日	全体の2割開放	上部のみ開放
中間期	11月17日~11月30日	全閉	上部のみ開放

* 入口の閉鎖は仮設閉鎖壁(ブルーシート)で行われている(写真5)。



写真1 トンネル北西入口



写真2 トンネル南東入口



写真3 トンネル内部 (北西→南東)



写真4 測定点⑥のセンサー

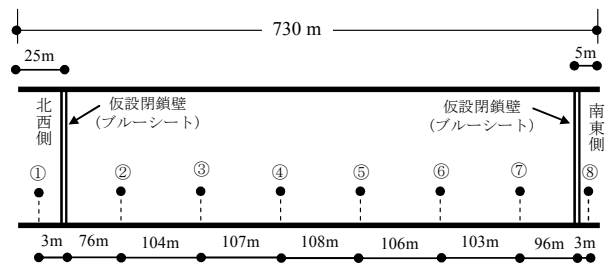


図1 トンネル内の温湿度測定点の配置

3.1 冬期の結果

3.1.1 南東と北西の入口が閉鎖した場合 (2/4~3/3)

2月4日~3月3日に、トンネル両側の入口をブルーシートで閉鎖した(写真5)。この期間中のトンネル内の温湿度平均値が表2に示す通りである。比較対象として、気象庁のデータ(広島:標高3.6m、加計:標高210m)も併記している。

表2より、ブルーシート外部にある測定点①、⑧の平均温度は外気温の影響を受け低下しているが、トンネル内部の平均温度はほぼ10~12°Cに安定している。測定点②~④の平均温度が約12°Cに維持されている。トンネル内の相対湿度の平均値が高い。

2月5日~7日の温湿度(測定点①~④)を図2、3に示す。図2より、外部にある測定点①の温度は外気温の影響を受けて変動しているが、内部の

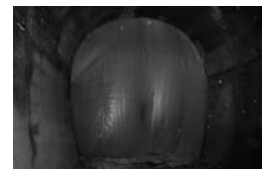


写真5 北西入口の仮設閉鎖壁

表2 冬季の平均温湿度

測定点	2月4日～3月3日		12月1日～12月7日	
	温度(℃)	湿度(%)	温度(℃)	湿度(%)
①	4.6	89	6.2	43
②	11.9	95	10.6	83
③	12.1	98	11.5	85
④	12.0	95	11.9	88
⑤	11.8	88	12.1	89
⑥	11.2	91	11.5	84
⑦	10.4	82	10.6	(37)*
⑧	4.4	90	6.0	85
広島	8.3	64	7.8	65
加計	3.8	—	5.1	—

*⑦の湿度センサーは11月1日から故障している。

温度(②～④)は安定していることがわかる。トンネル内の相対湿度は90%以上の高いレベルで安定している(図3)。

以上の結果から、トンネル入口を閉鎖した場合、外気温が-2℃程度に低下しても内部の空気温度が10℃以上に保たれることがわかった。外部の相対湿度が50%台に低下しても内部の相対湿度はほぼ90%以上に保たれる。

3.1.2 南東入口が閉鎖、北西入口の上部が開放した場合(12/1～12/7)

12月1日～12月7日に、南東入口を閉鎖したまま、北西入口の上部を開放した。両入口ともに閉鎖された場合(2/4～3/3)に比べ、トンネル内の平均気温は大きな変化がなく約12℃に安定しているが、相対湿度の平均値は約10%低下している(表2)。

12月1日～3日のトンネル内の温湿度を図4、5に示す。図2と図4を比較すると、北西入口の上部を開放することによって、トンネル内の温度変動が多少大きくなるのがわかる。②の温度が10～11.5℃の範囲内を推移するが、③、④の温度はほぼ12℃近辺に安定している。図3と図5を比較すると、北西入口の上部を開放した場合、トンネル内の相対湿度は変動幅が多少大きくなり、全体的に80～90%の範囲内を推移し、入口をまったく開放しない場合より約10%の低下が見られる。

以上の結果から、外気温が3℃まで低下した場合、トンネルの北西入口の上部を開放しても、トンネル内部の空気温度が10℃以上に保たれることがわかる。外部の相対湿度が30%台に低下しても内部の相対湿度は70%以上に保たれている。

3.2 梅雨期の結果

3.2.1 南東と北西の入口が閉鎖した場合(6/7～6/24)

表3より、入口が閉鎖された場合、測定点②～⑦の平均温度は外気温の影響を受けずに12.2～12.7℃の範囲内に安定していることがわかる。トンネル内の相対湿度の平均値も安定しているが、いずれの測定点もほぼ飽和状態になっている。

トンネル内の温湿度を図6、7に示す。図6から、梅雨期では、トンネル内の空気温度が12.5℃に安定していることがわかる。この時期では、外気が湿っているため、

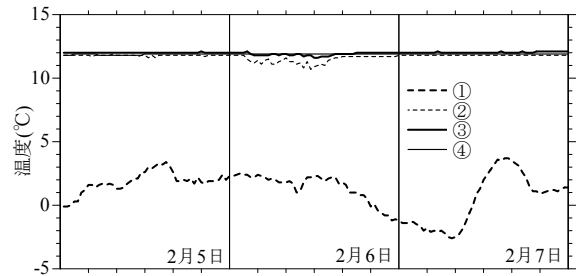


図2 トンネル内の気温(南東:閉、北西:閉、冬期)

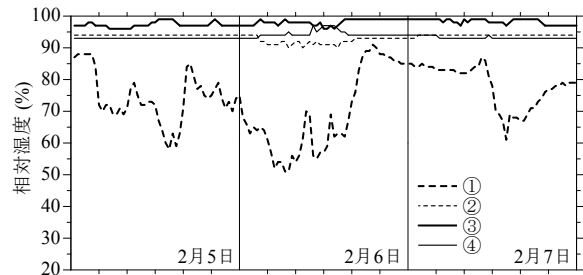


図3 トンネル内の相対湿度(南東:閉、北西:閉、冬期)

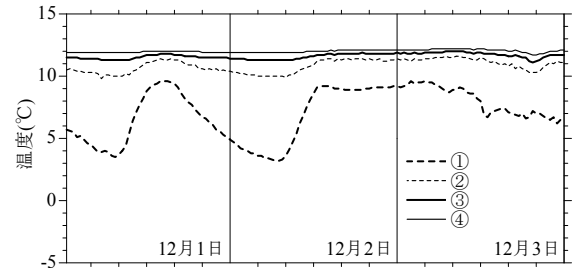


図4 トンネル内の気温(南東:閉、北西:上部開放、冬期)

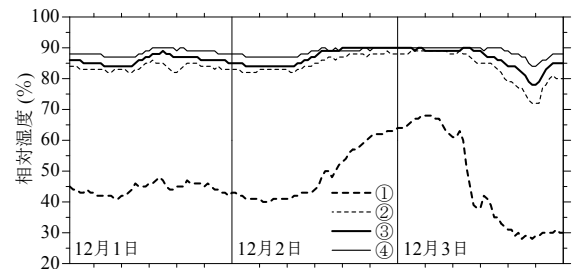


図5 トンネル内の相対湿度(南東:閉、北西:上部開放、冬期)

測定点①の相対湿度が95%を超える時間帯もあった。トンネル内部の相対湿度は常に90%以上に安定している。

3.2.2 南東入口が閉鎖、北西入口の上部が開放した場合(6/25～6/30)

北西入口の上部が開放した場合、トンネル内部の平均気温はほぼ変わらず12.3～12.9℃に安定している(表3)。また、この時期では、外気が湿っているため、入口の一部を開放しても中の相対湿度が下らない(表3)。

トンネル内の温湿度を図8、9に示す。図8から、梅雨

表3 梅雨期の平均温湿度

測定点	6月8日～6月15日		6月25日～6月30日	
	温度(°C)	湿度(%)	温度(°C)	湿度(%)
①	16.1	87	17.7	92
②	12.7	93	12.9	94
③	12.6	97	12.7	98
④	12.6	98	12.6	98
⑤	12.7	97	12.8	98
⑥	12.3	99	12.3	99
⑦	12.2	94	12.3	95
⑧	15.7	84	17.1	90
広島	22.8	62	24.6	80
加計	20.5	—	22.9	—

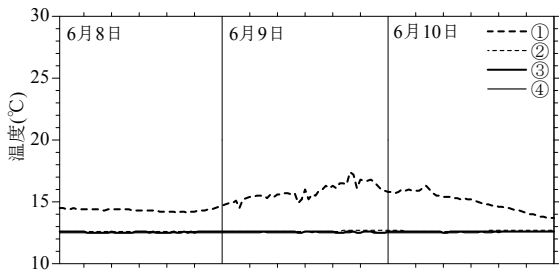


図6 トンネル内の気温(南東:閉、北西:閉、梅雨期)

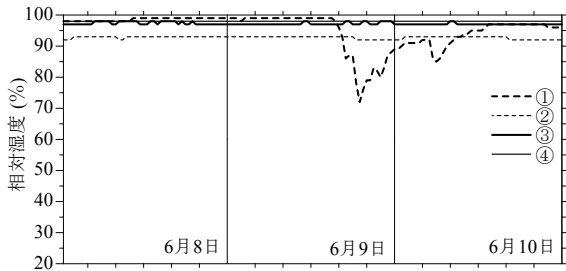


図7 トンネル内の相対湿度(南東:閉、北西:閉、梅雨期)

期では、北西入口上部を開放してもトンネル内の空気温度がほぼ13°Cに安定していることがわかる。トンネル内部の相対湿度は95%以上に保たれている。

以上の結果から、梅雨期では入口の開閉によらず、トンネル内部の空気温度は常に12～13°Cに、相対湿度は90%以上に保たれていることがわかる。

3.3 夏季の結果(7/1～9/30)

夏季では、南東入口を閉鎖し北西入口の上部のみを開放して測定を行った。表4より、トンネル内部の平均気温が全体的に外気温の影響を受けほかの季節より多少変動しやすいことが読み取れる。上部が開放された北西入口から遠い測定点⑥、⑦では平均気温がほぼ13°Cに安定しているが、②～⑤には平均気温のばらつきが見られる。また、北西入口に近い②、③より、南東入口に近い⑥、⑦の平均温度が低い傾向にある。これは、北西入口の上部が開放されていたためである。

相対湿度の平均値は、いずれの測定点でもほぼ飽和状態になっている(表4)。

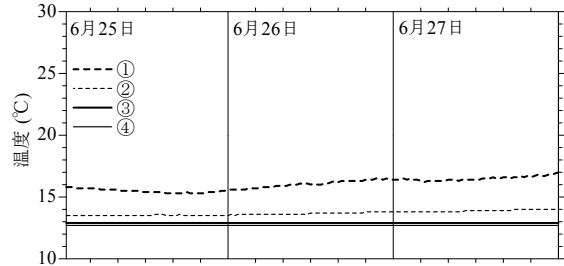


図8 トンネル内の気温(南東:閉、北西:上部開放、梅雨期)

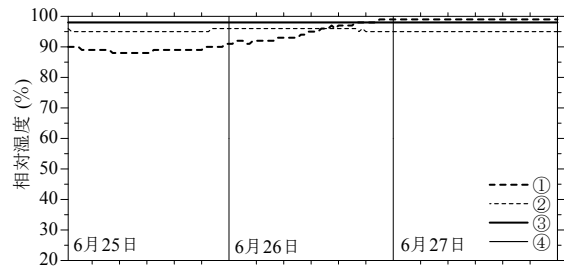


図9 トンネル内の相対湿度(南東:閉、北西:上部開放、梅雨期)

トンネル内の温湿度を図10、11に示す。夏季では、トンネル内の温度の高い順は②、③、⑤、⑦、④、⑥である(図10)。トンネル内部の相対湿度は②を除けば95%以上に保たれている。

以上の結果より、夏季では②を除けば、

トンネル内の温度がほぼ16°C以下に保たれ、閉鎖された南東入口に近い⑥、⑦では13°C付近に安定していることがわかる。相対湿度は常に90%以上に保たれている。

3.4 中間期の結果

3.4.1 南東入口が閉鎖、北西入口の上部が開放した場合(10月1日～10月31日、11月17日～11月30日)

中間期におけるトンネル内の平均気温は12～13°Cの範囲内で推移し、平均相対湿度はほぼ90%以上に保たれている(表5)。

図12より、10月10日～12日は、外気温は変動しているが、トンネル内の気温が13～16°Cの範囲内に収まっていることがわかる。測定点④は14°C、測定点⑥、⑦は13°Cに安定している。

3.4.2 南東入口が2割開放、北西入口の上部が開放した場合(11月1日～11月16日)

北西入口の上部を開放したまま、南東入口を2割程度開放して測定を行った。トンネル内の平均気温は南東入口が閉鎖された場合より、やや低下しているが10.8～

表4 夏季の平均温湿度

測定点	7月1日～9月30日	
	温度(°C)	湿度(%)
①	20.5	92
②	16.0	95
③	15.3	99
④	13.7	99
⑤	14.3	99
⑥	12.9	99
⑦	13.1	98
⑧	19.2	92
広島	27.9	65
加計	25.2	—

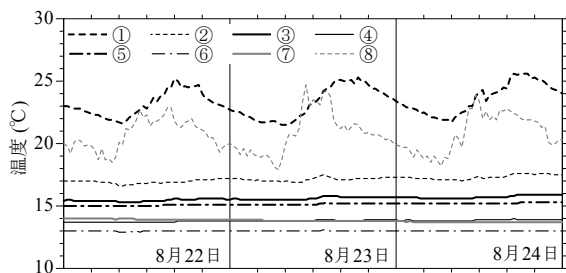


図10 トンネル内の気温（南東：閉、北西：上部開放、夏期）

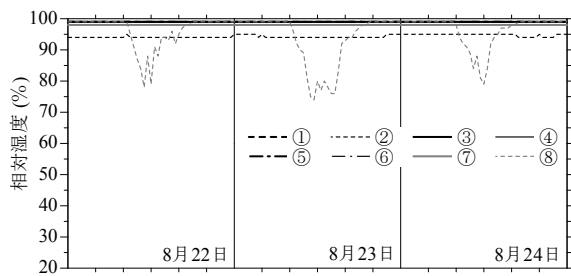


図11 トンネル内の相対湿度（南東：閉、北西：上部開放、夏期）

12.4°Cの範囲内に収まっている。平均相対湿度もやや低下傾向にある（表5）。

11月9日～11日のトンネル内の空気温度を図13に示す。両側の入口を一部開放することによって、トンネル内の気温変動が大きくなり、場所による温度差が生じやすい結果となったが、入口から離れている③、④、⑤、⑥では、気温が比較的安定し、11～13°C程度となっている。

以上の結果より、両側の入口を一部開放することにより、入口付近の気温変動が大きくなり場所による温度のばらつきが生じやすいが、トンネルの中央部では、気温が比較的安定し12～13°Cとなっていることがわかる。相対湿度は70%以上になっている。

4 おわりに

本文では、廃線トンネルの再利用を目的として、トンネル内の熱環境について約1年間の実測を行い、以下の知見を得た。

- 1)冬期では、入口が閉鎖された場合、トンネル内の空気温度が10°C以上、相対湿度が90%以上に保たれる。北西入口の上部のみを開放した場合、内部の空気温度が10°C以上、相対湿度は70%以上に保たれている。
- 2)梅雨期では、入口の開閉によらず、トンネル内部の空気温度は常に12～13°Cに、相対湿度は90%以上に保たれている。
- 3)夏季では、北西入口の上部のみを開放した場合、②を除けば、トンネル内の温度がほぼ16°C以下に保たれ、閉鎖された南東入口に近い⑥、⑦では13°C付近に安定

*1 近畿大学工学部建築学科 学生
 *2 近畿大学工学部 准教授・博士（工学）
 *3 近畿大学大学院システム工学研究科 大学院生
 *4 中国醸造株式会社

表5 中間期の平均温湿度

測定点	10月1日～10月31日		11月1日～11月16日	
	温度(°C)	湿度(%)	温度(°C)	湿度(%)
①	9.1	47	8.9	42
②	12.0	86	12.0	83
③	13.0	91	12.4	87
④	12.8	93	12.4	90
⑤	13.2	95	12.3	93
⑥	12.3	92	11.7	91
⑦	11.9	(65)*	10.8	(48)*
⑧	9.1	85	8.7	85
広島	16.6	64	13.1	62
加計	12.9	—	9.6	—

*⑦の湿度センサーは11月1日から故障している。

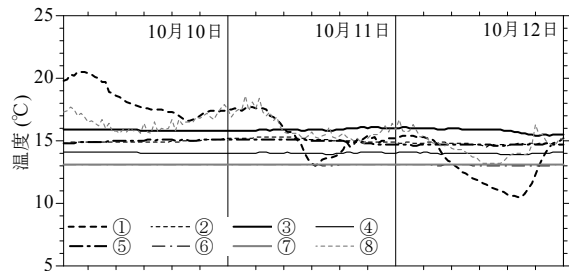


図12 トンネル内の気温（南東：閉、北西：上部開放、中間期）

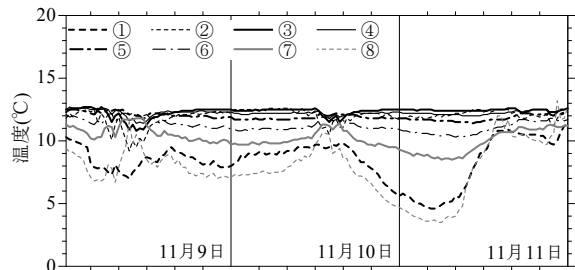


図13 トンネル内の気温（南東：2割開放、北西：上部開放、中間期）

- している。相対湿度は常に90%以上に保たれている。
- 4)中間期では、両側の入口を一部開放した場合、入口付近の気温変動が大きくなり、場所による温度のばらつきが生じやすいが、トンネルの中央部では、気温が比較的安定し12～13°Cとなっている。相対湿度は70%以上になっている。
 - 5)年間を通してみると、トンネル内の温度は13±3°C以内、相対湿度は70%以上に維持されている。

謝辞

本研究の遂行において、安芸太田町役場と株式会社増岡組のご協力を得ました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1)西川純一：トンネルにおける温度測定と解析 第1報、土木試験所月報、No.417、1988.2

Student, Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kinki Univ., Dr. Eng. Assoc. Prof., Dept. of Architecture, Faculty of Engineering, Kinki Univ., Dr. Eng. Graduate Student, Graduate School of Systems Engineering, Kinki Univ. CHUGOKU JOZO Co., Ltd.