

施工中のトンネル坑内環境と 覆工コンクリートの湿度変化に関する研究

馬場弘二¹・伊藤哲男²・城間博通³・宮野一也⁴・中島浩⁵・谷口裕史⁶

¹正会員 日本道路公団 試験研究所 トンネル研究室（〒194-8508 東京都町田市忠生1-4-1）

²正会員 日本道路公団 試験研究所 トンネル研究室主任（同上）

³正会員 日本道路公団 試験研究所 トンネル研究室室長（同上）

⁴正会員 ハザマ 土木事業総本部 技術設計部（〒107-8658 東京都港区北青山2-5-8）

⁵正会員 工修 ハザマ 土木事業総本部 トンネル統括部（同上）

⁶正会員 博（工） ハザマ 技術研究所 技術研究部（〒305-0822 茨城県つくば市苅間515-1）

一般に、覆工コンクリートは脱型が早く型枠存置による十分な養生効果は期待できない。しかし、トンネル坑内は温度が安定し、湿度も高い状態であるといわれている。また、背面が地山に面しており、日照作用もなく、風などの影響もほとんど受けないために、コンクリート表面からの水分の逸散は屋外コンクリートと比較して格段に少ないといわれている。一方、作業環境改善を目的に換気設備の大型化も進んでおり、トンネル施工中の坑内環境条件が変化している可能性がある。以上のような背景から、本研究では、現状での施工中のトンネル坑内環境を明らかにするとともに、覆工コンクリートを模擬した試験体によるコンクリート内部の湿度変化を測定し、覆工コンクリートに適した養生方法を提案する。

Key Words : tunnel, concrete lining, humidity, curing, drying shrinkage

1. はじめに

トンネル覆工コンクリートは、打込み翌日に脱型する施工サイクルが一般的であり、一般の屋外コンクリート構造物の養生条件と異なる点が特徴である。（社）土木学会「トンネルコンクリート施工指針（案）」においても、「覆工コンクリートは、一般に脱型が早いため型枠存置による十分な養生効果は期待できない。しかしながら、トンネル内は、坑口付近を除いて温度が安定しており、湿度も高い状態になっている。また、覆工コンクリートは、背面が地山に面しており、外気に露出しているのは一面のみである。日照作用もなく風等の影響もほとんど受けない。そのため、コンクリート表面からの水分の逸散は、一般の屋外コンクリート構造物よりも格段に少ない。このような状態が確保されているトンネ

ル内は、湿潤状態に保たれているとみなせるので、一般には、特に付加的な養生は行っていない。」と記述されている¹⁾。

一方、施工環境の改善目的で換気設備の大型化が進んでおり、今後もその傾向は加速していくものと考えられる。このような施工条件の変化を受ける中で、覆工コンクリート表面に比較的初期段階で乾燥収縮ひび割れと考えられるひび割れが観察されており、トンネル内の環境条件が必ずしも養生不要が許容されるような条件ではないと考えた。そうであれば、覆工コンクリートの耐久性を向上させるためには、初期の養生が通常のコンクリートと同様に重要であると考えられる。

以上のような観点から、本研究では、まず、施工中のトンネルの坑内環境調査およびアンケート調査を実施して、現状の施工中のトンネル坑内環境（坑

表-1 調査Ⅰで調査対象としたトンネルの概要

トンネル名	トンネル延長	時期	掘削延長	覆工延長	風管吐出口位置	換気方式	養生に影響する項目	特徴
大久保トンネル	297m	夏 冬	297m	297m		貫通	坑口に防音壁・散水4回/日	貫通 短いトンネル
有明山トンネル	793m		793m	793m				貫通 1,000m級
森トンネル	1,402m	夏	1,301.1m	844m	1,263m	集中・送・排気組合せ式	坑口に防音壁・散水4回/日	未貫通
		冬	1,402m	1,313m		(貫通)		1,000m級
五里ヶ峯トンネル (東工区)	4,518m (2,025m)	夏	1,229.2m	637m	1,181m	集中送気式・電気集塵機併用	坑口に防音壁・散水3回/日	未貫通
		冬	1,675.8m	1,023m	1,627.7m	2,000m以上		

注) 夏期調査:2001.9.02~9.07, 冬期調査:2001.12.02~12.05

表-2 調査Ⅱの調査地点の概要

調査時期	位置	切羽位置	調査位置	備考
夏期	①	1263.8m	坑口部	
	②	~1,307.2m	611.7m (セントル近傍)	コンクリート湿度 水分測定実施
冬期	①	1,706.5m ~1,735.7m	坑口部	
	②		611.7m	
	③		1,035.2m (セントル近傍)	掘削が進行し 測点が増加

夏期:2001.9.12~9.27

冬期:2001.12.7~12.20(一部は2002.3.12まで測定)

内温度および湿度)の実態を明らかにした。次に、試験体を用いて、覆工コンクリート内部の湿度変化および長さ変化を測定した。さらに、これらの試験結果をもとに、初期の乾燥収縮ひび割れの危険性について検討を行い、覆工コンクリートの初期ひび割れ低減に必要な養生方法を提案する。

2. 施工中のトンネル環境調査

(1)調査目的

トンネルの坑内環境は、コンクリートの養生に対して良好な環境であるといわれてきた。しかし、換気設備の大型化などにより、トンネル坑内の環境は大きく変化している。また、トンネル坑内環境は、トンネル延長、貫通の有無などの施工条件、季節あるいは昼夜により変化するものと考えられる。

以上のような観点から、まず、条件の異なる4トンネルを対象に、坑内環境条件の測定を実施した(調査Ⅰ)。さらに、1トンネルを対象に、数ヶ月間、トンネル坑内環境および覆工コンクリートの湿度状況を測定した(調査Ⅱ)。また、現在施工中のトンネルのアンケート調査により、今回の測定結果の妥当性を検証した。

(2) 調査概要

a)調査Ⅰ

調査Ⅰでは、トンネル内の温度、湿度について、トンネル延長、貫通の有無および季節の違いによる影響について調査した。調査したトンネルの概要を表-1に示す。なお、調査対象とした4トンネルは、いずれも上信越自動車道の新設トンネル建設現場であり、2車線の高速道路断面である。

測定箇所は、坑口部(坑口より100mまで)および坑内(100~200m毎に測定)であり、各断面3箇所(両側壁部および天端部)の測定を行った。

また、調査は午前中(4:50~7:00頃)および午後(11:40~13:30)の2回行った。

b)調査Ⅱ

調査Ⅱでは、調査Ⅰの五里ヶ峯トンネル東工区を対象にトンネル内の温度および湿度を継続的に測定した。調査地点の概要を表-2に示す。なお、冬期調査における測点③は、掘削の進行により増えた測点である。

c)アンケート調査

日本道路公団発注のトンネル工事のうち、平成10年8月~平成13年12月の間を調査対象とし、この期間に施工中の53トンネルのセントル位置における坑内温度および湿度のアンケート調査を行った。

(3)調査結果

a)調査Ⅰ

各トンネルにおける調査より得られたトンネル坑内温度と湿度の関係を図-1および2に示す。

夏期調査においては、森トンネルの内部測定結果を除き、坑内温度が上昇するに伴い坑内湿度が低下する傾向を示す。特に貫通後のトンネル(大久保・有明山)ではその相関性も高い。坑内温度の範囲は貫通トンネルで18~30°C程度(平均22°C)、未貫通

表-3 五里ヶ峯トンネル（東工区）における坑内温湿度測定結果と日内変動

測定位置	温度(℃)				湿度(%)			
	平均温度	温度範囲	日内差の平均	日内差の最大値	平均湿度	湿度範囲	日内差の平均	日内差の最大値
坑口部	21.7	16~27.1	2.7	5.3	85.2	58~100	13.0	26.0
	14.7	11.6~17.2	2.0	3.8	83.2	68.4~100	10.4	27.0
坑口より 611.7m	23.8	16.4~31.8	3.2	6.6	79.0	55.6~99.4	16.7	31.5
	16.7	13.3~20.4	1.7	5.2	73.8	60.7~100	12.8	26.5
坑口より 1035.2m	夏期は到達しておらず測定結果なし							
	18.7	14.3~26.4	2.4	5.9	62.9	43.4~81.9	12.5	25.7

上段:夏期調査結果、下段:冬期調査結果

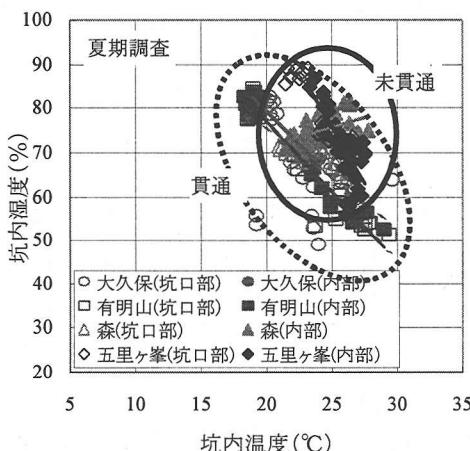


図-1 坑内温度と坑内湿度の関係（調査I 夏期）

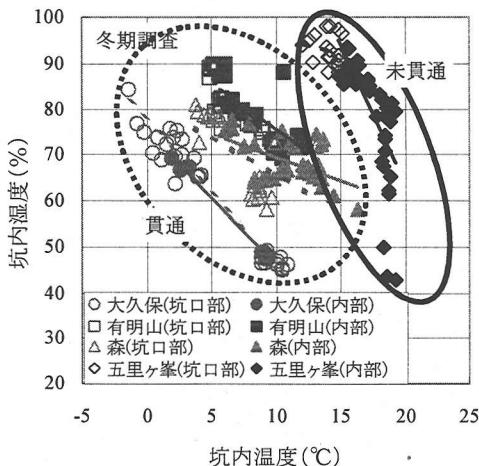


図-2 坑内温度と坑内湿度の関係（調査I 冬期）

トンネルで22~28°C程度（平均25°C）であり温度変動は貫通トンネルの方が大きい傾向を示す。また坑内湿度は若干未貫通トンネルの方が高い箇所が認められるが、概ね55~90%，平均で70~80%であった。また、同一坑内温度に対する坑内湿度は、貫通トンネルよりも未貫通トンネル（森・五里ヶ峯）の方が高い傾向を示した。

一方、冬期調査においても、坑内温度上昇に伴い坑内湿度が低下する傾向は夏期調査と同様であるが、坑内温度は、トンネル間のばらつきが大きくなり、特に、貫通トンネル（大久保・有明山・森）では、気温も午前中の測定では0~5°C程度とかなり低くなっている。一方、未貫通トンネル（五里ヶ峯）は、坑内温度が12~20°C程度と貫通トンネルと比較して坑内温度が高いことが確認できた。しかし、坑内温度範囲は夏期と大きく異なるものの、貫通トンネルでは坑内湿度の範囲は概ね45~90%の範囲であり、夏期調査と大差はなかった。一方、未貫通トンネルでは、一部坑内湿度が大きく下がる点が認められるが平均で80~90%程度であり、貫通トンネルと比較して湿度が高い箇所が多く確認できた。なお、湿度の低下箇所は切羽に近く風管の吹出し箇所であり、換気の影響を受けたものと考えられる。

b)調査II

坑内温湿度の測定結果を表-3に示す。坑内温度は、夏期・冬期とも坑口から坑内に入るに従い高くなる傾向を示す。ただし、その差は最大で4.0°C程度（冬期の場合、坑口部14.7°C、坑内18.7°C）であった。一方、湿度は夏期・冬期とも坑口から坑内に入るに従い低くなる傾向を示した。この差は、冬期では20%以上の低下（坑口部83.2%，坑内62.9%）が認められた。

坑口からの距離と日内温湿度差の関係を図-3および4に示す。同一箇所における温度および湿度の日内変動は、夏期の温度変動の最大値が坑内に入るに従い高くなる傾向を示しているが、平均値で見れば、概ね、季節および坑口からの距離に拘わらず、同程度であると言える。また、その変動量は、坑内温度で平均2~3°C、湿度で平均10~20%程度であった。ただし、最大値を見た場合、坑内湿度が30%程度変動する場合もあることが確認された。

c)アンケート調査

全国アンケート調査と本調査の結果を図-5に示す。なお、図中には、調査IおよびIIの結果も示している。調査IおよびIIの結果は、アンケート結果と同

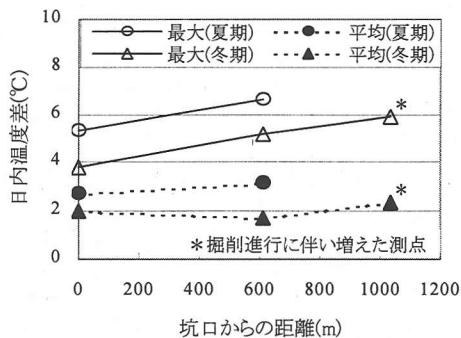


図-3 坑口からの距離と日内温度差の関係

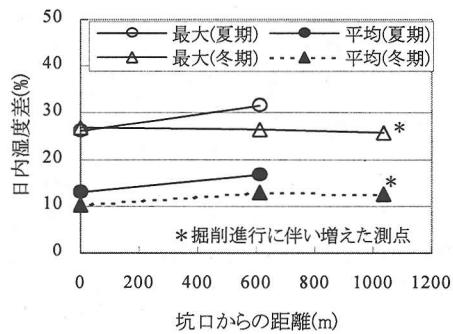


図-4 坑口からの距離と日内湿度差の関係

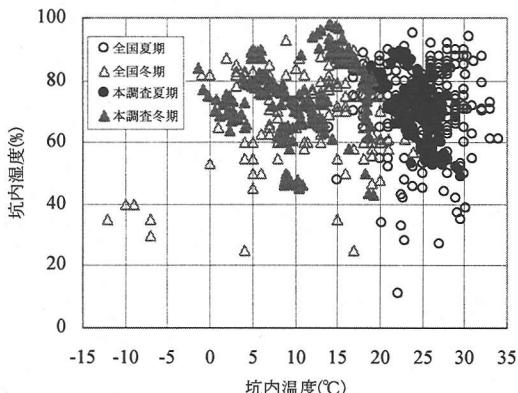


図-5 アンケート調査による坑内温湿度の関係

様の範囲にあることが確認できた。また、アンケート結果によるセントル位置の湿度は、夏期平均で70.3%，冬期平均で68.0%であった。

坑口からの距離と坑内湿度の関係（夏期）を図-6に示す。坑口部の湿度のばらつきは、坑内よりも大きい傾向が明確になった。また、坑内のデータ数は坑口のデータ数と比較して少ないが、ばらつきは小さくなり、60～80%程度の範囲に収束する傾向が認められた。なお、この傾向は冬期においても同様であった。

坑内温湿度の平均値とばらつきの関係を図-7およ

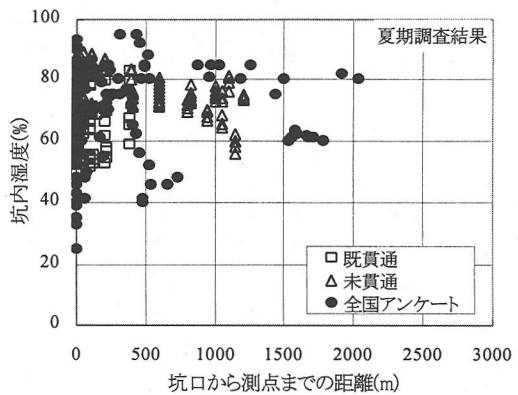


図-6 坑口からの距離と坑内湿度の関係

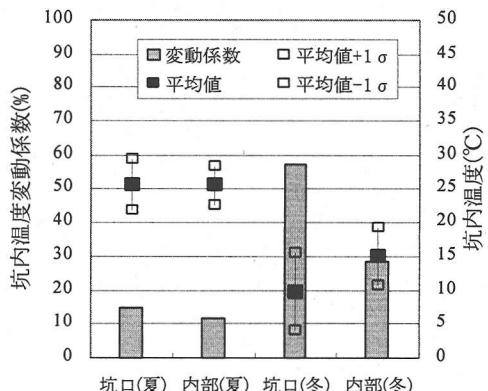


図-7 平均坑内温度とばらつき

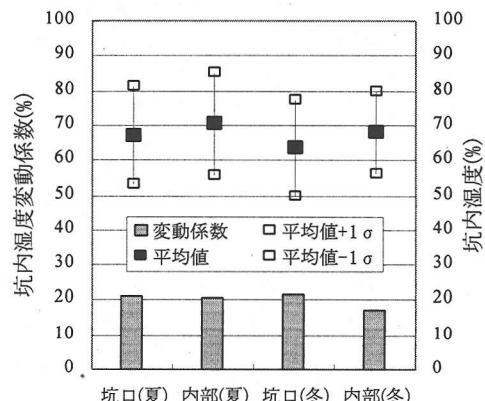


図-8 平均坑内湿度とばらつき

び8に示す。坑内温度のばらつきは、夏期よりも冬期の方が大きくなる。夏期では坑口・内部とも25℃程度で一定であるが、冬期では坑口部で10℃程度、内部で15℃程度である。一方、湿度のばらつきは夏期・冬期あるいは坑口部・内部の差は顕著ではなく、概ね平均値で60～70%程度、湿度範囲は50～90%程

度の範囲であった。

(4) トンネル環境調査のまとめ

本調査の結果、以下のことが明らかとなった。
 ①調査Ⅰの結果より、貫通トンネルと比較して未貫通トンネルの方が、温度のばらつきが小さい。一方、湿度範囲はトンネル延長、貫通の有無による影響は小さく、概ね50~90%程度であった。

②調査Ⅱの結果、坑内の湿度は、坑口より坑内に入るに従い低下する傾向を示し、最大で20%程度の湿度低下が確認された。また、同一箇所における日変動は、夏期・冬期あるいは測定位置に拘わらず、坑内温度で2~3°C、坑内湿度で10~20%程度であった。ただし、坑内湿度は30%程度変動するケースも確認された。

③アンケート調査の結果、調査ⅠおよびⅡにより得られた結果は、一般的なトンネル環境を示すデータであることが確認できた。また、全国平均で見た場合にも、トンネル坑内湿度は平均で60~70%程度、範囲で50~90%程度であった。

以上の結果から、施工時のトンネル坑内環境、特に坑内湿度は、トンネル延長、貫通の有無、季節などの条件により多少の変動があるものの、およそ60~70%程度であることが明らかとなった。このことより、施工時のトンネル坑内環境は、必ずしもこれまで考えられていたような高湿度条件ではないことが確認できた。

3. 覆工コンクリート試験体の湿度および長さ変化

(1) 目的

覆工コンクリートは、一般的には打込み後1日以内に型枠脱型が行われ、その後乾燥状態で養生される。これに対し、施工時のトンネル坑内環境は、従来考えられていたような高湿度な環境条件ではないことが確認できた。このことから、覆工コンクリートのひび割れ抑制のうち湿度による影響に着目した。すなわち、湿度条件の異なる環境下における脱型後の覆工コンクリートの乾燥状況を定量的に把握することを目的とし、室内試験を実施した。

(2) 試験および測定概要

室内試験は、覆工コンクリートの施工を模擬したコンクリートを打込み後18時間で脱型し、3水準の湿度条件下(60%, 75%および100%)でコンクリー

表-4 使用材料

	種類	仕様
セメント	高炉セメントB種	密度:3.04g/cm ³
細骨材	大井川産川砂	密度:2.62g/cm ³ , 吸水率:1.03%, F.M.:3.04
粗骨材	秩父産碎石	密度:2.70g/cm ³ , 吸水率:0.71%
混和剤	AE減水剤	リグニンスルホン酸化合物およびポリオール複合体
水	水道水	茨城県つくば市

表-5 コンクリート配合

粗骨材の最大寸法(mm)	スランプの範囲(mm)	空気量の範囲(%)	水セメント比(W/C%)	細骨材率(s/a%)	単位量(kg/m ³)				
					W	C	S	G	Ad
20	15±2.5	4.5±1.5	60	48	175	292	848	982	0.73

表-6 試験ケース

No	温度(°C)	湿度(%)	試験体高さ(cm)	試験体幅(cm)	養生条件
①	20	75	30	10	養生なし*1
②					養生剤塗布
③					湿潤養生
④					養生なし*1
⑤					養生なし*1

*1養生なし:表面乾燥

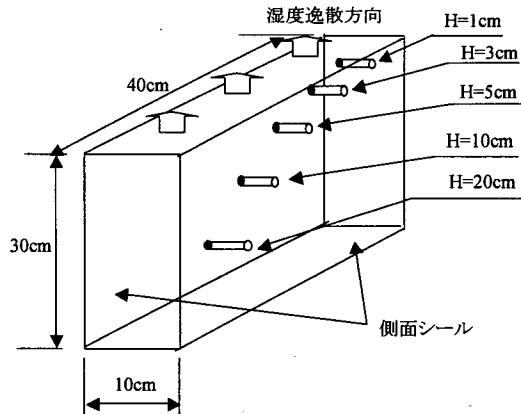


図-9 コンクリート内部湿度測定試験体の概要

ト内部の湿度変化および長さ変化の測定を行った。使用したコンクリートの使用材料および配合を表-4および5に示す。コンクリート内部湿度調査の試験ケースを表-6に、試験体およびコンクリート内部の湿度測定概要を図-9に示す。試験体は、脱型直後に上面以外をシール被覆し、湿度計を表面から1,3,5,10および20cm位置に埋め込んだ。なお、使用した湿度計の測定範囲は20~95%RH、測定精度は±3%RH(at25°C)である。養生剤は市販の水溶性

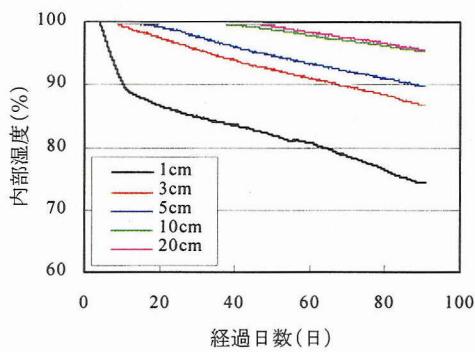


図-10 No.① (75%, 養生無し) 測定結果

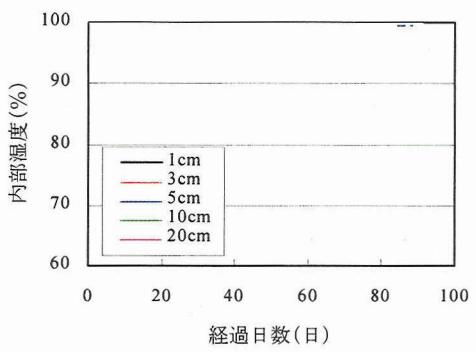


図-13 No.④ (100%) 測定結果

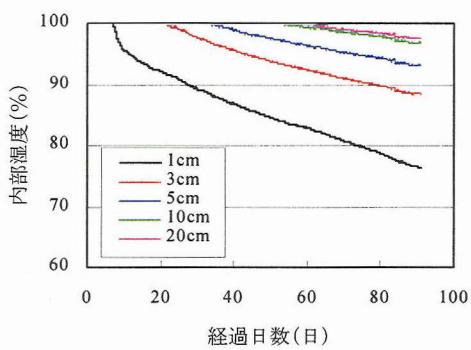


図-11 No.② (75%, 養生剤塗布) 測定結果

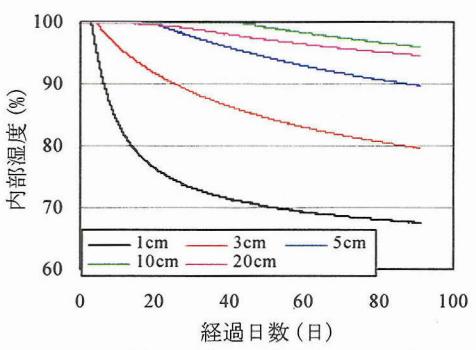


図-14 No.⑤(60%,養生無し)測定結果

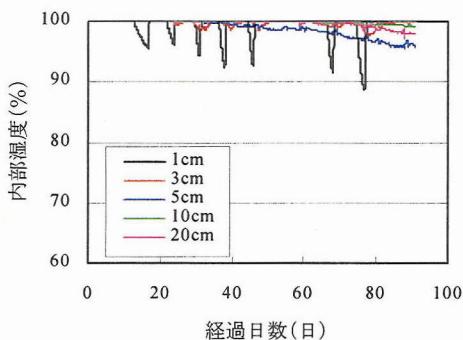


図-12 No.③(75%, 湿潤養生)測定結果

養生剤を使用し、 $70\text{ml}/\text{m}^2$ の割合で塗布した。湿潤養生は、試験体上面に水分を十分に含んだ布を被せ、1週間毎に霧吹きにて水滴がたれる程度まで散水した。なお、長さ変化試験は、JIS A 1129-3に準拠し、表-6中のNo.①、②、④および⑤の条件で実施した。

(3) 試験結果

室内試験の結果を図-10～14に示す。湿度条件が75%の場合には、養生を行わないNo.①で、乾燥開始4日目より表面より1cm位置で湿度の低下が認められ、約10日後に90%まで低下する。その後も徐々

に乾燥し、乾燥材齢91日で75%，すなわち、試験環境湿度に達した。深さ方向では、3,5および10cmと深くなるに従い湿度低下開始時期は遅延し、それぞれ9,14および35日であった。

養生剤を塗布したNo.②では、表面より1cm位置での湿度の低下が認められたのは乾燥材齢7日であり、養生を行わない場合と比較して3日遅れとなり、養生剤塗布の効果が認められた。深さ方向では、3,5および10cm位置で湿度の低下が開始するのは、それぞれ21,34および54日後であり、乾燥速度が遅くなっているのが確認できる。しかし、乾燥材齢91日における深さ1cm位置の湿度は77%であり、養生無しの場合に近づいており、最終的な乾燥量は室内環境湿度に漸近するのは養生無しの場合と同様であると考えられる。このことから、養生剤の効果は、乾燥開始直後に効果的に作用しており、乾燥初期の乾燥防止効果が、全体としての乾燥速度の遅延に影響していると言える。

湿潤養生を行ったNo.③では、乾燥材齢12日までは散水無しでも100%の湿度を保っている。表面より1cm部分は、1週間に1回の散水で湿度が100%に戻るが、内部は徐々に乾燥が進んでいる傾向が認められる。乾燥材齢91日のコンクリート内部湿度はいず

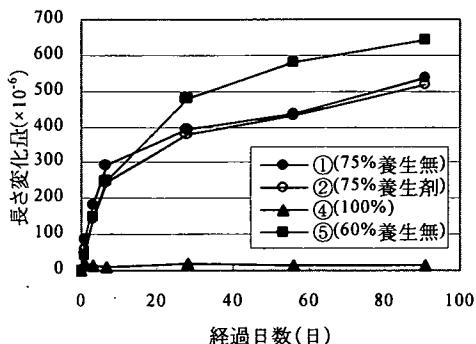


図-15 長さ変化試験結果

れの箇所も95%以上を保っていることも確認できた。

湿度100%の室内で養生したNo.④は、湿度変化は認められていない。

湿度60%条件のNo.⑤は、表面より1cm位置での湿度の低下は乾燥材齢3日より認められており、全ケースで最も早く乾燥が開始している。その後、乾燥材齢6日で約90%，14日で80%に達し、その後緩やかになるが乾燥材齢52日で湿度70%を下回る。深さ3cm位置での乾燥状況も湿度75%（No.①）と比較して早くなっているが、深さ5および10cm位置の湿度低下開始時期および乾燥材齢91日の湿度は、湿度75%条件と顕著な差は認められなかった。

長さ変化の測定結果を図-15に示す。養生剤の効果（No.②）は乾燥材齢初期に認められ、乾燥初期では収縮量が養生無しの場合と比較して小さくなるが、乾燥材齢28日以降は同程度の収縮量となっている。一方、湿度60%養生無し（No.⑤）の場合には、乾燥材齢初期の収縮量は湿度75%養生無し（No.①）と大差ないが、乾燥材齢7日以降の収縮量が大きくなり、乾燥材齢91日では、湿度75%と比較して約20%収縮量が大きくなっている。なお、湿度100%（No.④）の収縮量は非常に小さく、この収縮量は自己収縮に相当すると考えられる。

(4) 覆工コンクリート試験体の湿度調査のまとめ

覆工コンクリート試験体の湿度調査の結果以下のことが明らかとなった。

①湿度条件が厳しいほど、乾燥開始時期が速くなる。例えば、表面より1cm位置での乾燥開始時期は、湿度60%で3日、湿度75%で4日、湿度75%で養生剤を塗布した場合には7日であった。また、いずれの条件でも、最終的には試験環境湿度に漸近することも確認できた。

②養生剤を塗布した場合には、初期の乾燥速度は遅延するが、乾燥材齢91日では、深さ1cm位置の湿度

は、養生剤なしの場合とほぼ同程度であった。同様に、長さ変化試験においても、乾燥初期の収縮量は養生剤塗布の効果が認められたが、材齢28日以降は同様の長さ変化を示した。

③湿潤養生を行った場合には、散水（吸水）することによりコンクリート内部の湿度が100%まで回復する。このことより、1週間に1度程度の散水は環境湿度にかかわらず、コンクリートの乾燥に対して有効な手立てとなる。

4. 覆工コンクリートの養生方法の提案

(1) 目的

本調査により、施工中のトンネル坑内環境および覆工コンクリート内部の湿度分布を調査した。一方、室内試験においては、一定温度および一定湿度条件下での湿度分布および長さ変化を測定した。

ここでは、これらの調査・試験結果をもとに、覆工コンクリートが受けるトンネル坑内環境条件下において乾燥収縮による覆工コンクリートの深さ方向のひずみ分布を推定する。さらに、このひずみ分布をもとにひび割れ発生を防ぐために必要な養生方法を提案する。

(2) 評価方法および評価結果

評価フローを図-16に示す。各段階において、以下のようないくつかの条件で算定を行った。

①部材内の湿度分布の算定

図-10～14の結果をもとに、各湿度および養生条件下での各深さ位置での湿度分布を算定する。算定例として乾燥材齢91日におけるコンクリート内部の湿度分布を図-17に示す。No.③が湿潤養生として水を散布しているために、表面部で湿度が100%となる箇所が認められるが、いずれの部材位置においても養生条件が厳しいものほど部材内部の湿度も低下しているのが確認できる。一方、10cmよりも深い位置では、材齢91日でも部材内湿度は95%以上であると推定できる。

②部材内のひずみ分布の算定

各湿度条件下における材齢と長さ変化量の関係は図-15で求めている。この関係から、①で求めた湿度条件下でのひずみ量（ひずみ分布）を算定する。具体的には、図-17より、試験ケース毎のコンクリート深さ方向の湿度が求められる。一方、図-15では、湿度60, 75および100%の湿度条件下での長さ変化（ひずみ）が求められている。例えば、図-17

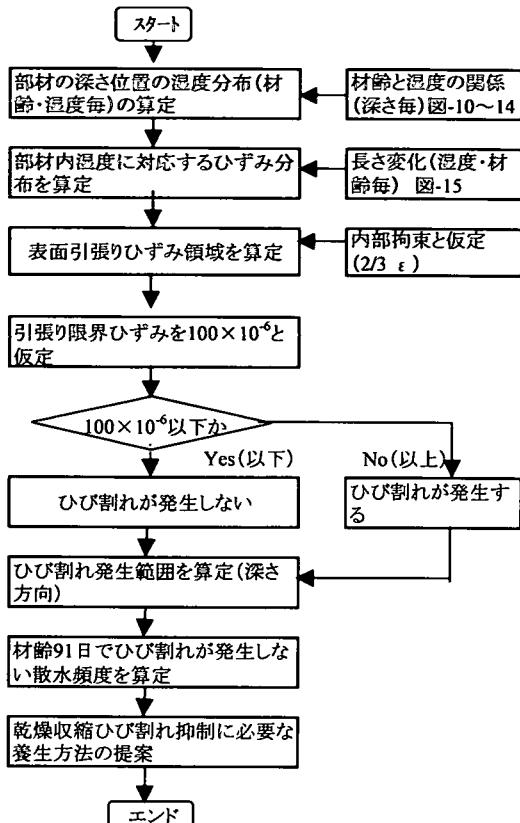


図-16 評価フロー

より①で求めたコンクリート湿度が材齢91日で70%であれば、図-15の材齢91日の湿度60%および75%のデータを用いて算定することにより、その点のひずみが求められる。ひずみ分布の算定例を図-18に示すように、養生条件毎の各部材位置におけるひずみ分布を推定できる。

③コンクリート表面引張ひずみの算定

部材内のひずみ分布を放物線分布とし、さらに内部拘束に影響されるとして、表面部の引張領域と内部の圧縮領域が釣合うと仮定すると；②で求めた $2/3$ のひずみをがコンクリート表面引張ひずみと算定できる。

④ひび割れ発生領域（深さ）の算定

引張限界ひずみを 100×10^{-6} と仮定し、引張限界ひずみを超える範囲（ひび割れが発生する可能性のある範囲（深さ））を算定する。材齢7、28および91日における算定結果を表-7に示す。この結果、湿度75%湿潤養生および湿度100%養生の場合には、表面部においても引張限界ひずみを超えない。一方、それ以外の養生条件の場合には、乾燥材齢7日でも

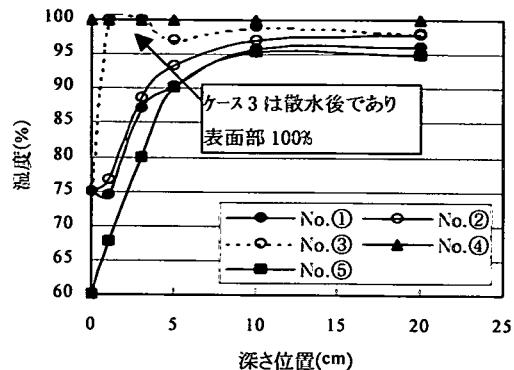


図-17 湿度分布の算定例（材齢91日）

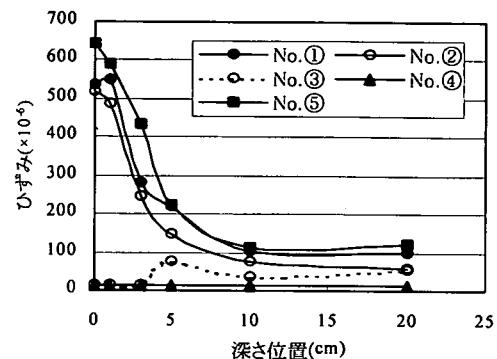


図-18 ひずみ分布の算定例（材齢91日）

表-7 ひび割れ発生領域の算定

No	乾燥材齢	7日	28日	91日
		ひび割れ発生領域(cm)		
1	75%（養生無）	0.64	2.01	7.96
2	75%（養生剤）	0.4	1.03	4.97
3	75%（湿潤）	0	0	0
4	100%（養生無）	0	0	0
5	60%（養生無）	0.98	2.86	8.99

表面部では引張限界ひずみを超える箇所があると考えられる。

(3)コンクリートの養生方法の提案のまとめ

これまでの調査および試験結果をもとに、湿度条件および養生方法の各種条件下における覆工コンクリートのひび割れ発生の可能性について算定した。この結果、湿度75%程度のトンネル坑内環境であれば、1回/週（No.3の条件）程度の散水を行うことにより、乾燥収縮によるひび割れを低減できる可能性が高いという結果が得られた。施工時のトンネル坑内湿度は、概ね60～70%程度であったことを考慮すると、1回/週程度の散水を行うことが、覆工コンクリートの乾燥収縮ひび割れを抑制する上で、効果的

な養生方法であると考えられる。

5. まとめ

本研究では、建設中のトンネル坑内環境を調査すると共に、湿度および養生方法が異なる条件下における覆工コンクリートの乾燥状況および収縮状況を実験的に検討した。さらに、これらの結果を基に、乾燥収縮ひび割れを低減させる養生方法について検討した。本研究より得られた結果を以下にまとめる。

- (1) トンネル環境調査の結果、トンネル延長、貫通の有無、季節などの条件により多少の変動があるものの、施工中のトンネル坑内湿度はおおよそ60~70%程度であった。このことより、施工中のトンネル坑内環境は、これまで考えられていたような高湿度環境ではないと考えられる。さらに、トンネル内の作業環境を改善する目的で換気設備の大型化も進んでおり、覆工コンクリートの乾燥収縮ひび割れ低減のためには、何らかの養生を施す必要があると考えられる。
- (2) 室内試験の結果、湿度条件が厳しいほどコンクリートの乾燥開始時期が速くなり、例えば、表面より1cm位置では湿度60%では3日、75%では4日、75%養生剤塗布条件でも7日より乾燥が開始する。また、養生剤の効果は同一湿度条件(75%)の場合、乾燥材齢初期に認められるが、乾燥材齢91日ではコンクリート内部湿度および

収縮量とも養生剤を塗布しない場合と同程度であった。一方、湿度75%条件でも、1回/週程度の散水を行う湿潤養生を採用した場合、コンクリート内部の乾燥を大幅に改善できた。

- (3) 試験結果をもとに、乾燥収縮ひび割れの可能性について算定した。この結果、湿度75%条件であれば、1回/週程度の散水により、乾燥収縮ひび割れの低減効果が期待できると考えられる。今後、現場実験などを通して提案した養生方法の効果を確認していく予定である。

一方、覆工コンクリートの初期の乾燥収縮ひび割れ低減を目指すためには、養生対策だけではなく、環境条件を十分に考慮し、施工時の品質および施工管理を確実に実施することが重要であると考える。

謝辞：トンネル現場の環境調査を実施するにあたり、日本道路公団東京建設局佐久工事事務所、太郎山トンネル東工事JV、森トンネル工事JVおよび五里ヶ峯トンネル東工事JVの方々には多大なご協力を頂いた。ここに記して感謝の意を表します。

参考文献

- 1) (社) 土木学会：トンネルコンクリート施工指針
(案)，コンクリートライブラー-102，2000.7.

(2002.9.24 受付)

STUDY ON THE TUNNEL ENVIRONMENT UNDER CONSTRUCTION AND HUMIDITY CHANGE OF LINING CONCRETE

Koji BABA, Tetsuo ITO, Hiromichi SHIROMA, Kazuya MIYANO,
Hiroshi NAKAJIMA and Hirofumi TANIGUCHI

Generally, it is said that tunnel environment is suitable for curing of lining concrete. On the other hand, enlargement of ventilating facilities is also progressing for the purpose of the improvement of work environment, and it is thought that the tunnel environment under construction is changing.

From the above viewpoints, firstly, the tunnel environment under construction was investigated and the present condition was clarified. Secondly, humidity change of lining concrete was clarified by experiment. Finally, the curing method suitable for lining concrete was proposed.