

現場調査に基づくひび割れ発生時期の 推定法に関する研究

Research on Presumption Method at Crack Generation Time based on Field Survey

石川幸宏¹・河畑充弘¹・大石敬司²・新井 泰³・有賀貴志⁴

Yukihiro Ishikawa, Mitsuhiro Kawabata, Keiji Oishi, Yasushi Arai and Takashi Aruga

¹正会員 工修 東京地下鉄(株) 鉄道本部 工務部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)

E-mail: yuk.ishikawa@tokyometro.jp

²正会員 工修 東京地下鉄(株) 鉄道本部 改良建設部 (〒110-8614 東京都台東区東上野3-19-6)

³正会員 工修 (財)鉄道総合技術研究所 構造物技術研究部 (〒185-8540 東京都国分寺市光町2-8-38)

⁴正会員 (株)コンボート (〒191-0011 東京都日野市日野本町3-8-3)

The timing and probable causes of cracks detected in concrete structures that are several decades old and that can be extracted from existing inspection records (including crack width and location), will prove extremely useful for determination of the necessity and priority of repairs in the course of future maintenance. On the basis of findings that the existing evaluation approach is effective when evaluating cracks occurring early in materials, we propose in this study the use of the method to estimate the time that cracks occurred is valid, and we studied the validity of this proposed method.

Key Words : *Open cut tunnel, Field survey, Initial crack, Maintenance method*

1. はじめに

近年、日本国内においては社会資本整備が一段落し、各インフラを運営する事業者の関心は既存ストックの維持管理に移りつつある。

とくに、都市部の地下構造物については、取替えや再構築が非常に困難な状況にあり、恒久的に適切な維持管理を行っていくためには、施工時の記録を有効に保存・活用し、経年に伴う構造物の変化を的確に把握することが重要である。

一方、開削トンネルの品質や耐久性は、ひび割れの程度によって左右されるという観点から、構造ひび割れに関しては新井ら¹⁾、田辺ら²⁾が、材料ひび割れに関しては諸橋ら³⁾が、実現場の目視調査結果と数値解析結果、あるいは小寺が提案している、ひび割れ制御評価式⁴⁾ (以下、ひび割れ制御評価式) との整合性について言及している。

とくに諸橋ら³⁾の研究では、①供用中の開削トンネルに数多く見られる材料ひび割れの多くが、コンクリート打設直後の初期材齢時に発生していること、

②コンクリートの打設ブロックや床版による拘束条件が明確な側壁については、ひび割れ制御評価式の適用が非常に有効であること、を明らかにしている。

したがって、この研究成果を一歩進めて、経年の進んだ、既存の開削トンネルの側壁ひび割れを評価するにあたり、通常の見査記録(変状展開図)から得られる平均ひび割れ幅によって、当該ひび割れが初期材齢時に発生したのか否かについて、ひび割れ制御評価式に基づいて判定可能であれば、補強、補修の意思決定や優先順位の見積もりを容易かつ合理的に実施できるようになると考えられる。

そこで、本研究では、まず、ひび割れ制御評価式を応用し、側壁ひび割れが初期材齢時に発生したのか否かについて判断する手法について検討した。

次に、この手法を、初期材齢時のひび割れの発生に大きくかわる、コンクリートの打設状況等に関する詳細な記録をすべて参照可能な副都心線の一現場の初回検査記録に対して適用し、当該手法の適用性と、実務に適用するにあたっての留意点について整理することとした。

表-1 ひび割れ制御評価式に用いるパラメータ¹⁾

パラメータ		単位
拘束度	R	-
熱膨張係数	α	-
コンクリートの引張強度	f_{ct}	kg/cm ²
コンクリートと鉄筋の付着強度	f_b	kg/cm ²
側壁厚	B	cm
鉄筋径	ϕ	cm
鉄筋面積	A_s	cm ²
鉄筋中心間隔	L	cm
鉄筋芯かぶり	d_l	cm
単位セメント量	U	kg/m ³
コンクリートの打設温度	T	°C
外気温	n	°C
コンクリートの硬化温度降下量	dT	°C

表-2 ひび割れ制御評価式¹⁾

評価項目	評価式
平均ひび割れ幅	$W_{mean} = \varepsilon \cdot s$
拘束ひずみ	$\varepsilon = R \cdot dT \cdot \alpha$
ひび割れ間隔	$s = (f_{ct}/f_b) \times (\phi / 2\rho_{ef})$
有効鉄筋比	$\rho_{ef} = A_s / (100/L) / (2.5/d_l)$
硬化温度降下量	$dT = a \cdot B + (b \cdot T - c \cdot n)^{-5}$

表-3 硬化温度降下量の定数⁵⁾

外気温(°C)	a	b	c
0	0.196	1.274	—
5	0.205	1.260	0.834
10	0.191	1.200	0.512
15	0.174	1.123	0.534
20	0.153	1.045	0.254
25	0.141	0.933	0.181
30	0.120	0.858	0.135

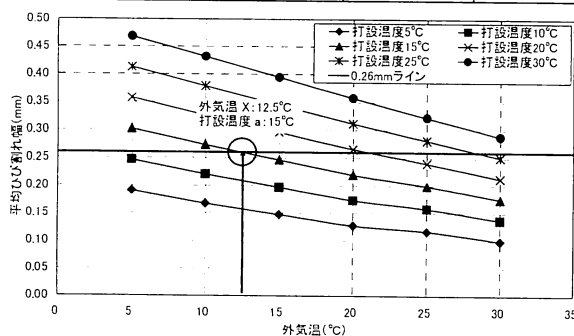


図-1 パラメータスタディから得られる特性曲線の例

2. 本研究における着目点

トンネル内面側に発生している変状(ひび割れ、漏水等)を平面図として記録した変状展開図は、総じて供用開始後数十年間の当該業務履歴を総括する意味合いが強い。

したがって、変状展開図から複数読み取れる側壁ひび割れ(以下、ひび割れ)に対して、補強・補修

の可否と優先度を適切に判断するためには、構築の初期材齢時の挙動によるひび割れと、それ以外のひび割れを大まかに区別できるようにすることが重要であると考えられる。

そこで本研究では、副都心線に複数ある開削トンネル工区の中から、打設したコンクリートに関する全ての施工記録が保存されている1つの工区における、初回検査記録から得られる平均ひび割れ幅、コンクリート打設時の外気温およびコンクリートの打設温度(以下、打設温度)に着目し、それらの関係から、当該ひび割れの発生時期が初期材齢時であるか否かを推定する手法とその妥当性について検討することとした。

3. 実施工記録に基づく検証方法の概要

(1) 要旨

本研究では、表-1のパラメータを用いた表-2のひび割れ制御評価式を応用し、経年の進んだ既存の構築に発生しているひび割れが初期材齢時に発生したものか否かについて判断する手法を、下記の①～④に示す考え方に則って提案した。

ただし、経年の進んだ既存構築では、コンクリートの施工記録に属する外気温、打設温度、温度降下量の3変数については通常、情報管理されていないことを前提として、温度降下量は田附らの提案式⁵⁾から算定することにより、また、残りの2変数は各々を変化させたパラメータスタディを行うことにより、打設ブロック毎の外気温と平均ひび割れ幅を軸とした特性曲線図(図-1)を作成することとした。

- ①特性曲線図上で取り得る、外気温と打設温度の組合せは無数にあるが、現実には有り得る組合せは有限であることに留意する。また、田附らの提案式⁵⁾中の係数は、表-3のように外気温が5～30度の範囲で定義されているが、実際は当該範囲外の組合せも存在することに留意する。
- ②打設ブロック毎のひび割れ調査結果から、各ブロックの平均ひび割れ幅を算定し、上記の特性曲線図上に水平に線を引く。
- ③その直線と特性曲線の交点から、当該ブロックのコンクリートは外気温X度、打設温度a度で施工された可能性があることがわかる。
- ④上記のXとaの組合せが、①で言うところの現実には有り得る組合せとなっていれば、ひび割れ制御評価式が成立したことになり、当該ブロックで記録されたひび割れは、構築の初期材齢時の挙動によるひび割れという仮定が成立する。

表-4 必要となるパラメータと調査資料

パラメータ	調査資料
鉄筋径：φ	構造一般図，設計計算書
鉄筋面積：As	構造一般図，設計計算書
鉄筋間隔：L	構造一般図，設計計算書
鉄筋芯かぶり：d _i	構造一般図，設計計算書
側壁厚：t	構造一般図，設計計算書
単位セメント量：U	レディーミクストコンクリート配合報告書
打設温度：T	打設時の写真（黒板）
外気温：n	打設時の写真（黒板）
硬化温度降下量：dT	田附らの提案式 ⁵⁾ に準拠
打設ブロック	構築割付横断・縦断面図 誘発目地位置平面図
ε：拘束ひずみ	ひび割れ制御評価式 ⁴⁾
s：ひび割れ間隔	ひび割れ制御評価式 ⁴⁾
ρ _{ef} ：有効鉄筋比	ひび割れ制御評価式 ⁴⁾
W _{mean} ：平均ひび割れ幅	ひび割れ制御評価式 ⁴⁾

表-5 コンクリート打設記録表に記録すべき内容

記録内容	単位	記録内容	単位
打設日	-	細骨材率	%
打設箇所	-	スランプ	cm
配合	-	空気量	%
打設数量	m ³	塩化物含有量	kg/m ³
使用プラント	-	外気温	℃
セメント量	kg/m ³	打設温度	℃
水セメント比	%	圧縮強度試験 σ ₇ ，σ ₂₈	N/mm ²

(2) 特性曲線図の活用方法

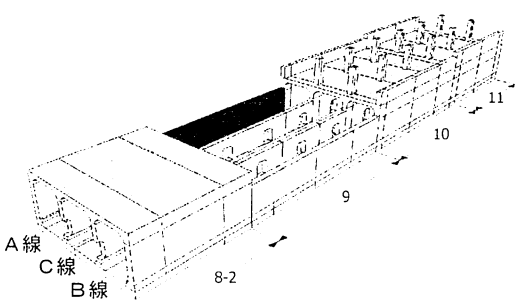
- ①図-1において、ひび割れ調査結果から得られる着目ブロックの平均ひび割れ幅が0.26mmになったと仮定する。
- ②わかりやすいように、Xとaの組合せは、曲線の交点に存在すると仮定し、12.5℃と15℃とする。
- ③これらの組合せが現実的か否かを外気温と打設温度の相関から確認する。
- ④もし現実により得る組合せであれば、構築の初期材齢時の挙動によるひび割れであると判断する。

4. 検証に必要な項目と資料

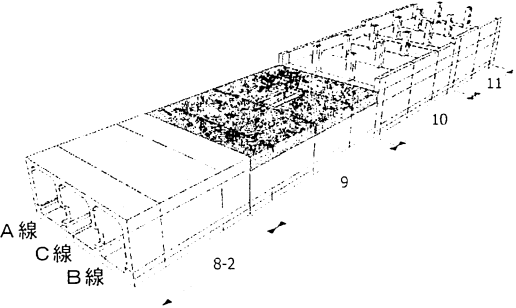
3で示した検証に必要なパラメータと参考にするべき調査資料を表-4に示す。また、各々の項目を整理するにあたって留意すべき点を以下に示す。

①構築諸元

コンクリートの温度降下量の推定及び平均ひび割れ幅の推定に用いる各種パラメータを得る。延長の



(a) B2F側壁コンクリート打設ステップ



(b) 中床版コンクリート打設ステップ

図-2 三次元打設ブロック図（8-2BL～11BL抜粋）

長い大規模駅部等、縦断方向に断面形状が変化する箇所については、構築の形式と構築諸元の関連付けを正確に行う。

②コンクリートの打設記録

コンクリートの温度降下量の推定および平均ひび割れ幅の推定に用いる各種パラメータを得る。コンクリート打設記録表に記録すべき内容を表-5に示す。当該検証を複数の現場に適用する場合、当該記録表は一定の書式に則って作成する必要がある。

③コンクリートの打設ブロック

コンクリートの拘束状態，すなわちBS（British Standard）⁶⁾等で提案されている「拘束度」を得る。

本研究で作成した三次元打設ブロック図を図-2に示す。打設ブロック図は、②と表-5に説明したコンクリート打設記録と関連付けておく必要がある。

④検査記録（変状展開図）

ひび割れ幅およびひび割れ発生本数を把握し、平均ひび割れ幅を得る。

なお、本研究で対象とするひび割れは、いわゆる材料ひび割れのみなので、曲げひび割れ等の構造ひび割れについては、本数としてカウントしないようにする必要がある。

表-6 構築諸元総括表

打設ブロック (BL)No.	構築 形式	延長(m)	B1F-A 線		B1F-B 線		B2F-A 線		B2F-B 線	
			側壁厚 (mm)	かぶり (mm)	側壁厚 (mm)	かぶり (mm)	側壁厚 (mm)	かぶり (mm)	側壁厚 (mm)	かぶり (mm)
2	異高 1-1	12	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
2	異高 1-2	6	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
2	異高 1-3	7	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
3	異高 1-3	5	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
3	異高 1-1	12	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
3	異高 1-2	5	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
3	異高 1-1	2	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
4	異高 1-1	24.8	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
5	異高 1-1	8.6	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
5	異高 1-2	5.8	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
5	異高 1-1	9.1	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
6	異高 1-1	1	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5
6	異高 2-1	22.5	700	87.5	700	87.5	800	89	800	89
6	異高 2-1	2.5	700	87.5	700	87.5	800	89	800	89
7	異高 2-1	16.5	700	87.5	700	87.5	800	89	800	89
7	異高 2-2	2.5	700	87.5	400	87.5	800	89	800	87.5
8-1	異高 2-2	5	700	87.5	400	87.5	800	89	800	87.5
8-1	異高 2-3	7.5	700	87.5	400	87.5	800	87.5	800	87.5
8-1	異高 2-2	2.5	700	87.5	400	87.5	800	89	800	87.5
8-2	異高 2-2	15	700	87.5	400	87.5	800	89	800	87.5
8-2	異高 2-1	16.5	700	87.5	700	87.5	800	89	800	89
11	停接 1	19.5	700	87.5	700	87.5	800	87.5	800	87.5
12	停接 1	5	700	87.5	700	87.5	800	87.5	800	87.5
12	停接 2-1	14	900	87.5	900	87.5	1000	87.5	1000	87.5

5. 実施工記録に基づく検証

(1) 現場概要

検討対象工区の構築諸元を打設ブロックごとに整理した結果を表-6に、また、それらの中から抽出した代表的な横断面形状を図-3に示す。

当該工区は、池袋方の発進立坑から渋谷方の停接部までの計267mの延長と計12の打設ブロックを有しており、実施工記録と初回検査記録は、諸橋ら³⁾の研究で対象とした詳細ひび割れ調査区間である9, 10ブロックを含めた全打設ブロックについて入手した。

1ブロックは、同工区の池袋方にあるシールドの発進・到達立坑で、中床版、中壁等の打設時期が他のブロックと著しく異なっている。

2～5ブロックは、1ブロックへの擦りつけ部となっており、A、C、B線各位置の中床版の設置位置が少しずつ異なっている。

6～11ブロックは、一般的な2層3スパンの箱形トンネルであり、一部逆巻き工法が採用されているものの、一部のブロックを除き、左右対称な形状寸法となっている。

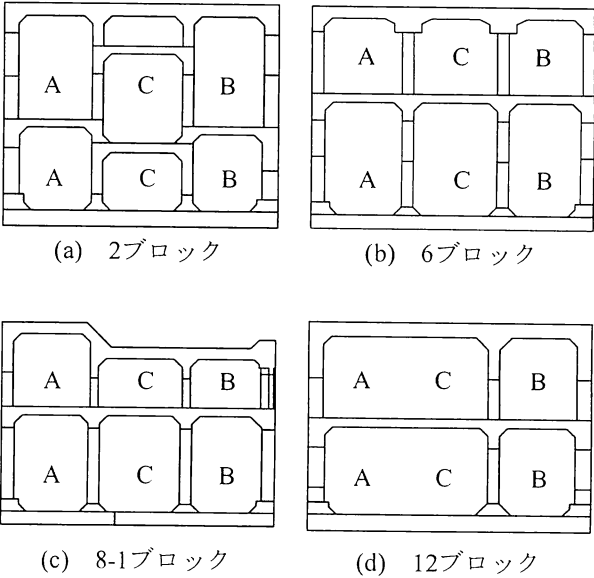


図-3 代表的な横断面形状

12ブロックは、2層2スパンの箱形トンネルであるが、B2Fで本線から留置線であるC線への分岐部を含むことから、中壁がA線寄りにオフセットした形状寸法となっている。

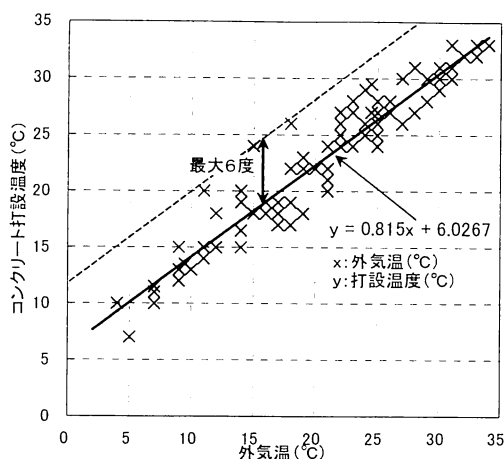


図-4 検討対象工区の外気温と打設温度の実績

なお、検証対象ブロックの設定にあたっては、中壁、中床版等の打設時期が他ブロックと著しく異なる1ブロックと、ひび割れ調査精度が著しく異なる9、10ブロックは除外した。

(2) 検証方法

具体的な検証方法を以下に示す。

- ①表-6に示した打設ブロック毎の構築諸元を2で説明した特性曲線の作成にあたり活用する。
- ②検証に用いる実現場の平均ひび割れ幅は別途入手した検査記録（変状展開図）から算定する。
- ③現実により得る外気温と打設温度の組合せを模索するために、図-4に示すような検討対象工区の外気温と打設温度の実績をプロットした図を用意する。
- ④特性曲線図上で平均ひび割れ幅と実外気温から推定する打設温度（以下、Gcon）と、図-4から得られる実打設温度と実外気温のフィッティング関数に実外気温を代入して推定する打設温度（以下、Scon）を比較し、適用性の可否（ok/ng）を判定する。
- ⑤ひび割れがない場合は、Gconは「なし」とし、外気温が5度未満あるいは30度超の場合は、Gconは「外」とする。
- ⑥適用性の可否については、実外気温と実打設温度のばらつきを図-4から勘案し、SconとGconの差異が±6度の範囲にあれば、その外気温と打設温度は現実により得る組合せとして「ok」と判定する。

(3) 検証結果

検証に用いた特性曲線図のうち、B1F-A線、B1F-B線、B2F-A線、B2F-B線の各々において、延

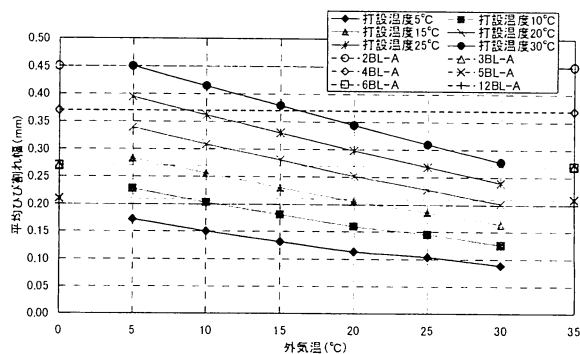


図-5 平均ひび割れ幅と外気温の関係
(B1F-A線：側壁厚：900mm,かぶり87.5mm)

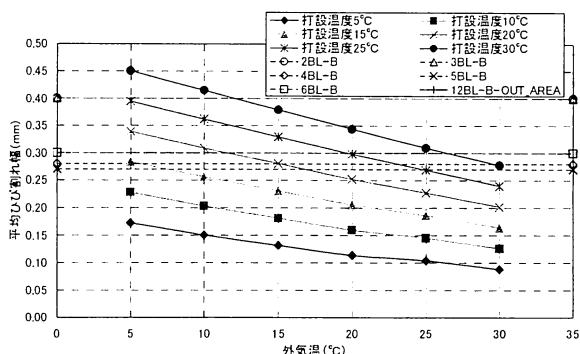


図-6 平均ひび割れ幅と外気温の関係
(B1F-B線：側壁厚：900mm,かぶり87.5mm)

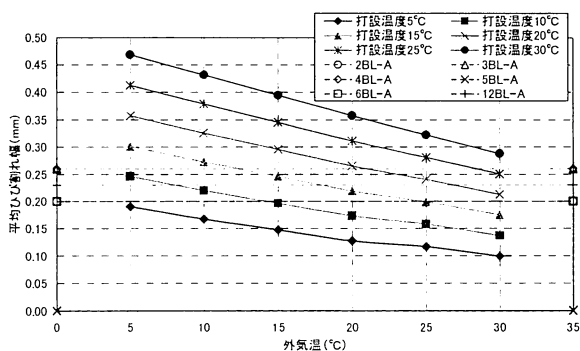


図-7 平均ひび割れ幅と外気温の関係
(B2F-A線：側壁厚：1000mm,かぶり87.5mm)

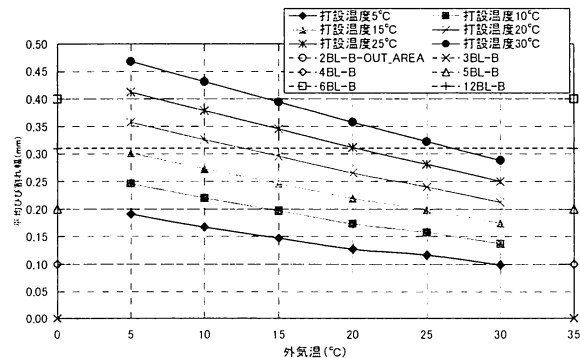


図-8 平均ひび割れ幅と外気温の関係
(B2F-B線：側壁厚：1000mm,かぶり87.5mm)

表-7 B1F-A・B線打設温度推定結果

BL No.	構造形式	B1F-A線						B1F-B線					
		外気温	打設温度	Gcon	Scon	差異	判定	外気温	打設温度	Gcon	Scon	差異	判定
2	異高 1-1	17	18	OUT	19.88	-	-	17	18	OUT	19.88	-	-
2	異高 1-2	17	18	OUT	19.88	-	-	17	18	OUT	19.88	-	-
2	異高 1-3	17	18	OUT	19.88	-	-	17	18	OUT	19.88	-	-
3	異高 1-3	19	18	21.30	21.51	0.21	ok	19	18	OUT	21.51	-	-
3	異高 1-1	19	18	21.30	21.51	0.21	ok	19	18	OUT	21.51	-	-
3	異高 1-2	19	18	21.30	21.51	0.21	ok	19	18	OUT	21.51	-	-
3	異高 1-1	19	18	21.30	21.51	0.21	ok	19	18	OUT	21.51	-	-
4	異高 1-1	16	19	25.21	19.07	-6.14	ng	16	19	20.42	19.07	-1.35	ok
5	異高 1-1	21	21	15.91	23.14	7.23	ng	21	21	22.27	23.14	0.87	ok
5	異高 1-2	21	21	15.91	23.14	7.23	ng	21	21	22.27	23.14	0.87	ok
5	異高 1-1	21	21	15.91	23.14	7.23	ng	21	21	22.27	23.14	0.87	ok
6	異高 1-1	25	28	25.25	26.40	1.15	ok	25	28	29.00	26.40	-2.60	ok
6	異高 2-1	25	28	28.25	26.40	-1.85	ok	25	28	32	26.40	-5.6	ok
6	異高 2-1	25	28	28.25	26.40	-1.85	ok	25	28	32	26.40	-5.6	ok
7	異高 2-1	10	14	OUT	14.18	-	-	10	14	OUT	14.18	-	-
7	異高 2-2	10	14	OUT	14.18	-	-	10	14	30.76	14.18	-16.58	ng
8-1	異高 2-2	10	14	OUT	14.18	-	-	10	14	16.73	14.18	-2.55	ok
8-1	異高 2-3	10	14	OUT	14.18	-	-	10	14	16.73	14.18	-2.55	ok
8-1	異高 2-2	10	14	OUT	14.18	-	-	10	14	16.73	14.18	-2.55	ok
8-2	異高 2-2	10	14	22.31	14.18	-8.13	ng	10	14	なし	14.18	-	-
8-2	異高 2-1	10	14	22.31	14.18	-8.13	ng	10	14	なし	14.18	-	-
11	停接 1	22	27	10.23	23.96	13.73	ng	22	27	OUT	23.96	-	-
12	停接 1	26	27	20.26	27.22	6.95	ng	26	27	OUT	27.22	-	-
12	停接 2-1	26	27	17.36	27.22	9.86	ng	26	27	OUT	27.22	-	-

表-8 B2F-A・B線打設温度推定結果

BL No.	構造形式	B2F-A線						B2F-B線					
		外気温	打設温度	Gcon	Scon	差異	判定	外気温	打設温度	Gcon	Scon	差異	判定
2	異高 1-1	6	11	6.15	10.92	4.76	ok	8	13	OUT	12.55	-	-
2	異高 1-2	6	11	6.15	10.92	4.76	ok	8	13	OUT	12.55	-	-
2	異高 1-3	6	11	6.15	10.92	4.76	ok	8	13	OUT	12.55	-	-
3	異高 1-3	9	13	13.27	13.36	0.09	ok	14	17	なし	17.44	-	-
3	異高 1-1	9	13	13.27	13.36	0.09	ok	14	17	なし	17.44	-	-
3	異高 1-2	9	13	13.27	13.36	0.09	ok	14	17	なし	17.44	-	-
3	異高 1-1	9	13	13.27	13.36	0.09	ok	14	17	なし	17.44	-	-
4	異高 1-1	6	11	11.73	10.92	-0.81	ok	6	11	OUT	10.92	-	-
5	異高 1-1	9	13	なし	13.36	-	-	9	13	7.69	13.36	5.67	ok
5	異高 1-2	9	13	なし	13.36	-	-	9	13	7.69	13.36	5.67	ok
5	異高 1-1	9	13	なし	13.36	-	-	9	13	7.69	13.36	5.67	ok
6	異高 1-1	20	22	12.83	22.33	9.50	ng	20	22	OUT	22.33	-	-
6	異高 2-1	20	22	15.43	22.33	6.89	ng	20	22	OUT	22.33	-	-
6	異高 2-1	20	22	15.43	22.33	6.89	ng	20	22	OUT	22.33	-	-
7	異高 2-1	28	31	23.16	28.85	5.69	ok	28	31	OUT	28.85	-	-
7	異高 2-2	28	31	23.68	28.85	5.17	ok	28	31	OUT	28.85	-	-
8-1	異高 2-2	31	31	外	31.29	-	-	31	31	外	31.29	-	-
8-1	異高 2-3	31	31	外	31.29	-	-	31	31	外	31.29	-	-
8-1	異高 2-2	31	31	外	31.29	-	-	31	31	外	31.29	-	-
8-2	異高 2-2	29	30	OUT	29.66	-	-	29	30	25.26	29.66	4.40	ok
8-2	異高 2-1	29	30	OUT	29.66	-	-	29	30	25.26	29.66	4.40	ok
11	停接 1	25	25	OUT	26.40	-	-	23	24	OUT	24.77	-	-
12	停接 1	14	20	16.04	17.44	1.40	ok	14	20	23.96	17.44	-6.52	ng
12	停接 2-1	14	20	12.92	17.44	4.52	ok	14	20	20.83	17.44	-3.40	ok

長が最も長い側壁厚とかぶりの組合せ（表-6網掛け部）に関する特性曲線を図-5～8に、5(2)で示した2種類の推定打設温度の比較結果を表-7～8に各々示す。ここで、特性曲線図の凡例にある「OUT_AREA」は、当該ブロックにおける平均ひび割れ幅が、特性曲線図上の最大値0.5mmを超えている場合に付している。

また「Gcon」の列について、「なし」と「外」の定義は5(2)⑤の通りで、当該ブロックにおける平均ひび割れ幅が、特性曲線群が取り得る平均ひび割れ幅の範囲に収まっていない場合は、特性曲線図上から現実により得る外気温と打設温度の組合せが得られないことから「OUT」と付している。

これらの前提を踏まえ、結果を概観すると、「OUT」となる箇所は、B1F、B2F、あるいはA線、B線によって異なるが、当該箇所の平均ひび割れ幅はいずれも0.2mm以下か、0.4mm以上になっていることがわかった。逆に、ひび割れ幅が0.2mm以上、0.4mm以下の場合は、多くの場合「ok」と判定されていることがわかった。

(4) 考察

a) 本手法の適用範囲

本手法で初期材齢時に発生したものか否かを判断可能なひび割れ幅を、特性曲線群が取り得る平均ひび割れ幅の範囲で考えると、全構築諸元を通じて概ね0.08mm～0.48mmの範囲になる。

ただし、いずれの特性曲線図を見てもわかるように、外気温が低ければ平均ひび割れ幅は大きく評価され、逆に外気温が高ければ平均ひび割れ幅は小さく評価されるため、実質、初期材齢時に発生したものか否かを安定して判断可能なひび割れ幅は0.2mm～0.4mm程度になると考えられる。

b) 外気温と打設温度の組合せ

本研究では、検討対象工区を1箇所に絞ったため、外気温と打設温度の実績も図-4の1種類にとどまった。

しかし、同様の情報整理を複数の現場で実施し、それらを活用すれば、現実により得る外気温と打設温度の組合せの精度が上がり、「ok」、「ng」の判定の信頼度も向上すると考えられる。

c) 本手法による評価結果と耐久性の関連性

本手法による評価は、設計資料（構造一般図、設計計算書）とコンクリート打設記録に基づいて実施している。したがって、5(3)で説明したように、平均ひび割れ幅が0.2mm以下か、0.4mm以上になるような打設ブロックにおいては、構築の出

来型（かぶりや表面含水率）等との関連性について把握する必要がある。同時に、当該内容を深度化することにより、構築の耐久性とひび割れの関連について有用な知見が得られるものとする。

6. まとめ

本研究から得られた知見を以下に記す。

- ①ひび割れ制御評価式を応用し、当該ひび割れが初期材齢時に発生したものか否かを判断する手法について検討し、一定の適用性を確認できた。
- ②初期材齢時に発生したものか否かを安定して判断可能なひび割れ幅は、概ね0.2mm～0.4mmの範囲になると考えられる。
- ③本研究で提案したひび割れ定量評価手法の信頼性を向上させるためには、さまざまな開削トンネルの建設現場で、本検討と同様な情報収集と分析を実施するとともに、構築の出来型（かぶりや表面含水率）等との関連性について検討を進める必要がある。

謝辞：本研究の実施にあたり、長岡工業高等専門学校岩波基准教授をはじめ、関係各位に多大なるご指導、ご協力をいただきましたことに謝意を表します。

参考文献

- 1) 新井泰，杜世開・渡辺忠朋，山本努：非線形挙動を考慮した開削トンネルのひび割れ調査結果シミュレーション，トンネル工学論文集，Vol.15，pp.173-181，2005.12.
- 2) 田辺将樹，大石敬司，山本努，本間実，松川俊介：開削トンネルの形状寸法および荷重条件と曲げひび割れの発生状況に関する一考察，トンネル工学報告集，Vol.16，pp.455-460，2006.11.
- 3) 諸橋由治，石川幸宏，瀬筒新弥，新井泰，有賀貴志：開削トンネルの材料ひび割れに関する一考察，トンネル工学報告集Vol.17，pp.349-354，2007.11.
- 4) 小寺重郎：鉄筋による収縮ひび割れの制御，コンクリート工学，Vol.44，pp.39-46，2006.8.
- 5) 田附伸一，石橋忠良，古山章一，大庭光商：ボックスラーメン構造物における温度ひび割れの制御方法に関する調査，研究，土木学会論文集，No.739/V-60，pp.265～272，2003.8.
- 6) BS8007:1987 British Standard Code of Practice for design of concrete structure for retaining aqueous liquids, Appendix A.