

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	継目グラウチング充填材検知システム
番号	No. 4. 1-11
発注者	本州四国連絡橋公団
施設名	来島大橋 4 A アンカレイジ
所在地	愛媛県越智郡吉海町
工事名称	来島大橋下部工東工事
施工期間	1992年3月～1996年1月
施工者	熊谷・大林・飛島・戸田・五洋来島大橋下部工東特定工事
キーワード	継目グラウチング、充填管理、継目充填材、検知センサ
<p>(1) 概要</p> <p>コンクリートダムに代表されるマスコンクリート構造物は、コンクリート製造・打設設備の制約や温度ひび割れ制御のために、通常ブロック分割として施工されるが、分割施工されたブロックは、設計上基本的に一体化させ、各ブロック間の応力伝達を図る必要がある。そこで、一般には、パイプクーリングなどによって各ブロックを安定温度まで冷却、収縮させて継目を十分に開かせ、その隙間にセメントミルク等の充填材を注入して一体化する継目グラウチングが行われている。</p> <p>継目グラウチングは、柱状工法のコンクリートダム等では古くから一般的な工法として行われており、継目位置は構造的に圧縮状態となる領域に設けられていた。そのため、継目グラウチングはブロック間の隙間を間詰めする程度でも十分と考えられており、これまで躯体の一体性を確保するための継目グラウチング技術については、さほど大きな問題として取り上げられることはなかった。また、一般に継目グラウチングの施工は経験に頼るところが大きく、とりわけ継目内の実際の注入状況については、セメントミルクの注入圧力、躯体・継目の挙動、縦目面から排出されるセメントミルクの濃度、注入セメント量等の間接的なデータ等を基に推測・判断する方法しかなく、施工品質は経験に大きく影響を受けるものであった。</p> <p>このような背景を踏まえて、躯体の確実な一体化を図るための継目グラウチングに関し、継目充填材の見直しを始めとして、微小な継目に注入される充填材を検知できるセンサ、測定装置およびパソコンによって一連の解析処理が行える計測管理システムを開発した。</p> <p>(2) 技術詳細</p> <p>1) 継目充填材の選定</p> <p>継目充填材として具備すべき主な条件は、以下の4つである。</p> <ul style="list-style-type: none"> ・注入箇所に応じた適切な粒径 ・ミルクとして粒子が均等に分散し、安定している ・硬化後に所要の強度を有する ・硬化時の体積収縮が小さい <p>そこで、より高品質な継目グラウチングを目指し、一般的な普通ポルトランドセメントに比べて最大粒径の小さい市販の充填材数種類について、各種の材料試験を行い基本的な性能を評価して、継目グラウチングとして最適と考えられる充填材の選定を行った。</p>	

比較試験に用いた充填材を表-1 に示す。

① 試験項目

- ・ 充填性・ブリージング試験 (JSCE-F522)
- ・ 粘度試験 (JIS K6833)
- ・ 流動性試験 (JSCE-F 531)
- ・ 凝結試験 (JIS R 5201)
- ・ 圧縮試験 (JIS A 1108)・引張強度 (JIS A 1113)・乾燥収縮率 (JIS A 1129)

表-1 比較試験に用いた充填材

試験材料	メーカー	粒径 (μm)		試験配合 (W/C)	
		最大	平均		
普通ポルトランドセメント	O社製	約100	約20~30	10%	
超微粒子セメント	S	N社製	10	4	100%
	M	O社製	8	4	100%
	AD	ON社製	10	3	100%
無機系注入材	H (高伊スタグ系)	N社製	10	2.8	70%
	R (ポリマーセメント系)	O社製	10	4	61.5%
	Au (ポリマーセメント系)	D社製	16	-	66%

② 試験結果

材料分離などに対する安定性が良く、粘性が小さく流動性に優れ、強度特性が良く、高い充填性が期待できる無機系充填材 H(ハイスタグ)を、継目グラウチングに最適な充填材として選定することとした (各種充填材比較検討結果は省略)。

2) 充填材検知センサ

開発する充填材検知システムは、予め継目面に専用のセンサ (充填材検知センサ) を所定の間隔で設置し、継目グラウチング時に充填材の電気抵抗を測定して、継目面全体の充填状況をリアルタイムに把握できるシステムとした(表-2、図-1)。

表-2 充填材検知センサの基本仕様

項目		基本仕様	
測定電源	電源周波数	1kHz(交流)	
	測定電圧	5V(以上)	
充填材検知センサ	充填状況確認用	電極の材質	ステンレス(SUS304)
		電極寸法(面積)	φ100mm(≒78.5cm ²)
配合濃度測定用	電極の材質	ステンレス(SUS304)	
		電極寸法(面積)	5×5mm(≒0.25cm ²)
	電極間距離	50mm	
		スリット	高さ
	幅	30mm	

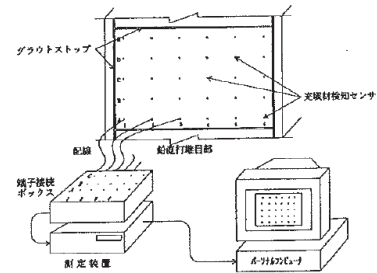


図-1 充填材検知システムの全体概要

3) 橋梁下部工における継目グラウチングの施工

今回新しく選定した継目充填材、開発した充填材検知センサ、測定装置、および一連の計測管理システムを下記工事に導入し、継目グラウチングにおけるブロック間継目の充填状況の確認ならびに注入管理に適用した (表-3、写真-1)。

表-3 来島大橋下部工東工事の工事概要

工事名		来島大橋下部工東工事	
工事場所		本州四国連絡橋公団 愛媛県越智郡吉海町大字椋名地先	
工期		平成4年3月～平成8年1月	
主要工事	3P	底根削工	約 67,900 m ³
		ケーソン掘削工	約 6,200 m ³
		底面滑掃工	約 1,100 m ³
	4A	水中コンクリート工	約 38,000 m ³
		水中コンクリート工	約 6,000 m ³
		薄肉P.C.パネル工	約 200 m ²
共通	主塔アンカープレーム設置工	2基	
	ケーソン根固工	約 1,600 m ³	
	水中コンクリート工	約 50,300 m ³	
	水中コンクリート工	約 101,600 m ³	
共通	薄肉P.C.パネル工	約 9,000 m ²	
	グラウト工	1式	
	水平支承受梁工	1式	
	配電設備工	1式	
	海底ケーブル敷設工	1式	



写真-1 来島大橋 4A アンカレイジの全景

4A アンカレイジにおけるグラウチングゾーンは、継目面の形状、注入時の施工性等も踏まえて、図-2 に示すように 6.0m～7.5mに分割することとした。また、充填材検知センサは、

継目開度の大きいゾーンとして橋軸直角方向の J3-2 を、継目開度の小さいゾーンとして J3-3 の 2 ゾーンに設置して、充填状況の制御、管理および観察を行うことにした。

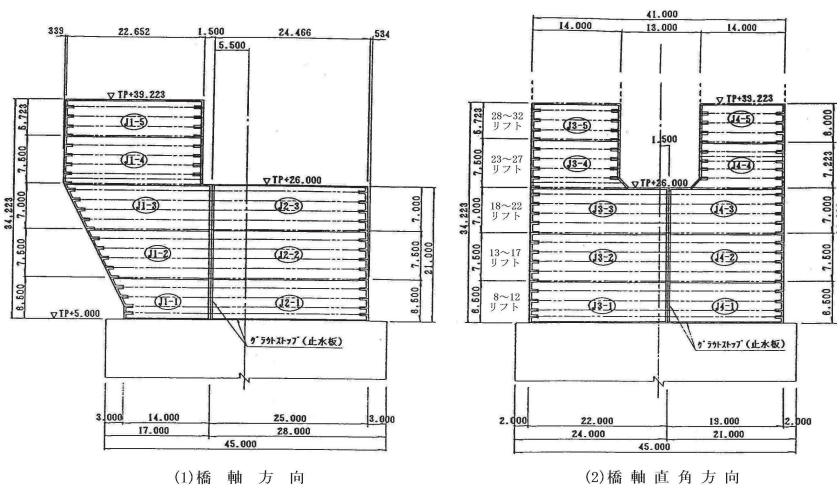


図-2 来島大橋 4A アンカレイジの継目グラウチングにおけるグラウチングゾーンの分割 (網掛け部は、充填材検知センサ設置ゾーン)

4) 施工方法

図-3 に、継目グラウチングの標準施工手順を示す。継目グラウチングは、下段ゾーンより順次行うものとし、1ゾーン/日を施工の標準とした。また注入圧力の管理は、基本的にベント側圧力で行うものとし、ダムでの施工方法を参考に最大 0.2MPa に設定した。なお、躯体の許容継目相対開度は、0.5mm 以下とした。

5) 継目充填材の配合

継目充填材として選定したハイスタップは、粒子が細かく注入性能が極めて良いので基本的には配合切り替えを行う必要はないと考えられるが、リーク発生時の漏洩に対する経済性やリーク処理等の注入遅延時に生じる管内閉塞などの影響を考慮して、二段階の配合濃度切り替えを行うこととした。表-4 に、充填材の注入配合濃度の標準を示す。

6) 充填検知センサの設置

充填検知センサは、継目面に対して鉛直・水平ともにおよそ 3m 間隔で設置した。図-4 に J3-2 ゾーンにおける充填材検知センサの配置を、写真-2 に、後行ブロックのコンクリート打設時における充填材検知センサの敷設状況を示す。

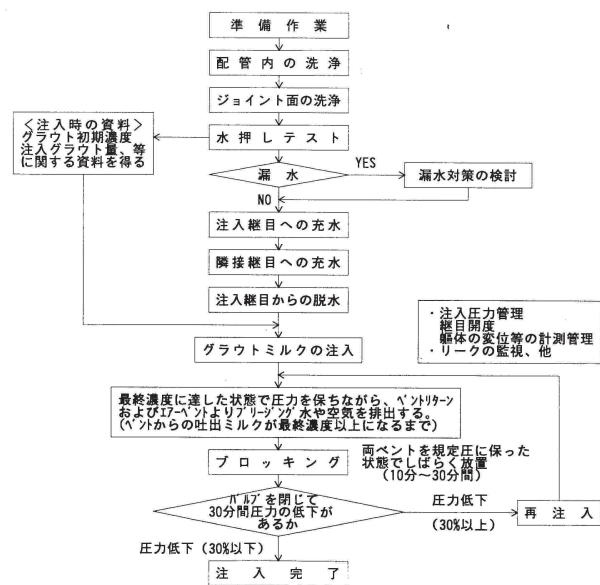


図-3 継目グラウチングの標準施工手順

表-4 継目グラウチングにおける継目充填材の注入配合濃度

W/H (%)	水 (%)	ハイスタップ (kg)	ハイスタップ エイド (g)	混練量 (kg)	比重	プロット (試験室) (s)
400	159.2	40	800	173.4	1.15	8.2
70	108.8	160	3,200	165.8	1.64	8.8

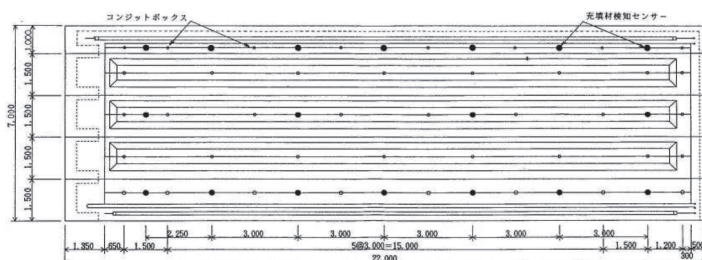


図-4 アウトレットと充填材検知センサの設置位置



写真-2 充填材検知センサの設置状況

充填材の注入状況については、充填材検知システムによって配合濃度の測定結果をリアルタイムにコンター図として可視化した。等電機抵抗線図の一例として、図-5にJ3-2ゾーンにおける注入開始15分後、23分後および注入完了後（4時間後）のモニタ画面の表示結果を示す。これによれば、継目充填材は継目面の下方よりほぼ均等の高さで注入されていくことが分かる。

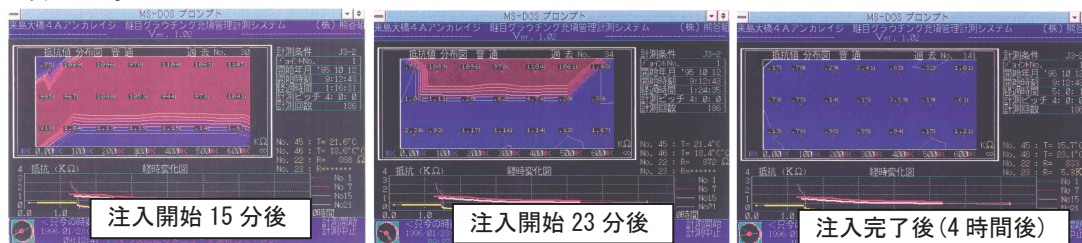


図-5 充填材の配合濃度の等電気抵抗線図の一例

(3) 結果

1) 充填材検知システムの開発ならびに実構造物での導入結果のまとめ

- ① 開発した充填材検知システムは、従来把握することが困難であった継目グラウチングにおける充填状況をリアルタイムに把握できる新しい施工管理手段として、極めて有効であることが明らかになった。
- ② 当システムによって、既往の技術として従来から踏襲されてきた配管レイアウト、アウトレットの設置位置・設置数、注入圧力などの基本的な注入方法についての考え方は、大きな問題がないことを明らかにした。
- ③ 継目充填材として選定したハイスタッフは、今回のように継目開度が小さい場合でも極めて良好な注入状況を実現でき、躯体の一体化としての継目グラウチングの信頼性、確実性を十分に確保することができた。

2) 今後の課題・展開

当システムによって充填状況をモニタリングすることで、継目面に残留するエア溜りや充填不良箇所の発見、更にはそれらに対し注入圧力や排出箇所の調整等により継目面の充填材の流れを積極的にコントロールした注入制御技術等へ発展させることも可能と考える。

参考文献	熊谷組技術研究報告 第63号：(株)熊谷組 佐藤英明他 2005年2月
備考	—

【ダム・貯水池／コンクリートダム】

技術名	温度応力管理システム
番号	No.4. 1-12
発注者	兵庫県但馬県民局養父土木事務所
施設名	与布土ダム
所在地	兵庫県朝来市山東町与布土地内
工事名称	円山川水系与布土川与布土ダム堤体建設工事
施工期間	2010年3月19日～2014年3月25日
施工者	清水・五洋・森長・香山特別共同企業体
キーワード	ひび割れ制御情報化システム

(1) 概要

1) 背景

ダムはマッシブなコンクリート構造物であり、セメントの水和熱や気温の季節変化に起因した温度ひび割れが発生する可能性がある。特に、夏期に打ち込んだリフトの上下流面が冬期に冷却され、ダム内部温度と表面温度差が大きくなるため、この箇所については、事前に堤体コンクリート温度応力解析を行い、無対策の場合の最小ひび割れ指数0.95に対して、技術提案した対策によって最小ひび割れ指数1.55に改善された結果を得ている。このように本工事ではひび割れ指数でひび割れの評価を行った。

2) 設計概要

毎日のコンクリートの各種品質管理試験データを入力することにより、発注者を含む関係者全てがリアルタイムに品質データの把握が可能となるシステム「i-worker」（図-1）を採用した。本システムは、外部Webサーバおよびパソコンから構成されており、サーバ上へ入力したコンクリートの現場試験データ（スランプ、エア量、打込み温度等）や工事写真、並びに自動計測した堤体の温度計測結果等の記録が、パソコンを通じて発注者を含む関係者全員でリアルタイムに情報共有できるシステムである。本システムの活用により、現場配合へのフィードバックや、コンクリート温度データに基づいたプレクーリングの実施など早期対応が可能となり品質向上へつなげることができた。



図-1 i-worker

3) 施工概要（温度応力管理システム）

与布土ダムでは堤体コンクリート温度応力管理システムを採用した。このシステムは、事前解析によりひび割れ発生要因別にコンクリート温度の管理基準値を設定し、管理基準値をもとにコンクリート温度を計測・管理することでダム堤体コンクリートのひび割れを抑制する情報化施工システムである。

本システムを導入し、情報化施工を行うことでひび割れ発生リスクを常にモニタリングでき、リスクに応じた対応保温、工程見直し等を迅速かつ効率的に実施することでひび割れ発生リスクを低減した。本システムでは、**図-2**に示すフローに従って管理を行った。

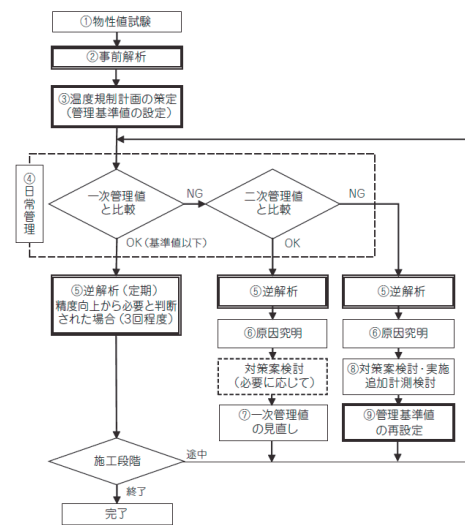


図-2 温度応力管理システム実施フロー

4) 図面

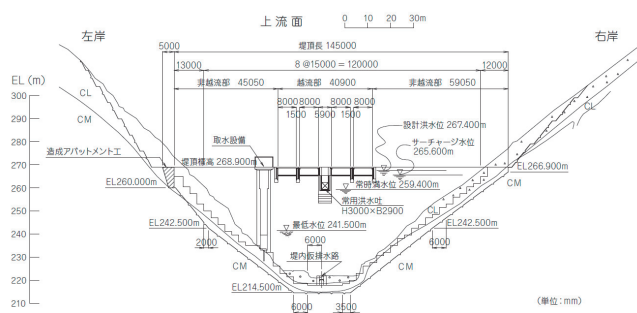


図-3 ダム正面図

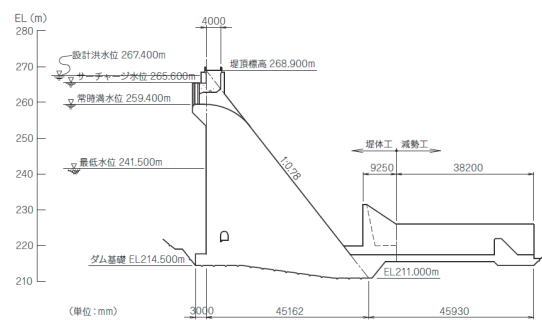


図-4 ダム断面図

(2) 技術詳細

1) 工法

温度規制計画フロー図の各段階における管理項目の内容を示す。

① 物性値試験

解析精度を高めるために温度応力解析に必要な物性値を事前に試験を行って求めた。事前解析に使用した解析条件を決定する。(コンクリートおよび基礎岩盤の力学特性、熱特性：実際に用いる材料、原位置材料の物性を把握)

② 事前解析

物性値試験で得られた値を初期値としてFEM温度応力解析を行い、管理断面の各測定点におけるひび割れ指数とコンクリート温度の経時変化図を作成した。

③ 温度規制計画(管理基準値)の策定

内部拘束ひび割れ(表面ひび割れ)および外部拘束ひび割れ(貫通ひび割れ)を抑制するため、それぞれに対応する管理基準値(一次管理値、二次管理値)を設定した。ひび割れ発生要因と管理方法を**表-1**に示す。

日常管理値として、計測時およびその後（冬期等）において、ひび割れ指数1.75となる温度を一次管理値に、管理限界値として、ひび割れ指数1.50となる温度を二次管理値に設定した。解析結果を踏まえ、温度規制計画を適切に実施するための埋設計器設置計画を立案、実施した。

④ 日常管理

随時計測を行い、計測結果と管理基準値を比較しながら施工を行った。

⑤ 逆解析

外気温・打込み温度の実測値を用いて、熱伝導率・断熱温度上昇特性等をパラメータとして温度計測値とFEM解析値の比較を行った。通常時（温度計測値が一次管理値以下の場合）は、精度向上のため必要と判断される場合（3回/年）に逆解析を実施した。実測温度が管理基準値を超過した場合は直ちに逆解析を実施する予定であったが、実施までに至ることはなかった。

⑥ 原因究明

逆解析結果より管理基準値を超過した施工的な原因について検討し、改善策を検討する予定であったが、実施までに至ることはなかった。

表-1 ひび割れ発生の要因と管理方法

対象とするひび割れ	発生要因	管理方法
内部拘束ひび割れ (表面ひび割れ)	①材齢初期に発生する 表面ひび割れ	材齢初期（通常打込み後1週間程度）の打込みリフト内部と表面の温度差を設定して温度管理する。
	②冬期に発生する 表面ひび割れ	材齢初期の最高温度を設定して温度管理する。 冬期の内部と表面の温度差を設定して温度管理する。
外部拘束ひび割れ (貫通ひび割れ)	③岩盤の拘束による 貫通ひび割れ	コンクリートの収縮が地盤面に拘束されて発生する貫通ひび割れ。 堤体岩着面コンクリートの最高温度を設定して温度管理する。

⑦ 一次管理値の見直し

実測温度が一次管理値を超過し二次管理値以内である場合、定期評価と同様に逆解析を実施し、逆解析結果と二次管理値を参考に一次管理値を見直す予定であったが、実施までに至ることはなかった。

⑧ 対策案検討・実施

今後発生が予想されるひび割れを抑制する対策案を検討・実施する予定であったが、実施までに至ることはなかった。

⑨ 管理基準値の再設定

管理基準値（一次管理値、二次管理値）の再設定を行う予定であったが、実施までに至ることはなかった。

2) 温度規制計画の結果

全計測点において、一次管理値を超過することはなかった。また、全断面において実測値は解析値と似た傾向を示しており、また全期間にわたって管理値を下回っていることから、上下流面の冬期保温養生を含めた温度管理が適切であったといえる。

3) 埋設計器配置計画

マスコンクリートの計測を行う場合、計測技術として信頼でき、また温度応力解析結果と

対比可能な計測項目は、物理量を直接的に測定できる温度である。一方、ひずみは、計測機器（ひずみ計、無応力ひずみ計）の構造上、コンクリートの熱変形を測定器本体に設置したひずみゲージを介して測定するため、間接的にコンクリートの物理量を測定していることになる。また、コンクリートの変形とそれへの追従が、コンクリートの凝結状態（凝結の過程でもひずみや応力は発生している）に影響を受けるため初期値の評価が難しい。このことから、ひずみ計測結果を直接施工管理に用いることは難しい。以上より、計測器設置に関する基本の方針として、「温度」を温度規制計画に用いる計測値、「拘束ひずみ」を温度規制計画の妥当性を確認するための参考値とした。技術提案時の解析結果と比較して最小ひび割れ指数の発生位置に変化があったため、計器設置位置の変更を行った。温度規制計画における計測箇所は以下の1断面とした。図-5に計測器設置位置を示す。計測断面A：5ブロックの中央最大断面は部材寸法が大きいいため、内部温度が高くなる。このため、表面ひび割れおよび貫通ひび割れが発生する可能性が高い。

(3) 結果

温度応力管理システム表示画面計測結果は「ITを活用したコンクリート情報共有システム」により、発注者を含む関係者全てがリアルタイムに把握できるようにした。温度応力管理システムの表示画面イメージを図-6、図-7に示す。

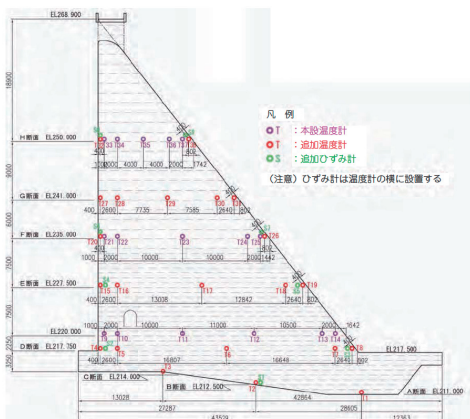


図-5 計測器設置位置

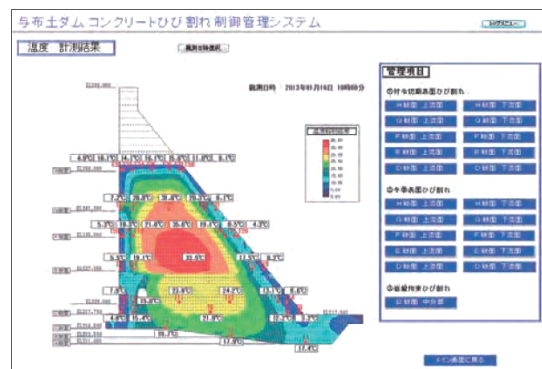


図-6 システム表示画面

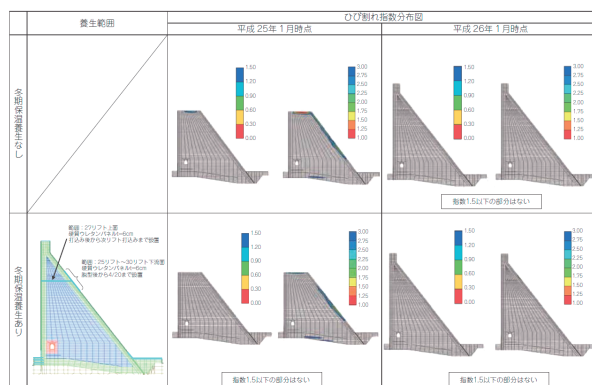


図-7 ひび割れ指数分布

<p>参考文献</p>	<p>施工記録「自然との共生を目指した」与布土ダムの施工、2015 土木クォータリー-VoL. 185、pp32～61</p>
<p>備考</p>	<p>—</p>