

V-19

高炉セメントを用いたコンクリートの引張り伸び能力試験について

開発局帯広開建	正員	石井克己
	正員	水野秀行
	正員	中広幸
	正員	島本和仁
(株) 間組	正員	村上祐二

1. まえがき

札内川ダムは、洪水調節、流水の正常な機能の維持、かんがい、発電、水道用水を目的とし建設されている堤頂長300m、堤高114m、堤体積77万 m^3 の重力式コンクリートダムであり、北海道帯広市から南西40kmに位置している。

コンクリートに使用している混合セメントは、中庸熟ポルトランドセメントに比表面積4000 cm^2/g 程度の高炉スラグ微粉末を重量比にして55~65%混合させたものであり、これが当ダムの特色の一つとなっている。また、建設位置が寒冷地であることから、打設期間が4~10月と制限されており、冬期間は打設を中止して越冬することとなる。ダムの安全性の観点からコンクリートダムにひびわれを発生させずに施行を行うためには、施工期間中の外気温による急冷や越冬期のコンクリート冷却に対する養生対策が必要不可欠となる。

ダムのようなマスコンクリートに発生するひびわれの原因の多くは、温度応力に起因するものである。これらに起因するひびわれの発生の危険性を評価したり、養生対策を検討する手段として、水和熱によって生ずる温度応力とコンクリートの引張強度を比較することが一般に行われている。しかし、コンクリートの引張破壊を評価する場合、応力レベルでの予測に必要な弾性係数がコンクリートの硬化過程において変化するため、その設定がきわめてむずかしく、弾性係数を介在させないひずみレベルでの予測の方がより直接的で解析精度もあがると考えられる。

以上のようなことから、本報告は外気温と接する外部コンクリートに着目し、外部コンクリートがうける温度履歴およびひずみ履歴を調査し、その調査結果から温度降下速度・ひずみ速度を求め、外部コンクリート引張破壊ひずみをあらかず伸び能力とひずみ速度の関係を検討した。

2. コンクリートの伸び能力に対する既往の研究

2.1 伸び能力の定義

国際大ダム会議では、伸び能力は破壊に至るまでの引張ひずみ能力としている。建設省土木研究所では、曲げ強度の90%の強度の時の引張ひずみを伸び能力とし、伸び能力は弾性ひずみとクリープひずみを加えたひずみに対して、緩速載荷時の強度低下に伴うひずみを差し引いたひずみとしている。水資源公団では、曲げ強度の90%の強度の時の引張ひずみを伸び能力とし、伸び能力は弾性ひずみとクリープひずみを加えたひずみとしている。D.L.Houghtonは急速載荷による材令90日のひずみに長期載荷による材令7~9日までのクリープひずみを加えたひずみとしている。

2.2 コンクリートの伸び能力

国際大ダム会議では、急速載荷時の伸び能力は 100×10^{-6} 、ひずみ増加速度を制御した場合の伸び能力は 200×10^{-6} 以上であるとしている。建設省土木研究所では、伸び能力を曲げ試験により評価しており、伸び能力は、強度が高くなるに従って大きくなるが、載荷速度を低速にしても変化はなく、載荷速度が低速にな

Spreading capacity of concrete using Blast-Furnace Slag Cement

by Katsumi ISHII, Hideyuki MIZUNO, Hiroyuki NAKA, Kazuhito SHIMAMOTO, Yuhji MURAKAMI

るにしたがい曲げ強度は低下するため、緩速載荷による伸び能力には、クリープによる伸びの増加、緩速載荷による強度の低下を考慮する必要があるとしている。水資源公団では、急速載荷の伸び能力は 126×10^{-6} で、緩速載荷では 204×10^{-6} であったとしている。

2.3本報告での伸び能力の定義と試験方法について

本報告での伸び能力は、既往の研究結果をもとに、曲げ強度の90%の強度の時の引張ひずみとした。また、試験方法は、試験機器が簡易であることから、従来の曲げ試験を応用した、3等分曲げ試験（曲げクリープ試験）を採用し実施した。

3. 札内川ダムの温度履歴の現状

札内川ダムでは、コンクリートに発生するひびわれを防止するために、既に応力レベルでの温度解析を実施し、図-1, 2に示す要領で養生対策を行ってきた。そして、これらの対策の効果の確認と前述したコンクリートの伸び能力調査を目的に、図-3に示すように測温機能付きひずみ計を設置し、外部コンクリートの温度履歴およびひずみ履歴の現状を調査した。

ひずみ計器位置と温度降下速度の関係を図-4に、ひずみ計器位置とひずみ速度の関係を図-5に示す。外部コンクリートの材令は10日までである。ひずみ計器位置が表面から遠くなるに従って、温度降下速度およびひずみ速度が低下することがわかる。

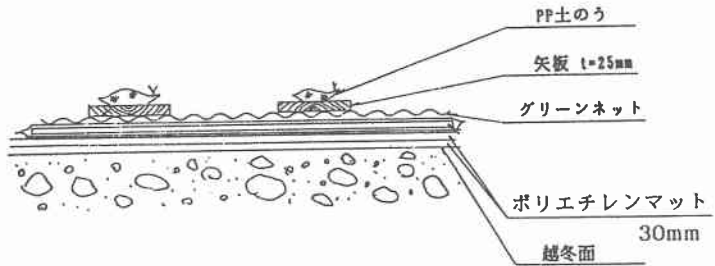


図-1 越冬面養生断面図

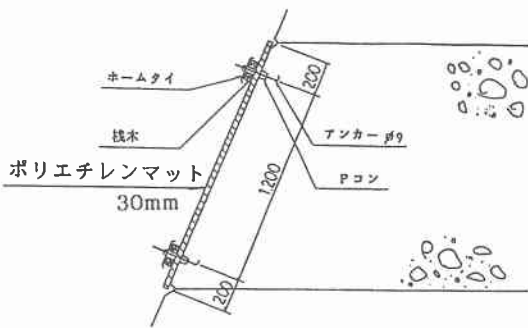


図-2 上下流面養生対策

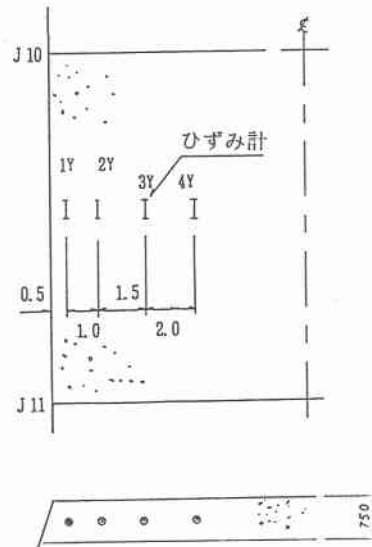


図-3 ひずみ計設置位置図

温度降下速度と温度降下の起点のコンクリート材令の関係を図-6に、ひずみ速度とひずみ変化の起点のコンクリート材令の関係を図-7に示す。温度降下速度、ひずみ速度はばらつきがあるものの、それぞれ最大7°C/日、 45×10^{-6} /日である。材令2日目までは、温度降下速度およびひずみ速度は大きな値を示しているが、材令4日目以降の温度降下速度およびひずみ速度は、低い値となっている。これは材令3日程度で型枠を脱型し、直後に図-2に示した養生対策を行うためでないかと思われる。

温度降下速度とひずみ速度の関係を図-8に示す。温度降下速度が大きくなるに従って、ひずみ速度も増加するという密接な関係がある。傾きは約 $10 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度となり、コンクリートの線膨張係数を示している。

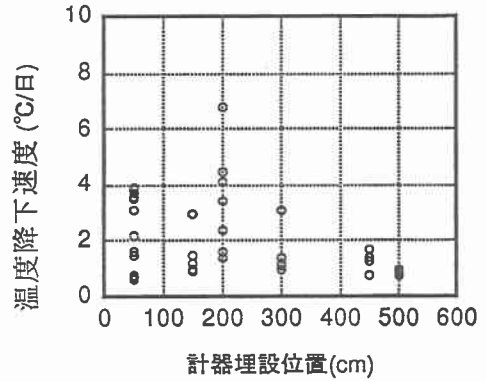


図-4 計器埋設位置と温度降下速度

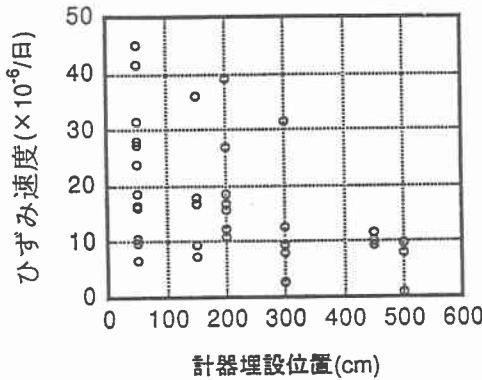


図-5 計器埋設位置とひずみ速度

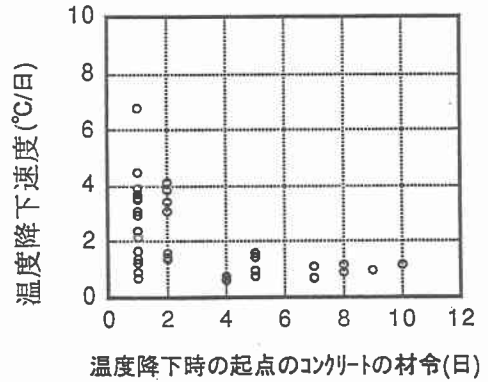


図-6 温度降下の起点のコンクリート材令と温度変化量の関係

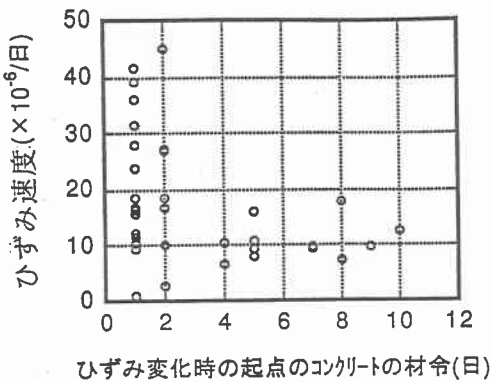


図-7 ひずみ変化の起点のコンクリート材令とひずみ変化量の関係

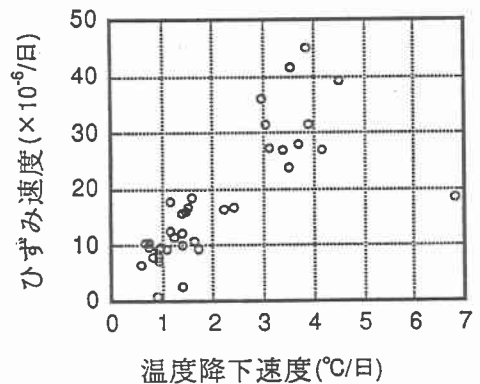


図-8 温度降下速度とひずみ速度

4. 伸び能力実験

4.1 使用材料および配合

実験に使用した材料は、中庸熟ポルトランドセメントに比表面積 $4000\text{cm}^2/\text{g}$ の高炉スラグ微粉末を55%混合したセメントで、細骨材および粗骨材は札内川ダム用骨材、ポゾリス物産社製A E減水材No.8、A E助剤No.202を使用している。

外部コンクリートの配合を表-1に示す。

表-1 コンクリートの配合

スラブの範囲 cm	空気量の範囲 %	水セメント比 W/C %	細骨材率 s/a %	単位置 (kg/m ³)								AE 減水剤 No.8 %	AE 助剤 No.202 %
				水 W	セメント C	細骨材 S	細骨材 G1	細骨材 G2	細骨材 G3	細骨材 G4			
3 ± 1	4 ± 1	47.3	23	104	220	487	464	397	331	464	0.25	0.0625	

4.2 実験ケースおよび方法

本報告の実験ケースは、材令3日の供試体に12時間、3日、7日、14日、28日間載荷して破壊させるケースとした。

供試体の寸法は $15 \times 15 \times 53\text{cm}$ であり、40mmウェットスクリーニングしたコンクリートを打ち込んだ。材令2日目に供試体を脱型し、乾燥防止のためエポキシ樹脂を塗布し、材令3日目から載荷を開始した。載荷方法は図-9に示す試験装置で、図-10に示すように3等分曲げ試験を行い、等モーメント区間の引張ひずみを計測した。

4.3 実験結果

実験結果の一例として、材令3日の7日破壊の曲げ応力-ひずみの関係を図-11に示す。応力が増加するに従いひずみが増加している。弾性ひずみは線形的な増加傾向を示しているが、クリープひずみは応力が大きくなるに従って増加する傾向となっている。

載荷期間と伸び能力の関係を図-12に示す。載荷期間が増加するに従って伸び能力は増加しているが、載荷期間7日目以降は頭打ちの状態となっているようである。

曲げ強度比とひずみ速度の関係を図-13に示す。なお、曲げ強度比は緩速載荷試験結果を急速試験結果で除したものである。ばらつきがあるものの、ひずみ速度が遅くなるに従って曲げ強度比が低下する傾向があ

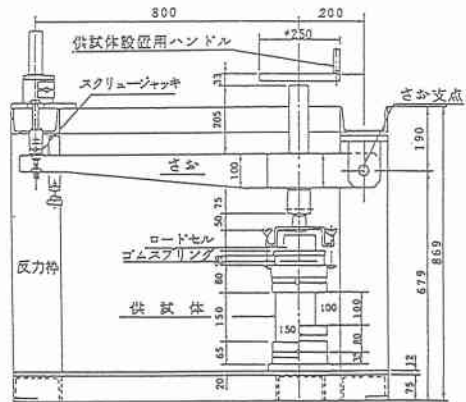
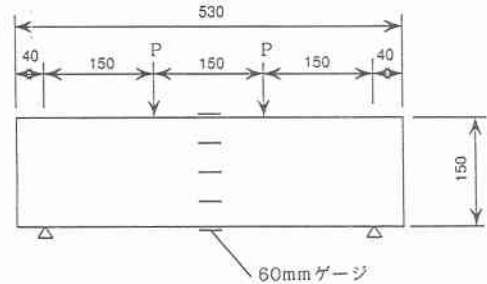


図-9 コンクリートの曲げによる伸び能力試験装置



- 1) 載荷時には、乾燥を防ぐために、供試体にエポキシ樹脂を塗布する。
- 2) ストレインゲージは、30mmのものを5枚貼付する。

図-10 載荷方法およびゲージ位置

ることがわかる。

伸び能力とひずみ速度の関係を図-14に示す。ひずみ速度が低下するに従って伸び能力が増加していることがわかる。例えば、ひずみ速度 $10 \times 10^{-6}/\text{hr}$ 以下の場合（すなわち、温度降下速度 $1^\circ\text{C}/\text{hr}$ の場合）、急速載荷の1.5~2.3倍程度の伸び能力があることになる。

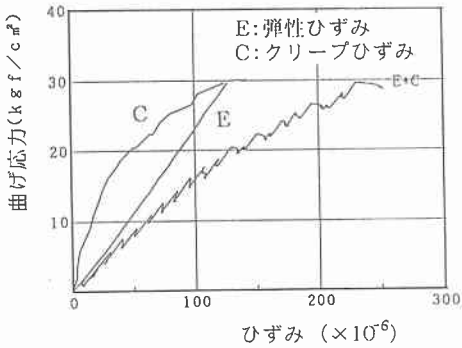


図-1 1 曲げ応力-ひずみ曲線
(材令3日-載荷期間7日)

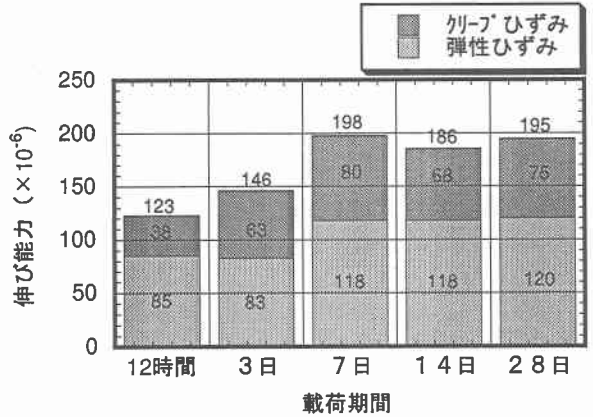


図-1 2 載荷期間と伸び能力の関係

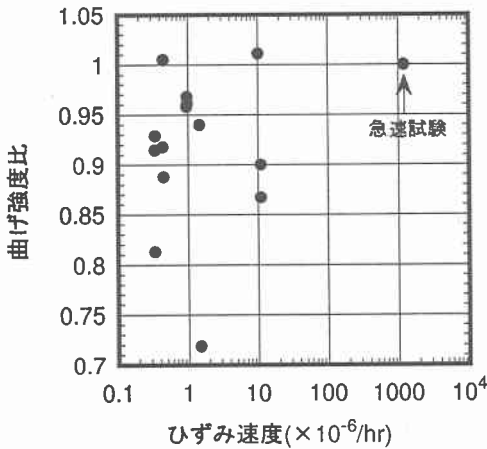


図-1 3 曲げ強度比とひずみ速度の関係

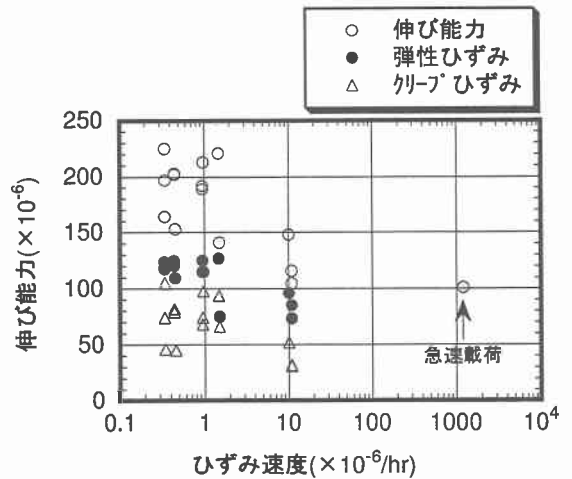


図-1 4 伸び能力とひずみ速度の関係

5. 温度ひびわれの合理的判断基準に関する考察

温度応力は、温度変化による体積変化が、なんらかによって拘束されることにより発生し、コンクリート温度が ΔT だけ変化したとき発生する引張応力は式(1)で表される。

$$\sigma_t = R \cdot E_e \cdot \alpha \cdot \Delta T \dots\dots\dots (1)$$

ここに、 σ_t : 発生引張応力、 R : 拘束度、 E_e : クリープを考慮した有効弾性係数、 α : コンクリートの線膨脹係数、 ΔT : 温度降下量である。

ところで、式(1)における発生引張応力 σ_t を、コンクリートの引張強度 $\sigma_{t,a}$ で置き換えて整理すると、

温度ひびわれを発生させないための許容温度降下量 ΔT_a が式 (2) によって求められる。

$$\Delta T_a = \frac{\sigma_{t_a}}{R \cdot E_c \cdot \alpha} \dots\dots\dots (2)$$

ここに、 ΔT_a : 温度降下量の上限值、 σ_{t_a} : 引張強度である。

このひびわれ発生までの温度降下量 ΔT_a を算定するにあたっては、有効弾性係数 E_c が材令とともに変化し、一義的に決定することができない。この決定段階での精度が問題となっていることは先にも述べた。そこで、伸び能力試験を実施することにより、コンクリートの限界ひずみ ϵ_{t_a} を明らかにして、式 (2) 中の σ_{t_a}/E_c を置き換えることで、 E_c を用いずに直接的にひび割れ発生までの許容温度降下量を算定できる。

$$\Delta T_a = \frac{\epsilon_{t_a}}{R \cdot \alpha} \dots\dots\dots (3)$$

さて、今回の伸び能力試験結果より、材令 3 日、急冷による収縮を対象とした载荷期間 12 時間の伸び能力は図-11 より、 $\epsilon_{t_a} \doteq 120 \times 10^{-6}$ である。したがって許容温度降下量は、

$$\Delta T_a = \frac{\epsilon_{t_a}}{R \cdot \alpha} = \frac{120 \times 10^{-6}}{1.0 \times 10.0 \times 10^{-6}} = 12.0^\circ\text{C}$$

ここで $R : 1.0$ 、 $\alpha : 10.0 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ である。

本ダムは、図-2 に示す養生対策などを行い、打設直後からコンクリートの保温養生を実施してきた。その結果、図-6 を見てもわかるとおり、1 日の温度変化量を最大でも 7°C に抑制している。現在のところ材令 3 日の実験結果のみの考察ではあるが、これを見る限り本ダムの養生対策はひびわれの防止に有効に働いていると考えられる。

5. おわりに

本報告では、札内川ダムコンクリートを用いて、曲げクリープ試験を実施することにより、コンクリートの伸び能力の検討を行った。また、札内川ダムにおいて打設されたコンクリートの温度履歴やひずみ履歴を調査した。これらの結果より、札内川ダムコンクリートの伸び能力の特性を明らかにしたとともに、伸び能力の観点から、札内川ダムでの養生対策がひび割れ防止に有効であることが確かめられた。

最後に、今回の報告にご協力いただいた関係各位に、深く謝意を表する。

参考文献

- [1] 国際大ダム会議材料委員会：大ダム用コンクリートの伸び能力に及ぼす各種要因の影響、大ダム、No.84、1978-6
- [2] 森浜和正・小林茂敏・丹野弘（建設省土木研究所）：緩速载荷によるコンクリートの伸び能力の変化に関する研究、セメント技術年報42、昭和63年、pp.223~226
- [3] 山口温朗・自閑重治・加藤宏基（水資源開発公団）：コンクリートの緩速载荷時における伸び能力に関する検討、セメント技術年報42、昭和63年、pp.227~230
- [4] 水資源開発公団：混合セメントモルタルによるダム長大ブロックコンクリートの伸び能力に関する実験的考察、水資源開発公団試験所報告
- [5] D,L,Houghton:Determining Tensile Strain Capacity of Mass Concrete,Journal of American Concrete Institute,1976.12,Vol.73,No.7
- [6] 斉藤喜代子：コンクリートの高応力下における引張クリープ性状に関する研究、間組研究年報1982、pp89~99